

SOSYAL BİLİMLER

ABD federal kaynak tahsisleri enerji yoksulluğu yoğunluklarıyla tutarsızdır

Carlos Batlle^{1,2,3}, Peter Heller^{1,4*}, Christopher Knittel^{1,5,6}, Tim Schittekatte^{2,4,5}

ABD Enerji Bilgi İdaresi'nin son verileri, ABD'deki her üç haneden birinin enerji yoksulluğu yaşadığını bildirdiğini ve bu sayının artmaya devam etmesinin beklendiğini ortaya koyuyor. Federal yardım programları mevcut, ancak eyaletler arası tahsisler 1984'ten beri neredeyse sabit kalırken, enerji yoksulluğunun dağılımı konum ve zaman açısından dinamik. 2015 ve 2020 için her ABD nüfus sayımı bölgesindeki enerji yükünü tahmin etmek için sosyodemografik ve coğrafi bilgileri kullanan bir LASSO tabanlı makine öğrenimi yaklaşımı uyguluyoruz. Daha sonra, Düşük Gelirli Ev Enerji Yardım Programı'ndan eyaletlere yapılan tahsisleri optimize edilmiş bir tahsisle karşılaştırıyoruz. En fazla yük altında olan hanelere fon tahsis ediyoruz ve onlara enerji harcamalarını azaltmaları için yeterli yardımı sağlıyoruz, böylece hane enerji yükleri yeni bir maksimum izin verilen enerji yüküne eşit oluyor. Bu, fonları kuzeydeki soğuk iklim eyaletlerinden güneydeki sıcak iklim eyaletlerine önemli ölçüde kaydırıyor.

GİRİŞ

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki her üç haneden biri enerji yoksulluğu yaşadığını bildiriyor (1). Bu sayının, iklim değişikliği ve ABD'nin karbondan arındırma ve elektrifikasyon hedeflerinin enerji hizmetlerinin maliyetinde artışa yol açmasıyla birlikte artması bekleniyor (2). Amerika Birleşik Devletleri'nde artan servet ve gelir eşitsizliğiyle birlikte, düşük gelirli haneler, geçişin gerçeğe dönmüş olmak için gerekli katılımlarına rağmen, enerji geçişinin etkilerinin çoğunu yaşayacaktır (3-7). Ayrıca, iklim değişikliği karşısında ısıtma talebinin azalmasını ve soğutma talebinin artmasını bekleyebiliriz (8), soğutma maliyetleri nedeniyle enerji yoksulluğunun daha da önem kazanmasına yol açar. Enerji yoksulluğu, bir hanenin finansal kısıtlamalar nedeniyle yeterli miktarda elektrik, ısı ve diğer enerji hizmetlerini yeterli şekilde kullanamamasını ifade eder (9-17). Enerji yoksulluğu içinde yaşamının artan ölüm oranı, azalan fiziksel sağlık, azalan zihinsel iyilik hali ve artan izolasyon üzerinde doğrudan etkileri vardır (12). Genel olarak, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki hanelerin yaklaşık %10'u evlerini sağlıklı veya güvenli olmayan (çok yüksek veya çok düşük) sıcaklıklarda tuttu. Aynı yıl, hanelerin yaklaşık %20'si enerji faturalarını ödemek için temel ihtiyaçları azalttıklarını veya satın almadıklarını bildirdi (13). Sonuç olarak, enerji yoksulluğu nedeniyle hükümetler sosyal hizmetlere ve sağlık hizmetlerine yönelik harcamalarda artış yaşayabilirler.

Burada, Amerika Birleşik Devletleri genelinde enerji yoksulluğu seviyelerini tahmin etmek için bir yöntem geliştiriyoruz ve bu tahminleri, Düşük Gelirli Ev Enerji Yardım Programı (LIHEAP) kapsamındaki federal yardım tahsislerinin enerji yoksulluğunun mekansal dağılımıyla nasıl uyumlu olduğunu değerlendirmek için kullanıyoruz. Buna, hanelerin toplam enerji yükünü sınırlamaya çalıştığımız optimize edilmiş bir tahsis yapısıyla mevcut tahsisleri karşılaştırmak da dahildir. ABD Enerji Bilgi Sistemi'nden sosyodemografik ve coğrafi bilgiler kullanarak ortalama hane enerji yükünü tahmin etmek için uyarlanabilir en az mutlak küçülme ve seçim operatörü (LASSO) kullanan bir makine öğrenimi modeli oluşturuyoruz.

¹Enerji ve Çevre Politikaları Araştırma Merkezi, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Cambridge, MA, ABD.²Floransa Düzenleme Okulu, Avrupa Birliği Enstitüsü, Floransa, İtalya.³Comillas Papalık Üniversitesi, Madrid, İspanya.⁴Mit enerji girişimi, Massachusetts teknoloji enstitüsü, Cambridge, MA, ABD.⁵Sloan İşletme Okulu, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Cambridge, MA, ABD.⁶Ulusal Ekonomik Araştırma Bürosu, Cambridge, MA, ABD.

* sorumlu yazar. e-posta: pjheller@mit.edu

telif hakkı © 2024
Yazarlar, bazı haklar saklı; münhasır lisanslı amerikan Dernek için İlerlemesi
Bilim. Orijinal ABD'ye dair hiçbir iddia yok
Devlet İşleri.
altında dağıtılmış yaratıcı ortaklıklar Atıf ticari olmayan lisans 4.0 (cc BY-nc).

İdare'nin (EIA) Konut Enerji Tüketim Anketi (RECS) (13). Sosyoekonomik statünün, ırk/etnik kökenin, konut yaşının, bina tipinin, eğitimin, ev sahipliği durumunun ve coğrafi özelliklerin çeşitli yerlerdeki enerji yüküyle ilişkili olduğunu gösteren güncel literatüre dayalı olarak çeşitli girdi değişkenleri seçiyoruz (14-17). Daha sonra, 2015 ve 2020 ABD Nüfus Bürosu'nun Amerikan Toplum Anketi (ACS) verilerini kullanarak, bitişik Amerika Birleşik Devletleri'ndeki her nüfus sayımı bölgesindeki ortalama hanehalkı enerji yükünü elde ediyoruz. Bu yaklaşım, fusionACS'ye (18), yaklaşımımız işlevsel olarak farklılık göstermektedir. Hanehalkı demografik ve coğrafi bilgilerine dayalı enerji yükünü tahmin etmek için LASSO tabanlı bir makine öğrenimi yaklaşımı üretiyoruz (Ek Malzemelere bakın).

Daha sonra enerji yoksulluğu tahminlerimizi, federal yardım programı fonlarının eyaletlere daha hedefli bir şekilde tahsis edilmesi için kullanıyoruz. LIHEAP, ülke çapında enerji yoksulluğunun ele alınmasına yardımcı olan önde gelen ABD federal programıdır. LIHEAP 1981 yılında kurulmuştur ve eyaletlere hanelerin elektrik faturalarını ödemelerine yardımcı olmak için federal blok hibeler sağlar. Bu program federal kaynakları eyaletlere dağıtır ve eyaletler, bakiyeleri ödemek için doğrudan hanelere veya hanelerin adına elektrik şirketlerine para vermekten sorumludur. Sonuçlarımız, yaklaşık kırk yıl önce tasarlanan formüllere dayanan mevcut federal enerji yardımı tahsislerinin, ülke genelinde ihtiyaç duyulan yardımın coğrafi dağılımıyla pek uyummadığını ortaya koymaktadır. Eyaletlere, en fazla yük altında olan hanelerin enerji yüklerinin ülke genelinde aynı maksimum değere düşürülmesi için fon tahsis edilmesinin, fonları kuzeydeki soğuk iklim eyaletlerinden güneydeki sıcak iklim eyaletlerine önemli ölçüde kaydıracağını görüyoruz.

Arka plan ve yaklaşım

Son literatür, enerji yoksulluğunu, Amerika Birleşik Devletleri ve diğer yerlere odaklanarak nicelleştirmiştir (19-24). Amerika Birleşik Devletleri ile ilgili olarak, literatür nüfusun belirli alanlarına veya alt gruplarına odaklanmaktadır (25-28), hedefimiz ise tüm ulusun kapsamlı bir görünümünü sağlamak ve bunu federal yardım programlarıyla ilişkilendirmektir. ABD Enerji Bakanlığı Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL), ilk kaynağı, Düşük Gelirli Enerji Uygunluk Verileri (LEAD) aracını sağlamıştır (29), enerji harcamaları ve yüküne dair ulusal bir bakış açısı yakalar. Makine öğrenimimiz-

temelli yöntem, LEAD'i iki önemli boyut boyunca genişletir. Birincisi, LEAD aracı yalnızca zaman içindeki bir anlık görüntü için veri sunar, bu da enerji yükünün zamansal olarak nasıl dinamik olduğunu anlamaya izin vermez. İkincisi, yalnızca yılın 1 ayı için verilen ve kamuya açık olarak bildirilmeyen kendi kendine bildirilen enerji harcamalarını kullanır, bu da yıllık değerlerin tahmininin aylar boyunca enerji maliyetlerindeki mevsimsel değişimi tam olarak hesaba katmadığı anlamına gelir (29).

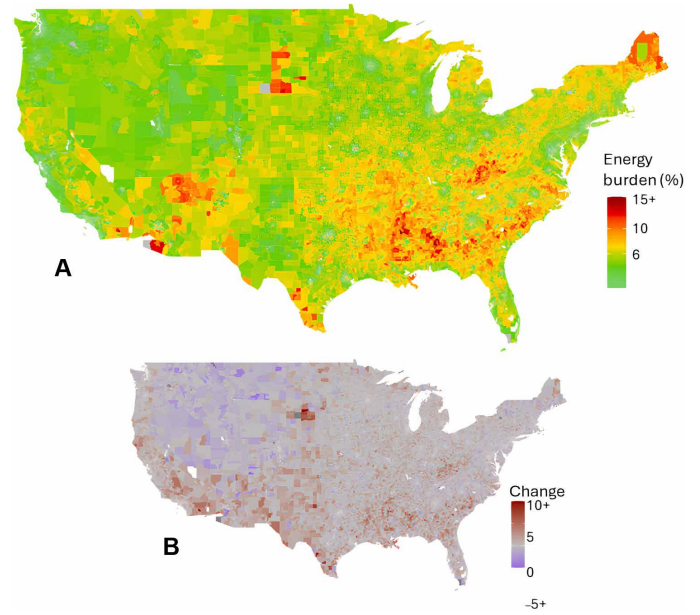
LEAD'i geliştirmek için, bu analiz için farklı zaman noktalarında, yani 2015 ve 2020'de alınan anketlerden kullanılabilecek sosyodemografik ve coğrafi değişkenlere dayalı olarak hanehalkı enerji yükünü tahmin etmek üzere modelimizi tasarlıyoruz. Model, enerji yoksulluğunu en iyi tahmin eden değişkenleri seçiyor. 2015 modeli, hanehalkı ısıtma yakıtlarının elektrik fiyatları, hanehalkı gelirleri ve hanehalkı üye sayısı ile etkileşimini seçiyor. Isınma için propan veya fuel oil kullanan hanehalkları, diğer yakıtları kullananlara kıyasla enerji yükünde en büyük artışı yaşıyor. Ek olarak, azalan hanehalkı geliri, artan enerji yüküyle oldukça ilişkili. Bir hanehalkındaki üye sayısının artması da daha az üyeye sahip hanehalklarına kıyasla enerji yükünü artırıyor. 2020 modeli, artan enerji yükleri için benzer değişkenler seçiyor. 2020'de hanehalkı gelirleri, hanehalkının enerji yükü üzerinde 2015'e göre daha büyük bir etkiye sahip. Aynı ilişki, ısıtma yakıtları ve hanehalkı üye sayısı için de görülüyor. 2015 ve 2020'de hane tipi enerji yüküyle de ilişkilidir. Çok aileli birimlerde (özellikle beş veya daha fazla daire) yaşayan hanelerin enerji yükü, tek aileli birimlerde yaşayanlara kıyasla azalmıştır. Seçilen değişkenlerin tam listesi ve enerji yüküyle ilişkileri Şekil S3'te bulunabilir.

