	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 09.05.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 23.02.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.311289	

Türkiye inşaat sektörünün global karbon ayak izi analizi

Nuri Cihat Onat*¹

ÖZ

Türkiye inşaat sektörünün ekonomik, çevresel, ve sosyal etkilerinin analizi son yıllarda önemini giderek artırmıştır. Özellikle artan inşaat, ulaşım, üretim ve enerji yatırımları Türkiye ve dünya ekonomisine doğrudan ve dolaylı etkiler yapmaktadır. Bu makalede, Türkiye için önemli bir araştırma boşluğunu doldurmak amacıyla Türkiye'deki inşaat sektörünün uluslararası tedarik zincirlerini de kapsayacak bir biçimde ilk, web tabanlı ve küresel karbon ayak izi analizi çıkartılmıştır. Avrupa Komisyonu 7. Çerçeve Araştırma Programınca desteklenen Dünya Girdi-Çıktı Veritabanı'nın 'World Input-Output Database' Türkiye inşaat sektörü için ilk kez kullanılacağı bu çalışmada, Türkiye inşaat sektörünün 2000 ile 2009 yılları arasındaki karbon ayak izi etkileri ulusal ve küresel çapta analiz edilmiştir. Türkiye inşaat sektörlerinin bölgesel ve küresel düzlemde çevresel etkileri hesaplamak ve kapsamlı sürdürülebilirlik analizleri yapmak için bir model geliştirilmiştir. Önerilen modelin benzer versiyonları Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa Birliği, Avustralya, İngiltere ve Japonya gibi birinci dünya ülkelerinde stratejik karar vermede kullanıldığı halde, Türkiye için benzer kapsamlı bir model henüz mevcut değildir. Bu motivasyonla, 'Küresel Karbon Ayak izi Muhasebe Modeli' (Global Carbon Footprint Accounting Tool) geliştirilmiş ve inşaat sektörü için kapsamlı bir analiz yapılmıştır. Harvard'lı ünlü ekonomist Wassily Leontief'in ekonomi alanında Nobel Ödülü kazandığı girdi-çıktı analizinin küresel modele dönüştürülerek kullanılacağı bu çalışma, zaman serisi analizi, kapsam bazlı karbon ayak izi modellemesi, üretim-tüketim odaklı, ve küresel etki dağılımı analizi gibi yenilikçi yöntemlerle kullanıcılara tedarik zinciri odaklı analizler yapma imkanı sağlamaktadır. Analiz sonuçlarına inşaat sektöründeki büyümeden dolayı sektörün karbon ayak izi yıllara göre artış göstermiştir. İnşaat sektörünün Kapsam 2 ve 3 karbon salınımları (dolaylı salınımlar) sektörün toplam emisyonlarının ortalama %80'nine karşılık gelmektedir ve sektörün emisyonlarını düşürmek için tedarik zinciri ile beraber değerlendirilmesi gerekmektedir. Araştırma sonucunda geliştirilen küresel modelin başta bakanlıklar olmak üzere, araştırma enstitüleri ve üniversitelerdeki karar verme süreçlerinde yaygın bir biçimde kullanılabilmesi için web-tabanlı bir şekilde internet ortamında da sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Karbon ayak izi, Türkiye inşaat Sektörü, Global ekonomik girdi-çıktı analizi, Sürdürülebilir Kalkınma

¹ Katar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Katar Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Araştırma Merkezi, Doha, Katar – onat@qu.edu.qa

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

Global carbon footprint analysis of Turkish construction industry

ABSTRACT

The analysis of economic, social, and environmental impacts (termed as triple-bottom-line) of Turkish sectors has become a topic of considerable interest. Especially, there are significant regional and global effects of increasing construction, transportation, manufacturing, and energy investments in Turkey. In this study, with the aim of filling an important research gap, Turkish construction sector, including its supply chain, is analyzed using a web-based global carbon footprint analysis for the first time. In this study, using the World Input-Output Database, which is funded by the European Commission under the 7th Research Programme for the Turkish Construction industry for the first time, carbon footprint of the Turkish construction sector is analyzed both at national and global scales in between 2000 and 2009. A comprehensive sustainability analysis of Turkish construction sector has been conducted considering regional and global environmental impacts. Although similar modeling approaches have been used in various developed nations including United States of America, European Union, Australia, Japan, and United Kingdom, for strategic decision making, there is no such holistic sustainability assessment platform for Turkish economy. With this motivation, this study aims to develop a first, web-based global sustainability assessment platform and used for the Turkish construction industry. Using the extended version of Wassily Leontief's (a well-known economist from Harvard University) Nobel awarded input-output analysis as a global multiregional input-output model, the model allows users to conduct novel analyses such as time-series, scope-based carbon footprint, production-consumption based, and global impact distribution analyses. According to analysis results, because carbon emissions due to growth in Turkish construction sector are greater the emission reduction stemming from efficiency increases in between 2000-2009, the total carbon emissions of the sector increased in between these years. Scope 2 and 3 emissions (indirect emissions) of the sector is %80 of the sector's total and the supply chain of the sector needs to be considered to be able to reduce the sector's emissions. The proposed model is disseminated through an online platform to serve in decision-making processes in ministries, research institutes, universities, and non-profit organizations.

Keywords: Carbon Footprint Accounting, Turkish Construction Sector; Global economic input-output analysis; Sustainable Development.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Değişen dünyada 'Sürdürülebilir Kalkınma' ülkeler için bir tercihten ziyade zorunluluk haline gelmiştir. Yapılan kapsamlı literatür taramasında, sürdürülebilir kalkınma çok farklı ifadelerle karşımıza çıksa da en geçerli tanım Çevre ve Kalkınma Dünya Komisyonu'nun (Bruntland Commission) 1987 yılında yayınladığı 'Ortak Geleceğimiz' (Our Common Future) adlı raporda şu şekilde belirtilmiştir: "Sürdürülebilir kalkınma günümüz ihtiyaçlarının gerektirdiği kalkınmanın, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama kabiliyetlerini ortadan kaldırmayacak şekilde gerçekleşmesidir" [1]. Sürdürülebilir kalkınmaya paralel olarak 'Yeşil Ekonomi' (Green Economy), büyüyen dünya ekonomilerinde önemini gitgide artırmaktadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programına göre, yeşil ekonomi çevresel

kirlenmeyi ve ekolojik kirliliği azaltırken ekonomik refahın ve sosyal eşitliğin iyileştirilmesi olarak tarif edilmektedir [2]. En kısa tanımıyla yeşil ekonomi, ekonomik ve çevresel kalkınmanın çevreye duyarlı ve sosyal refahı iyileştirici olmasını öngörmektedir. Bütün bu tanımlar çerçevesinde sürdürülebilir kalkınma; ekonomide istihdamın ve gelirin artmasını, çevre kirliliği ve sera gazlarının azaltılmasını, ekolojik dengenin korunmasını ve enerji ve kaynak verimliliğini zaruri kılmaktadır [3]. Özetle, sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomi, ilk defa John Elkington tarafından 1997 yılında ortaya atılan 'Üçlü-kar-hanesi' (triple-bottom-line) yani sürdürülebilir kalkınmanın çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarının aynı anda iyileştirilmesini öngörmektedir [4,5].

