



Daha eksiksiz bir emisyon envanteri için hibrit bir yaklaşım: Aarhus Üniversitesi'nde bir vaka çalışması

Thomas Stridsland, Andreas Stounbjerg & Hans Sanderson

Bu makaleye atıfta bulunmak için: Thomas Stridsland, Andreas Stounbjerg & Hans Sanderson (2023) A hybrid approach to a more complete emissions inventory: a case study of Aarhus University, Carbon Management, 14:1, 2275579, DOI: [10.1080/17583004.2023.2275579](https://doi.org/10.1080/17583004.2023.2275579)

Bu makaleye bağlantı vermek için: <https://doi.org/10.1080/17583004.2023.2275579>



© 2023 Yazar(lar). Taylor & Francis Group olarak ticaret yapan Informa UK Limited tarafından yayınlanmıştır.



Çevrimiçi yayınlanma tarihi: 31 Ekim 2023.



Makalenizi bu dergiye gönderin [↗](#)



Makale görünümleri: 1458



İlgili makaleleri görüntüleyin [↗](#)



Crossmark verilerini



görüntüleyin



Atıf yapılan makaleler: 1 Alıntı yapılan makaleleri görüntüle [↗](#)

Daha eksiksiz bir emisyon envanteri için hibrit bir yaklaşım: Aarhus Üniversitesi'nde bir vaka çalışması

Thomas Stridsland^a, Andreas Stounbjerg^b ve Hans Sanderson^(a) 

^aÇevre Bilimleri Bölümü, iClimate Center, Aarhus Üniversitesi, Roskilde, Danimarka; ^bRektörlük Ofisi - Analiz ve Politika, Aarhus Üniversitesi, Aarhus C, Danimarka

ÖZET

Üniversite sera gazı envanterlerinde satın alma emisyonlarının dikkate değer bir eksikliği söz konusudur ve bu da üniversiteleri olası karbonsuzlaştırma yolları hakkında yalnızca kısmen bilgilendirmektedir. Danimarka üniversitelerinden oluşan bir konsorsiyum tarafından sunulan metodolojik ödünleşme uzlaşması belgesi rehberliğinde, bu çalışma Aarhus Üniversitesi'nin 2021 yılı emisyonlarını, satın alma dahil olmak üzere tahmin etmektedir. Süreç ve harcama temelli yöntemlerin hibrit bir yaklaşımını kullanan sonuçlar, hibrit üniversite değerlendirmeleri trendine katkıda bulunmaktadır. Satın alma ile ilgili emisyonlar (39.692 tCO₂e) muhasebe verileri ve çok bölgeli çevresel olarak genişletilmiş bir girdi-çıkı (MREEIO) modeli olan EXIOBASE kullanılarak tahmin edilmiş, diğer tüm emisyonlar ise fiziksel veriler ve devlet kaynakları (20.273 tCO₂e) kullanılarak tahmin edilmiştir. EXIOBASE, sonuçsal ve atıfsal yaşam döngüsü değerlendirmesinin bir kombinasyonundan yararlanmaktadır, bu nedenle sonuçlar, metodolojiler arasındaki ayrımları korumak için ayrı ayrı raporlanmaktadır. Muhasebe verileri EXIOBASE'in kategorileri ile en iyi şekilde eşleştirilmemiştir, ancak yöntemin kapsamlı yapısı, üniversitenin iyileştirme emisyonları konusundaki farkındalığını artırmış ve daha iyi veri kalitesi için önerilerle birlikte ilk dekarbonizasyon rotalarını sunmuştur. Dekarbonizasyona yönelik bilinçli kararların alınabilmesi ve tedarikçiye özgü emisyon verilerinin sorunsuz bir şekilde dahil edilebilmesi için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir; bu da veri çözünürlüğünü yükseltmek için departmanlar arası daha fazla işbirliği ve hem tedarikçi şeffaflığına hem de özel bilgilere önceden hizmet eden bir veri ontolojisi gerektirmektedir.

MAKALE GEÇMİŞİ

Alındı 13 Haziran 2023
Kabul tarihi 19 Ekim 2023

ANAHTAR KELİMELER

Hibrit girdi-çıkı LCA modeli;
eXIOBASE; kapsam 3;
sürdürülebilir tedarik;
sürdürülebilir kampüs

Giriş

Yükseköğretimin (YÖ) iklim değişikliğini ele almada aktif bir rol üstlenmesi zorunluluğu her zamankinden daha acil bir durumdur ve sadece özel şirketlerin sorumluluğu olarak görülmemelidir. Üniversiteler yaygın olarak inovasyon ve bilgi merkezleri olarak tanınırken, faaliyetlerini karbonsuzlaştırma çabalarına da öncelik vermelidirler. Kuruluşlar arasında (üniversiteler de dahil olmak üzere) iklim değişikliği konusunda harekete geçilmesi bir paydaş, politika ve itibar beklentisi haline gelmektedir [1] ve harekete geçilmemesi, yeşil dönüşüm boyunca bir kuruluşun serbestliğini ve geçimini tehdit etmektedir. Burada, mevcut iklim krizine katkıda bulunan işlem ve operasyonlara gömülü karbon hakkında daha fazla farkındalık, bilinçli karbonsuzlaştırma için bir ön koşuldur ve firmaların kararları destekleyecek düzeyde karbon okuryazarlığına sahip olmasını gerektirir [2]. Emisyonların aktörler arasında nasıl değiş tokuş edildiği karmaşıktır ve bu emisyonların yeterli şekilde ölçülebilmesi aşağıdaki soruların sorulmasına bağlıdır

Doğru sorular, doğru cevaplarla eşleştirilen yanlış sorular, adil ve hakkaniyetli bir düşük karbon ekonomisine yol açan bir geçişten ziyade yanal bir yeşil geçiş riski taşır.

Daha fazla sürdürülebilirliğe geçiş yapan yükseköğretim kurumları (HEI) bağlamında, üniversiteler sadece doğrudan emisyonları için değil, aynı zamanda değer zincirleri boyunca tedarikçileri tarafından üretilenler için de hesap verebilirlik almalıdır. Bu noktada, kurumsal karbon ayak izleri, bir üniversitenin sorumlu olduğu emisyonların tahmin edilmesi ve yönetilmesinde güçlü bir araçtır. Sera gazı envanterlerinin kullanılması, genel çevresel etkilerinde önemli ve bilinçli azaltımlar elde etmek ve artan sürdürülebilirlik endişeleri karşısında uygunluğu korumak için çok önemlidir [3-6].

Emisyonların muhasebeleştirilmesi

Emisyonların tahmin edilmesi, ürün düzeyinde yaşam döngüsü değerlendirmelerinden (LCA) ulusal düzeyde belirlenmesine kadar tüm değerlendirme ölçekleriyle ilgilidir.

İLETİŞİM Thomas Stridsland  str@envs.au.dk  Frederiksborgvej 399 P.O. Box 358 DK-4000 Roskilde

© 2023 Yazar(lar). Taylor & Francis Group olarak ticaret yapan Informa UK Limited tarafından yayınlanmıştır.

Bu, orijinal çalışmaya uygun şekilde atıfta bulunulması koşuluyla, herhangi bir ortamda sınırsız kullanım, dağıtım ve çoğaltmaya izin veren Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) koşulları altında dağıtılan bir Açık Erişim makalesidir. Bu makalenin yayınlandığı koşullar, Kabul Edilen Makalenin yazar(lar) tarafından veya onların rızasıyla bir depoda yayınlanmasına izin verir.

Üye devletler tarafından UNFCCC'ye sunulan katkılar (NDC). Genellikle, çok bölgeli çevresel olarak genişletilmiş girdi-çıkı (MREEIO) modelleri, emisyonları tahmin etmek için büyük ve karmaşık sistemlerin basitleştirildiği makro ölçekli değerlendirmeler, yani küresel ve ulusal düzeydeki değerlendirmeler için en uygun olanıdır. Mikro ölçekte, süreç tabanlı LCA'lar, sistemler daha az karmaşık olduğu için zaman yoğun ve hassas değerlendirmelerdir [7,8]. Her iki yöntem de LCA olarak kabul edilir ancak farklı yaklaşımlar kullanır ve farklı türde faaliyet verileri gerektirebilir. Bu nedenle, farklı emisyon belirleme yöntemleri toplanacak veri türleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. EEIO'lar tedarik kullanım tabloları tarafından bilgilendirilir ve bu nedenle harcama bazlı (SB) verileri kullanabilirken, LCA'lar genellikle kg çelik veya kat edilen km gibi süreç bazlı (PB) verileri kullanır [4,7].

ISO 14040 ve ISO 14044 gibi ürün ve kurumsal etkileri yöneten çerçeveler diğer sektörlerde görülürken, üniversite envanterleri arasında nadiren görülmektedir [4,5]. Bunun yerine, Sera Gazı Protokolü (GHGP), üniversiteler arasında kurumsal sera gazı (GHG) envanterleri geliştirmek için birincil dil olarak ortaya çıkmıştır [4,5], muhtemelen özel kuruluşlar arasında geniş çapta benimsenmesine atfedilmiştir [9]. Bu durum, 2018'de pilot aşaması tamamlanan ürün ve kurumsal ayak izlerinin (sırasıyla PEF ve OEF) değerlendirilmesi ve ifşa edilmesine yönelik tek tip bir yöntem için Avrupa Komisyonu'ndan gelen Tavsiye Kararı (2279/2021/EU) ile değişebilir. Bununla birlikte, daha ayrıntılı bir Tavsiye Kararı (2279/2021/EU)

2021'deki pilot aşamalar sırasında bilgi toplamak için yayınlanmıştır [10].

GHGP, emisyon kaynaklarını üç ana kapsama ayırmaktadır; kapsam 1 ve 2 doğrudan kontrol altındaki emisyon kaynaklarını, kapsam 3 ise tedarikçilerin kontrolü altındaki emisyonları ele alan 15 kategoriye ayrılmıştır (Tablo 1). GHGP, söz konusu ürün veya hizmeti temsil ettiği için tedarikçiye özel verilere öncelik veren bir veri hiyerarşisi (Tablo 2) önermekte ve Leontief ekonomik modellerine dayanan EEIO modellerine dayanan en az spesifik harcama temelli yaklaşıma kadar inmektedir [11].