Daha sonra, her nüfus sayımı bölgesindeki ortalama hanehalkı enerji yükü tahminlerini elde ederek (2015'te 73.057 bölge ve 2020'de 84.414 bölge) Amerika Birleşik Devletleri genelinde enerji yoksulluğunun nerede yoğunlaştığını belirliyoruz. Bu çalışma, bir hanehalkının enerji yükünün enerji yoksulu olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmaması gerektiğini belirlemek için harcamaya dayalı bir ölçüt kullanır. Başlangıçta Boardman tarafından tanıtıldı (30) 1991'de önerilen ölçüt, yıllık gelirlerinin belirli bir yüzdesinden fazlasını enerjiye harcayan herhangi bir haneyi enerji fakiri olarak tanımlıyor. Birleşik Krallık'ta kabul edilen eşik uzun yıllar boyunca %10'du ve Galler, İskoçya ve Kuzey İrlanda'da resmi yakıt yoksulluğu istatistikleri için hala kullanılıyor (31). Enerji hizmetlerine harcanan gelirin oranı, ulaşım maliyetleri hariç, elektrik, doğal gaz, propan, yakıt yağı ve ev kullanımı için diğer vektörler için harcamaları içerir. ABD bağlamında, yüksek enerji yükü için kabul edilen eşik %6 olarak belirlenmiştir, çünkü konut maliyetleri gelirin %30'unu ve kamu hizmetleri maliyetleri konut maliyetlerinin %20'sini geçmemelidir (25). Gelirlerinin %10'undan fazlasını enerjiye harcayan haneler, ciddi enerji yükü yaşayan haneler olarak sınıflandırılır (32).

SONUÇLAR

%6'dan fazla enerji yükü yaşayan haneler bu analiz için enerji açısından fakir olarak sınıflandırılır. Şekil 1, 2015 ve 2020'deki tüm nüfus sayımı bölgelerinde tahmini ortalama hane enerji yükünün dağılımını ve 2 yıl boyunca enerji yüklerindeki değişimi göstermektedir.

Güneydoğu Amerika Birleşik Devletleri'nde, kırsal Kuzeydoğu bölgelerinde, güney sınırındaki topluluklarda ve Güneybatı Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bölgelerde enerji yoksulluğunun yoğunlaştığını gözlemliyoruz.



Şekil 1. 2015-2020 yılları arasında ortalama hanehalkı enerji yükünün haritaları ve bitişik ABD'deki her nüfus sayımı bölgesindeki dönem içindeki değişim. (A) geliştirilen makine öğrenimi modelinde 2015 ve 2020 ABD Nüfus Bürosu ACS verilerini kullanarak ortalama enerji yükü tahminleri. Yeşil tonları %0 ile %6 arasındaki enerji yüklerini temsil eder. Sarıdan sarı-turuncuya kadar olan tonlar %6 ile %10 arasındaki enerji yüklerini temsil eder. Kırmızı tonları %10 ile %15 veya daha fazla enerji yüklerini temsil eder. Daha koyu tonlar daha yüksek tahmini ortalama enerji yüklerini gösterir. Gri alanlar uygulanabilir olmayan (n/A) değerlere sahip nüfus sayımı bölgelerini gösterir. (B) 2015 ile 2020 yılları arasında bitişik Amerika Birleşik Devletleri'ndeki her nüfus sayımı bölgesi için ortalama enerji yükünün baz noktalarındaki değişiklikleri temsil eden harita. Mavi, ortalama enerji yükünün dönem içinde azaldığı bölgeleri temsil eder. Kırmızı, ortalama enerji yükünün zaman içinde arttığı bölgeleri temsil eder. Daha koyu tonlar daha büyük değişimi temsil eder. Beyaz alanlar, n/A değerlerine sahip nüfus sayımı bölgelerini gösterir.

(ile tutarlı25). Güney Dakota'nın güneyinde ve Arizona'nın kuzeybatısında küçük bir enerji yoksulluğu konsantrasyonu görüyoruz. 2015'te Maine, Mississippi, Arkansas, Vermont ve Alabama sırasıyla bölge ortalama enerji yüklerinin en yüksek medyan değerlerine sahipti. 2020'de Mississippi, Arkansas, Alabama, Batı Virginia ve Maine en yüksek medyanlara sahipti. Ortalama hane halkının enerji yoksulluğu içinde yaşadığını tahmin ettiğimiz sayım bölgelerinin %23'ü 2015'te kentsel olarak sınıflandırıldı. Bu sayı 2020'de yalnızca %14'e düşüyor.

Enerji yükü tahminlerinin, özellikle Güneydoğu ve Güneybatı'da nispeten yüksek enerji yükü olan bölgeler için 2015 ve 2020 arasında önemli ölçüde arttığını görüyoruz. Kuzeybatı'da enerji yükleri beş baz puana kadar azalıyor. Gözlemlediğimiz enerji yükündeki artış için birkaç olası açıklama var, örneğin bu oranların öngörülen enerji yükü üzerindeki güçlü etkisi göz önüne alındığında, artan konut elektrik oranları (bkz. Şekil S3). RECS verilerinin de kanıtlaştığı gibi, güney Amerika Birleşik Devletleri'nde artan elektrik oranları, artan klima kullanımı ve tutarlı soğutma derecesi günleri (CDD'ler) enerji yükünün kötüleşmesi için doğru koşulları yaratıyor. Ek olarak, COVID-19 salgını, birçok kişiyi işsiz bırakan ABD ekonomisinde bir şok yaratan olası bir etkidir ve düşük gelirli yetişkinlerin %46'sı faturaları ödemede zorluk çektiğini bildirmiştir (33).

Modelimiz, nüfus sayımı alanı başına ortalama enerji yükünü tahmin etmenin yanı sıra, ACS verilerinde sağlanan tüm gelir dilimleri için ağırlıklı ortalama hanehalkı enerji yüklerini de tahmin eder. Bu, enerji yoksulluğunun alanlar arasında dağılımını ve bunun Şekil 2'de gösterilen medyan alan geliriyle nasıl ilişkili olduğunu araştırmamızı sağlar. Düşük gelirli alanların, daha yüksek gelirli alanlara kıyasla enerji yükü seviyelerinde daha büyük bir varyansa sahip olduğu görülmektedir. Bu, 2015 ve 2020'de geçerlidir ve 2020'de tüm alanlar arasında daha geniş enerji yükü aralıkları vardır. Düşük gelirli alanlar için enerji yükünün hem ortalamasının hem de yayılımının, 39.999\$'ın altında gelire sahip alanlar için 2015'e kıyasla 2020'de önemli ölçüde arttığını belirtiyoruz. En yüksek medyan bölge gelirleri (60.000 ila 99.999 dolar ve 100.000 dolar ve üzeri) için enerji yükü aralığının artması, COVID-19'un bu gelir aralıklarındaki hane halkı gelirleri üzerindeki etkisiyle açıklanabilir.

Hem 2015 hem de 2020'de, hanehalkı yıllık medyan gelirinin 60.000 doların üzerinde ve ortalama enerji yükünün %6'dan fazla olduğu bölgeler bulunmaktadır. Yüksek ortalama yük, bölge içindeki gelir seviyelerinin geniş farklılıklarıyla açıklanmaktadır; ortalama gelir 60.000 doların üzerindeyken, bu bölgelerde alt kuyruk uzundur. Dahası, gelirdeki bu uzun sol kuyrukların varlığı 2020'de 2015'e kıyasla daha belirgindir. Örneğin, 2020'de, 44.891 nüfus sayımı bölgesinden 4.094'ünde medyan geliri 60.000 doların üzerindedir ve modelimiz bunlar için ortalama enerji yükünü %6'nın üzerinde üretmektedir. Ancak, geliri 60.000 doların üzerinde olan ve enerji yükü %6'dan fazla olan hane bulunmamaktadır. Bunun yerine, bu alanlarda çok düşük gelirli hanelerin önemli bir payı bulunmaktadır ve bu durum, medyan alan gelir değerine rağmen ortalama enerji yükünü artırmaktadır.

TARTIŞMA

Federal kaynak tahsisinin değerlendirilmesi

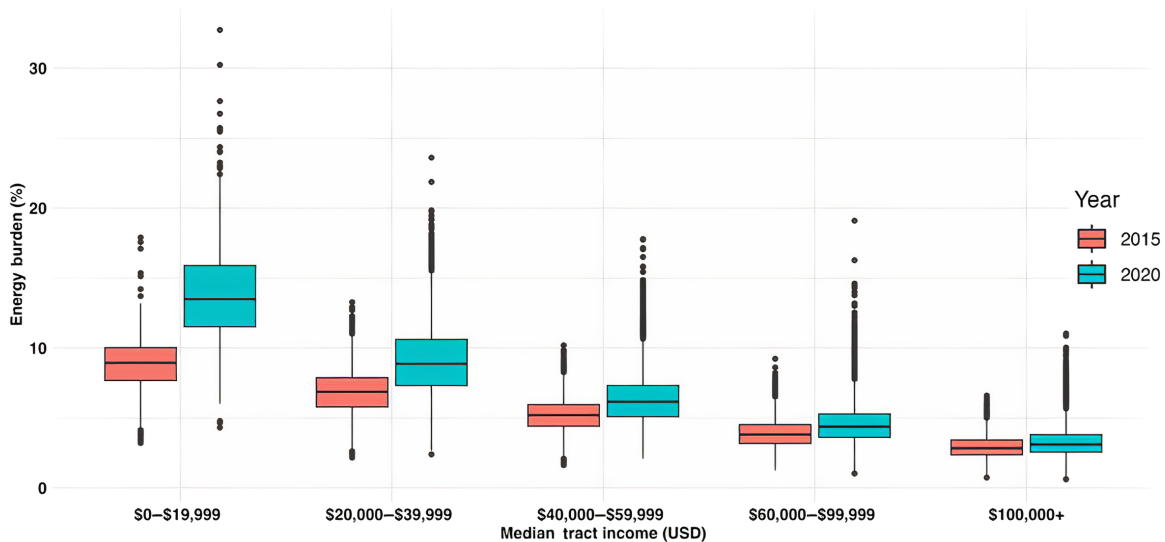
Daha sonra, enerji yoksulluğu yoğunluklarıyla uyuyup uyumadığını doğrulamak için federal kaynakların eyaletler arasında dağılımını inceliyoruz

gözlemlendi. Amerika Birleşik Devletleri'nde enerji yoksulluğunun ele alınması ihtiyacının farkındalığı 1970'lerin başındaki petrol krizi sırasında ortaya çıktı. O zamandan beri, resmi bir tanımı olmamasına rağmen sorunun sözde tanınması olarak görülebilecek tüketicileri desteklemek için çeşitli girişimler oldu (34). Yukarıda belirtildiği gibi, 1981'den beri önde gelen ABD federal programı LIHEAP'tir. Şekil 3, 2015 ve 2020'de eyaletler arasında LIHEAP fonlarının tahsisini göstermektedir.