İnşaat sektörü Türkiye'deki lokomotif sektörlerden biri olup ekonomik, çevresel, ve

sosyal etkileri kapsamlı olarak değerlendirilmesi elzem olan bir sektördür. Özellikle artan inşaat, ulaşım, üretim ve enerji yatırımları Türkiye ve dünya ekonomisine doğrudan ve dolaylı etkiler yapmaktadır. İnşaat sektörünün gayri safi milli hasıla (GSMH) içerisindeki payı Temmuz 2016 itibari ile %30 olmuştur. İnşaat sektörü kendine bağlı 200'den fazla alt sektörün ürettiği mal ve hizmete talep oluşturmakta olup doğrudan 1,840,000 kişiye istihdam sağlamaktadır [6]. Bütün bu verilere karşın, inşaat sektörünün çevresel etkilerine ilişkin net veri kaynakları olmayıp, sürdürülebilirlik etkilerinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda sektörün çevresel etkilerinin daha yoğun olduğu yerler hem tedarik zinciri içerisinde hem de lokasyon olarak tespit edilmeli ve sektörün çevresel, ekonomik, ve sosyal verimliliği artırılmalıdır.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Sürdürülebilirlik analizi modelleri arasında 'Yaşam Döngüsü Analizi' (Life Cycle Assessment) olarak bilinen model literatürde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir [7]. Yaşam döngüsü analizi bir ürünün temel ham maddesinin kaynağından çıkarılması ve işlenmesi, üretilmesi, depolanması ve nihai tüketiciye ulaştırılması süreçlerindeki çevresel etkilerini hesaplayan bir yöntemdir [8–11]. Son yıllarda bilim çevresinde kullanımı oldukça yaygınlaşan bu konular [12], ticari yapılar [13], gıda ürünleri [14], otomobiller [15–17], enerji sistemleri [18,19], endüstriyel ürünler ve süreçler [20] ve tüketim tipleri [21] için birçok bilimsel çalışmada kullanılmıştır. Buna karşılık sosyal ve ekonomik etkilerinde ölçülebilmesi amacıyla geleneksel yaşam döngüsü analizi, 'Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Analizi' yöntemine doğru hızlı bir şekilde dönüşüm gerçekleştirmiştir. İlk defa Kloepffer [22] tarafından önerilen bu yenilikçi model 'çevresel yaşam döngüsü', 'sosyal yaşam döngüsü' ve 'yaşam döngüsü maliyet analizi' gibi yöntemleri kullanarak sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutunu da aynı anda yaşam döngüsü analizi yöntemine entegre etmiştir [5,23–26]. Fakat, yukarıda bahsedilen yöntemler ürün bazında detaylı sürdürülebilirlik analizi yapma imkanı verse de, temel anlamda proses düzeyinde doğrudan etkilere yoğunlaşarak tedarik zinciri bazlı dolaylı etkileri kapsamamakta ve sektörlerin ekolojiye, ekonomiye ve topluma vermiş oldukları

dolaylı etkileri hesaba katmamaktadır [27]. Bu nedenle proses bazlı yaşam döngüsü modellerinin kullanıldığı çalışmalarda toplam etkinin yüzde 50'si ve daha fazlası bazen hesaplanamamaktadır [28–30].

Bu bağlamda ekonomi alanında 'Nobel Ödülü' kazanmış Wassily Leontief tarafından geliştirilen Ekonomik Girdi-Çıktı Analizi ilk kez Carnegie Mellon Üniversitesi Yeşil Dizayn Enstitüsü tarafından Amerika'daki sektörlerin sürdürülebilirlik analizi için kullanılmıştır [31]. Genel olarak ekonomik girdi-çıktı analizi ekonomiyi oluşturan sektörler arasındaki parasal akışı kullanarak sektörlerin doğrudan ve tedarik zincirlerindeki ekonomik aktivitelere bağlı dolaylı etkilerini hesaplamaktadır [32,33]. 'Ekonomik Girdi-Çıktı Yaşam Döngüsü Analizi Modeli' (Economic Input-Output Life Cycle Assessment EIO-LCA) olarak isimlendirilen bu metod ilk kez 90'lı yılların sonunda geliştirilmiş ve Amerikan Ulusal Bilim Vakfı (US National Science Foundation) tarafından 5 yıl boyunca 2 milyon dolarlık bir bütçeyle fonlanmıştır [34]. Bugüne kadar dünyada bir milyonun üzerinde araştırmacının kullandığı bu program, www.eiolca.net sitesinde kullanıcılara ücretsiz olarak sunulmuştur [35]. Bu modeli kullanan çalışmalar arasında yapı sektörleri [36,37], enerji kaynakları [38,39], binalar [12,26,40–42], ulaştırma sistemleri [43–50], ve üretim sektörleri [14,51] sadece belli başlı örnekleri oluşturmaktadır. Amerika'da hala birçok bakanlık ve araştırma kuruluşu tarafından stratejik sürdürülebilirlik analizi için kullanılan bu modelin en zayıf yönleri en son 2002 yılına ait verilerle çalışması, tek bölgeli analizler yapabilmesi ve sadece enerji kullanımı, su tüketimi, karbon ayak izi ve atık üretimi gibi belli başlı çevresel etki kategorilerine yoğunlaşmış olmasıdır [52,53].

Daha önce tartışıldığı üzere sürdürülebilir kalkınma sadece çevresel kaynak kullanımının ve kirliliğin azaltılması ile değil ekonomik ve sosyal refahında paralel olarak artırılması ile mümkündür. Bu manada Carnegie Mellon Üniversitesi tarafından geliştirilen model sadece çevresel etkilere odaklandığı için artık yetersiz hale gelmektedir. Bu boşluğu gören bir grup akademisyen ekonomik girdi-çıktı tablolarını sosyo-ekonomik ve çevresel indikatörlerle entegre ederek sektörlerin sürdürülebilirliklerini analiz etmişlerdir [29]. Örneğin, Foran vd. [54] ilk defa 'Balancing Act' adlı çalışmasında 135 Avusturalya sektörünü toplamda 10 farklı

çevresel, ekonomik ve sosyal indikatör kullanarak değerlendirmiştir. Bu kapsamlı çalışma ile birlikte Sidney Üniversitesi'nde kurulmuş olan 'Entegre Sürdürülebilirlik Analizi (Integrated Sustainability Assessment) araştırma grubu BottomLine programını geliştirerek Avusturalya sektörlerinin sürdürülebilirlik analizi modelini kurmuş ve her bir sektörü tedarik zincirlerinde oluşan etkileri de kapsayacak biçimde analiz etmiştir. Benzer modelin 2006 yılında Japonya Araştırma Enstitüsü ve Bilimler Akademisi desteği ile Japonya versiyonu geliştirilerek BottomLine³ Japon kullanıcılara sunulmuştur [55]. Ayrıca İngiltere'deki araştırmacılarda 72 sektörden oluşan İngiliz ekonomisinin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerini izlemek amacıyla BottomLine³ İngiltere versiyonu geliştirilmiştir [29]. Bu modeller günümüze kadar birçok kamu kuruluşunda, araştırma enstitüsünde ve üniversitede etkin bir biçimde sürdürülebilirlik analizi modeli olarak kullanılmıştır. Bu programı kullanarak araştırmacılar üretim ve servis sektörlerinin [56] , şirketlerin [29], kamu kuruluşlarının [57] ve enerji sistemlerinin [58] analizlerini yapmışlardır.

Avusturalya, İngiltere ve Japonya için geliştirilen ve sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutunu hesaba katan bu modellerin sektör ve indikatör bazında daha gelişmiş ve detaylı versiyonu 2012 yılında Dr. Küçükvar tarafından Amerika'nın 428 sektörlü detaylı ekonomisi için geliştirilmiştir [59]. 'Üçlü-Kar-Hanesi Ekonomik Girdi-Çıktı Analizi' (Triple-Bottom-Line Economic Input-Output Analysis) olarak adlandırılan bu model Amerika'nın en kapsamlı endüstriyel sürdürülebilirlik analizi modellerinden biri olmuştur. Amerikan Ulusal Bilim Vakfı (US National Science Foundation) ve Amerikan Ulaştırma Bakanlığı (US Department of Transportation) ile ortak olarak yürütülen projelerde kullanılan bu model ayrıca birçok bilimsel yayında ve lisansüstü öğrenci tezinde kullanılmıştır [46,60,61]. Bazı çalışmalara örnek vermek gerekirse, bu model kullanılarak 2013 yılında Amerika yapı sektörlerinin çevresel, ekolojik, ekonomik ve sosyal etkileri tedarik zincirlerini de kapsayacak şekilde analiz edilmiştir [5,62]. Diğer çalışmalarda çeşitli otoyol dizayn alternatifleri aynı model ile çok kriterli karar destek yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir [30,63]. Amerikan hane halkının, kamu sektörü tüketim ve yatırımlarının, özel sektör yatırımlarının ve ihracatın sosyal, ekonomik ve çevresel etkileri yine bu model ile analiz edilmiştir

[64]. Rüzgar enerjisi santralleri [38], konut ve ticari binalar [12], ulaşım sistemleri [61] ve üretim sektörleri [65], Dr. Küçükvar'ın geliştirmiş olduğu bu modelin Amerika için son yıllarda kullanıldığı belli başlı çalışmaları içermektedir. Bütün bu çalışmaların temel bulguları göstermiştir ki; sürdürülebilirlik analizi daha çok süreç temelli yaşam döngüsü analizi modelleri kullanılarak çevresel etkilere yoğunlaşmış ve sosyo-ekonomik etkiler birçok çalışmada göz ardı edilmiştir. Buna ek olarak, ekonomik girdi-çıkı analiz tedarik zincirlerinde oluşan dolaylı etkileri de kapsadığı için endüstriyel sürdürülebilirlik analizi çalışmalarında kritik bir modelleme tekniği haline gelmiştir [66,67]. Fakat yukarıda gelişmiş ülkeler için örnekleri verilen modellerin benzeri Türkiye için henüz mevcut değildir.