İki temel LCA yöntemi vardır: Sonuçsal LCA (cLCA) ve Atıfsal LCA (aLCA) [12]. cLCA, sistemin üretim veya girdideki bir değişikliğe nasıl tepki vereceğini belirlemek için marjinal tedarikçileri ve üreticileri kullanarak bir ürünün yaşam döngüsünde sistem düzeyinde bir değişikliğin etkilerini değerlendirdiği için senaryo oluşturma ve karar desteği için kullanışlıdır. Öte yandan, aLCA bir ürünün üretim, kullanım ve bertarafının etkilerine yönelik spesifik niteliklerini değerlendirir ve yan ürünlerin etkilerini belirlemek için normatif atıf tahsisini kullanır [13]. Kılavuz belgeler, müdahale muhasebesinin (cLCA) karar verme sürecinde kullanılmasını önermektedir [14,15]. LCA literatürü, yöntemlerin kontrolsüz bir şekilde karıştırılmasının ve yanlış kullanımının toplam çevresel etkiyi olduğundan düşük gösterebileceğini [16,17], yanıltıcı çıkarımlara [18,19] ve tutarsız karşılaştırmalara yol açabileceğini ve bu nedenle daha fazla araştırma yapılmadan karar verme sürecinde bundan kaçınılması gerektiğini vurgulamaktadır [20,21]. Süreç tabanlı

Tablo 1. Sera Gazı Protokolü GHG Protokolü kurumsal envanter kapsamları ve kategorileri [56].

Kapsam	Kategori ve Açıklama
Kapsam 1	Yerinde yanma ve araçlarda yakıtın yanmasından kaynaklanan doğrudan emisyonlar
Kapsam 2	Satın alınan enerjiden kaynaklanan dolaylı emisyonlar
Kapsam 3	3.1 - Satın Alınan Mal ve Hizmetler 3.2 - Sermaye Malları 3.3 - Kapsam 1 veya Kapsam 2'ye Dahil Edilmeyen Yakıt ve Enerji ile İlgili Faaliyetler 3.4 - Yukarı Akım Taşımacılığı ve Dağıtım 3.5 - Operasyonlarda Oluşan Atıklar 3.6 - İş Seyahati 3.7 - Çalışan Taşımacılığı 3.8 - Upstream Kiralanan Varlıklar 3.9 - Aşağı Akım Taşımacılığı ve Dağıtım 3.1 - Satılan Ürünlerin İşlenmesi 3.11 - Satılan Ürünlerin Kullanımı 3.12 - Satılan Ürünlerin Kullanım Ömrü Sonu İşlemleri 3.13 - Downstream Kiralanan Varlıklar 3.14 - Franchise'lar 3.15 - Yatırımlar

Tablo 2. Sera gazı protokolünün önerdiği veri hiyerarşisi.

Katman	Hesaplama Yöntemi	Yukarı Akım Üretim Emisyonları	Tedarikçinin Kapsam 1 ve 2 Emisyonları 1
(PB)	Tedarikçiye Özel	Tedarikçiye Özel Veriler	Tedarikçiye Özel Veriler
2 (PB)	Hibrit Yöntem	Tedarikçiye Özel Veriler veya ortalama veriler, veya her ikisinin bir kombinasyonu	Tedarikçiye Özel Veriler
3 (PB)	Ortalama Veri Yöntemi	Ortalama Veriler	Ortalama Veriler
4 (SB)	Harcama Bazlı Yöntem	Ortalama Veriler	Ortalama Veriler

LCA'lar iki yöntem arasında net bir ayrım benimseyebilirken, EEIO modelleri genellikle değerlendirilen ürün veya hizmetle doğrudan ilgili olmayan arka plan verileriyle bilgilendirilir ve metodolojik tutarlılıkları korurken hem cLCA hem de aLCA'nın bir kombinasyonunu kullanır.

Üniversite sera gazı envanterleri

Üniversite sektöründeki sera gazı (GHG) hesap- lama uygulamalarına ilişkin son analizler, araştırma faaliyetlerinde olumlu bir eğilim olduğunu ortaya koymaktadır [22]. Halihazırda küresel üniversitelerin sadece küçük bir azınlığı kurumsal emisyonlarını ölçüp açıklarken, literatür faaliyetlerde bir artış olduğunu göstermektedir [4,5]. Sera Gazı Protokolü (GHGP) üniversiteler arasında kurumsal sera gazı (GHG) envanterlerinin geliştirilmesi için birincil dil olarak ortaya çıkmıştır [4,5]. Konuyla ilgili incelemeler, üniversitelerin kapsamları dahil etmekte hızlı davrandığını göstermektedir

1 ve 2, ancak kapsam 3'ün 15 kategorisi, değer zincirine gömülü emisyonları izlemenin ve yönetmenin zorluğu nedeniyle üniversiteler için önemli zorluklar teşkil etmektedir. Üniversiteler, sera gazı envanterlerinde kapsam 3 kategorilerine farklı önem vermektedir [4,5] ve küresel HEI operasyonları arasındaki evrensel benzerlikler sera gazı envanterlerinin benzer olması gerektiğini düşündürse de, öyle değildir. Her ne kadar ilerleme kaydedilmiş olsa da, üniversitelerde daha fazla iklim eylemi talebi

[23], üniversite emisyonlarının raporlanmasına ilişkin daha tanımlı kılavuzlara yönelik uzun süredir devam eden istekle uyumludur [5,24-26]. Standartlaştırılmış bir çerçeve geliştirmeye yönelik girişimler olsa da, yükseköğretim kurumları arasında sera gazı envanteri yöntemlerine ilişkin incelemeler, böyle bir çerçevenin bulunmadığını göstermektedir [4,5].

Birleşik Krallık üniversiteleri üzerinde yapılan bir çalışmada, Robinson ve diğerleri [27] kapsamlı bir sera gazı envanterinin geliştirilmesini çeşitli engellerin engellediğini, veri güvenilirliği ile zaman ve personel kaynaklarının en önemlileri olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, Stridsland ve Sanderson [4] verilerin mevcudiyetinin, envantere hangi kapsam 3 kategorilerinin dahil edileceği veya hariç tutulacağı kararını etkileyebileceğini vurgulamıştır. Ulusal emisyon yoğunlukları (EI) ve tek noktalı veri kaynakları tercih edilirken, üniversitelerin veri sahibi olduğu satın alma gibi karmaşık kategoriler genellikle göz ardı edilmektedir. Literatür, bir sera gazı envanterinin adalet ve hakkaniyet algılarımızı yansıtabilmesi için ilgili tüm faaliyetleri, hangi yapılan içermesi gerektiğini öne sürmektedir.

EEIO modelleri ve SB verilerinin hibrit değerlendirmeler şeklinde bir araya getirilmesiyle mümkündür [4].

Literatür taraması

Üniversite satın alma emisyonlarına odaklanan bir inceleme, PB ve SB verilerini dahil ederek hibrit bir yaklaşım benimsemenin HEI envanterlerinde daha yaygın hale geldiğini tespit etmektedir [4]. Yakın zamanda, Yükseköğretimde Sürdürülebilirliğin Geliştirilmesi Derneği (AASHE) üyeleri arasında yaygın olarak kullanılan abonelik tabanlı bir araç olan Sürdürülebilirlik Göstergesi Yönetim ve Analiz Platformu (SIMAP), üniversite tedariki için bir SB güncellemesi yayınlamıştır [28]. AASHE'nin kullanıcı tabanı göz önüne alındığında, bu, üniversite sera gazı envanterlerinin eksiksizliği için potansiyel bir dönüm noktasına işaret etmektedir, ancak karar desteğine yönelik daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir [21].

Literatür, EEIO uygulamasının kapsamına göre tanımlanan hibrit ve harcamaya dayalı durumlar arasında bölünmüştür. Bazı EVIO'ların yapısı nedeniyle, ortaya çıkan emisyon verilerini GHGP'nin kapsam yapısına çevirmek zordur. Bu nedenle, tüm yönler için EVIO kullanan vakalar dahili model kategorilerine göre raporlama yaparken [29], diğerleri faaliyetleri GHGP kapsam tanımlarıyla eşleştirmektedir [19,30]. Yalnızca EVIO kullanan vakalar kapsam 1, 2 ve 3 verilerini departman düzeyinde çözümleyebilmektedir, bu da muhasebe verilerinde bulunan ayrıntı düzeyini yansıtmaktadır. Bu tür zorluklar, sadece üniversite satın alımlarını kapsayan EEIO uygulamasında da belgelenmiştir [24]. Son zamanlarda, vakalar GHGP'yi daha erken bir aşamadan itibaren takip etmekte ve sera gazı envanterlerinin karma bir biçimini benimsemektedir. Burada vakalar kapsam ve kategorilere göre veri toplamakta, PB verilerine öncelik vermekte ve PB'nin mevcut veya uygulanabilir olmadığı yerlerde SB yöntemlerini kullanmaktadır [6,31-33]. Yenileme ve yeni binalarla ilişkili yüksek maliyetler nedeniyle inşaatla ilgili emisyonları sıcak noktalar olarak tanımlayan tüm vakalarda satın alma emisyonlarını ele almak için EEIO kullanılmaktadır [32-35]. Tüm vakalardan elde edilen bulgular, kapsam 3'ün en büyük etkiye sahip olduğunu istikrarlı bir şekilde göstermektedir. Ayrıca, bu durumlarda EEIO modellerinin kullanılması, değerlendirmenin kapsamlılığını artırmakta ve literatürü destekleyecek kanıtlar olarak daha güvenilir hale getirmektedir.

Üniversiteler Danimarka sera gazı envanterleri için uzlaşa yaklaşımı

Daha geniş literatürde gözlemlenen zorlukları ele almak için, Danimarka üniversitelerinden oluşan bir konsorsiyum (DKUNI) sera gazı muhasebesini geliştirmeyi amaçlamıştır.

Üye kurumlar arasında yeterlilik, bu üniversitelerin kolektif ihtiyaç ve zorluklarının yansıtıcı bir analizini gerçekleştirdi. Üniversite sera gazı envanterinin birden fazla rolü yerine getirmesi gerektiği tespit edilmiştir; ilerlemeyi bildirmek için harici bir envanter, emisyonlarını ve azaltımlarını izlemek için dahili bir envanter ve bilinçli karar vermeyi destekleyen başka bir dahili envanter [21]. Sonuç olarak, Danimarka Üniversiteleri direktörlüğündeki konsorsiyum, metodolojik ve süreç karmaşıklıkları hakkında, üniversitenin ihtiyaçlarına göre bir sera gazı envanterinin uygulanması için pratik bir kılavuz görevi gören bir konsensüs belgesi hazırlamıştır. Grup, hangi kapsam 3 kategorilerinin Danimarka üniversiteleriyle ilgili olduğunu belirlemenin yanı sıra, mümkün olan yerlerde PB'nin kullanılması ve aynı değerlendirmelerde aynı metodolojinin kullanılması gerektiği s o n u c u n a varmış ve birden fazla değerlendirmenin bir envantere katkıda bulunduğuna dikkat çekmiştir. Satın alma gibi PB yaklaşımının uygulanabilir olmadığı kategoriler için MREEIO EXIOBASE ile birleştirilmiş bir SB yaklaşımı önerilmektedir. EXIOBASE, küresel tedarik zincirleri boyunca emisyonları, kaynak kullanımını ve diğer çevresel ön koşulları izlemek için çevresel olarak genişletilmiş çok bölgeli girdi-çıkıtlı tablolarından oluşan bir zaman serisi sağlayan bir yazılım aracıdır [36]. EXIOBASE NACE rev.1 kodlarını ve 2011 tedarik kullanım tablolarını kullanırken, konsorsiyum EEIO modellerinde eksiksizliğin önemini hassasiyet için değerli bir değiş tokuş olarak görmek ve daha doğru karar desteği elde etmek için daha yakın PB cLCA sıcak nokta araştırmalarını savunarak genişlemektedir [4,21]. DKUNI grubunun nihai uzlaşısı, rehberin Danimarka Üniversitelerindeki veri erişilebilirliği ve yüksek öğrenim sektöründeki mevcut metodolojiler doğrultusunda güncellenmesi yönündedir.