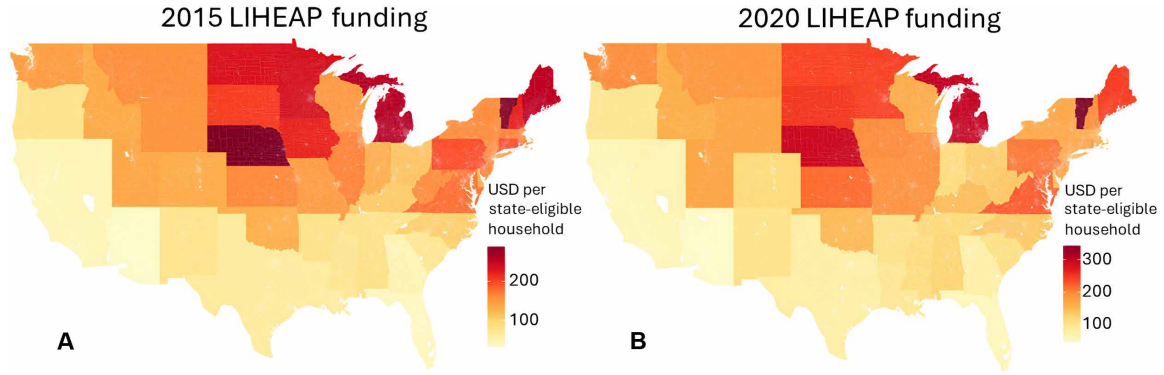
Yüksek enerji yükü alanlarını federal kaynakların tahsisine karşılaştırdığımızda, Güney'de gözlemlediğimiz daha yüksek ve artan enerji yoksulluğu oranlarına rağmen finansmanın Kuzey Amerika Birleşik Devletleri'nde yoğunlaştığını görüyoruz. İklim değişikliği hızlandıkça, bu yanlış tahsisin kötüleşmesini bekliyoruz. Kuzey bölgeleri ortalama olarak daha düşük ısıtma yükleriyle karşı karşıya kalırken, güney bölgeleri artan soğutma yükleriyle karşı karşıya kalacak. Isıtma ve soğutmaya yönelik net talebin, net talebin artması beklenen güneydoğu ve güney sınırı hariç, Amerika Birleşik Devletleri'nin çoğunda azalması bekleniyor (8).

Yanlış tahsis, enerji yardımının tahsisini için kullanılan formüllerin incelenmesiyle açıklanabilir. İki formül vardır: "eski" ve "yeni" formül. Eski formül, 1981'de LIHEAP'ın yürürlüğe girmesine dayalı olarak eyaletlere yapılan dağıtımdan gelir ve Kongre bunu doğrudan LIHEAP'ın selefi olan Düşük Gelirli Enerji Yardım Programı'ndan almıştır. Bu eski formül, konut enerji harcamaları, ısıtma derecesi günleri (HDD'ler) ve hane geliri dahil olmak üzere çeşitli faktörleri kullanır. Soğutma ihtiyaçlarını hesaba katmamıştır. Kongre, LIHEAP'ın 1984'teki yeniden yetkilendirmesi sırasında yeni formülü oluşturmuştur. Yeni formül iki değişiklik yapmıştır. Birincisi, hem HDD'leri hem de CDD'leri kullanır ve bunları simetrik olarak ele alır. İkincisi, formüllerde kullanılan bilgilerin Sağlık ve İnsan Hizmetleri Bakanlığı'nın erişebildiği en güncel veriler olmasını gerektirir.

Yeni formülün kaynak tahsisini daha iyi hedefleme ve ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını aynı şekilde ele alma hedefine rağmen, yeni formülü benimsemek için varılan uzlaşmanın bir parçası olarak federal yasadaki iki "zararsız tutma" hükmü de benimsendi: zararsız tutma



Şekil 2. 2015 ve 2020 yıllarında medyan bölge gelirine göre enerji yükü. 2015 (kırmızı) ve 2020 (mavi) yıllarına ait kutu ve bıyık grafikleri, beş gelir diliminin her birinde (0 ila 19.999 dolar; 20.000 ila 39.999 dolar; 40.000 ila 59.999 dolar; 60.000 ila 99.999 dolar; ve 100.000 dolar veya üzeri) medyan gelire sahip nüfus sayım bölgeleri için tahmini ortalama hanehalkı enerji yükü aralığını göstermektedir. Beş gelir dilimi, hem 2015 hem de 2020'den elde edilebilen verilerle uyumlu olacak şekilde seçilmiştir. $N=2015$ yılı için 71.767 ve $N=2020$ yılı için 82.754. Bu, 2020 verilerindeki sayım bölgesi sayısının artmasının bir sonucudur ve n/A değeri döndüren sayım bölgelerinin kaldırılmasını açıklamaktadır.



Şekil 3. LIHEAP fonlarının federal tahsisleri, 2015 ve 2020.(A) 2015 yılında liheAP'nin federal tahsislerinin haritası. Her eyalet için toplam fon, her eyaletteki eyalet yardımı almaya hak kazanan hane başına düşen ABD doları tutarı olarak gösterilmektedir. (B) 2020 yılında liheAP'nin federal tahsislerinin haritası. (A)'dakiyle aynı birimler kullanılmıştır.

düzeyi ve zarar görmeme oranı. Zarar görmeme düzeyi, LIHEAP tahsislerinin varsayımsal bir 1984 mali yılı (FY) tahsisine eşdeğer 1,975 milyar dolar ile 2,25 milyar dolar arasında olduğu durumlarda uygulanır. Bu senaryoda, eski tahsis oranından daha az bir fon yüzdesi alacak olan herhangi bir eyaletin, en azından varsayımsal 1984 mali yılı tahsisinde alacakları fon miktarını alması garanti edilir. Zarar görmeme oranı, LIHEAP tahsisinin 2,25 milyar doları aştığı yıllar içindir. Bu yıllarda, eski tahsis yüzdelere ve toplam tahsisin %1'inden daha azını alacak olan eyaletler, toplam tahsisin 2,14 milyar dolar olarak hesaplanmış olması durumunda alacakları yüzdeyi almalıdır. Özetle, zararsız tutma seviyesi belirli miktarda fonlamayı garanti eder ve zararsız tutma oranı toplam fonlamanın belirli bir payını garanti eder. Bu zararsız tutma hükümleri eyaletler arasında tahsislerde yapışkanlık yaratır ve ısıtma ve soğutmayı aynı şekilde ele almak olan yeni formülün hedefi ile gerçek tahsisler arasında bir kama sokar.

Açıkça, her eyalete tahsis edilebilecek fonları belirlemek karmaşık bir süreçtir. Bu karmaşıklığa ek olarak, Kongre önceki yıllarda birkaç kez tahsisat mevzuatında kanunu atlatan ve toplam fonları eski ve yeni formül yüzdelere bir karışımını kullanarak tahsis eden bir dil kullanmaya karar verdi (35). Tahsisat yeterince büyük olduğunda tüm fonların yeni formüle göre dağıtılması gerekliliğine rağmen, 2009 ve 2019 yılları arasında Kongre, tüzüğü geçersiz kılmaya ve her yılın toplam fonunun %80'inden fazlasını eski formül aracılığıyla tahsis etmeye devam etti. Bunu yaparken, federal kaynaklar, yakıt fiyatı şokları sırasında soğuk iklim eyaletlerine yardım etme ihtiyacını yansıtan, otuz yıl öncesine göre tutarlı bir şekilde tahsis edilmeye devam ediyor; ancak, koşullar 1984'ten bu yana değişti ve bu değişikliği hesaba katmak için tasarlanan yeni formül, belirlediğimiz enerji yoksulluğu yoğunluklarıyla tutarlı bir şekilde fonları yeniden dağıtmıyor gibi görünüyor. Zararsız korumaları ayarlamak veya fonları, hanelerin daha fazla yardıma ihtiyaç duyduğu eyaletlere fon dağıtmak için yıllık aralıklarla koşullardaki değişiklikleri doğru bir şekilde hesaba katan yeni, dinamik bir formüle göre tahsis etmek acildir.

Optimize edilmiş federal kaynak tahsisi alternatifi

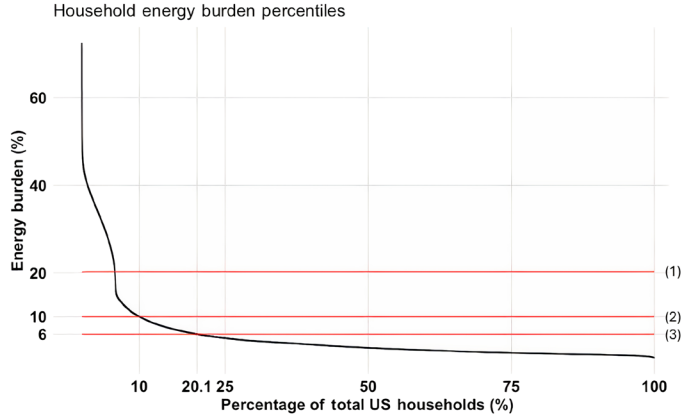
Makine öğrenimimize dayalı olarak eyaletlere federal kaynak tahsislerini ayarlamak için yeni bir tahsis seçeneğini inceleyerek sonuca varıyoruz

Sonuçlar. 2005 Enerji Politikası Yasası'nda, Kongre her eyaletin en yüksek düzeyde yardımın en yüksek enerji maliyetlerine ve en düşük gelire sahip hanelere (örneğin, en yüksek enerji yükleri) verildiğini göstermesini şart koşmuştur (36). Bu gerekliliği takiben, verilen yardım bütçesini alan ve ulusal düzeyde model sonuçlarımızın gösterdiği gibi en yüksek enerji yüküne sahip haneleri hedefleyen bir formül tasarlıyoruz. Bu hanelere fon tahsis ediyoruz ve enerji harcamalarını azaltmaları için yeterli yardımı sağlıyoruz, böylece hanelerin enerji yükü yeni bir izin verilen maksimum enerji yüküne eşit oluyor.

Bu analizde önerilen formülün temeli olarak enerji yükünü kullanırken, enerji yoksulluğunu ölçmek için kullanılan metrikle ilgili gelecekteki araştırmalar için önemli bir yol olduğunu belirtmek önemlidir. Enerji yoksulluğunu ölçerken, son literatürde araştırılan üç ana yöntem vardır: harcamalar, doğrudan ölçüm ve mutabakata varılan anket verileri (10,11,22, 24-26,37-39). Bu farklı metodolojiler, hanelerin enerji yoksulluğunu nasıl deneyimlediğine dair alternatif içgörüler sağlayan enerji maliyetleri, gelir ve enerji kullanım verileri arasındaki önemli ilişkileri yakalar (örneğin, yüküne göre enerji yoksulu olarak tanımlanmayan ancak ideal veya sağlıklı seviyelerden farklı ısıtma ve soğutma sıcaklıklarını koruyan bir hane). Kaynak tahsisi için bir formül tasarlarırken, resmi bir tanım olmadan ilişkili veri kullanılabilirliğinin olmaması ve karmaşıklık, bu alternatif ölçütlerin araştırılması için alan bırakır.