Yukarıda örnekleri verilen tek bölgesel girdi-çıkı modelleri sürdürülebilirlik analizi konusunda geniş çapta kullanılsa da, küresel girdi-çıkı analizi dünya çapında önem kazanmakta ve sürdürülebilir üretim ve tüketim konularında küresel politikalar üretmede tercih edilmektedir. Yayınlanan kapsamlı bir derleme makalesi göstermiştir ki, 2010 yılına kadar girdi-çıkı analizi kullanılarak yapılan sürdürülebilirlik çalışmaları daha çok tek ülke ve yılı baz almıştır [68]. Bu çalışmalar uluslararası ticaret kaynaklı çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri tüm ülkeler için eşit teknoloji varsayımı kullandığından hesaba katmamıştır. Fakat günümüzde ülke ekonomileri açık hale geldiğinden küresel etkilerin hesaplanması zaruri hale gelmektedir [69,70]. Bu noktada çok ülkeli (küresel) girdi-çıkı 'Multi Regional Input-Output (MRIO)' modelleri literatürde çok tartışılmış ve küresel düzlemde sürdürülebilirlik analizi çalışmalarında önemli bir modelleme tekniği haline gelmiştir [71,72]. Bu amaçla çok ülkeli girdi-çıkı veritabanları geliştirilmiş olup ülkelerin tüketim ve üretimini analiz etmek için kullanılmıştır. Bu veri tabaları arasında Global Resource Accounting Model (GRAM), Externality Data and Input-Output Tools for Policy Analysis (EXIOPOL), Global Trade Analysis Project (GTAP), World Input-Output Database (WIOD) ve EoRA en çok bilinen ve kullanılanları temsil etmektedir [73-75]. Bu veri tabanları kullanılarak, hane halkı tüketiminin çevresel etkileri [71], üretim sektörleri [76,77], uluslararası ticaret [72,78,79], ve ülkeler [72,80] analiz edilmiştir. Fakat 2015 öncesine kadar yukarıda bahsedilen uluslararası girdi-çıkı veritabanları Türkiye ekonomisinin sürdürülebilirlik analizi için kullanılmamıştır. İlk

olarak Küçükvar vd. [81] tarafından kullanılan WIOD veritabanı ile Türkiye üretim sektörlerinin kapsam bazlı karbon ayak izi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada 16 üretim sektörünün ulusal ve küresel ölçekte etkileri zaman serisi analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yine Küçükvar ve Samadi [82] tarafından kullanılan WIOD veritabanı, 2000 ve 2011 yılları arasında 27 Avrupa Birliği Üye Ülkesini (EU-27) ve Türkiye'yi kapsayacak şekilde gıda ürünleri üretim endüstrilerinin ulusal ve küresel enerji ve karbon ayak izini analiz etmiştir. Fakat bu çalışmalar dışında Türkiye üretim ve servis sektörlerinin küresel ölçekte sürdürülebilirlik analizi çalışılmamış olup, bu veri tabanları Avrupa, Amerika ve Avusturalya'da olduğu gibi stratejik karar verme süreçlerinde kullanılmamıştır.

2.1. Modelin Yenilikçi Yönleri ve Motivasyon (Novel Aspects of The Model and Motivation)

Literatürdeki ihtiyaçlardan ve küresel ihtiyaçlardan yola çıkarak, bu çalışmada web tabanlı global karbon ayakizi programı geliştirilmiş olup, Türkiye İnşaat sektörünün kapsamlı bir karbon ayak izi yapılmıştır. Geliştirilen model Türkiye'de ilk web-tabanlı küresel ölçekte sektör özelinde karbon ayak izi analizi yapabilen tek modeldir. Global Karbon Ayakizi (G-CAT) modeline <https://sustainabilitylab.herokuapp.com/gcat> bağlantısı aracılığı ile ulaşabilirsiniz.

Dünya Kaynakları Enstitüsü (World Resource Institute, WRI) ve İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) tarafından geliştirilen Sera Gazı Protokolü (Greenhouse Gas Protocol), sera gazlarının kapsam bazlı hesaplanmasını öngörmektedir [83,84]. Bu protokole göre sera gazları Kapsam 1, 2 ve 3 olmak üzere üç farklı kategoride incelenmektedir. İşletme sonucu oluşan ve doğrudan atmosfere salınan emisyon kaynakları Kapsam 1 olarak hesaplanmaktadır. Dışardan enerji formunda alınan hammaddelerden ve elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonlar Kapsam 2 olarak değerlendirilmektedir. Kapsam 3 emisyonlar ise dışardan tedarik edilen faaliyetlerden ortaya çıkan, kaynağında oluşan ve kontrol etme şansı bulunmayan emisyonlardır. Genel olarak şirketler sera gazı envanter raporunda Kapsam 3'te satın alınan hammaddelerin üretilmesinden, atık bertarafından, personel taşıma servis hizmetlerinden ve iş amaçlı seyahatlerden

kaynaklanan emisyonları hesaplamıştır. Birçok çalışma kapsam bazlı sera gazı emisyonlarını hesaplamak amacıyla ekonomik girdi-çıkı analizini kullanmış ve sektörlerin iklim değişikliğine olan doğrudan ve dolaylı etkilerini analiz etmiştir [12,85,86]. Geliştirilen G-CAT modeli bu protokole uygun olarak kapsam bazlı karbon analizi yapması modelin yenilikçi özellikleri arasındadır. Kapsam bazlı analiz Türkiye İnşaat sektörüne uygulanmış ve karbon hesaplama standartlara uygun bir şekilde analiz edilmiştir.

Son yıllarda sürdürülebilir kalkınmanın devlet politikası haline gelmesiyle birçok bakanlık sürdürülebilir kalkınma hedeflerini açıklamaktadır. Örneğin, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2015 yılı itibariyle tüm üretim sektörleri için karbon ayak izi salınımının izlenme ve raporlanmasını zorunlu hale getirmiştir. Amaç, 2015 yılında Fransa'nın Paris şehrinde düzenlenecek olan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı (COP21) sonrası Türkiye'nin elinin güçlü hale getirmek ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli adımlar atmaktır [87]. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı da endüstriler için enerji verimliliği zorunlu hale getirmiş ve 2023 yılı için 1990 yılı seviyesine kıyasla enerji kullanım miktarında % 20 oranında enerji kullanım miktarında azalma hedeflemiştir [88]. T.C. Kalkınma Bakanlığınca hazırlanan '10. Kalkınma Planında' yerli üretim, enerji, ulaşım ve inşaat yatırımları öne çıkmakta ve bunlara paralel olarak sosyo-ekonomik refahın da artırılması öngörülmektedir [89]. Tüm bu hedeflere ulaşma noktasında Türkiye için ulusal ve küresel çapta sürdürülebilirlik analizi modelinin geliştirilmesi zorunlu hale geldiğinden, bu makalede sunulan model Türkiye için oldukça önemlidir. Ayrıca daha önce benzer amaçları taşıyan ve benzer metotları kullanan çalışmalar yapıp, modeller geliştirilmediği için de oldukça yenilikçi bir model olmuştur. Türkiye'nin lokomotif sektörlerinden olan inşaat sektörünün kapsamlı analizi devlet kuruluşlarındaki karar vericilere ışık tutması beklenmektedir.