Amaç

Bu çalışma, Danimarka Üniversiteleri tarafından üretilen ödünleşim uzlaşma belgesinin rehberliğinde, hem PB hem de SB yaklaşımını kullanarak Aarhus Üniversitesi'nin 2021 emisyonlarını tahmin etmektedir. Bu sayede sonuçlar, belirlenen ödünleşimleri doğrulamayı ve tedarik de dahil olmak üzere üniversite emisyonlarını ölçmek için hibrit yaklaşımlar kullanan ve giderek büyüyen bir literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Yöntem ve sonuçlar üzerine düşünürken, birleşik yöntemlerin riskleri ele alınmakta ve beklentiler tartışılmaktadır. Ayrıca, sera gazı envanterlerini geliştirmek için EXIOBASE'in diğer üniversitelere uygulanmasına ilişkin bir örnek sunuyoruz.

Materyaller ve yöntemler

Aarhus Üniversitesi

Aarhus Üniversitesi (AU), 2021 yılında beş fakülte 35.000 öğrenci ve çalışanıyla Danimarka'nın en büyük ikinci üniversitesidir: Sanat, İşletme ve Sosyal Bilimler, Teknik Bilimler, Doğa Bilimleri ve Sağlık. Üniversitenin Aarhus, Herning, Viborg ve Emdrup'ta kampüsleri vardır ve ülke çapında araştırma faaliyetleri yürütmektedir [37]. AU, beş fakültesindeki kapsamlı uzmanlığıyla tanınmakta olup, özellikle Danimarka'da baskın bir konumda olduğu tarım araştırmalarına vurgu yapmaktadır. 2020 yılında Aarhus Üniversitesi, yönetim kurulu, üniversite yönetimi, araştırmacılar ve öğrencilerden gelen geniş desteğe yanıt olarak bir kli- mat stratejisi benimsemiştir. Strateji, çalışanların ve öğrencilerin dahil olduğu çalışma atölyeleri aracılığıyla geliştirilmiş ve taslak versiyonlar personel ve öğrencilere danışılmıştır. Ortaya çıkan iklim stratejisi dört alanı kapsamaktadır: Kampüs, Ulaşım, Tedarik ve Atık [38]. Aarhus Üniversitesi, CO₂ emisyonlarını 2018 baz yılına göre 2025 yılına kadar %35 ve 2030 yılına kadar %57 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Bu hedefler, Paris Anlaşması ve eski Danimarka hükümetinin karbon emisyonlarını 2030 yılına kadar 1990 temel çizgisine göre %70 azaltma ve 2040 yılına kadar iklim nötrlüğü için çalışma hedefiyle uyumludur. AÜ'nün yıllık emisyon envanteri, üniversitedeki emisyon yoğun faaliyetleri belirlemeyi, daha bilinçli karbonsuzlaştırma çabaları için bir temel oluşturmayı ve 2018'den bu yana zaman içinde nitelik ve nicelik açısından iyileştirilen yıllık açıklamalara eklemeyi amaçlamaktadır [37]. Bu raporlar GHG protokolünün metodolojisini takip etmekte ve kapsam 1, 2 ve 3 emisyonlarını raporlamaktadır. İklim hesabının sonuçları, gelecekteki girişimler ve müdahaleler için planlanan girişimleri ve öncelikleri şekillendirir.

Hesaplama yaklaşımı

DKUNI tavsiyelerine dayanarak, aynı değerlendirmelerde yöntemlerin karıştırılmasından kaçınılması önerilmektedir. Yöntemlerin karıştırılması risklerini azaltmak için, her ikisini de ayrı envanterler olarak tutma yaklaşımı b e n i m s e n m i ş , ancak bunun getirdiği sınırlamalar da kabul edilmiştir. Anlaşılır olması için, SB'nin aLCA ve cLCA'nın doğrulanmış bir kombinasyonunu içerdiği, PB'nin ise yalnızca aLCA metodolojisine dayandığı varsayılmıştır. PB sonuçları, 2018 referans çizgisine göre gelişmeleri göstermek için tam zamanlı eşdeğerlere (TZE) göre nor- malize edilebilir. Sektörün GHGP [4,5], ve yapısı ve

Tablo 3. Gerekçeleriyle birlikte dahil edilen ve hariç tutulan kategoriler.

Kategori	Dikkate alındı	Akıl yürütme
3.1 - Satın Alınan Mal ve Hizmetler	Evet	Üniversite operasyonlarının ayrılmaz bir parçası
3.2 - Sermaye Malları	Evet	Üniversite operasyonlarının ayrılmaz bir parçası
3.3 - Kapsam 1 veya Kapsam 2'ye Dahil Edilmeyen Yakıt ve Enerji ile İlgili Faaliyetler	Evet	Kaçınılmaz ancak kolayca dahil edilebilen emisyonlar
3.4 - Yukarı Akım Taşımacılığı ve Dağıtım	Hayır	Veri sınırlamaları
3.5 - Operasyonlarda Oluşan Atıklar	Evet	Üniversite operasyonlarının ayrılmaz bir parçası
3.6 - İş Seyahati	Evet	Üniversite operasyonlarının ayrılmaz bir parçası
3.7 - Çalışan Taşımacılığı	Hayır	Veri kısıtlamaları var ancak 2022 envanteri için bekleniyor
3.8 - Upstream Kiralanan Varlıklar	Hayır	İlgili değil
3.9 - Aşağı Akım Taşımacılık ve Dağıtım	Hayır	İlgili değil
3.1 - Satılan Ürünlerin İşlenmesi	Hayır	İlgili değil
3.11 - Satılan Ürünlerin Kullanımı	Hayır	İlgili değil
3.12 - Satılan Ürünlerin Kullanım Ömrü Sonu İşlemleri	Hayır	İlgili değil
3.13 - Downstream Kiralanan Varlıklar	Hayır	İlgili değil
3.14 - Franchise'lar	Hayır	İlgili değil
3.15 - Yatırımlar	Evet	geleneksel olarak emisyon yoğun bir kategoridir ve bu nedenle

DKUNI yaklaşımının önerileri, GHGP kapsam 1, 2 ve kapsam 3'ün belirli kategorileri bu değerlendirmede dikkate alınmıştır (Tablo 3).

Kurumsal karbon ayak izi: kapsam 1 ve 2

Yakıt ve faaliyet verileri, biyokütle ile ilgili emisyonlar için IPCC yönergelerini [39] izleyerek AU'da yerinde yakma ve taşımadan kaynaklanan emisyonları tahmin etmek için yönetim araçlarından toplanmıştır. Ulusal El'ler Danimarka Enerji Ajansı (DEA) ve NDC'ler için ulusal emisyon raporlama çerçevelerini takip eden Danimarka Çevre ve Enerji Merkezi (DCE) raporları tarafından sağlanmaktadır [39]. Tarım emisyonları, MarkOnline ve aracı kullanılarak hayvancılık üretimi ve tarım arazilerinin ekimi ile ilgili verilerden en son NDC [39] metodolojileri kullanılarak hesaplanmıştır. Ulaşım için El'ler de DCE raporlarına ve ulusal emisyon envanterine dayanmaktadır. Kapsam 2 emisyonları için toplanan faaliyet verileri, AÜ'nün tüm AÜ lokasyonlarında ölçülen tüketimi izlemek için kullandığı enerji yönetim aracı EnergyKey'den gelmektedir. El'ler, elektrik için DEA tarafından yayınlanan ulusal raporlardan ve bireysel tedarikçinin iklim raporlarından toplanmış veya DCE'nin ulusal bölgesel ısıtma raporlarından alınmıştır. Hem ısıtma hem de tesis içi yakma için, biyokütle enerjisinden kaynaklanan CO₂ emisyonları ihmal edilmiştir, ancak diğer ilgili sera gazları mevcut olduğunda dahil edilmiştir.

Kurumsal karbon ayak izi: kapsam

3.1 ve 3.2

Harcamalardan kaynaklanan emisyonların tahmin edilmesine yönelik SB yöntemi, emisyonları içeren ekonomik alışverişleri yansıtan muhasebe verilerini gerektirir. Bu, mal veya hizmet olmayan kalemlerin, dahili mutabakatların, leasing anlaşmalarının, ve işlemlerinin

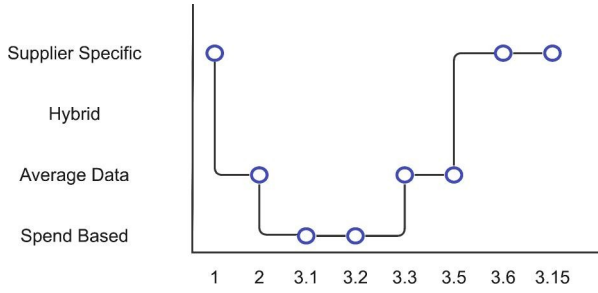
(toplam harcamaların %12'sini oluşturan) net açıklamaları olmayan alımlar analizden manuel olarak filtrelenmiştir. Ayrıca, yalnızca GHGP'nin 3.1 ve 3.2 kapsamına giren satın alımlar dikkate alınmıştır. Geri kalan işlemler daha sonra DKUNI'nin tavsiyelerine [21] uygun olarak satın alınan mallar, hizmetler veya sermaye malları olarak kategorize edilmiştir.

Sağlanan muhasebe verileri hem AU adlandırma yapısına hem de NACE kodlarına sahipti ve bunlar NACE kodları kullanılarak EXIOBASE kategorilerine bağlandı. Verileri emisyonlara dönüştürmek için 2021 DKK'daki enflasyona göre ayarlanmış emisyon yoğunlukları kullanılmıştır. Çıktının çözünürlüğünü artırmak için, EXIOBASE kategorileri AU adlandırma yapısına geri ayrıştırılmıştır.