İzin verilen maksimum enerji yükü ülke genelinde eşittir ve yardım programı bütçesinin büyüklüğüne göre belirlenir. Bu yaklaşım, hiçbir hanenin ülke genelindeki herhangi bir hanenin deneyimlediği maksimum enerji yükünün ötesine geçecek bir yardım miktarı almamasını sağlar (Ek Malzemelere bakın). Sonuç olarak, bu yöntem haneler genelinde enerji yükünün zirvelerini "traşlamaya" benzer. Eski, yeni ve optimize edilmiş formül tahsis yöntemlerimizin görsel bir temsili Ek Malzemelerde bulunabilir.

Bunu yaparken ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını aynı şekilde ele alıyoruz. Bu, 2005 Enerji Politikası Yasası'nda ve yeni LIHEAP formülünde belirtilen kongre hedefleriyle tutarlıdır. Bunlar Kongre'nin hedefleri gibi görünse de, ısıtma ihtiyaçlarının soğutma ihtiyaçlarından daha önemli olduğu iddia edilebilir. Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi'nden (CDC) alınan veriler, 2006'dan 2010'a kadar sıcaklıkla ilgili ölümlerin yaklaşık üçte ikisinin soğuktan kaynaklandığını gösteriyor.



Şekil 4. Ülke çapındaki maksimum enerji yükünün farklı seviyelerine ulaşmak için gereken yardım fonu. Bu grafik, ABD genelindeki hanehalkı enerji yüklerinin dağılımını gösteren tamamlayıcı kümülatif dağılım fonksiyonunu gösterir. Şekil, belirli bir değerde veya üzerinde enerji yüküne sahip ABD hanehalklarının yüzdesini gösterir. Örneğin, ABD hanehalklarının %10'unun enerji yükü %10 veya daha fazladır. Üç kırmızı çizgi, farklı federal fon miktarlarının herhangi bir hanehalkının deneyimlediği maksimum enerji yükünü belirli bir değere düşürme yeteneğini gösterir. (1) Bu satır, mevcut liHeAP bütçesinin [4,68 milyar ABD doları (ABDd)] nasıl dağıtılmasının maksimum enerji yükünü (%20,3) düşürebileceğini göstermektedir. Bu senaryoda, ABD hanelerinin %5,7'si yardım alacaktır. (2) Herhangi bir hanenin maruz kaldığı maksimum enerji yükünü %10'a (şiddetli enerji yükü) düşürmek için 9,75 milyar ABD doları tutarında bir bütçeye ihtiyaç duyulacak ve hanelerin %10'una yardım sağlanacaktır. (3) Bu makale kapsamında enerji yoksulluğunun ortadan kaldırılması için (enerji yükünün %6'sından fazla olmaması kaydıyla) 17,9 milyar ABD doları tutarında bir bütçeye ihtiyaç duyulacak ve hanelerin %20,1'ine yardım sağlanacaktır.

ısıya maruz kalmaktan ziyade hava durumu. Literatür, aşırı soğuk ve sıcaklığın ölüm oranı üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır (40–42). Bu yararlı olsa da, ısıtma veya soğutmayı destekleme gibi belirli müdahalelerle ölümün ne ölçüde önlendiğini belirtmiyorlar. Bu konuya aşağıda geri dönüyoruz.

Daha sonra, Şekil 4'te gösterildiği gibi, belirli bir fon setinin bitişik Amerika Birleşik Devletleri genelinde yaşanan maksimum enerji yükünü nasıl azaltacağını belirleyebiliriz. 2020 LIHEAP tahsisleriyle aynı bütçeyi, 4,7 milyar ABD doları (USD) tahsis edersek, tüm haneler için yeni zirve enerji yükünün %20,3 olacağını görüyoruz. Bu senaryoda, hala ciddi bir enerji yüküyle yaşayan %10 hane olacak; ancak, bu hanelerin hiçbirisi %20,3'ten daha büyük bir enerji yükü yaşamıyor. 2020'deki enerji yardımının amacı, hiçbir hanenin enerji yoksulluğu içinde yaşamaması (yük %6'dan fazla) olsaydı, yardım programının 17,9 milyar ABD doları finansmana ihtiyacı olurdu ve bu da 2020 LIHEAP bütçesine kıyasla neredeyse dört kat artış anlamına gelirdi.

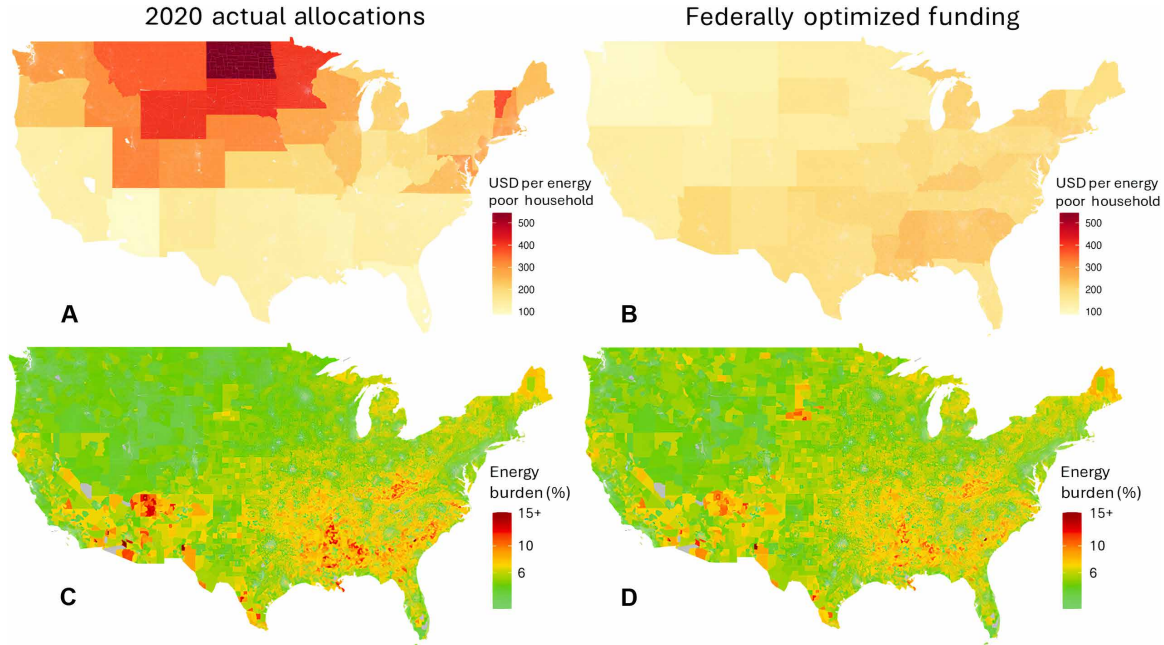
Ulusal zirve enerji yükünü azaltmak için hanelere fon tahsis edildikten sonra, her eyaletin bu tasarım kapsamında alacağı toplam fonu hesaplarız. Ayrıca, enerji yükünün dağılımının ve ciddiyetinin her nüfus sayımı bölgesinde nasıl değişeceğini gösterebiliriz. Şekil 5, fonların nasıl dağıtıldığını ve her bölgedeki ortalama enerji yükündeki farkı, 2020 fon tahsisine göre tasarladığımız yeni formüle göre göstermektedir. Enerji yoksulu hane başına düşen fon miktarının kuzey eyaletlerinden, sonuçlarımızın enerji yoksulluğunun yoğunlaştığı doğu ve güneydoğu Amerika Birleşik Devletleri'ne belirgin şekilde kaydığını görüyoruz. Ayrıca enerjinin daha eşit bir dağılımı da vardır

Federal olarak optimize edilen yardım fonlarının dağıtımı kapsamındaki yükler azalırken, mevcut sistemde kuzeydeki eyaletler enerji yoksulluğunu neredeyse ortadan kaldıracakmışken, güney eyaletleri hâlâ ciddi enerji yüklerinin yaygın olarak yoğunlaştığını görüyor.

Politika yapıcılarının tahsisleri güncellemek için bu analizi kullanabilecekleri iki genel yol vardır. Birincisi, optimizasyon algoritmasıyla birlikte makine öğrenimi yaklaşımımızı doğrudan uygulamaktır. Ancak, bu tür ek analizlerin uygulanması zor olabilir. Bu nedenle, ikinci yol, "yeni formülü" hesaplamak için halihazırda topladıkları verileri kullanmak ancak formül içinde kullanılan ağırlıkları değiştirmektir. Yeni formül tahsislerini hesaplamak için HHS, nüfus, yoksulluk sınırının altındaki nüfusun yüzdesi, HDD'ler, CDD'ler, ortalama ev enerji harcamaları, ısıtma için ortalama ev enerji harcamaları ve soğutma için ortalama ev enerji harcamaları ile ilgili eyalet düzeyindeki verileri kullanabilir ve tahsisleri oluşturmak için ağırlıklar atayabilir. Bu değişkenler, tahsisleri belirlemek için halihazırda toplanan değişkenlere benzerdir. İkinci yöntemin verimliliğindeki azalmayı anlamak için, hem tamamen doğrusal bir model hem de bir log-log modeli kullanarak bu değişkenler kümesi üzerindeki optimum eyalet düzeyindeki tahsisleri regresyona tabi tuttuk [log-log modelinin belirleme katsayısını hesapladığımızı unutmayın (R_2) tahminleri ve temel gerçeği doğrusal biçimlerine geri dönüştürdükten sonra, böylece iki R_2 hesaplamalar karşılaştırılabilir]. R_2 Bu regresyonların değerleri sırasıyla 0,88 ve 0,93'tür; bu da Kongre'nin analizimizde kullanılan yardımcı değişkenlere uygulanan ağırlıkları oluşturarak tam optimize edilmiş algoritmamıza yakın verimlilik seviyelerine ulaşabileceğini göstermektedir.

Bu hesaplamalarla birlikte iki uyarıda bulunuyoruz. İlk olarak, federal olarak optimize edilmiş fon tahsisinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için, hanelere fon yönetimi sisteminin değiştirilmesi gerektiğini belirtmek önemlidir. Mevcut sistem, hanelerin eyalet hükümetlerine veya belirlenmiş yöneticilere başvuruda bulunmalarına ve bir onay bildirimi almalarına dayanmaktadır. Onaylandıktan sonra, bir hane, genellikle ısıtma, soğutma veya kriz yardımı için belirlenen maksimum bir miktarla, yönetici tarafından belirlenen bir yardım tutarı alır. Bunun aksine, tahsis yöntemimiz bütçelenen tutarı alır ve belirlenen en yüksek enerji yükünden daha fazla enerji yükü olan herhangi bir haneye yardım sağlar ve bir hanenin enerji harcamasını, yükünün en yüksek yüke eşit olması için azaltacak kadar yardım sağlar. Bu, bu yeni kritere göre uygun olan herhangi bir hanenin finansmanı alacağı anlamına gelir. Uygunluk kanıtı ve otomatik ödeme yöntemi, Avrupa'da şu anda çalışan birkaç sisteme göre tasarlanmıştır. Örneğin, İspanya'nın elektrik sosyal ikramiyesi ve termal sosyal ikramiyesi veya İtalya'nın sosyal elektrik ikramiyesi ve gaz sosyal ikramiyesi bu stratejiyi kullanır. Fransa'nın enerji kontrolü, haneleri otomatik olarak nitelendirmek ve yardım miktarlarını göndermek için bir önceki yılın vergi beyannamelerindeki bilgileri kullanıyor.