Daha önce Avusturalya, İngiltere ve Japonya için geliştirilen ulusal BottomLine modellerinin kullanılması 2014 yılının Aralık ayında Avusturalya'nın Brisbane şehrinde düzenlenen G20 zirvesinde ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin değerlendirilmesi için tavsiye edilmiştir [90]. Fakat bu modeller tek yıl ve ülke bazında geliştirilmiş olup limitli sayıda çevresel,

ekonomik ve sosyal indikatör içermektedir. Ayrıca bu modeller, veri madenciliği ve istatistiksel modellerle entegre bir şekilde dizayn edilmemiştir ve Türkiye için henüz bu tür stratejik bir sürdürülebilirlik analizi modeli mevcut değildir. Türkiye için önerilen bu projede, Avrupa Komisyonu destekli Dünya Girdi-Çıktı Veri Tabanı ‘World Input-Output Database’ tarafından oluşturulan, 1995 ile 2011 yıllarını kapsayan küresel ekonomik girdi-çıkı tabloları kullanılacaktır. Sonuçlar *tedarik zinciri katman analizi, kapsam bazlı karbon ayak izi modellemesi, tedarik zinciri etki lokasyon analizi, küresel etki dağılımı analizi* ve *ülke bazlı karşılaştırmalı etki analizi* gibi yöntemler kullanılarak sunulmuştur. Bu şekilde kullanıcılar, sektörlerin etkilerinin lokasyonlarını tespit ederek kritik tedarik zinciri sektörlerini belirleyebilecektir. İnşaat sektörü özelinde tedarik zincirinin hangi noktalarında (servis, üretim, ulaştırma, vb.) ve hangi ülkelerde karbon salınımı neden olduğu model sayesinde kolaylıkla görülebilir ve karbon salınımını azaltmayı hedefleyen stratejilerin verimliliği artırılabilir.

Türkiye’nin ilk, web tabanlı ve küresel sürdürülebilirlik analizi platformunun geliştirileceği proje kapsamında Carnegie Mellon Üniversitesi tarafından Amerikan ekonomisi için geliştirilen ve 2000 yılından bu yana dünyada 1 milyondan fazla kullanıcının giriş yaptığı ‘EIO-LCA’ programının çok daha ileri versiyonunun Türkiye ekonomisi için geliştirilmiş halidir. G-CAT modeli Amerikan modelinden yöntem ve kapsam noktasında önemli farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar **Tablo 1**’de detaylı olarak açıklanmıştır.

Tablo 1: EIO-LCA ve G-CAT Arasındaki Önemli Farklılıklar (Table 1: Important differences in between EIO-LCA and G-CAT models)

Carnegie Mellon Tarafından Geliştirilen EIO-LCA Modeli	G-CAT Modeli
En son 2002 yılına ait verilerle çalışması ve güncel olmaması.	Dünya Girdi-Çıktı Veri tabanını ‘World Input-Output Database’ kullanarak 1995 ile 2011 arasında zaman serileri analizi yapılabilmesi.
Amerikan ekonomisine özel olması ve tek ülkeli sürdürülebilirlik analizi yapılabilmesi.	Türkiye ekonomisinin yanısıra toplamda 40 ülkeyi de kapsayacak şekilde küresel modelleme imkanı vermesi ve dünya ekonomisini kapsaması.
Veri madenciliği tekniklerinin kullanılmaması ve	Veri madenciliği kullanarak; tedarik zinciri katman analizi, kapsam bazlı karbon ayak izi modellemesi, tedarik zinciri etki lokasyon analizi, küresel etki dağılımı analizi ve ülke

tedarik zinciri analizleri içermemesi.	bazlı karşılaştırmalı etki analizi gibi yöntemleri içermesi.
İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği (World Business Council for Sustainable Development) tarafınca sektörler için önerilen Kapsam 1, 2 ve 3 bazlı karbon ayak izi analizi yapmaması.	Sektörlerin karbon ayak izlerinin Kapsam 1, 2 ve 3’e göre hesaplanması.

Türkiye inşaat sektörünün ilk, web tabanlı ve küresel karbon ayak izi analizi modelinin geliştirilmesi ve bu modelin ilgili kamu kuruluşları, araştırma enstitüleri ve üniversiteler tarafından gelecek ile ilgili sürdürülebilir kalkınma planlamalarında pratik bir model olarak Bakanlığı ve Kalkınma Bakanlığı’nca belirlenen sektörlerle ilişkin sürdürülebilirlik hedeflerinin ulusal ve uluslararası düzeyde izlenebilir hale gelmesi, Türkiye ekonomisinin ulusal ve küresel ölçekte çevresel etkilerinin doğrudan ve dolaylı etkilerinin izlenmesi ve sürdürülebilir kalkınma politikalarında karar vericilere yol gösterilmesi. Son olarak, gelişmiş ülkelerde son yıllarda önem kazanmış sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomi konularında Mühendislik ve Sosyal & Beşeri Bilimler arasında ortak araştırmalar için sinerji oluşturulması ve bu konuların Mühendislik ve Sosyal Bilimler müfredatına entegre edilmesi için pilot uygulamaların üniversite bünyesinde yapılması olacaktır. kullanılmasıdır. Geliştirilen bu model, ayrıca T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından da politika üretmek hususunda karar-destek modeli olarak hizmet edebilir.

3. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

3.1. Küresel Girdi-çıkı Analizi (Global Input-output Analysis)

Bu projede, Türkiye sektörlerinin sürdürülebilirlik analizi dünya girdi-çıkı tabloları (WIOD) kullanılarak gerçekleştirilecektir. 1970 yılında ekonomi alanında Nobel Ödülü kazanmış olan Wassily Leontief tarafından geliştirilen girdi-çıkı analizi [32], bir çok araştırmacı tarafından birçok bilimsel çalışmada kullanılarak Amerikan ve Türkiye sektörlerinin çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri analiz edilmiştir. Genel manada girdi-çıkı analizi ülke ekonomilerini oluşturan sektörler arasındaki finansal akışı takip ederek, sektörlerin ülke ekonomilerine yaptıkları

doğrudan ve dolaylı parasal etkileri izlemektedir [91,92].

Tek bölgesel girdi-çıkıtı analiz uzun yıllardır sürdürülebilirlik analizi için kullanılsa da, küresel girdi-çıkıtı tabloları kullanılarak yapılan uluslararası ölçekte sürdürülebilirlik analizi çalışmaları oldukça azdır. Küresel çok uluslu girdi-çıkıtı tabloları dünya ülkeleri ve sektörleri arasındaki parasal akışı izlemekte ve sektörlerin bölgesel ve küresel etkilerini hesaba katmaktadır [33,75]. Bu nedenle küresel modeller ulusal ekonomilerinin küresel tedarik zincirlerini izleyerek uluslararası ticareti hesaba katmaktadır [66]. Küresel girdi-çıkıtı tablolarında sektörler arasındaki parasal akış, her bir ülke ve sektör için ithalat ve ihracat değerlerini içermektedir. Ardından tüm ithalat ve ihracat girdileri tek bir girdi-çıkıtı tablosunu dönüştürülerek tek bir matris haline getirilmektedir [73]. Bu çalışmada Avrupa Komisyonu 7. Çerçeve Araştırma Programı tarafından desteklenen dünya girdi-çıkıtı veritabanı (WIOD) kullanılmıştır [73]. Bu kapsamlı veri tabanı toplamda 40 ülkeyi içermekte olup, 27 Avrupa Birliği Üye Ülkesinin yansısı 13 farklı büyük ekonominin 1995 ile 2011 yılları arasındaki girdi-çıkıtı tablolarını içermektedir [73].(Tablo 2'e bakınız). Dünya girdi-çıkıtı veri tabanında, tüm ekonomik veriler ülkelerin ulusal hesapları kullanılarak oluşturulmuştur. Dünya girdi-çıkıtı veri tabanı oluşturulması esnasında kullanılan metot ve verilere ait güncel bilgiler, Timmer [93] ve EuroStat [94] gibi referans kaynaklarda detaylı olarak açıklanmıştır.

Tablo 1: WIOD ülkeleri ve bölgeleri [46] (Table 2: WIOD countries and regions)

Avrupa Bölgesi	Avrupa Bölgesi Dışı Ülkeler	Kuzey Amerika	Çin	Doğu Asya	BRII AT
Avusturya	Bulgaristan	Kanada	Çin	Japonya	Bre.
Belçika	Çek Cumhuriyeti	Meksika		Kore	Rus.
Kıbrıs	Danimarka	Amerika		Tayvan	Hin.
Estonya	Hırvatistan				Endonezya
Finlandiya	Letonya				Avu.
Fransa	Litvanya				Tür.
Almanya	Polonya				
Yunanistan	Romanya				
İrlanda	İsveç				
İtalya	İngiltere				
Lüksemburg					
Malta					
Hollanda					
Portekiz					
Slovakya					
Slovenya					
İspanya					

Geliştirilecek olan küresel modelde, ARSij matrisi, direk gereklilik matrisini temsil edecektir.