Kurumsal karbon ayak izi: kapsamlar

3.3 - 3.15

Kalan kapsam 3 kategorileri için faaliyet verilerini çeşitli kaynaklar sağlamaktadır. Yakıt kullanımına gömülü emisyonlar (kapsam 3.3) toplam kapsam 1 ve 2 emisyonlarından toplanmış ve AB Ortak Araştırma Merkezi'nin (JRC) kuyulardan tanklara raporlarında bulunan El'ler ile çarpılmıştır [40]. Atık faaliyet verileri (kapsam 3.5) atık yönetimi şirketlerinden toplanmış ve ulusal envanterden [39] alınan nakliye ve enerji verileri kullanılarak emisyonlara dönüştürülmüştür. Atık su faaliyet verilerinin AÜ'deki su tüketimiyle eşleştiği varsayılmış ve ulusal envanter raporlarından alınan atık su arıtma emisyon verileri kullanılarak emisyonlara dönüştürülmüştür. İş seyahati verileri (kapsam 3.6) demiryolu ve havayolu seyahatlerini içermekte olup, demiryolu seyahatleri ulusal demiryolu ajansının sürdürülebilirlik raporlarından alınan veriler kullanılarak ekonomik faaliyetten kişi-km'ye ve emisyonlara dönüştürülmüştür [41]. Hava yolculuğu emisyon verileri AÜ'nün seyahat acentesi tarafından sağlanmıştır.



Şekil 1. Dahil edilen kapsamlar ve kategoriler genelinde GHGP tarafından önerilen veri hiyerarşisine göre AU 2021 sera gazı envanterinin veri ve yöntem açıklaması.

Tablo 4. Kapsam 1, 2 ve 3'te hem PB hem de SB yöntemlerinden elde edilen toplam emisyon sonuçları.

Kapsam	Açıklama	PB tCO ₂ e	SB tCO ₂ e
Kapsam 1	Yerinde ısıtma	1,268	-
Kapsam 1	Nakliye	656	-
Kapsam 1	Tarım	3,886	-
Toplam Kapsam 1		5,811	-
Kapsam 2	Bölgesel ısıtma	2,590	-
Kapsam 2	Elektrik	6,127	-
Toplam Kapsam 2		8,717	-
Kapsam 3.1 Mallar	Satın Alınan Mallar	-	22,466
Kapsam 3.1 Hizmetler	Satın Alınan Hizmetler	-	13,357
Kapsam 3.2	Sermaye Malları	-	3,869
Kapsam 3.3	Kuyudan Tanka	170	-
Kapsam 3.5	Atık	81	-
Kapsam 3.6	İş Seyahati	1,389	-
Kapsam 3.15	Yatırımlar	4,106	-
Toplam Kapsam 3		5,795	-
Toplam		20,273	39,692

daha sonra bir işinimsal zorlama faktörü [42] ile ayarlanmış ve DCE taşıma emisyonları modelinden elde edilen emisyonlarla çapraz referanslandırılmıştır. Son olarak, yatırımla ilgili emisyonlar (kapsam 3.15), AU'nun yatırım yönetimi için kullandığı çeşitli bankaların ESG raporları aracılığıyla toplanmaktadır. Yatırım başına raporlanan emisyonlar, sadece yatırımların kapsam 1 ve 2 emisyonlarının üç aylık kümülatif toplamlarıdır, bu da yatırımların anlık ve ömür boyu etkilerini ortadan kaldırır. GHGP veri hiyerarşisine göre, veri toplama aşağıda **Şekil 1**'de açıklanan görsel temsili takip etmektedir.

Sonuçlar

Bu bölüm, Sera Gazı Protokolü (GHGP) tarafından belirlenen kılavuz ilkelere uygun olarak ve DKUNI grubu tarafından üretilen ödünleşim belgesini kullanarak AU için 2021 sera gazı (GHG) envanterinin sonuçlarını sunmaktadır. Envanter hem SB hem de PB yöntemlerini kullanmaktadır ve her iki yaklaşımdan elde edilen sonuçların birbirine karıştırılmaması gerektiğini belirtmek önemlidir. Sonuçlar daha kolay okunabilirlik sağlamak için birlikte sunulmuş olsa da, iki metodoloji arasındaki ayrımları bulanıklaştıracak herhangi bir sonuca varılmasını önlemek için birleştirilmemiştir.

Süreç bazlı envanter

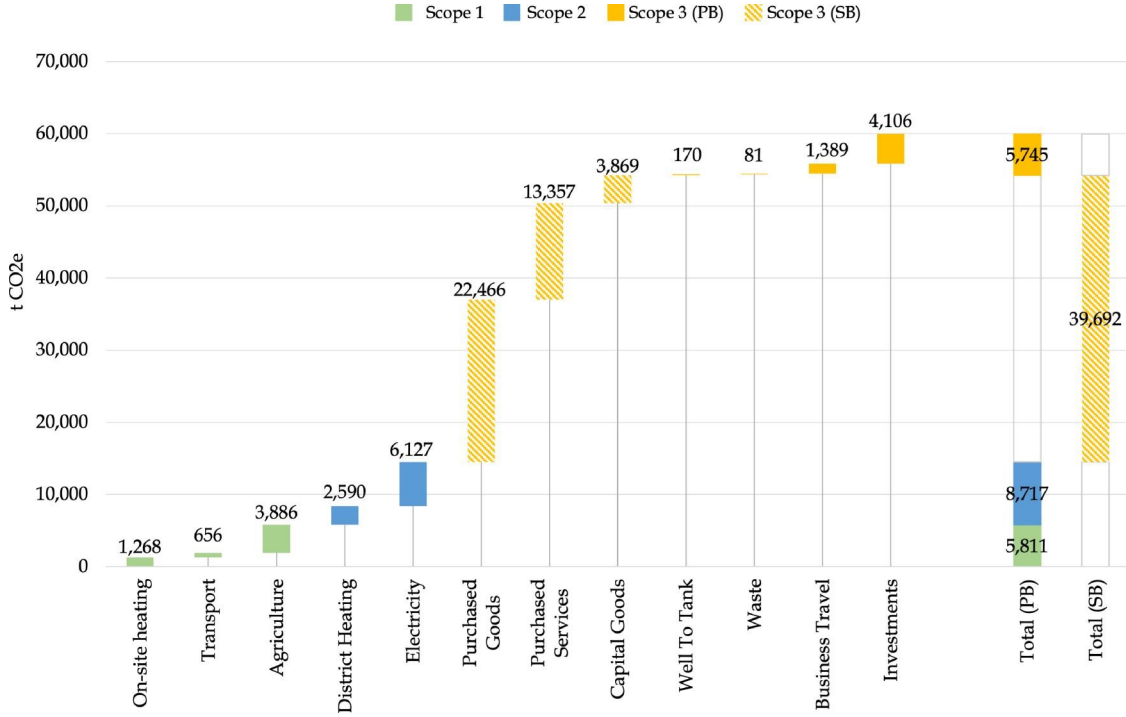
2021'de AU için toplam PB emisyonları 20.273 tCO₂e olarak gerçekleşmiştir (**Tablo 4**, **Şekil 2**). Üç kapsam arasında, kapsam 1 emisyonları %28'i (5.811 tCO₂e) oluşturmaktadır ve bu emisyonlar tesis içi petrol ve gaz tüketimi, araç faaliyetleri ve tarımsal emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Kapsam 2 emisyonlarının %43'ü (8.717 tCO₂e) elektrik ve bölgesel ısıtma faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Kapsam 3 emisyonları ise %29 (5.795 tCO₂e) olup hava yolculuğu, AU tarafından tüketilen yakıt için kuyudan tanka emisyonlar, atık su üretimi ve AU yatırımlarıyla ilişkili emisyonları içermektedir. Özellikle, elektrik tüketimi AU'nun emisyonlarına en büyük katkısı yapan tek unsur olmuştur. PB sonuçlarının öğrenciler ve çalışanlar arasında normalleştirilmesi 0,6 tCO₂e/kışı ile sonuçlanır.

Harcamaya dayalı envanter

2021 yılında AU için Kapsam 3.1 SB emisyonları toplam 35.823 tCO₂e (**Tablo 4**, **Şekil 2**) olup, hizmetler toplam kapsam 3.1 emisyonlarının yaklaşık üçte birini, mallar ise üçte ikisini oluşturmaktadır. "Toptan satış ve komisyon" %49 (11.120 tCO₂e) ile satın alınan mal emisyonlarına en fazla katkıda bulunurken, "Diğer ticari faaliyetler" %41 (5.497 tCO₂e) ile satın alınan hizmetler kategorisinde en fazla katkıda bulunmuştur. Kapsam 3.1 altındaki kategoriler satın alınan mallar ve hizmetler olarak ayrılmış ve NACE kodlarına dayalı EXIOBASE kategorileri kullanılarak daha da kategorize edilmiştir. Bu kategorilerin AU adlandırma yapısına göre ayrıştırılması, emisyon kaynakları hakkında daha fazla ayrıntı sağlamaktadır.

Satın alınan mallar toplam üniversite harcamalarının %21'ini ve SB emisyonlarının %57'sini oluşturmaktadır (kapsam 3.1 ve 3.2). "Toptan Satış ve Komisyon" EXIOBASE kategorisi ayrıştırıldığında, satın alınan mallar kategorisine en fazla BT, ilaç, makine ve gazların katkıda bulunduğu ortaya çıkmıştır. Bu arada, satın alınan hizmetler toplam harcamaların yaklaşık %16'sını ve SB emisyonlarının %34'ünü oluşturmıştır. "Diğer iş faaliyetleri" EXIOBASE kategorisi ayrıştırıldığında, bilimsel ve teknik hizmetlerin yanı sıra danışmanlık hizmetleri de satın alınan hizmetler kategorisine en büyük katkısı sağlayanlar olarak belirlenmiştir. Satın alınan mal ve hizmetlere en büyük katkısı yapan EXIOBASE kategorisi AU adlandırma yapılarına göre ayrıştırılmış ve **Tablo 5**'te gösterilmiştir.

SB yaklaşımı altında, kapsam 3.2 - Sermaye Malları emisyonları 3.869 tCO₂e ile sonuçlanmıştır.



Şekil 2. AU 2021 için hem SB hem de PB değerlendirmelerinden elde edilen toplam emisyonlar, okunabilirlik için birlikte sunulmuştur.

Tablo 5. Satın alınan mallar EXIOBASE kategorisi toptan satış ve Komisyon ile satın alınan hizmetler EXIOBASE kategorisi "diğer ticari faaliyetler" in üst AU adlandırma yapısı kategorilerine ilişkin daha fazla araştırma. Geri kalan kategoriler muhtelif altında gruplandırılmıştır.