İkinci uyarı, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının sübvansede edilmesinin refah etkilerindeki potansiyel farklılıklar hakkındaki yukarıdaki tartışmayla ilgilidir. İki ihtiyaç arasındaki göreceli refah ağırlıkları konusunda bir duruş sergilemek yerine, şu soruyu soruyoruz: Kuzey ve güney eyaletlerindeki mevcut tahsisin optimum olması için ısıtma ihtiyaçlarının ne kadar daha önemli olması gerekir? Bunun ayrıntılarını Ek Malzemelerde tartışıyoruz, ancak etkili bir şekilde yükü yük = soğutma maliyetleri + β ısıtma maliyetleri + diğer maliyetler olarak tanımlıyoruz ve güney ve kuzey eyaletlerindeki mevcut tahsis optimum hale getirecek β değerini arıyoruz. Bunun 2,6 olması gerektiğini buluyoruz, bu da şunu öneriyor:



Şekil 5. Federal fonların optimum dağılımı ve ortaya çıkan enerji yükleri.(A) 2020 yılında liheAP'nin mevcut federal tahsislerinin haritası (4,7 milyar ABD doları). Birimler, modelimizdeki %6 enerji yükü metriğine göre enerji açısından fakir olarak tanımlanan hane başına dolar cinsindendir. (B) 2020'de liheAP ile aynı bütçe verildiğinde, ABD genelinde enerji yükünü eşit şekilde ele almak için optimize edilmiş federal fon tahsislerinin haritası. Bu senaryoda optimize edilmiş, ABD'deki her eyalete, herhangi bir hanenin deneyimlediği maksimum enerji yükünün ülke genelinde eşit olması için yeterli fon sağlanarak tanımlanır. Birimler (A) ile aynıdır. (C) 2020 liheAP bütçesi mevcut liheAP tahsislerine göre eyaletlere tahsis edilseydi her nüfus sayımı bölgesindeki ortalama enerji yükünün haritası. haneler devletten yardım alır, böylece alınan fonlar göz önüne alındığında hiçbir hane izin verilen maksimum enerji yükünü aşmaz. Kuzey Amerika Birleşik Devletleri'nde enerji yüklerinin neredeyse tamamının %6'nın altında olduğunu ve Güney'de enerji yüklerinin yüksek kaldığını görüyoruz. Amerika Birleşik Devletleri'nde herhangi bir hanenin deneyimleyeceği maksimum enerji yükü %29,2 olurdu. (D) Dolarlar "zirve tıraşlama" şeklinde tahsis edilirse her nüfus sayımı bölgesindeki ortalama enerji yükünün haritası. Bu senaryoda, federal dolarlar her eyalete tahsis edilir, böylece herhangi bir hanenin deneyimlediği maksimum enerji yükü ülke genelinde eşdeğer olur. Bu haritada, herhangi bir hanenin deneyimlediği maksimum enerji yükü %20,3 olur.

Kongre'nin ısıtma maliyetlerini soğutma maliyetlerinden 2,6 kat daha değerli değerlendirmesi gerekecek.

Enerji yoksulluğu, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki haneleri etkileyen karmaşık bir sorundur. İnsan sağlığını, sosyal refahı ve ekonomik başarıyı doğrudan etkiler. Enerji yoksulluğunun nerede olduğunu ve zaman içinde nasıl değiştiğini belirlemeye katkıda bulunmayı amaçlıyoruz. Düşük gelirler, hane ısıtma yakıtları ve hane halkı üyelerinin sayısı enerji yükleri üzerinde en büyük etkiye sahiptir. 2015 ile 2020 arasında, tüm gelir grupları arasındaki enerji yüklerinin hem ortalaması hem de varyansı arttı. Analizimiz, ortalama hane halkı enerji yüklerinin, zaten nispeten yüksek yüklerle sahip bölgelerde 2015'ten 2020'ye arttığını buldu. Ancak aynı zaman aralığında, LIHEAP aracılığıyla federal kaynakların tahsislerinin Kuzey ve Kuzeydoğu'daki soğuk hava eyaletlerine yönelik önyargılı olmaya devam ettiğini gözlemliyoruz. Bu, her eyalete verilen yardım miktarını belirlerken kullanılan eski formüllerin bir sonucudur. Tüm hanelerin deneyimlediği en yüksek enerji yükünü eşit bir şekilde azaltacak yeni bir yardım tahsis formülü belirledikten sonra, fon tahsislerinin belirgin şekilde güney eyaletlerine kaydığını ve kuzey eyaletlerinden uzaklaştığını görüyoruz. İklim ve enerji piyasaları gelişmeye devam ederken, enerji yoksulluğunun ileride ele alınması için ABD'de enerji yüklerinin en yüksek olduğu yerlere daha iyi uyacak şekilde yardım fonu tahsisini güncellemek önemlidir. Enerji yoksulluğu endişelerinin düşük karbonlu bir ekonomiye geçişi riske atması ve enerji yoksulluğuna yardım için bütçeleri artırmadaki politik atalet nedeniyle, politika yapıcılar tahsis gözden geçirmeye çağırıyoruz

Ülke genelinde ihtiyaç duyulan yardımların dağıtımını daha iyi karşılayacak fonlar.

MALZEMELER VE YÖNTEMLER

Makine öğrenimini kullanarak çeşitli demografik ve fiziksel özelliklerin ABD genelindeki hanehalkı enerji yükleriyle nasıl ilişkili olduğunu belirliyoruz. Enerji yükü tahminleri, enerji yoksulluğunun nüfus sayımı düzeyinde nerede yoğunlaşabileceğini belirlememize olanak tanır. Analizimiz, ABD Enerji Bakanlığı'nın NREL tarafından enerji harcamalarını ve yüklerini çeşitli şekillerde tahmin etmek için geliştirilen LEAD aracını genişletiyor ve geliştiriyor (29). LEAD aracı, yerel ve eyalet hükümetlerinin enerji yoksulluğuyla ilgili kararlarına yardımcı olmak için tasarlanmıştır; ancak, zaman açısından durağandır ve yalnızca yılın 1 ayı için verilen ve kamuoyuna bildirilmeyen kendi kendine bildirilen enerji harcamalarını kullanır. 1 aya güvenmek, yıllık değerlerin tahmininin aylar boyunca enerji maliyetlerindeki mevsimsel değişimi hesaba katmasının garanti edilmediği anlamına gelir. Anket tarafından yapılan örnekleme, yılın tüm aylarını yeterince kapsamalıdır ve bu, kamuoyuna açık verilerden doğrulanamaz. Ayrıca, hangi ayın kullanıldığı katılımcılara göre değişir. LEAD'den farklı olarak, yıllık enerji yükünü tahmin etmek için EIA'nın RECS'inden, aşağıdaki alt bölümde ayrıntılı olarak açıklanan hane düzeyindeki sosyodemografik ve coğrafi verileri kullanırız. Bu anket her 5 yılda bir tamamlanır ve bu da zaman içinde enerji yükündeki değişiklikleri izlememizi sağlar.

Sayım bölgesi düzeyinde projeksiyonlarımızı geliştirmek için, ABD Sayım Bürosu'nun ACS'sinden sayım bölgesi düzeyindeki bilgilere uygulanacak RECS verilerinden önemli değişkenleri seçmek için uyarlanabilir bir LASSO tekniği kullanıyoruz. Bu metodolojiyi, şekil S1 ile gösterilen altı adımda kullanıyoruz. Aşağıda, önce veri kaynaklarını tanıtıyoruz. Ardından, makine öğrenimi yaklaşımını açıklıyoruz.

Malzemeler

EIA'dan gelen RECS üzerinde makine öğrenimi analizi gerçekleştiriyoruz (13). RECS, demografik bilgi, fiziksel hanehalkı özellikleri ve enerji kullanım kalıplarını toplamak için ulusal olarak temsili bir hanehalkı örneği bildirir. Bu veriler, ısıtma, soğutma ve cihazlar dahil olmak üzere farklı son kullanımlar için enerji hizmetleri kullanımı ve maliyetleri tahminleri üretmek üzere enerji tedarikçilerinden gelen bilgilerle birleştirilir. Anketlerden, enerji hizmetlerinin toplam maliyetini tahmin etmek için modele girdi değişkenleri olarak 17 değişken seçiyoruz: nüfus sayımı bölümü, kentsel/kırsal sınıflandırma, Uluslararası Enerji Koruma Kodu (IECC), CDD'ler, HDD'ler, hanehalkı ırkı, köken, ulaşılan en yüksek eğitim seviyesi, yaş, hanehalkı üyesi sayısı, mülkiyet durumu, yıllık gelir, hanehalkı tipi, inşa yılı, kullanılan ısıtma yakıtı, oda sayısı ve yatak odası sayısı. Ayrıca, ABD EIA'nın Eyalet Enerji Veri Sistemi'nden (43). 2015 yılı modeli ayrıca, katılımcıların eve taşındıkları yıl ile belirtilen, evde kalma süreleri için bir değişken de içermektedir.

2015 anketi, o dönemde yaklaşık 120 milyon haneyi temsil eden 5686 haneyi içeriyordu. 2020'de yapılan ve 2023'te yayınlanan en son anket, ülke genelinde yaklaşık 123 milyon haneyi temsil etmek üzere seçilen 18.496 hane ile neredeyse üç kat daha fazla anket katılımcısına sahipti. Tahmin için hedef değişkenimiz hanehalkı enerji yüküdür. Enerji yükünü tanımlamanın birkaç yolu vardır. Ana analiz için yükü, hanehalkı yıllık gelirinin hanehalkı elektriği, doğal gaz, propan ve yakıt yağı kullanımına (ulaşım hariç) harcanan yüzdesi olarak tanımlıyoruz.

Hem 2015 hem de 2020 RECS verilerinde, ilk analizimiz her kümede birkaç aykırı değer belirledi. Özellikle, katılımcıların kilowatt-saat cinsinden bildirdiği toplam hanehalkı elektrik tüketimine ilişkin bazı değerler anormal derecede yüksek tüketim seviyelerini yansıtıyordu. Bir hanehalkı için bildirilen maksimum yıllık elektrik tüketimi 2015'te 63.216 kilowatt-saat (kWh) ve 2020'de 184.101 kWh idi. Referans olması açısından, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ortalama hanehalkı 2021'de 10.632 kWh tüketti (44). Bildirilen elektrik tüketimi 2015'te 33.309 kWh ve 2020'de 33.544 kWh olan 99. yüzdalık dilimin üzerindeyse her yıl veri kümesinden aykırı değerleri kaldırıyoruz. Evlerine güneş panelleri kurduklarını bildiren haneler de veri kümesinden kaldırılıyor çünkü toplam bildirilen elektrik tüketimlerine yerinde üretim dahil ediliyor. Sonuç olarak, şebekeden ne kadar enerji çekildiğini ve yerinde ne kadar enerji üretildiğini belirlemenin bir yolu yok. Tüketicilerin yalnızca %1,39'u ve %3,51'i sırasıyla 2015 ve 2020'de güneş enerjisi kurulumu bildirdi. Ayrıca, yanıtların çarpıklığını hesaba katmak için bağımlı değişken olan enerji yükünün logaritmik dönüşümünü gerçekleştiriyoruz.