Bu matrisin her bir satırı birim üretim için gerekli olan ulusal ve küresel girdileri göstermektedir. Bu matrisin bir elementi olarak, aRSij, R ülkesinden mevcut bulunan i sektöründen S ülkesindeki j sektörüne giren girdileri temsil etmektedir. Yine bu matriste i ve j her bir ülkenin 35 farklı sektöründen birini temsil ederken, R ve S, WIOD veri tabanındaki toplam 40 ülkeyi göstermektedir. Belirtilen küresel model Leontief modelindeki linear formülleri kullanarak, sektörlerin direk ve dolaylı çıktıları sonucu oluşan toplam ekonomik çıktıyı formül 1' de belirtildiği gibi hesaplamaktadır [33,52]:

$$x^r = [(I - A^{RS})^{-1}] f_i^r \quad (1)$$

Bu formülde x^r ülke r'deki toplam endüstriyel çıktı vektörünü, I birim matrisi ve f_i^r , r ülkesindeki üretim sektörü i'nin toplam ekonomik çıktısını temsil etmektedir. Tüm bu vektör ve matrisler kullanılarak, Leontief ters matrisini ifade eden $(I - A^{RS})^{-1}$ hesaplanmıştır [32]. Bu matris aynı zamanda toplam gereklilik matrisi olarak da bilinmektedir. Ayrıca A^{RS} Leontief'in girdi-çıkıtı modelinde A matrisi olarak ifade edilmekte ve doğrudan gereklilik matrisi olarak da bilinmektedir. Girdi-Çıkıtı tablolarını kullanarak simetrik girdi-çıkıtı tablolarının oluşturulması, EuroStat ve Birleşmiş Milletler'in hazırlanmış olduğu girdi-çıkıtı analizi el kitapçıklarında detaylı bir şekilde açıklanmıştır [94,95]. Dünya girdi-çıkıtı modeli formül 2 kullanılarak kurulduktan sonra, sektörlerin toplam sürdürülebilirlik etkileri sektörlerin toplam üretiminin çoğaltan matrisi ile çarpılması ile hesaplanmaktadır [66]:

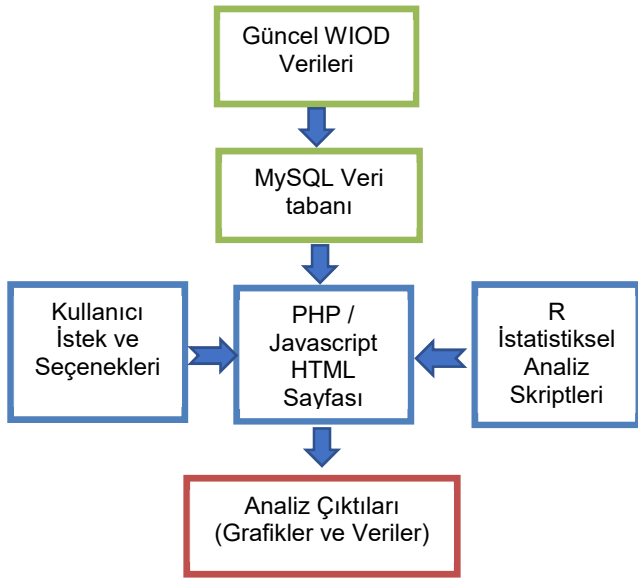
$$r = E_{dir} x = E_{dir} [(I - A^{RS})^{-1}] f \quad (2)$$

Bu formülde, r vektörü birim üretime karşılık gelen toplam çevresel, ekonomik ve yada sosyal etkileri göstermektedir. Yine E_{dir} matrisi sektörlerin bir milyon liralık üretimine karşılık gelen çevresel, ekonomik yada sosyal etkileri temsil etmektedir. Örneğin, Türkiye elektrik üretim sektörün 1 milyon liraya karşılık gelen ulusal ve küresel enerji kullanım miktarı hesaplanmak istenirse, f vektörü 'Elektrik Enerjisi Üretim' sektörü için 1 milyon dolar olarak model girilecek ve diğer tüm dünya ülkelerinin sektörleri için sıfır olacaktır. Yine E_{dir} matrisi tüm sektörlerin 1 milyon liraya karşılık gelen doğrudan enerji kullanım miktarını gösterecek ve diyagonal bir matris olacaktır. Bu modelde, E_{dir} ve köşeli parantezle gösterilmiş $[(I - A^{RS})^{-1}]$ teriminin çarpımı çoğaltan matrisi olarak ifade edilmektedir. Belirtilen küresel model kurulduktan sonra Ana İş Paketi 1'de belirlenen ve model için hazır hale

getirilecek olan çevresel, ekolojik, ekonomik ve sosyal indikatörler modele entegre edilerek, tercih edilen sektörün bölgesel ve küresel tedarik zinciri kaynaklı etkileri hesaplanacaktır. Her bir sektörün toplam ekonomik çıktı değerleri yine WIOD veri tabanından 1995 ve 2011 yılları için elde edilecektir.

3.2. Sistem Mimarisi ve Web-tabanlı Model (System Architecture and Web-based Model)

Sistem tamamen açık kaynak kodlu bileşeklerden oluşmaktadır. Sistemin ana altyapısını PHP ve Javascript kodları oluşturup sistemdeki HTML internet sayfalarına gömülmüştür. İstatistiksel analizi gerçekleştiren olan kodlar profesyonel R istatistiksel programlama dilinde yazılmıştır. Sistemde öncelikle güncel WIOD verileri veri tabanı motoru MySQL'e aktarılmaktadır. Kullanıcının istek ve seçenekleri PHP/Javascript tabanlı internet sayfasından alınıp ve bu analiz isteğini gerçekleştirecek olan ilgili R kodu çalışmaktadır. Akabinde kodun çıktıları olan grafikler ve ilgili veriler kullanıcıya gösterilmektedir. Ayrıca kullanıcıya grafikleri ve verileri saklama opsiyonu sağlanmaktadır. Grafiklerin oluşturulmasında Javascript tabanlı HighCharts modülü kullanılmıştır. PHP kodları PHPStorm ortamında, R kodları ise R Studio ortamında geliştirilmiştir. Şekil 1.'de sistem mimarisi ifade gösterilmiştir.



Şekil 1. Sistem mimarisi

Makalede Geliştirilmiş olan model Sürdürülebilir Sistemler ve Çözümler Laboratuvarı'nın (Sustainable Systems and Solutions Lab-bakiniz: <https://sustainabilitylab.herokuapp.com>) internet sitesinde Küresel Karbon Hesaplama Modeli

“Global Carbon Accounting Tool (G-CAT)” olarak kullanıcılara pratik sürdürülebilirlik analizi yapma imkanı vermektedir. 5 adımda sürdürülebilirlik analiz yapma imkanı sağlayan bu modelin aşamaları aşağıda belirtilmiştir:

- *Adım 1:* Model yılını seç: Kullanıcı 2000 ile 2009 arasında analiz etmek istediği herhangi bir yılı seçecektir.
- *Adım 2:* Analiz etmek istediğin üretim yada servis sektörlerinden birini seç: Bu adımda kullanıcı analiz etmek istediği üretim yada servis sektöründen birini seçecektir. Örneğin, kullanıcı İnşaat sektörünün sürdürülebilirlik analizini yapmak isterse ‘Construction’ sektörünü listeden seçecektir.
- *Adım 3:* Sektörde meydana gelen ekonomik aktiviteyi milyon dolar (\$) cinsinden modele gir: Bu adımda kullanıcı sektörde oluşan ekonomik aktiviteyi milyon dolar cinsinden modele girecektir. Örneğin, kullanıcı inşaat sektöründe 1 milyon dolara bağlı oluşan etkileri analiz etmek isterse, 2. adımda inşaat sektörünü seçtikten sonra 3. adımda modele 1 milyon dolar girecektir. Bu rakam inşaat sektöründen 1 milyon dolar değerinde (üretim maliyeti olarak) ürün çıktısı almamız halinde, kendisinde ve tedarik zincirinde oluşan etkilileri açığa çıkarmayı hedeflemektedir.
- *Adım 4:* İndikatör secimi: Bu aşamada kullanıcı analiz etmek istediği indikatörü seçecektir. Modelin şu anki halinde sadece karbon ayakizi analizi yapılabilmektedir. Modelin onumuzdaki yıllarda geliştirilecek olan versiyonlarında, çeşitli ekonomik, çevresel, ve sosyal etkileri de hesaplamak mümkün olacaktır. Örneğin, kullanıcı inşaat sektörünün sosyal etkilerini analiz etmek isterse 4. adımda gelir, iş kazası, araştırma ve geliştirmeye olan katkı, vergi gibi indikatörlerden birini seçecektir.
- *Adım 5:* Modeli çalıştır ve sonuçları al: Bu adım geliştirilmiş olan modelin son adımı olup kullanıcı ilk 5 adımda tercihlerini yaptıktan sonra sonuçları almak üzere modeli çalıştıracaktır. Sonuçlar sektörlerin ulusal ve küresel karbon ayak izini verecek şekilde sunulacak ve ulusal ve küresel tedarik zincirindeki tüm sektörlerin etkileri sayısal olarak verilecektir. Bu noktada model çıktısı olarak 4 farklı analiz kullanıcılara sunulmaktadır:

1. *Zaman-serisi analizi*: Zaman serisi analizi zamana göre karbon ayak izinin nasıl değiştiğini görmek için elverişli bir analiz tipidir. Bu geliştirilmiş modelin hazır bir analiz çıktısı olmayıp, kullanıcının analizi her yıl için ayrıca yapmasını ve dışarıda kendi seçimine ve önceliklerine göre yapabileceği bir analizdir. Sonuçlar kısmında detaylı bir biçimde bu analizin sonuçları ele alınacaktır.

2. *Kapsam-bazlı Karbon Ayak İzi Analizi*: Bu analiz kullanıcılara üretim ve servis sektörlerinin Kapsam 1, 2 ve 3 (Scope 1, 2, 3) karbon ayak izini hesaplama imkanı sağlayacaktır. Bu analiz özellikle WBCSD & WRI tarafından geliştirilmiş olup Avrupa Birliği Çevre Komisyonu tarafından sektörlerin karbon ayak izlerinin izlenmesi konusunda kullanılmaktadır. Sonuçlar kısmında inşaat sektörünün kapsam-bazlı analizi örnek olarak sunulmuştur. Bu analize göre, Kapsam 1 sektörün kendi içerisinde yaptığı salınımlar (onsite), Kapsam 2 sektörün üretimi dolayısı ile enerji sektöründe neden olduğu karbon salınımları, Kapsam 3 ise bunlar dışında yer alan tüm Karbon salınımlarını (sektörün üretimi dolayısı ile tedarik zincirindeki tüm salınımlar) kapsamaktadır.

3. *Üretim ve Tüketim Odaklı Analiz*: Bu analiz kullanıcılara üretim ve servis sektörlerinin sürdürülebilirlik etkilerinin ülke bazında karşılaştırma imkanı sağlayacaktır. Bu analizde sektörün kendi içerisinde doğrudan neden olduğu salınımlar ve dolaylı yoldan (yani tüm tedarik zinciri) neden olduğu salımlar ayrı ayrı incelenmektedir. Sonuçlar kısmında sunulan program çıktısında Türkiye İnşaat sektörünün karbon ayak izi direk (direct) ve dolaylı (upstream) etkilerinin dağılımı sunulmuştur.

4. *Küresel Etki Lokasyon Analizi*: Bu analiz kullanıcılara üretim ve servis sektörlerinin ulusal ve küresel etkilerinin lokasyonu belirleme imkanı sağlayacaktır. Herhangi bir sektörün üretimi dolayısı ile ülke içerisinde ve dışarısında ne kadar karbon salınımına neden olduğu açığa çıkarılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye inşaat sektörünün ekonomik aktiviteleri sonucunda küresel ölçekte her ülkede ne kadar karbon salınımına neden olduğu analiz edilmiştir.

Bu dört analiz dışında, G-CAT modeli yardımı ile Tedarik Zinciri Etki Lokasyon analizi de yapılabilir. Bu analiz kullanıcılara üretim ve servis sektörlerinin sürdürülebilirlik etkilerinin lokasyonunu (tedarik zinciri bileşenlerini) belirleme imkanı sağlayacaktır. Örneğin inşaat sektörünün tedarik zincirinde yer alan ulaştırma

sektörünün inşaat sektörü aktiviteleri dolayısı ile ne kadar karbon salınımı yaptığı net olarak görülebilir. Bu çalışmada bu analiz yapılmamış olup, dilendiği takdirde web sitesi yardımı ile yapılabilecek bir analizdir.

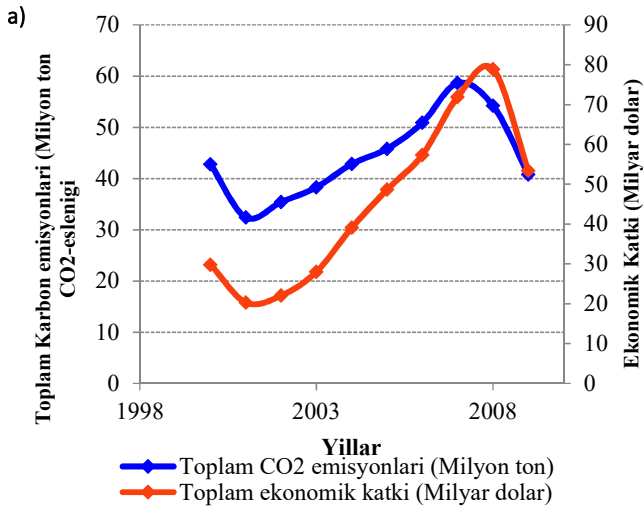
4. BULGULAR (RESULTS)

Türkiye inşaat sektörünün kapsamlı karbon ayak izi sonuçları bu bölümde sunulmuştur. Bulgular geliştirilen G-CAT modelinin dört farklı analizini 2000-2009 yılları arasında göstermektedir. Bu analizler sırası ile zaman-serisi analizi, kapsam bazlı karbon ayak izi, üretim-tüketim bazlı etki analizi ve küresel etki lokasyon analizi olarak sunulmuştur.

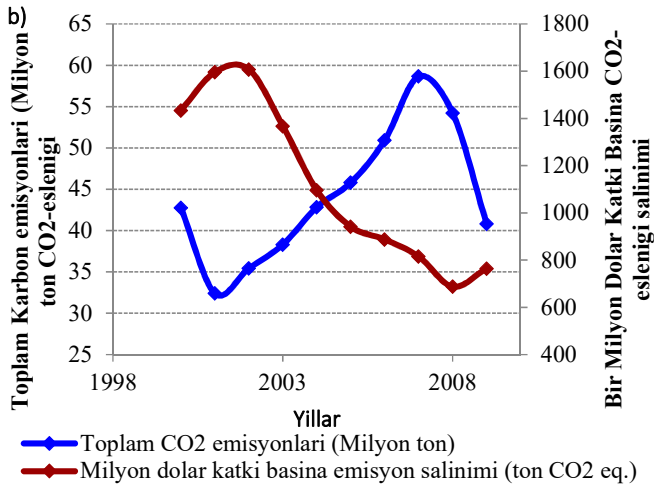
4.1. Zaman Serisi Analizi (Time-series Analysis)