Kapsam 3.1 Satın Alınan Mallar	tCO ₂ e
Toptan satış ve komisyon	11,120
Bilgisayarlar, cihazlar ve yazılımlar	2,376
İlaçlar	2,331
Diğer makine ve ekipmanlar	2,039
Katı, sıvı ve gaz yakıtlar vb.	1,944
Çeşitli	2,431
Kapsam 3.1 Satın Alınan Hizmetler	
Diğer ticari faaliyetler	5,497
Mühendislik ve benzeri teknik danışmanlık	1,007
İş ve diğer işletme yönetimi danışmanlığı	852
Diğer bilimsel ve teknik hizmetler NEC	812
Çeşitli	2,827

"İnşaat: binalar" kategorisi ve AU adlandırma yapısında aynı adla toplulaştırıldığında, "İnşaat: binalar" toplam kapsam 3.2 emisyonlarının %80'ini temsil etmektedir. Kalan %20'lik kısım ise "tuğla, kiremit ve inşaat ürünleri" ve "fabrikasyon metal ürünleri" gibi diğer inşaatla ilgili faaliyetlere yayılmıştır.

Sınırlamalar

Karbon muhasebesinin 1960'lardan beri var olduğunu ve başlangıcından bu yana önemli gelişmeler kaydettiğini kabul etmek gerekir. Bununla birlikte, geleneksel LCA yaklaşımının, verilerin manuel olarak çıkarılması ve haritalanması nedeniyle kullanıcı hatası potansiyeli yüksek olan karmaşık bir süreç olduğu bilinmektedir [43]. Kurumsal envanterler için,

Özellikle tedarikçiler arasında veri belirsizlikleri yaygındır. Veri tabanları arasında belirsizlik, metodolojik belgelerde ele alınmakta, ancak literatürde gözlemlenen benzer kurumsal envanterlere nadiren dahil edilmekte ve önemi uygulayıcılar tarafından henüz tam olarak takdir edilmemektedir [44]. Ne olursa olsun, sürdürülebilirliğe geçişle birlikte karbon okuryazarlığı arttıkça, üniversite buluşları belirsizlikler, metodolojik tutarlılık ve erişilebilirlik konularında daha keskin hale gelmelidir ki bu da LCA'nın bazı temel yönlerini zorlayabilir. Bu çalışma ve bu söyleme katkıda bulunan benzer çalışmalar, metodolojik ve ontolojik kaliteye doğru, beklentilerin ve hızın yüksek olduğu bir yolda, zaman içinde bir instantane olarak görülmelidir.

Tedarik kapsamında tedarikçiye özgü verilerin mevcudiyeti sınırlıdır ve adalet temalarının korunması için EXIOBASE'in AU tedarik çeşitliliğini kapsamı gerekmektedir. Kalan kapsamlar için mevcut olan tedarikçiye özel verilerden metodolojik s a p m a , ikisinin ayrı ayrı sunulmasını gerektirmekte ve bu da karar verme yeteneğini sınırlamaktadır. Yeterli karar desteğinin sağlanması ve veri şeffaflığının korunması için tedarikçiye özgü verilerin ve metodolojilerin veri tabanlarından alınanlarla uyumlu hale getirilmesi için metodolojik iyileştirmelere ihtiyaç vardır.

Burada sunulan yöntemde, ayrı metodolojiler içinde sınırlamalar ortaya çıkmaktadır. EEIO'l a r yapay sonuçlara yol açabilir çünkü veriler, üniversitelerin satın alma gücünü ortadan kaldıran ikincil ortalamaları temsil etmektedir [24]. Bu, eğer üniversiteler

ürünler için daha düşük fiyatlar üzerinde pazarlık yapabilir, bu da sera gazı envanterinde yapay olarak daha düşük bir rakam olarak görünür. Ayrıca, bir sektördeki tüm mal ve hizmetler, fiziksel yapılarına veya "sürdürülebilirliklerine" bakılmaksızın, tedarik edilen harcama başına sera gazı emisyonları açısından aynı kabul edildiğinden, tüm belirleyici özellikler değerlendirmede kaybolmaktadır [12,45]. Buna ek olarak, AÜ muhasebe verilerinin bir EVIO uygulaması için yapılandırılmamış olması nedeniyle verilerin kendisi de bazı sınırlamalar getirebilir. Örneğin, "kategorize edilmemiş" veya "dahili yerleşimler" kapsamındaki AU harcamaları ilgili bir EXIOBASE kategorisi ile eşleştirememiş ve literatürde kategorize edilmemiş harcamalar arasında ortalama El'lerin yer aldığı örneklerin aksine filtrelenmiştir [32]. Kurumsal sera gazı muhasebesinin kesin olmayan doğası, belirli emisyon kaynakları için %1 ila %30 arasında değişen varyasyonlar göstermektedir ve kısmen manuel veri manipülasyonuna atfedilmiştir [32], ancak belirsizliklerin dahil edilmesinin önemini yinelemektedir.

Tartışma

Üniversiteler, hem eyleme geçme konusunda bilgi vermek hem de paydaşlara katılımlarının sinyalini vermek için emisyonlarını tahmin etmeye ve açıklamaya başlıyor. Özel sektörde GHGP'nin benimsenmesi üniversitelerin de benimsemesi için bir emsal teşkil etmiştir, ancak Avrupa'da PEF/OEF gibi yeni girişimlerle birlikte bu gelecekte değişebilir. Amaç ve ihtiyaç açık olmakla birlikte, veri yapıları, mevcut araçlar ve üniversitelerin satın alma alışkanlıkları engel teşkil etmektedir. Bu vaka çalışması, ulusal düzeyde emisyon niyetlerini kullanan faaliyetler için tedarikçiye özel verilerin mevcut olduğunu göstermiştir, ancak üniversitelerin satın alma alışkanlıklarının özellikleri ve tedarikçi verilerinin eksikliği satın alınan mal ve hizmetlerin gömülü emisyonlarını içerecek adil bir envanter ihtiyacı ile birleştiğinde farklı bir yaklaşım gerektirmektedir. Tedarikçiye özel verilerin çoğu benzer bir metodolojiyi benimsemese de EXIOBASE bu zorluğa uygun bir çözüm sunmaktadır. Sonuçta ortaya çıkan cLCA ve aLCA karışımı ayrı raporlama yoluyla ele alınmakta, ancak AU'nun kolektif emisyonlarının net ve eksiksiz bir resmini ortaya koymaktadır.

Süreç bazlı aLCA sonuçları

AÜ'de yapılan PB değerlendirmeleri, emisyonların yaklaşık üçte birinin kapsam 3'e atfedildiğini ortaya koymakta ve literatürde satın alma işlemlerini muhasebelerinin dışında tutan diğer PB örnekleriyle uyum göstermektedir

[46-49]. Dikkate değer sonuçlar, en çok emisyon yayan iki kaynaktır: elektrik ve yatırımlar. Elektrik, Danimarka'nın yüksek derecede yenilenebilir penetrasyonuna sahip olmasına rağmen PB emisyonlarına en büyük katkıda bulunan kaynaktır. Bu emisyonlar AU'nun doğrudan kontrolü altındadır ve Avrupa'da enerji fiyatları arttığı için 2022 yılında önemli bir düşüş görülmesi beklenmektedir. Diğer üniversiteler, yenilenebilir enerji kaynaklarını ya uygulanan ve minimum elektrik emisyonu ile sonuçlanan [31,32] ya da planlanan [50,51] çözümler olarak belgelemektedir. AÜ'deki yatırım emisyonları PB envanterindeki ikinci en büyük emisyondur ve üniversiteyle ilgili literatürün çoğunda yer almamakla birlikte finansla ilgili literatürde uzun uzadıya araştırılmıştır [52]. Yatırım emisyonları sadece yatırımların üretim emisyonlarını yansıtmaktadır, elden çıkarma girişimlerinin müteakip etkileri ile birlikte yatırımın yaşam boyu emisyonları hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir [53]. Hava yolculuğu, kapsam 3.6 emisyonlarının baskın kaynağıydı ve pandeminin devam eden etkileri nedeniyle muhtemelen daha düşüktür. COVID-19, iş seyahati emisyonlarında ciddi düşüşler getirmiştir [33], ancak seyahat faaliyeti pandemi öncesi normlara döndükçe tekrar artması beklenmektedir. Öğrenci ve çalışanların işe gidip gelmeleri bu çalışmaya dahil edilmemiştir, ancak literatürde işe gidip gelme verilerinin toplam kurumsal envanter [29,31,33] ve odaklanmış bir değerlendirme [54] kapsamında nasıl toplanabileceğine dair çok sayıda örnek bulunmaktadır.

Harcama temelli cLCA değerlendirmesi

SB verilerini kapsam 3.1 ve kapsam 3.2 için emisyonlara dönüştürmek için EXIOBASE kullanılmıştır. Sonuçlar, satın alınan malların kapsama daha fazla katkıda bulunduğunu göstermektedir

3.1 emisyonları hizmetlerden daha fazladır ve literatürdeki gözlemlerle tutarlıdır [6,35].

Kurumsal karbon ayak izi: Kapsam 3.1 satın alınan hizmetler

EXIOBASE kategori adı olan "diğer iş faaliyetleri" üniversite hizmetlerine en büyük katkısı sağlayan kategoridir. AU isimlendirmesine göre ayrıştırıldığında mühendislik, işletme ve teknik danışmanlığın en fazla harcamayı oluşturduğu görülmektedir. EXIOBASE'in üniversite faaliyetlerinin önemli bir bileşeni olan hizmetleri ölçme kabiliyetine rağmen, dağılımın beklenenden daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durum, hizmetlere genel olarak odaklanılmamasından kaynaklanıyor olabilir [55] ki bu da AU'nun satın aldığı hizmetlerin çoğunun "diğer" başlığı altında yer almasını açıklamaktadır. Dağılım aynı zamanda AÜ tarafından kullanılan dahili adlandırma yapılarının aşağıdakileri içermesinden de kaynaklanıyor olabilir

Hem mal hem de hizmetlerin aynı tanımda yer alması, hizmet işlemlerinin satın alınan mallar olarak sınıflandırılmasına neden olmaktadır. Ayrıca, "dahili yerleşimler" gibi bazı hizmetler EXIOBASE kategorilerine kolaylıkla atfedilemeyen hizmetleri içerebileceğinden, dağılım verilerin manuel olarak manipüle edilmesinden ve filtrelemeden etkilenebilir.