Ülke genelindeki her sayım bölgesindeki haneler için ilgili değişkenlere ilişkin bilgileri ACS'den elde ediyoruz (45). Nüfus sayımı bölgeleri, ortalama olarak yaklaşık 4000 sakini barındıran, Amerika Birleşik Devletleri'nin küçük, istatistiksel alt bölümleridir. 2015 ve 2020 için ACS'nin 5 yıllık tahminlerini dikkate alıyoruz; bu tahminlerin, artan

Daha düşük nüfuslu ve küçük nüfus alt gruplarına sahip nüfus sayımı bölgeleri için güvenilirlik. Tüm demografik ve hanehalkı karakteristik değişkenlerine ilişkin veriler, anonimliği korumak amacıyla nüfus sayımı bölgeleri için toplu düzeyde sağlanır. Her değişken için, değişkenin her alt kategorisinde bulunan hane sayısını biliyoruz. Örneğin, herhangi bir nüfus sayımı bölgesinde, beyaz, siyah, Amerikan yerlisi veya Alaska yerlisi, Asyalı, yerli Hawaiiili veya diğer Pasifik Adalısı, karışık ırk veya diğer olarak tanımlanan hane sayısını biliyoruz. Aynı nüfus sayımı bölgesi için, tek üniteli müstakil hane, tek üniteli bitişik hane, iki ila dört daireli bina, beş veya daha fazla daireli bina veya diğer (örneğin, mobil ev, eğlence aracı (RV) ve tekne) bir hanede yaşayan hane sayısını da biliyoruz. Kritik olarak, bu dağılımlar arasındaki ilişki hakkında bilgimiz yok, örneğin, siyah olarak tanımlanan hanelerden, her farklı hanehalkı tipinde kaç tanesinin yaşadığını bilmiyoruz.

Yöntemler

Aşağıda açıklanan ortalama hanehalkı enerji yükünü tahmin etmek için ACS verilerini kullanırken, hem RECS hem de ACS verilerinde sağlanan 13 gelir diliminin her biri için tahminler elde etmeyi amaçlıyoruz. ACS'den hanehalkı düzeyinde verilere erişmeden bunu başarmak için, gelir dilimine göre dağılımı verilmeyen girdi değişkenleri içindeki hanehalkı dağılımını tahmin ediyoruz. Bu değişkenler konut tipi, inşa yılı, oda sayısı, yatak odası sayısı, katılımcı yaşı, hanehalkı üyesi sayısı, ırk, köken, ulaşılan en yüksek eğitim seviyesi, yaş ve kullanılan ısıtma yakıtıdır. Bu tahminleri elde etmek için, önce RECS verilerini kullanarak tüm Amerika Birleşik Devletleri'nde her değişken için gelire göre hanehalkının gerçek dağılımını elde ediyoruz. RECS verilerini bildirilen hanehalkı gelirine göre sıralıyoruz ve ardından her değişken alt kategorisindeki hanehalkı sayısını topluyoruz. Bu, her değişken alt kategorisi için her gelir dilimindeki hanehalkı oranını hesaplamamızı sağlar. Tablo S1, bu değerleri 2015 RECS verileri için bildiriyor ve Tablo S2, bu değerleri 2020 RECS için bildiriyor.

Bu veriler daha sonra belirli bir sayım bölgesi için her gelir dilimindeki hanelerin dağılımını simüle etmek için kullanılır. Aşağıdaki örnek, 2020 yılında Alabama, Butler County'deki 9352 sayım bölgesi için hane türlerinin gelire göre dağılımını belirleme sürecini ele alır. Her gelir dilimindeki hane sayısını ve ayrıca her türdeki hane sayısını (bir üniteli müstakil hane, bir üniteli bitişik hane, iki ila dört daireli bina, beş veya daha fazla daireli bina veya diğer) biliyoruz. Gelire göre hane türlerinin ulusal dağılımını kullanarak, S3 tablosunda sunulan matrisi dolduruyoruz.

İlk adım, her gelir dilimindeki haneleri ulusal dağılıma göre her alt kategoriye dağıtmaktır. Örneğin, değerini elde etmek için $X_{1,A}$, Alabama, Butler County'deki 9352 nüfus sayımı bölgesindeki 10.000 ila 14.999 dolar arasında gelir bildiren 56 hanenin değeri, aynı geliri bildiren ve bu durumda %3,8 olan, RECS verilerinden elde edilen tek üniteli bağlı tipte yaşayan hanelerin ulusal oranıyla çarpılır

$$X_{1,A}=56*3,8\% = 2 \text{ hane}$$

Bu, gelir dilimine göre tahmini dağılımları sayım bölgesi ile elde etmek için her gelir dilimi için tekrarlanır. Bu adımın sonuçları tablo S4'te gösterilmiştir.

Bir sayım bölgesinde her türden kaç hanenin bulunduğuna ilişkin deneysel ACS verilerini korumak için, her türdeki hanelerin tahmini dağılımı, her sütundaki hanelerin toplamının o türdeki mevcut hanelerin toplam sayısına eşit olacak şekilde ölçeklendirilir. Örneğin, her gelir diliminde bir birim bağlı olan tahmini haneler arasında, her değer o bölgede bir birim bağlı evde yaşayan hanelerin toplam sayısıyla çarpılır ve her gelir dilimi için o türe tahsis edilen hanelerin toplamına bölünür

$$X_{1,A} = X_{1,A} * \frac{\text{Bölgedeki toplam bir üniteli bağlı haneler}}{\sum_{ben=1}^3 X_{ben, bir}}$$

Bu adımın sonuçları Tablo S5'te sunulmaktadır.

Bu yaklaşım, bir alt kategoride bulunan hane sayısı için tam sayı olmayan değerler üretirken, her gelir dilimi için her alt kategorideki hanelerin oranını hesaplamamıza olanak tanır. Her alt kategorinin, RECS verilerinin sıfır veya bir değer sağladığı bir kukla değişken olarak regresyon modelinde kullanıldığı göz önüne alındığında, her değişken arasında bağımsızlık olduğunu varsayıyoruz ve her alt kategori için ACS verilerindeki hanelerin oranını kullanarak, bölgedeki her gelir dilimindeki bir hane için ortalama enerji yükünü tahmin ediyoruz. Örneğin, 10.000 ila 14.999 dolar gelir dilimindeki haneler arasında, beş alt kategorinin her birindeki değer, gelir dilimindeki hanelerin toplamına bölünür

$$X_{1,A} = \frac{\sum X_{1,A}}{\sum X_{1,A} + X_{1,B} + \dots + X_{1,ve}}$$

Bu adımın sonuçları Tablo S6'da sunulmaktadır.

Son olarak, belirli bir sayım bölgesinin IECC'si için, her ilçe için iklim kodunu elde etmek amacıyla Pasifik Kuzeybatı Ulusal Laboratuvarı'ndan alınan rehberlik kullanılır ve daha sonra her ilçe içindeki tüm sayım bölgelerine uygulanır (46). Ayrıca, 2015 ve 2020 yılları için ilçe düzeyindeki Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi veritabanından alınan CDD ve HDD verilerini ilçelerdeki nüfus sayım bölgelerine de dahil ediyoruz (47). ABD EIA'nın Eyalet Enerji Veri Sistemi'nden elektrik, doğal gaz, propan ve yakıt yağı fiyatlarına ilişkin tahminler elde ediyoruz (43).

Her bir nüfus sayımı alanındaki toplam hanehalkı enerji hizmeti maliyetlerini tahmin etmek için, düzenlenmiş regresyonun çeşitli varyasyonlarını test ediyoruz: sırt, LASSO, elastik ağ ve uyarlanabilir LASSO. L2 düzenlemesi olarak da bilinen sırt regresyonu, büyük katsayıları caydıran ve çoklu doğrusallık sorunlarını azaltmaya yardımcı olan doğrusal regresyon maliyet fonksiyonuna bir ceza terimi ekler. Öte yandan LASSO regresyonu, katsayı tahminlerinde seyrekliği teşvik eden ve en önemli özelliklerin bir alt kümesini etkili bir şekilde seçen L1 düzenlemesini uygular. Elastik ağ regresyonu, özellik seçimi ve çoklu doğrusallık kontrolü arasında bir denge kurarak hem L1 hem de L2 cezalarını birleştirir. Son olarak, uyarlanabilir LASSO, her bir özelliğe farklı ağırlık vererek LASSO'yu geliştirir ve belirli veri kümesi için en alakalı öngörücüleri otomatik olarak seçmesine olanak tanır ve böylece model yorumlanabilirliğini ve performansını iyileştirir. Bu düzenlenmiş regresyon teknikleri, nüfus sayımı bölgesi düzeyinde hanehalkı enerji hizmeti maliyetlerini tahmin etmede modelimizin doğruluğunu ve genelleştirilebilirliğini artırmak için kullanılır.

RECS tarafından sağlanan veriler her regresyon modeli için eğitim ve test verileri olarak kullanılır. Verilerden sürekli ve ayrı kategori değişkenlerinin bir kombinasyonu vardır. Yakalamak için

Ev ısıtma yakıtı değişkenleri ile bu yakıtların fiyatı arasındaki potansiyel sinerjik etkiler, her bir ev ısıtma yakıtı değişkeninin her bir yakıt fiyatı değişkeniyle çarpılmasıyla doğrusal etkileşim değişkenleri oluşturulur. Sonuç olarak, her 2015 modelinde toplam 92 girdi değişkeni ve her 2020 modelinde toplam 97 girdi değişkeni vardır. Değişken sayısındaki fark, 2015 modelinin görev süresi ve 2015'ten 2020'ye kadar gelir dilimlerinin ayrı kategorilerindeki artışın bir kombinasyonudur. 2015'te beş gelir dilimi vardır (20.000\$'ın altında; 20.000\$ ila 39.999\$; 40.000\$ ila 59.999\$; 60.000\$ ila 99.999\$; ve 100.000\$ ve üzeri). 2020 yılında 13 gelir dilimi bulunmaktadır (10.000 doların altında; 10.000 ila 14.999 dolar; 15.000 ila 19.999 dolar; 20.000 ila 24.999 dolar; 25.000 ila 29.999 dolar; 30.000 ila 34.999 dolar; 35.000 ila 39.999 dolar; 40.000 ila 49.999 dolar; 50.000 ila 59.999 dolar; 60.000 ila 74.999 dolar; 75.000 ila 99.999 dolar; 100.000 ila 149.000 dolar; ve 150.000 dolar ve üzeri).

Tablo S7, ortalama karesel hata (MSE) dahil olmak üzere her model için temel metrikleri özetlemektedir. Örneklem dışı ve tutulan katsayı sayısı. Bu metrikler, her modelin tahmin doğruluğu, uyum iyiliği ve karmaşıklığı hakkında değerli içgörüler sağlar. MSE, modelin tahmin hassasiyetinin bir göstergesi olarak hizmet eder ve daha düşük değerler daha iyi performansı gösterir. Örnek dışı, her modelin açıkladığı hedef değişkendeki varyansın oranını nicelleştirir ve açıklayıcı güçlerine dair içgörüler sunar. Ek olarak, tutulan katsayı sayısı, daha küçük bir katsayı kümesinin daha yorumlanabilir bir model önermesi nedeniyle modelin basitliği hakkında bir anlayış sunar. Tablo S7'deki sonuçlar, düzenli regresyon modellerini karşılaştırmamıza olanak tanır ve nüfus sayımı alanlarında hanehalkı enerji yükünü tahmin etmek için en etkili modelin seçilmesine yardımcı olur.