Zaman serisi analizi Türkiye inşaat sektörünün 2000 ve 2009 yılları arasında karbon salımının nasıl değiştiğini göstermektedir. Geleneksel karbon analizleri tedarik zincirinin ilk iki veya üç katmanını hesaba katmasına karşın, bu çalışmada uygulanan ekonomik girdi-çıktı analizi sayesinde tedarik zincirinin tüm katmanlarının toplamını hesaba katmamız mümkün olmuştur. Şekil 2 Türkiye inşaat sektörünün 2000-2009 yılları arasındaki toplam karbon salınımını yine aynı sektörün toplam ekonomik katkısı (GSMH cinsinden) karşılaştırmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi inşaat sektöründeki karbon salınımı ve ekonomik katkısı 2008 yılına kadar artan bir davranış sergilemektedir. 2008 yılındaki küresel krizin etkisi ile daralan sektör, ekonomik katkısı ve dolayısı ile karbon salınımı da sektördeki ve tedarik zincirindeki salınımın azaldığı gözlenmiştir. Şekil 2 Türkiye inşaat sektörünün karbon salınımının ve ekonomik katkısının arasında pozitif bir korelasyon olduğunu gösterse de, bu sektörün zamanla karbon salınımının birim üretim başına azalıp azalmadığını göstermemektedir. Burada sektörün birim üretim başına (örneğin 1 milyon dolar değerine karşılık gelen üretim başına) yaptığı salınım sektörün çevresel performansı ve verimliliği hakkında çok daha net bir bilgi sağlayabilir. Bu nedenle zaman-serisi analizi kapsamında, Şekil 3, inşaat sektörünün toplam emisyonlarına karşın birim üretim başına azalan bir emisyon salınımı göstermektedir. Yani Şekil 1 ve Şekil 3'ü beraber ele alırsak, büyük resimde inşaat sektörünün ekonomik büyüklüğü ve üretimi bu yıllar arasında artış gösterirken birim üretim başına karbon

salınımı azalmaktadır. Bu sonucun birçok farklı sebebi olabileceği gibi, enerji verimliliği daha yüksek teknolojiler kullanılması ve tedarik zincirinde daha verimli seçimler yapılması birim üretim başına karbon salınımının azalmasını önemli iki sebebi olabilir. Zaman serisi analizinin gösterdiği bir diğer önemli sonuç da, sektörün ekonomik büyümesindeki artış hızı, sektörün birim üretim başına karbon salınımının azalma hızından daha fazla olduğu görülmektedir. Yani sektördeki büyümeden kaynaklı emisyonlar, verimlilik artışından dolayı azaltılan karbon salınımlarından daha fazla olduğu için, inşaat sektörünün toplam emisyonları bu yıllar arasında artmıştır.



Şekil 2. Toplam karbon salınımı ve ekonomik katkı karşılaştırması (Comparison of total carbon emissions and economic value-added)

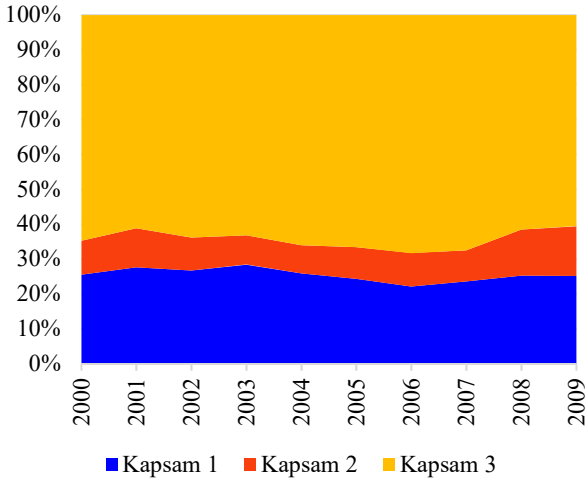


Şekil 3. Toplam karbon salınımı ve birim üretim başına karbon salınımı karşılaştırması (Comparison of total carbon emissions and carbon emissions per economic value-added)

4.2. Kapsam Bazlı Karbon Ayak İzi (Scope-based Carbon Footprint)

Kapsam bazlı analiz is dünyasında karbon raporlamasında kullanılan en yaygın ve kabul gören karbon hesaplama yöntemi olması sebebiyle, Türkiye inşaat sektörünün uluslar arası standartlara göre büyük resimdeki durumunu göstermektedir. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) ve Dünya Kaynakları Enstitüsü (World Resource Institute, WRI) tarafından geliştirilmiş olması sebebiyle kapsam bazlı analiz farklı ülkeler ve farklı sektörlerin standartlara uygun bir şekilde karşılaştırılmasına da olanak sağlamaktadır.

Şekil 4 Türkiye inşaat sektörünün kapsam bazlı karbon ayak izini 2000-2009 yılları arasında nasıl değiştiğini göstermektedir. Analize göre, Türkiye inşaat sektörünün emisyonlarının yaklaşık %60'lık bir kısmı tedarik zincirinde meydana gelmektedir. Bu rakam enerji sektörü de dahil edilirse yaklaşık %70 gibi bir oran olmaktadır. 2000-2009 yılları arasında genel durumda çok ciddi değişiklikler olmayıp, sektörün kendi içerisinde ürettiği (saha içerisindeki inşaat aktiviteleri dolayısı ile) karbon salınımları %25 ile %20 arasında değişmektedir. Bu bulgunun en önemli yönlerinden birisi sektörün standardize edilmiş bir karbon hesaplama yöntemi ile analiz edilmesi ve diğer ülkelerin inşaat sektörleri ile karşılaştırma yapılmasına olanak sağlayabilmesidir. Yine Türkiye'deki inşaat firmaları kendi karbon ayak izlerini bu yöntemle göre hesaplayıp kendi performanslarını ülke ortalamasının gözüktüğü sonuç (bknz: Şekil 2) ile karşılaştırmalarına olanak sağlamaktadır. Bu analizin bir başka önemli sonucu da, sektördeki salınımların daha çok tedarik zincirinde olduğu ve tedarik zincirindeki seçimlerin sektörün salınımlarında çok etkili olduğudur.

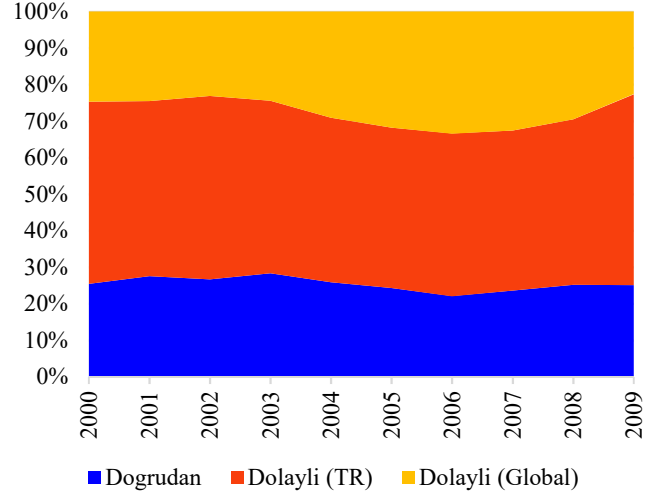


Şekil 4 Türkiye in aat sektörünün 2000-2009 yılları arasında kapsam bazlı karbon ayak izi (Scope-based carbon footprint of Turkish Construction Sector between 2000-2009)

4.3. Üretim-Tüketim Bazlı Karbon Ayak izi (Production-Consumption Based Carbon Footprint)

Üretim-tüketim bazlı karbon ayak izi (bknz: Sekil 5) kapsam-bazlı analizde olduğu gibi Türkiye in aat sektörünün doğrudan ve dolaylı karbon salınımlarının 2000-2009 yılları arasında nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu analizdeki doğrudan salınımlar bir önceki kapsam-bazlı analizdeki Kapsam 1 emisyonlarına karşılık gelmektedir. Dolaylı olan emisyonlar ise ülke içerisinde ve dışarısında olmak üzere iki kısımda gösterilmiştir. Analize göre, Türkiye in aat sektörünün ülke içerisinde olan dolaylı karbon salınımları %45 ile %50 arasında değişmektedir. Bu rakam direk emisyonları da katarsak, emisyonların yaklaşık farklı yıllarda %75 ile %80'i arasında değiştiği görülmektedir. İn aat sektörünün yurt içi üretiminin, yurt dışında oluşturduğu salınımlar ise %20 ile %25 arasında değişmektedir. Yine bu sonuç Türkiye'nin karbon salınımlarının düzenlemesi ile ilgili kontrol edebileceği oranları da göstermektedir. Türkiye in aat sektörünün kendisi ve yurt içinde yer alan tedarikçilerini gösteren mavi ve turuncu alan (yaklaşık karbon salınımlarının %80'i) Türkiye'nin kontrol edebileceği bir alan olup, buradaki sektörlerde geliştirilecek olan politikalar ile hem in aat sektörünün hem de tedarikçilerinin karbon salınımları daha kontrollü bir şekilde izlenebilir. Detaylı tedarik zinciri analizleri yapmadan evvel, in aat sektörünün tedarik zincirinde oluşan emisyonlarının genel olarak tedarik zincirinde hangi sektörleri ilgilendirdiği belirlenebilir. Yıllar arasındaki değişimler doğrudan Türkiye'nin dışarıdan tedarik ettiği

in aat ile ilgili ürünlerin (örneğin sektörün ihtiyaç duyduğu bir beton pompası, in aat demiri, vb.) farklı tedarikçilerden veya farklı mesafelerden gelmesi ile açıklanabilir. Bu sonuç ülkenin ekonomik politikaları ile doğrudan alakası olup, farklı ülkeler ile yapılan ticari faaliyetlerin karbon salınımlarına etkisi olmaktadır.