Kurumsal karbon ayak izi: Kapsam 3.1 satın alınan mallar

Kapsam 3.1 satın alınan mallardan elde edilen sonuçlara bakıldığında, emisyonlara katkıda bulunan faaliyetlerin AÜ'nün ana fakülteleri arasında dağıldığı görülmüştür ki bu şaşırtıcı değildir ve AÜ'nün tedarik konusundaki iklim stratejisini bilgilendirmek için faydalıdır [38]. Muhasebe verileriyle çalışmanın beklenen bir diğer sonucu da ağır kategorilerdeki en iyi tedarikçilerin belirlenmesidir. Bazı tedarikçiler kataloglarının bazı bölümleri için halihazırda emisyon verileri sağlayabilmektedir ve bu nedenle gelecekteki buluşlar için tedarikçilerden elde edilebilecek emisyon verilerinin metodolojik uyumluluğunun araştırılması önerilmektedir. Ancak DKUNI'nin de belirttiği gibi, envanterde metodolojik netlik korunacaksa, tedarikçi verilerinin dahil edilmesi sorunlu olabilir çünkü metodolojik olarak neyin doğru olduğu konusunda net bir anlaşma yoktur ve tedarikçiye özgü verilerin entegrasyonu tüm Danimarka üniversitelerinde mevcut olmayan beceriler gerektirir [21]. Bununla birlikte, bu zorluk ilerlemeyi engellememeli ve tedarikçiler ilgili bir diyaloga dahil edilmeli ve üniversitenin duruşu ve beklentileri hakkında bilgilendirilmelidir.

Kurumsal karbon ayak izi: Kapsam 3.2 Sermaye malları

Sermaye Malları, uzun ömürlü ve operasyonlara katkıda bulunan mallar olarak tanımlanmaktadır [56]. Üniversiteler için bunlar örneğin karmaşık analitik ekipman, makine ve araştırma araçlarını içermelidir, ancak muhasebe verilerinden yalnızca inşaatla ilgili amaçlar tespit edilebilmiştir ve bu nedenle kapsam 3.2'nin büyük kısmını oluşturmaktadır. Bu durum literatürdeki diğer hibrit vakalar arasında yaygın olarak görülmektedir [24,29,32-35]. İnşaat sektörü, özellikle yapı malzemelerine gömülü emisyonlar olmak üzere çevresel etkileri nedeniyle inceleme altındadır ve Danimarka'da CO₂/m²/y ölçmeyi ve sınırlandırmayı amaçlayan bir mevzuat bulunmaktadır [57]. Bu, bir sektörün bir üniversitenin emisyon verisi ihtiyaçlarıyla potansiyel uyumunu sunar ve diğer sektörlerle doğru bir şekilde nasıl etkileşim kuracağına dair bir örnek olarak hizmet edebilir.

emisyon verileri. Kapsam 3.2'de yer almayan büyük analitik aletler dikkat çekicidir. Diğer satın alımlardan ayrıştırılamamış olsalar da, kapsam 3.2 emisyonlarının önemli bir kısmını temsil etmeleri beklenmektedir.

DKUNI ödünleşimleri ve yöntem yansımaları

DKUNI grubunun paydaşları tarafından sera gazı envanterinin, ilerlemenin harici bir kitleye iletilmesi ve dahili karar desteği sağlanması dahil olmak üzere birden fazla rolü yerine getirmesi gerektiği toplu olarak belirlenmiştir [21]. Her iki envanter de farklı yöntemler gerektirdiğinden ve farklı sorular sorduğundan, konsekansiyel veya atıfsal LCA kullanımı bu ayrımın merkezinde yer almaktadır. Bu tartışma literatürde tartışılmıştır [58-60] ve bu çalışmanın sonuçları Brander ve diğerlerinin [60] bulguları ile uyumludur, çünkü yöntemler kullanılan PB ve SB yaklaşımlarına göre ayrı ayrı raporlanırken, bunların tamamen aLCA veya cLCA olmadıkları kabul edilmektedir. Bu sera gazı envanteri hala birden fazla rolü yerine getirmeye çalışan bir envanterin temsildir, ancak üniversite emisyonları ve yaklaşımları birleştirmenin potansiyel metodolojik riskleri ile ilgili literatürde bir farklılaşma oluşturmaktadır. Bu tartışma gelişmeye devam ettikçe, bu yöntemlerin karmaşıklıklarının ve fırsatlarının dış iletişim ve iç karar vericiler arasında ortaya çıkması beklenmektedir.

EXIOBASE hem cLCA hem de aLCA yaklaşımlarından yararlandığından, DKUNI'nin önerileri, EXIOBASE sonuçlarının, sonuçları yanlış yönlendirme riski nedeniyle atıf sonuçlarıyla karşılaştırılmaması veya karar desteği için kullanılmaması yönündedir [21,36]. Bu nedenle envanter, karşılaştırmaların metodolojik sınırları aşmaması gerektiğini belirtmek için değerlendirme yöntemleri arasında bölünmüştür. Örneğin, burada sunulan sonuçlar AU tarafından bölgesel ısıtma emisyonları ile eski binaların yeniden yalıtılmasından kaynaklanan emisyonlar arasında karşılaştırma yapmak için, en uygun şekilde cLCA kullanılarak daha yakın bir PB araştırması yapılmadan kullanılmamalıdır.

EXIOBASE'in üniversite pro- kurasyonu için karbon ölçme araçlarına değerli bir katkı olduğu açıktır, ancak emisyonları azaltmak için tek başına SB yöntemlerini kullanmak yetersizdir ve harcamaların azaltılmasını veya sektör değiştirmenin yollarının bulunmasını gerektirir [19,24]. Ayrıca, SB verilerinin kullanılması fiyat dalgalanmalarına maruz kalmakta ve bu da yapay sonuçlar verebilmektedir. Bunu ele almak için, mümkünse modele PB girdisi kullanılabilir. Sadece SB verileri kullanılırken

EXIOBASE bu çalışmada, gelecekteki envanterler, 2022'deki önemli enflasyon ve fiyat dalgalanmaları göz önüne alındığında daha net sonuçlar elde etmek için PB verilerini kullanabilir ve DKUN'nin SB verileri yerine PB verilerine öncelik verme sonucuyla uyumludur. EXIOBASE'in diğer kapsam ve kategorilere uygulanmasının artırılması gelişmiş bir metodolojik tutarlılık düzeyi sağlayacaktır [21,36].

Karar verme

Metodolojik kısıtlamalar AÜ'nün karar destek için derinlemesine teknik değerlendirmeleri kullanmasını engellese de, bu görev değersiz değildir. Çalışmanın sonuçları, AÜ'nün filosunun elektrifikasyonunu teşvik etmek, doğal gazdan uzaklaşmak ve elektrik kullanımını daha verimli hale getirmek gibi faaliyetlerdeki değişiklikler yoluyla doğrudan kontrolleri altındaki emisyon azaltma girişimlerini (kapsam 1 ve 2) uygulamasına olanak tanımaktadır. Kapsam 3 emisyonları için çalışma, güçlendirilmiş seyahat politikaları ve yatırım stratejilerinin eleştirel bir şekilde değerlendirilmesiyle azalan uçuş faaliyetlerinden yararlanmanın azaltımları teşvik edebileceğini öne sürmektedir. Karbon denkleştirmeleri de, örneğin Oxford Denkleştirme İlkeleri [61] takip edilerek doğru şekilde yapılırsa, AÜ'nün genel emisyon performansına katkıda bulunabilir. Ayrıca, veri toplama uyumlu metodolojilere izin verecek şekilde geliştirilmelidir. Sera gazı envanterlerinin tamamlanmasının önündeki engellerden biri yeterli veridir [27] ve kurumsal emisyon envanterlerinin yürütülmesinde kullanılan yöntemlerin iyileştirilmesi için sonuçlar, gelecekte departmanlar arası işbirliği yoluyla daha iyi veri toplanmasını ve tedarikçilerle diyalog kurulmasını önermektedir.

Ekonomik veri sahipleriyle daha yakın işbirliği

Bu çalışma boyunca karşılaşılan bir sınırlama, ekonomik verilerdeki boşluklar ve bilinmeyenlerden kaynaklanmaktadır. AÜ faaliyetlerinin daha net bir şekilde sınıflandırılması, bağlantı kurulacak başlıca tedarikçilerin belirlenmesi ve satın alınan mallar ile sermaye mallarının birbirinden ayrılması, muhasebe ve satın alma departmanları ile sera gazı envanterini yürüten uygulayıcılar arasında daha yakın bir işbirliği ile sağlanabilir. Alternatif olarak, model uzmanlar tarafından doğrulanır ve güncellenmiş üniversite muhasebe sistemlerine entegre edilirse, muhasebe departmanı yıllık sera gazı envanterinin yürütülmesi ve sunulması gibi ikinci bir rol üstlenebilir. SB yönteminin toplama sınırlamaları olsa da, kategorileri ayırtıran EXIOBASE için yakında yapılacak bir güncelleme

sonuçların daha fazla çözümlenmesine ve EXIOBASE'in daha fazla entegrasyonuna olanak tanır [62].

Nihai yansımalar

Bu çalışma, satın alınan üniversite emisyon portföyünde önemli bir rol oynadığını ve tedarikçilerin ve üniversitelerin emisyonları tam olarak şeffaf olmayan şekillerde nasıl hesapladıklarını etkileyen temel varsayımlar olduğunu vurgulamaktadır. Satın alma ve ilgili alanların inceliklerini daha iyi anlamak için, şeffaf veri tedarikinde adalet ve hakkaniyet temalarını korurken sürece dayalı yöntemi artırmaya odaklanan daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Karbon ayak izi yaygın olarak kullanılan ve anlaşılması nispeten kolay bir araç olmakla birlikte, çevresel etkileri aşırı basitleştirdiği için eleştirilmektedir [63]. Bunun nedeni, yalnızca sera gazı emisyonlarına odaklanması ve toprak, su ve biyoçeşitlilik için toksik olanlar gibi diğer emisyonları ihmal etmesidir [64,65]. Sonuç olarak, sera gazı envanterleri bir kuruluşun sürdürülebilirliğini tam olarak temsil etmemelidir. Bu eleştiriler, karbon ayak izinin bir kuruluşun sera gazı emisyonlarını anlamak için faydalı bir araç olmasına rağmen, sürdürülebilirlik performansının daha kapsamlı bir resmini elde etmek için diğer yöntemlerle birlikte kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, Aarhus Üniversitesi'nin 2021 emisyonlarını hesaplamak için hibrit bir yaklaşım benimsenmiştir. Hem harcama temelli hem de süreç temelli bir yaklaşım benimsenmiş ve ortaya çıkan emisyonlar, metodolojik tutarsızlıkları birleştirmekten ve dolayısıyla yanıltıcı sonuçları riske atmaktan kaçınmak için ayrı ayrı raporlanmıştır. Satın alma ile ilgili emisyonlar, ekonomik muhasebe verileri ve EXIOBASE kullanılarak hesaplanmış ve GHGP'nin kapsam 3.1 ve kapsam 3.2 tanımları dahilindeki faaliyetleri kapsayarak 39.691 tCO₍₂₎e ile sonuçlanmıştır. Tablo 3'te açıklanan diğer tüm kapsamlar ve kategoriler, sürece dayalı bir yöntem kullanılarak yapılmış ve 20.273 tCO₍₂₎e ile sonuçlanmıştır. Burada, veri erişilebilirliği, toplanan yöntemi ve verileri güçlü bir şekilde etkilemiştir ve Danimarka Üniversiteleri grubunun sonuçlarının önerileriyle tutarlıdır. Tüm üniversite satın alımlarını kapsayacak bir SB yönteminin dahil edilmesi, satın alım emisyonlarına ilişkin farkındalığı artırmıştır, ancak karbonsuzlaştırma yollarına yönelik daha bilinçli kararlar alınmasını sağlamak için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Mevcut haliyle ekonomik veriler EEIO uygulaması için optimal bir eşleşme değildir ve