Bu analiz için makine öğrenme tekniği olarak Uyarlanabilir LASSO, ilgili tahmin değişkenlerini keşfetme ve çok benzer MSE ve R² değerler (48). Bu işleme "uyarlanabilir" LASSO adı verilmiştir çünkü farklı katsayıları cezalandırmak için uyarlanabilir ağırlıklar kullanılır. *ben* vektör. Yöntem, en aza indirmeyi amaçlar

$$\sum_{ben=1}^N \left(\sum_j X_{ben,j} \beta_j \right)^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\hat{w}_j| |\beta_j|$$

Neresi *ve* *ben* tahmini toplam enerji hizmet maliyetleri, *X_{ben,j}* her RECS girişi değişkeni için değerlerdir ve *β_j* uyarlanabilir ağırlıklardır

vektörler şu şekilde tanımlanıyor: $\beta_j = \frac{1}{|\beta_j|}$. Değerler için $\hat{w}_j^{ben}$ yoluyla elde edilir

Ridge regresyonu, tekniğin daha düşük başlangıç tahminlerine sahip katsayıları daha fazla cezalandırmasına neden olur. Bu işlem, glmnet paketi kullanılarak R'de gerçekleştirilir (49).

10 katlı çapraz doğrulama yöntemi ile λ 'nın birkaç değerini test ediyoruz. Seçilen λ değeri, hatanın minimum çapraz doğrulanmış hatanın bir SD'si içinde olmasını sağlayacak şekildedir ve bu da model genellemesini iyileştirmek için en düzenli modeli üretir (50). Şekil S2, çapraz doğrulama eğrilerini, hem 2015 hem de 2020 modelleri için farklı λ değerlerinin bir fonksiyonu olarak katsayıların görselleştirmeleriyle birlikte gösterir. Soldan sağa, dikey kesik çizgiler minimum SE için log- λ değerleri ve en düzenli model için λ değerleridir.

Model oluşturulduktan ve test edildikten sonra, her değişken için elde edilen katsayıları ve dönüştürülmüş ACS verilerini kullanarak her gelir dilimindeki ortalama enerji yükünün tahminlerini elde ediyoruz.

Şekil S3, her modelde seçilen katsayıların tam setini ve değerlerindeki her bir birimlik değişim için enerji yükündeki yüzdelik değişimi göstermektedir.

Enerji yükünün logaritmik dönüşümünü hesaba katmak için, modelin çıktısını, ek bir terim de dahil olmak üzere üssel olarak alıyoruz.

uygulanan regresyonun kalan MSE'si, $\frac{1}{2}$ Aşağıdaki denklemde (57)

$$\text{uyarılmış enerji yükü} = \frac{1}{2} \left(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_N X_N + \frac{\sigma^2}{2} \right)$$

Neresi önceki denklemden tahmin edilen katsayılarıdır Ve X_N ACS veri setini kullanan her değişken için değerlerdir.

Son olarak, her sayım bölgesindeki tahmini hanehalkı enerji yükünün ağırlıklı ortalamasını kullanarak her sayım bölgesi için ortalama hanehalkı enerji yükünü hesaplıyoruz. Ağırlıklar, doğrudan ACS verilerinden alınan her gelir dilimindeki hanehalkı sayısına eşittir. Her sayım bölgesindeki ortalama hanehalkı enerji yükü için bir tahminimiz olduğunda, bitişik Amerika Birleşik Devletleri'ni ACS verilerinin sağladığı geometrileri kullanarak haritalıyoruz.

Analizimiz, enerji yüklerini hafifletmeyi amaçlayan yardım fonlarının optimum tahsisini belirlemek için dinamik bir yaklaşımla sonuçlanıyor. Bu analizde, optimumluk, yardım fonlarının bitişik Amerika Birleşik Devletleri'ndeki tüm hanelere göre en yüksek enerji yüküne sahip hanelere ulaşma yeteneği ile belirlenir. Bu yaklaşım, en ciddi enerji yüklerini kabul edilebilir bir düzeye düşürmek için gereken toplam finansmanı değerlendirmeye odaklanır. Bunu başarmak için, izin verilen maksimum enerji yükü için ulusal bir kıyaslama noktası belirledik (örneğin, %20) ve haneler arasında enerji yükünün zirvelerini tıraşlamaya benzer şekilde, hiçbir hanenin bu eşiği aşmamasını sağlamak için gereken toplam finansmanı hesapladık. Bu yöntem, en yüksek enerji yüklerini etkili bir şekilde azaltarak enerji maliyetlerinden en büyük mali sıkıntıyı çeken hanelerin hedefli yardım almasını sağlar. Örneğin, üst sınır %20 olarak belirlenirse, bu rakamın üzerinde enerji yükü olan herhangi bir hane, yükünü belirlenen sınıra indirmek için yeterli yardımı alır. Şekil S5, eski, yeni ve optimize edilmiş formül tahsis yöntemlerimizin görsel bir temsilini sağlar.

Bireysel hanehalkı enerji yüklerini belirlerken, analizimiz bir sayım bölgesindeki aynı gelir dilimindeki tüm hanelerin eşit bir enerji yüküne sahip olduğunu varsayar. Bu varsayım, bireysel evlerdeki güvenli sayım verilerine erişmeden en yüksek tahmin ayrıntısına ulaşmak için bu "Yöntemler" bölümünde açıklanan sayım bölgelerindeki hanelerin simüle edilmiş dağılımını kullanır.

Bireysel bir hanenin alacağı yardım miktarını, toplam enerji hizmeti maliyetini tahmin ederek ve enerji yükünü kabul edilen eşiğe düşürecek şekilde azaltarak belirliyoruz. Enerji hizmetlerinin toplam maliyeti, bir hanenin model çıktısından tahmini enerji yükünün bildirilen geliriyle çarpılmasıyla belirlenir. Şekil S4, haneler arasında maksimum enerji yükünü %50 ile %6 arasında azaltmak için gereken toplam program fonlarını göstermektedir.

Ülke genelinde enerji yükünü azaltmak için fonların optimum tahsisini hesaplarırken, ısıtma ve soğutmanın optimum göreceli ağırlıkları konusunda bir tavır almamayı seçtik. Bu, Sağlık ve İnsan Hizmetleri Bakanlığı tarafından tahsis yüzdeleri belirlenmede kullanılan mevcut formülle tutarlıdır. Ancak, mevcut koşullar altında Kuzey ve Güney'e benzer tahsisler elde etmek için göreceli ağırlığın ne olması gerektiğini hesaplıyoruz.

taahsisler, Şekil S6'da tanımlandığı gibi. Kuzey ve Güney arasındaki ayrımın, eski formüle göre daha büyük bir yüzde payı alacak olan eyaletler (Kuzey) ve yeni formüle göre daha büyük bir yüzde payı alacak olan eyaletler (Güney) tarafından kararlaştırıldığına dikkat edin (35). Öncelikle RECS verilerini kullanarak her eyalet için ısıtma harcamaları, soğutma harcamaları ve diğer tüm enerji harcamalarının sonucu olarak medyan yükü buluyoruz. Daha sonra yükün ısıtma, soğutma ve her eyalet için diğer tüm enerjiyle ilgili harcamalara atfedilebilen oranını hesaplıyoruz. Her hanenin yükü için, eyalet düzeyindeki oranlarını kullanarak ısıtma, soğutma ve diğer harcamaların ne kadarının bir sonucu olduğunu belirliyoruz. Daha sonra bir hanenin enerji yükü

$$\text{evsel enerji yükü} = \text{soğutma yükü} + \beta \cdot \text{ısıtma yükü} + \text{diğer yük}$$

β değerini, Kuzey ve Güney'e yapılan tahsisler 2020'deki tahsislere neredeyse eşit olana kadar ısıtma yükünü diğer yüklerden daha fazla ağırlıklandırmak için ayarlıyoruz. β 'nin 2,6'ya eşit olması gerektiğini buluyoruz, bu da ısıtma yükünün mevcut tahsis yapısının optimum olarak haklı çıkarılması için soğutma maliyetlerinden 2,6 kat daha değerli olması gerektiği anlamına geliyor. Tablo S8, farklı nedenlerle Kuzey ve Güney'e yapılan farklı finansman miktarlarını göstermektedir. β değerleri.

Ek Malzemeler

Bu PDF dosyası şunları içerir:

Şekiller S1 ile S6

S1 ile S8 tabloları

KAYNAKLAR VE NOTLAR

1. R. Beall, c. hronis, "2020 yılında ABD hanelerinin %27'si enerji ihtiyaçlarını karşılamada zorluk çekti" (ABD Enerji Bilgi İdaresi, 2022); www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=51979.
2. P. denholm, P. Brown, W. cole, t. Mai, B. Sergi, M. Brown, P. Jadun, J. ho, J. Mayernik, c. McMillan, R. Sreenath, "2035 yılına kadar %100 temiz elektriğe ulaşmak için arz yönlü seçeneklerin incelenmesi" (nRel/TP-6A40-81644, 1885591, Mainid:82417, ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarı, 2022); <https://doi.org/10.2172/1885591>.
3. A. datta, "İklim değişikliği ve Amerikan yoksullarının enerji kırılganlığı" (Univ. of houston, 2023); <https://nlga.us/wp-content/uploads/uh-energy-white-paper-energyburden-june-6-edit.pdf>.
4. e. Johnson, R. Beppier, c. Blackburn, B. Staver, M. Brown, d. Matisoff, Tepe noktası kaydırma ve sınıflar arası sübvansiyon: Güneş Pv'nin elektrik maliyetlerindeki değişikliklere etkileri. *Enerji Politikası* **106**, 436–444 (2017).
5. c. G. Moneyi, BK Sovacool, MA Brown, K. eh Jenkins, S. viriri, Y. li, Adalet, yoksulluk ve elektriğin karbonu arındırılması. *Elektrik* **32**, 47–51 (2019).
6. t. Blanchet, l. chancel, A. Gethin, Avrupa neden Amerika Birleşik Devletleri'nden daha eşittir? hAl açık bilim (2020); <https://shs.hal.science/halshs-03022133/document>.
7. S. Carley, D. M. Konisky, Temiz enerji geçişinin adalet ve eşitlik etkileri. *Nat. Enerji* **5**, 569–577 (2020).
8. Y. Amonkar, J. doss-Gollin, d. J. Farnham, v. Modi, U. lall, ABD'nin bitişik bölgelerinde ortalama ve en yüksek ısıtma ve soğutma talebi üzerindeki iklim değişikliğinin farklı etkileri. *Topluluk. Dünya Çevre* **4**, 402 (2023).
9. R. Barrera, J. i. linare, J. c. Romero, e. Arenas, e. centeno, nakit para enerji yoksulluğunu çözer mi? İspanya'da hane halkı ısıtma ödeneklerinin etkisinin değerlendirilmesi. *Enerji Ar. Sos. Bil.* **80**, 102216 (2021).
10. h. thomson, S. Bouzarovski, c. Snell, Avrupa'da enerji yoksulluğunun ölçümünün yeniden düşünülmesi: Göstergelerin ve verilerin eleştirel analizi. *Kapalı Alan Yapılı Çevre* **26**, 879–901 (2017).
11. d. charlier, B. legendre, Sanayilemiş ülkelerde yakıt yoksulluğu: tanım, önlemler ve politika çıkarımları üzerine bir inceleme. *Enerji* **236**, 121557 (2021).
12. Avrupa Parlamentosu, *Enerji Yoksulluğu: El Kitabı* (Avrupa Birliği Yayın Ofisi, 2016); <https://data.europa.eu/doi/10.2861/94270>.
13. ABD Enerji Bilgi İdaresi (eia), Konut Enerji Tüketimi Anketi (RecS) - Enerji Bilgi İdaresi; www.eia.gov/consumption/residential/.
14. d. J. Bednar, t. G. Reames, GA Keoleian, enerji ve adaletin keşifi: Detroit, Michigan'daki kentsel konut ısıtma tüketimi ve verimliliğinin mekansal, ırksal/etnik ve sosyoekonomik modellerinin modellenmesi. *Enerji İnşası* **143**, 25–34 (2017).