muhasabe verileri ayrıntılıdır, bu verilerde gezinmek veya en son EEIO yapılarıyla daha iyi eşleşecek şekilde yeniden yapılandırmak için uzmanlık gerekir. Ayrıca, literatürdeki sonuçlarla uyumlu olarak, süreç bazlı verilere harcama bazlı verilerden öncelik verilmelidir; bu da verilerinin üniversitelerde nasıl toplandığına eleştirel bir gözle bakılmasını gerektirir. Tedarikçiye özgü verilerin sorunsuz bir şekilde dahil edilmesi de bir zorluk teşkil etmektedir; bu da özel bilgileri korurken şeffaflığa izin veren bir veri ontolojisi gerektirebilir. EXIOBASE sera gazı envanterine güçlü bir katkı sunarken, karbon tahmini ve yönetimine ilişkin yöntemler bir sera gazı envanterinin yerine getirmesi gereken çoklu rolleri yansıtacak şekilde güncellenmelidir. Üniversiteler üniversite buluşlarının gelişen ihtiyaçları doğrultusunda karbon ayak izi uygulamalarını yoğunlaştırırlarsa özel sektördeki muadilleriyle aynı tra- jedide karbonsuzlaşmayı sağlayabilirler.

Teşekkür

Bu araştırmaya katkıda bulunan yapıcı ve verimli görüşmeler için DKUNI grubu üyelerine, böyle bir çabanın sürdürülmesinde veri ve inter- est sağladıkları için AU'ya ve destekleri için DCE'ye teşekkür ederiz.

Açıklama beyanı

Yazar(lar) tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bildirilmemiştir.

ORCID

Hans Sanderson  <http://orcid.org/0000-0002-3765-4310>

Veri kullanılabilirliği beyanı

Araştırmanın doğası gereği, Aarhus Üniversitesi'nin faaliyetlerini çevreleyen veriler mevcut değildir.

Referanslar

1. Dumas L. Finansal istikrar, mahsur varlıklar ve düşük karbonlu geçiş - teorik ve uygulamalı literatürün eleştirel bir incelemesi- ical and applied literatures. *J Econ Surv.* 2023;1-116.
2. Sanderson H. Somutlaştırılmış CO2'den kim sorumludur? *İklim.* 2021;9(3):41. doi: [10.3390/cli9030041](https://doi.org/10.3390/cli9030041).
3. He R, Luo L, Shamsuddin A ve diğerleri. Kurumsal karbon muhasebesi: Kyoto protokolünden Paris anlaşmasına kadar karbon muhasebesi araştırmalarına ilişkin bir literatür taraması- ment. *Hesap Finansmanı.* 2021;62:261-298. doi: [10.1111/acfi.12789](https://doi.org/10.1111/acfi.12789).
4. Stridland T, Sanderson H. Scope 3 of higher educa- tion - a review of methods. *İçinde: Leal Filho, W, Sima M, Lange Salvia A, Kovaleva M, Manolas E, editörler.*

- İklim Değişikliği Eğitimi ve Araştırması Üzerine Üniversite Girişimleri. Cham: Springer Nature; 2023.
5. Valls-Val K, Bovea MD. Yükseköğretimde karbon ayak izi eğitim kurumları: bir literatür taraması ve gelecekteki araştırmalar için öneriler. *Clean Technol Environ Policy.* 2021;23(9):2523-2542. doi: [10.1007/s10098-021-02180-2](https://doi.org/10.1007/s10098-021-02180-2).
6. García A, Gilles E, Monsalve F, et al. Measuring a uni- versitenin çevresel performansı: karbon ayak izi değerlendirmesi için standartlaştırılmış bir öneri. *J Clean Prod.* 2022;357:131783. doi: [10.1016/j.jclepro.2022.131783](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131783).
7. Gao T, Liu Q, Wang J. Karbon ayak izinin karşılaştırmalı bir çalışması. ayak izi ve değerlendirme standartları. *Int J Low- Carbon Tech.* 2014;9(3):237-243. doi: [10.1093/ijlct/ctt041](https://doi.org/10.1093/ijlct/ctt041).
8. Peters GP. Karbon ayak izleri ve somutlaştırılmış karbon çoklu ölçeklerde. *Curr Opin Environ Sustain.* 2010; 2(4):245-250. doi: [10.1016/j.cosust.2010.05.004](https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.004).
9. Lloyd SM, Hadziosmanovic M, Rahimi K, ve ark. abd iklim izah kuralı ile şirketlerin kapsam 3 raporlamasına hazır olduğunu gösteriyor [internet]. 2022. Şu adresten erişilebilir: <https://www.wri.org/update/trends-show-companies-are-ready-scope-3-reporting-us-climate-disclosure-rule>.
10. Avrupa Komisyonu. Avrupa LCA Platformu [Internet]. [Alıntı 2023 Eylül 1]. Erişim adresi: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/>
11. Leontief W. Çevresel yansımalar ve ekonomik yapı: bir girdi-çıkıtlı yaklaşımı. *Rev Econ Stat.* 1970;52(3):262-271. doi: [10.2307/1926294](https://doi.org/10.2307/1926294).
12. Matthews HS, Hendrickson CT, Matthews D. Yaşam döngüsü değerlendirme: önemli kararlar için nicel yaklaşımlar. Açık erişimli ders kitabı. <https://www.lcatextbook.com/>; 2014 adresinden edinilebilir
13. Nordenstam L. Atıfsal veya sonuçsal değerlendirme- döngüsel bir sera gazı yönetimi sürecindeki unsurlar - elektrik ve bölgesel ısıtma kullanımı ve üretimine ilişkin kılavuzların karşılaştırılması. *J Clean Prod.* 2021;317:128214. doi: [10.1016/j.jclepro.2021.128214](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128214).
14. Russell S. Karşılaştırmalı elektrik ve bölgesel ısıtma ürünlerin emisyon etkileri. *World Resour Inst Work Pap* [Internet]. 2019;26:1-26. Şu adresten erişilebilir: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/18_WP_Comparative-Emissions_final.pdf.
15. GHGP. Pilot test ve inceleme için taslak. *L Mezhep Kaldırma Kılavuzu.* Eylül 2022; 2022.
16. Lave LB, McMichael FC, Cobas-Flores E, vd. Ekonomi genelindeki masrafları tahmin etmek için girdi-çıkıtlı analizinin kullanılması. *Environ. Sci. Technol.* 1995;29(9):420A-426A. doi: [10.1021/es00009a748](https://doi.org/10.1021/es00009a748).
17. Suh S, Lenzen M, Treloar GJ, et al. Sistem sınırı Hibrit yaklaşımlar kullanarak Yaşam Döngüsü envanterlerinde seçim. *Environ Sci Technol.* 2004;38(3):657-664. doi: [10.1021/es0263745](https://doi.org/10.1021/es0263745).
18. Lenzen M, Treloar G. Yaşam döngüsü envanterlerinin diferansiyel yakınsaması. Yukarı akış üretim katmanlarına yönelik döngü envanterleri: yaşam döngüsü değerlendirmesi için çıkarımlar. *J Indu Ecol.* 2002;6(3-4):137-160. doi: [10.1162/108819802766269575](https://doi.org/10.1162/108819802766269575).

19. Baboulet O, Lenzen M. Bir üniversitenin çevresel performansının değerlendirilmesi. *J Clean Prod.* 2010; 18(12):1134-1141. doi: [10.1016/j.jclepro.2010.04.006](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.006).
20. Sanden BA, Karlstroöm M. Pozitif ve negatif besleme sonuçsal yaşam döngüsü değerlendirmesinde geri dönüş. *J Clean Prod.* 2007;15(15):1469-1481. doi: [10.1016/j.jclepro.2006.03.005](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.03.005).
21. Stridsland T, Boeve T, Løkke S, et al. Yüksek Eğitimde Sera Gazı Envanterine İşbirlikçi Yaklaşımlar: Danimarka Üniversiteleri Grubundan görüşler. [Manuscript Submitt Publ.] 2023.
22. Li Z, Chen Z, Yang N, et al. Yükseköğretimin karbon ayak izine ilişkin araştırmalardaki eğilimler: bibliyometrik bir analizi (2010-2019). *J Clean Prod.* 2021;289:125642. doi: [10.1016/j.jclepro.2020.125642](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125642).
23. Borgermann N, Schmidt A, Dobbelaere J. Şarap içerken su içmeyi vaaz etmek: üniversiteler neden iklim eylemini şimdi artırmalı? *Tek Dünya.* 2022;5(1):18-21. doi: [10.1016/j.oneear.2021.12.015](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.12.015).
24. Thurston M, Eckelman MJ. Üniversite satın alımlarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının değerlendirilmesi. *Int J Sustain High Educ.* 2011;12(3):225-235. doi: [10.1108/14676371111148018](https://doi.org/10.1108/14676371111148018).
25. Mazhar MU, Bull R, Lemon MA. Birleşik Krallık yükseköğretim sektöründe stratejik karbon yönetimine ilişkin inceleme ve vaka çalışması. Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) COBRA Konferansı Bildirilerinde. 2012;2012.
26. Helters E, Chang CC, Dauwels J. Dünya çapında üniversitelerin karbon ayak izi: bölüm I-standartlaştırılmış ölçütlerle nesnel karşılaştırma. *Environ Sci Eur.* 2021; 33(1):1-25. doi: [10.1186/s12302-021-00454-6](https://doi.org/10.1186/s12302-021-00454-6).
27. Robinson OJ, Tewkesbury A, Kemp S, et al. Towards a universal carbon footprint standard: a case study of carbon management at universities. *J Clean Prod.* 2018;172:4435-4455. doi: [10.1016/j.jclepro.2017.02.147](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.147).
28. SIMAP. Kapsam 3: Veri Girişi Haritalama [Internet]. 2023 [alıntı 2023 Mar 26]. Şu adresten erişilebilir: <https://unhsm-map.org/cmap/resources/scope3-mapping>.
29. Larsen HN, Hertwich EG. Yerel iklim eylemini teşvik etmek için sera gazı emisyonlarının tüketim temelli muhasebesi. *Environ Sci Policy.* 2009; 12(7):791-798. doi: [10.1016/j.envsci.2009.07.010](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.07.010).
30. Alvarez S, Blanquer M, Rubio A. Mali hesaplara dayalı bileşik yöntem kullanılarak karbon ayak izi. Madrid Teknik Üniversitesi Orman Mühendisliği Okulu örneği. *J Clean Prod.* 2014;66:224-232. [Alıntı 2020 Nisan 2]. Available from: doi: [10.1016/j.jclepro.2013.11.050](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.050).
31. Kiehle J, Kopsakangas-Savolainen M, Hilli M, vd. Yükseköğretim kurumlarında karbon ayak izi: Oulu Üniversitesi örneği. *J Environ Manage.* 2022;329:117056. doi: [10.1016/j.jenvman.2022.117056](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117056).
32. Herth A, Blok K. Üniversitelerin doğrudan ve dolaylı karbon emisyonlarının ölçülmesi - Delft Teknoloji Üniversitesi örneği. *IJSHE.* 2022;24(9):21-52. doi: [10.1108/IJSHE-04-2022-0121](https://doi.org/10.1108/IJSHE-04-2022-0121).
33. Sun L, Kaufman MF, Sirk EA ve diğerleri. COVID-19'un bir akademik kurumun sera gazı inovasyonu üzerindeki etkisi: Cornell Üniversitesi örneği. *J Clean Prod.* 2022;363:132440. doi: [10.1016/j.jclepro.2022.132440](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132440).
34. Ozawa-Meida L, Brockway P, Letten K, et al. Birleşik Krallık'taki bir üniversitede karbon performansının tüketime dayalı karbon ayak izi ile ölçülmesi: de montfort üniversitesi vaka çalışması. *J Clean Prod.* 2013;56:185-198. doi: [10.1016/j.jclepro.2011.09.028](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.028).
35. Townsend J, Barrett J. Bir Birleşik Krallık üniversitesinde sürdürülebilirliğe yönelik karbon ayak izi uygulamalarının araştırılması: raporlama ve karar verme. *J Clean Prod.* 2015;107:164-176. doi: [10.1016/j.jclepro.2013.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.004).
36. Stadler K, Wood R, Bulavskaya T, et al. EXIOBASE 3: çevresel açıdan genişletilmiş ayrıntılı Çok Bölge Girdi-Çıktı tablolarından oluşan bir zaman serisinin geliştirilmesi. *J Ind Ecol.* 2018;22(3):502-515. doi: [10.1111/jiec.12715](https://doi.org/10.1111/jiec.12715).
37. Aarhus Üniversitesi. Aarhus Üniversitesi sürdürülebilirlik dosyası [Internet]. 2023 [alıntı 2023 Nisan 1]. Erişim adresi: <https://international.au.dk/about/profile/sustainability>.
38. Aarhus Üniversitesi Üniversite İklim Strateji 2020-2025 [Internet]. 2020. Erişim adresi: https://auinstallation40.cs.au.dk/fileadmin/www.au.dk/om_au/KLIMASTRAT2020_DK_INDHOLD_v4_UK_v5.pdf.
39. Nielsen O-K, Plejdrup MS, Winther M, vd. Danimarka Ulusal Envanter Raporu 2022 [Internet]. 2022. Şu adresten erişilebilir: <http://dce2.au.dk/pub/SR189.pdf>.
40. Prussi M, Yugo M, De Prada L, vd. JEC Well-to-Tank raporu v5 [Internet]. 2020. Erişim adresi: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/jec-well-tank-report-v5>.
41. DSB. Miljøårsopgørelse 2021. 2022.
42. DEFRA. Sera gazı raporlaması: dönüşüm faktörleri 2021 [Internet]. 2022 [alıntı 2022 Ekim 1]. Şu adresten erişilebilir: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>.
43. Amahmoud A, El Attar MM, Meleishy A. Yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımının evrimi: geçmiş ve gelecekteki beklentilerin gözden geçirilmesi. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2022; 992:12002. doi: [10.1088/1755-1315/992/1/012002](https://doi.org/10.1088/1755-1315/992/1/012002).
44. Ross S, Evans D, Webber M. LCA çalışmaları belirsizlikle nasıl başa çıkar? *Int J LCA.* 2002;7(1):47-52. doi: [10.1007/BF02978909](https://doi.org/10.1007/BF02978909).
45. Hendrickson CT, Lave LB, Matthews HS. Mal ve hizmetlerin çevresel yaşam döngüsü değerlendirmesi: girdi-çıkı yaklaşımı [Internet]. Gelecek için Kaynaklar; 2006 [alıntı 2023 Nisan 4]. Available from: <https://www.routledge.com/Environmental-Life-Cycle-Assessment-of-Goods-and-Services-An-Input-Output/Hendrickson-Lave-Matthews/p/book/9781933115245>.
46. Samara F, Ibrahim S, Yousuf ME, et al. Bir Birleşik Arap Emirlikleri üniversitesinde karbon ayak izi: Sera gazı protokolü. *Sürdürülebilirlik.* 2022;14:2522. doi: [10.3390/su14052522](https://doi.org/10.3390/su14052522).
47. Battistini R, Passarini F, Marrollo R, et al. Bologna Üniversitesi vaka çalışması. *Energiler.* 2022;16(1):166. doi: [10.3390/en16010166](https://doi.org/10.3390/en16010166).
48. Osorio AM, Suga LF, Vasquez RE, vd. Yükseköğretim kurumlarında karbon nötrlüğüne doğru: Kolombiya'daki iki özel üniversite örneği. *Sürdürülebilirlik.* 2022;14:1-24.
49. Cortes AC. Filipinler'deki bir üniversitenin sera gazı emisyonları envanteri: Cebu örneği. *Philipp J Sci.* 2022;151(3):901-912. doi: [10.56899/151.03.10](https://doi.org/10.56899/151.03.10).

50. Mustafa A, Kazmi M, Khan HR, v d. Otomobilsiz ve sürdürülebilir bir kampüse doğru: NED mühendislik ve teknoloji üniversitesi vaka çalışması. Sürdürülebilirlik. 2022;14:1-17.
51. Tian X, Zhou Y, Morris B, vd. Cornell Üniversitesi kampüs enerji sistemlerinin otomobil nötr ve %100 yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik sürdürülebilir tasarımı. Renew Sustain Energy Rev. 2022;161:112383. doi: [10.1016/j.rser.2022.112383](https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112383).
52. Popescu IS, Hitaj C, Benetto E. Yatırım fonlarının sürdürülebilirliğinin ölçülmesi: sürdürülebilir finasta yöntem ve çerçevelerin eleştirel bir incelemesi. J Clean Prod. 2021;314:128016. doi: [10.1016/j.jclepro.2021.128016](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128016).
53. Braungardt S, van den Bergh J, Dunlop T. Fosil yakıt elden çıkarma ve iklim değişikliği: tartışmalı argümanların gözden geçirilmesi. Energy Res Soc Sci. 2019;50:191-200. doi: [10.1016/j.erss.2018.12.004](https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.12.004).
54. Pérez-Neira D, Rodríguez-Fernández MP, Hidalgo-González C. The greenhouse gas mitigation potential of university commuting: a case study of the university of León (Spain). J Transp Geogr. 2020;82:102550. doi: [10.1016/j.jtrangeo.2019.102550](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102550).
55. Hertwich EG, Wood R. Sanayiden kaynaklanan kapsam 3 sera gazı emisyonlarının artan önemi. Environ Res Lett. 2018;13(10):104013. doi: [10.1088/1748-9326/aac19a](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac19a).
56. GHG Protokolü. Kurumsal değer zinciri (kapsam 3) muhasebe ve raporlama standardı. Wri Wbscd. 2011.
57. Danimarka İçişleri ve Sağlık Bakanlığı. Aftale om national strategi for bæredygtigt byggeri. Danimarka: Indenrigs- og boligministeriet; 2021.
58. Weidema BP, Pizzol M, Schmidt J, et al. Atıfsal veya sonuçsal yaşam döngüsü değerlendirmesi: bir mesele sosyal sorumluluk. J Clean Prod. 2018;174:305-314. doi: [10.1016/j.jclepro.2017.10.340](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.340).
59. Weidema BP, Pizzol M, Schmidt J, et al. Social responsibility is always consequential-rebuttal to brander, burritt and christ (2019): coupling attributional and consequential life cycle assessment: a matter of social responsibility. J Clean Prod. 2019;223:12-13. doi: [10.1016/j.jclepro.2019.03.136](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.136).
60. Brander M, Burritt RL, Christ KL. Eşleştirme özellikleri ve sonuçsal yaşam döngüsü değerlendirmesi: bir sosyal sorumluluk meselesi. J Clean Prod. 2019;215: 514-521. doi: [10.1016/j.jclepro.2019.01.066](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.066).
61. Rayner S, Heyward C, Kruger T, et al. The Oxford prensipleri. İklim Değişikliği. 2013;121(3):499-512. doi: [10.1007/s10584-012-0675-2](https://doi.org/10.1007/s10584-012-0675-2).
62. AAU. Verileri Doğru Elde Etmek: Proje Hakkında [Internet]. 2021 [alıntı 2022 Ekim 27]. Şu adresten erişilebilir: <https://www.en.plan.aau.dk/getting-the-data-right/about-the-project>.
63. El Geneidy S, Baumeister S, Govigli VM, et al. The car-Bir bilgi kuruluşunun bon ayak izi ve COVID-19 sonrası dünya için emisyon senaryoları. Environ Impact Assess Rev. 2021;91:106645. doi: [10.1016/j.eiar.2021.106645](https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106645).
64. Weidema BP, Thrane M, Christensen P, et al. Karbon ayak izi: yaşam döngüsü değerlendirmesi için bir katalizör mü? J of Industrial Ecology. 2008;12(1):3-6. doi: [10.1111/j.1530-9290.2008.00005.x](https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00005.x).
65. Laurent A, Olsen SI, Hauschild MZ. Arabanın sınırlamaları-çevresel sürdürülebilirliğin göstergesi olarak bon ayak izi. Environ Sci Technol. 2012;46(7):4100-4108. doi: [10.1021/es204163f](https://doi.org/10.1021/es204163f).