15. I. Ross, A. drehobl, B. Stickles, "Kırsal Amerika'da enerjinin yüksek maliyeti: hanehalkı enerji yükleri ve enerji verimliliği fırsatları" | (Aceee, 2018); www.aceee.org/research-report/u1806.
16. J. lin, Uygunluk ve erişim odakta: Göreceli enerji kırılganlığının ölçütleri ve araçları. *Elektrik J.* **31**, 23–32 (2018).
17. i. Mayer, e. nimal, P. nogue, M. Sevenet, enerji yoksulluğunun iki yüzü: Şehir düzeyinde konut ve mobilite sektörlerinde hanelerin enerji yüküne ilişkin bir vaka çalışması. *Transp. Res. Procedia* **4**, 228–240 (2014).
18. K. Ummel, M. Poblete-cazenave, K. Akkiraju, n. Graetz, h. Ashman, c. Kingdon, S. herrera tenorio, AS Singhal, d. A. cohen, ve Rao, Birleşik hanehalkı anketleri kullanılarak ince bir mekansal ölçekte ABD hanelerinin çok boyutlu refahı. *Bilim. Veri* **11**, 142 (2024).
19. P. Mulder, F. dalla longa, K. Straver, Hollanda'da ulusal ve yerel düzeyde enerji yoksulluğu: Çok boyutlu bir mekansal analiz. *Enerji Ar. Sos. Bil.* **96**, 102892 (2023).
20. K. Rademaekers, J. Yearwood, A. Ferreira, S. Pye, i. Hamilton, P. Agnolucci, d. Kivircik, J. Karásek, n. Anisimova, "Enerji yoksulluğunu ölçmek için göstergelerin seçilmesi" (tech. Rep. eneR/B3/507-2015, trinomics, 2016).
21. M. Riva, S. Kingunza Makasi, P. Dufresne, K. O'Sullivan, M. Toth, Kanada'da enerji yoksulluğu: Yaygınlık, sosyal ve mekansal dağılım ve araştırma ve politika için çıkarımlar. *Enerji Ar. Sos. Bil.* **81**, 102237 (2021).
22. S. Meyer, h. laurence, d. Bart, I. Middlemiss, K. Maréchal, enerji yoksulluğunun çok yönlü doğasını yakalamak: Belçika'dan dersler. *Enerji Ar. Sos. Bil.* **40**, 273–283 (2018).
23. B. Ingendie, O. Ricci, Fransa'da yakıt yoksulluğunun ölçülmesi: Hangi haneler yakıt konusunda en savunmasızdır? *Enerji Ekonomisi* **49**, 620–628 (2015).
24. I. Papada, d. Kaliampakos, Yunanistan'da enerji yoksulluğunun ölçülmesi. *Enerji Politikası* **94**, 157–165 (2016).
25. e. Scheier, n. Kittner, Hanehalkı enerji yüklerindeki farklılıkları gidermek için bir ölçüm stratejisi. *Ulusal Topluluk* **13**, 288 (2022).
26. S. cong, d. nock, Y. I. Qiu, B. Xing, Enerji eşitliği açığını kullanarak gizli enerji yoksulluğunun ortaya çıkarılması. *Ulusal Topluluk* **13**, 2456 (2022).
27. Q. Wang, M.-P. Kwan, J. Fan, J. lin, Amerika Birleşik Devletleri'nde enerji yoksulluğundaki ırksal farklılıklar. *Yenile. Sürdür. Enerji Rev.* **137**, 110620 (2021).
28. e. dogan, M. Madaleno, R. inglesi-lotz, d. taskin, Irk ve enerji yoksulluğu: Afro-Amerikan hanelerinden elde edilen kanıtlar. *Enerji Ekonomisi* **108**, 105908 (2022).
29. O. Ma, K. laymon, M. day, R. Oliveira, J. Weers, A. vimont, "düşük gelirli enerji Uygunluk verileri (LEAD) aracı metodolojisi" (tech. Rep. nRel/tP-6A20-74249, ulusal Yenilenebilir enerji laboratuvarı, 2019); www.nrel.gov/docs/fy19osti/74249.pdf.
30. B. Yönetim Kurulu Üyesi, *Yakıt Yoksulluğu: Soğuk Elerden Uygun Fiyatlı Sıcaklığa* (Belhaven Yayınları, 1991).
31. S. Oxley, *Yakıt Yoksulluğu Metodolojisi El Kitabı (Düşük Gelirli Düşük Enerji Verimliliği)* (İngiltere Enerji Bakanlığı Güvenlik ve Net Sıfır, 2024); <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65ccf6341d9395000c9466a7/fuel-poverty-methodology-handbook-2024.pdf>.
32. Uygulamalı Kamu Politikası Araştırma Enstitüsü Çalışma ve Değerlendirme (APPRiSe), "liheAP enerji yükü değerlendirme çalışması" (PSc Siparişi no. 03Y00471301d, APPRiSe, 2005); www.acf.hhs.gov/sites/default/files/documents/ocs/comm_liheap_energyburdenstudy_apprise.pdf.
33. K. Parker, R. Minkin, J. Bennett, "COVID-19'un ekonomik sonuçları düşük gelirli Amerikalıları en çok vurmaya devam ediyor" (Pew Araştırma Merkezi, 2020); www.pewresearch.org/social-trends/2020/09/24/economic-fallout-from-covid-19-continues-to-hit-lower-income-americans-the-hardest/.
34. d. J. Bednar, t. G. Reames, Amerika Birleşik Devletleri'nde enerji yoksulluğunun tanınması ve buna yanıt verilmesi. *Nat. Enerji* **5**, 432–439 (2020).
35. I. Perl, "liheAP formülü" (CRS Raporu R133275, Kongre Araştırma Servisi, 2019); <https://crsreports.congress.gov>.
36. Enerji Politikası Yasası 2005 (2005); www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-109publ58/pdf/PLAW-109publ58.pdf.
37. J. c. Romero, P. linares, X. López, enerji yoksulluğu göstergelerinin politika etkileri. *Enerji Politikası* **115**, 98–108 (2018).
38. c. lowans, d. F. del Rio, BK Sovacool, d. Rooney, AM Foley, Enerji ve ulaşım yoksulluk ölçümlerinde son durum nedir? Eleştirel ve kapsamlı bir inceleme. *Enerji Ekonomisi* **101**, 105360 (2021).
39. d. deller, G. turner, c. Waddams Price, enerji yoksulluğu göstergeleri: tutarsızlıklar, çıkarımlar ve bundan sonra ne olacak? *Enerji Ekonomisi* **103**, 105551 (2021).
40. n. Seldenrich, Aşırı sıcaklıklar arasında: Sıcak ve soğuk ortam sıcaklığına bağlı ölüm riski: *Çevre. Sağlık Perspektifi*. **123**, A275–A279 (2015).
41. A. Gasparrini, Y. Guo, M. hashizume, e. lavigne, A. Zanobetti, J. Schwartz, A. tobias, S. tong, J. Rocklöv, B. Forsberg, M. leone, M. de Sario, M. I. Bell, Y.-Il Guo, c. Wu, h. Kan, S.-M. Yi, M. de Sousa Zanotti Stagliorio coelho, P. hn Saldiva, Y. honda, h. Kim, B. Armstrong, Yüksek ve düşük ortam sıcaklığına bağlı ölüm riski: Çok ülkeli bir gözlemsel çalışma. *Neşter* **386**, 369–375 (2015).
42. J. Berko, dd ingram, S. Saha, J. d. Parker, Amerika Birleşik Devletleri'nde 2006-2010 yılları arasında sıcak, soğuk ve diğer hava olaylarına atfedilen ölümler. *Ulusal Sağlık İstatistikleri Temsilcisi* **76**, 1–15 (2014).
43. ABD Enerji Bilgi İdaresi (eiA), "bağımsız istatistik ve analiz (eiA, 2023); www.eia.gov/state/seds/seds-data-complete.php?sid=US#completedataFile.
44. ABD Enerji Bilgi İdaresi (eiA), "Bir Amerikan evi ne kadar elektrik kullanıyor?" (eiA, 2022); www.eia.gov/tools/faqs/faq.php.
45. ABD Nüfus Sayımı Bürosu, Amerikan Toplum Anketi (AcS), census.gov; www.census.gov/programs-surveys/acs.
46. M. c. Baechler, tl Gilbride, P. c. cole, Marye G. hefty, Kathi Ruiz, "İlçelere göre iklim bölgelerini belirleme kılavuzu" (Pnnl-17211 Rev. 3, Pasifik kuzeybatı ulusal laboratuvarı, 2015).
47. İlçe Haritalama, İklim Genel Bakış, Ulusal Çevre Bilgi Merkezleri (NCEI); www.ncel.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/county/mapping/110/cdd/201512/12/value.
48. h. Zou, uyarlanabilir IASSO ve onun kehanet özellikleri. *J. Am. Stat. Derneği* **101**, 1418–1429 (2006).
49. J. Friedman, t. hastie, R. tibshirani, Koordinat inisi yoluyla genelleştirilmiş doğrusal modeller için düzenleme yolları. *J. Stat. Yazılım* **33**, 1–22 (2010).
50. t. hastie, J. Qian, K. tay, "glmnet'e giriş" (2023); <https://glmnet.stanford.edu/articles/glmnet.html#>.
51. J. Yang, "log dönüştürülmüş değişkenler için regresyon katsayılarının yorumlanması" (Cornell İstatistik Danışmanlık Birimi, 2020); <https://cscu.cornell.edu/wp-content/uploads/lovgv.pdf>.

Teşekkürler:Araştırma tasarımı sürecinde R scriptlerinin düzenlenmesinde bize yardımcı olan S. Sarafa teşekkür etmek isteriz.**Finansman:**Bu çalışma Mit Gelecek Enerji Sistemleri Merkezi tarafından desteklenmiştir.**Yazar katkıları:**Araştırma tasarımı: cB, Ph, cK ve tS veri temizleme, analiz ve değerlendirme: Ph kavramsallaştırma: Ph, cK, cB ve tS Metodoloji: Ph, cK, cB ve tS araştırma: Ph görselleştirme: Ph Fon sağlama: cB ve tS Proje yönetimi: cK Denetleme: cK, cB ve tS Orijinal taslağın yazılması: Ph ve cK İnceleme ve düzenleme: Ph, cK, cB ve tS**Çıkar çatışmaları:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.**Veri ve materyallerin bulunabilirliği:**Makalede varılan sonuçların değerlendirilmesi için gerekli tüm veriler makalede ve/veya Ek Malzemelerde mevcuttur.

12 Nisan 2024'te gönderildi 4
Eylül 2024'te kabul edildi 9
Ekim 2024'te yayımlandı
10.1126/sciadv.adp8183