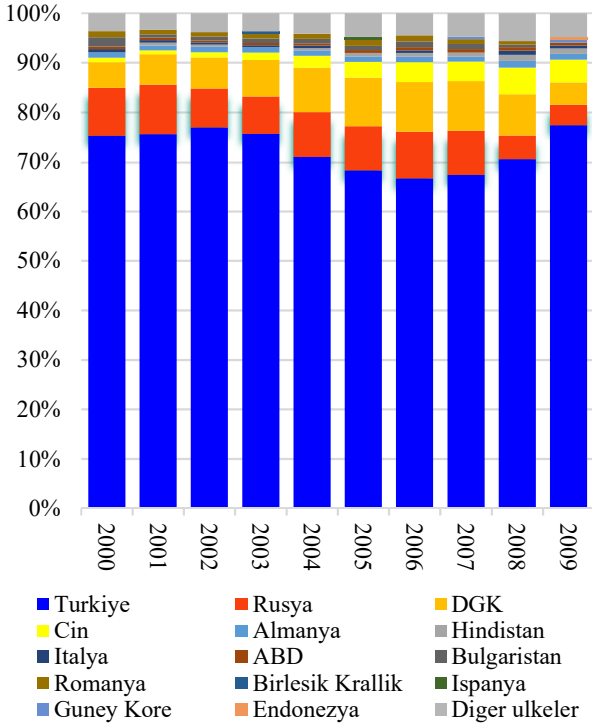


Şekil 5 Türkiye in aat sektörünün 2000-2009 yılları arasında üretim-tüketim bazlı karbon ayak izi (Production-Consumption based carbon footprint of Turkish Construction Sector between 2000-2009)

4.4. Küresel Etki Lokasyon Analizi (Global Impact Location Analysis)

Küresel etki lokasyon analizi Türkiye in aat sektörünün yurt içerisinde yapmış olduğu üretim (in aat faaliyetleri) dolayısı ile global ölçekte hangi ülkelerde dolaylı olarak karbon salınımlarına neden olduğunu göstermektedir. Sekil 6.'da görüldüğü üzere, Türkiye in aat sektörünün karbon salınımlarının büyük kısmı yaklaşık %70-75'i ülke içerisinde Türkiye in aat sektörü ve sektörün ülke içerisindeki tedarikçilerinden kaynaklandığı gözükmektedir. Buna karşın, global ölçekte bakıldığında, terdik zincirinde en çok etkiyi Rusya'da oluşturduğu görülmektedir. Sekil 5. Türkiye in aat sektörünün üretimi dolayısı ile oluşan karbon salınımlarının en çok olduğu 10 ülkeyi göstermektedir. Bu ülkeler arasında, dünya-girdi çıktı veri tabanına göre tanımlanan 40 ülke dışında kalan ülkeler, dünyanın geri kalanı (DGK) olarak tanımlanmıştır. DGK ile beraber toplam 41 ülke incelenmiş ve başı çeken 10 ülke Sekil 5'de gösterilmiştir. Bu 10 ülke dışındakiler ise Sekil 6'da diğer ülkeler adi altında gösterilmiştir. Analize göre, Rusya ve DGK Türkiye in aat sektörünün tedarik zincirinde en çok karbon salınımları oluşan ülkelerdir. Ayrıca, Çin'in tedarik zincirindeki etkisi 2000 yılından itibaren giderek artmaktadır. Bu analiz yardımı ile, Türkiye in aat

sektörünün global ölçekteki karbon salınım etkileri açığa çıkarılmış ve uluslar arası platformlarda karbon salınımları konusunda Türkiye inşaat sektörünün ülke dışında çok fazla bir etkisi olmadığı, olan ülkelerinde başlıca Rusya, Çin, ve DGK olduğu gösterilmiştir.



Şekil 6 Türkiye inşaat sektörünün 2000-2009 yılları arasındaki karbon salınımlarının küresel etki dağılımı. (Global distribution of carbon emissions from Turkish Construction Sector between 2000-2009)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada web tabanlı global karbon ayak izi hesaplama modeli geliştirilmiş ve test edilmiştir. Geliştirilen model ile Türkiye inşaat sektörü kapsamlı bir şekilde incelemiş ve sektörün karbon salınımlarının 2000-2009 yılları arasında nasıl değiştiğini, zaman serisi analiz, Kapsam odaklı, üretim-tüketim odaklı, ve küresel etki lokasyon analizi gibi yenilikçi analizler ile gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına inşaat sektöründeki büyümeden kaynaklı salınımlar, 2000-2009 yılları arası verimlilik artışından dolayı azalan karbon salınımlarına göre daha fazla olduğu için, sektörün bu yıllar arası toplam salınımı artmıştır. İnşaat sektörünün Kapsam 2 ve 3 karbon salınımları (dolaylı salınımlar) sektörün toplam emisyonlarının ortalama %80'nine karşılık gelmektedir ve sektörün emisyonlarını düşürmek için tedarik zinciri ile beraber değerlendirilmesi gerekmektedir. İnşaat sektörü'nün Türkiye

dışında en çok salınım oluşturduğu ülkeler Rusya, DGK, ve Çin olarak bulunmuştur. Bu bulgular ışığında, sektörün salınımlarının düşürülmesi için sadece inşaat sektörü içerisinde değil, tedarikçileri de değerlendirerek politikalar üretilmelidir.

Türkiye sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda lokomotif sektörlerinden birisi olan inşaat sektörünün etkilerini düzenle ve kapsamlı olarak incelemeli ve kalkınma hedefleri doğrultusunda politikalar üretmelidir. Bu çalışma bu yönde önemli bir girişim olup, inşaat sektörüne ek olarak Türkiye'deki tüm sektörlerinin de analiz edilebileceği web-tabanlı bir model olan küresel karbon ayak izi hesaplama (G-CAT) modelini Türkiye literatürüne kazandırmıştır. Geliştirilen bu model Türkiye'de politika üreticiler ve karar vericiler için önemli ve faydalı bir karar-destek modeli olarak hizmet edebilir. Yine Türkiye'de iklim değişikliği ile ilgili çalışan araştırmacılar ve bilim insanlarının kullanımına sunulmuştur. Türkiye'nin uluslar arası iklim müzakerelerine daha hazırlıklı olması için sektörlerini düzenli bir şekilde incelemesi ve gerekli politikaları doğru zamanda üretmesi gerekmektedir. 1992 yılından bu yana devam eden iklim müzakereleri son olarak Paris anlaşması ile sonuçlanmıştır. Katılan 195 ülkenin anlaşmaya varması iklim değişikliği açısından çok önemli bir yere sahiptir. Türkiye sürdürülebilir kalkınma hedeflerini düşük-karbon ekonomisi oluşturacak şekilde yapılandırması, Türkiye'nin de onayladığı Paris Anlaşmasını bir önemli bir fırsata dönüştürebilir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Brundtland Commission. Our Common Future. 1987.
- [2] Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environmental Programme U. Towards a green economy. 2011.
- [3] Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi. Report of the United Nations Conference on Sustainable Development. n.d.
- [4] Elkington J. Cannibals with forks. Triple Bottom Line 21st Century 1997.
- [5] Kucukvar M. Life Cycle Sustainability Assessment Framework for the U.S. Built Environment. Doctoral dissertation, University of Central Florida, Orlando, 2013.
- [6] Türkiye İnşaat Sanayicileri İşveren Sendikası (Intes). İnşaat Sektörü Raporu. 2016.

- [7] Guinée JB, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, van Oers L, et al. life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. 2002. doi:10.1007/BF02978784.
- [8] Zamagni A, Guinée J, Masoni P, Heijungs R. Life Cycle Sustainability Analysis, in Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2012. doi:10.1002/9781118528372.
- [9] Onat NC, Kucukvar M, Tatari O. Uncertainty-embedded dynamic life cycle sustainability assessment framework: An ex-ante perspective on the impacts of alternative vehicle options. *Energy* 2016;112:715–28. doi:10.1016/j.energy.2016.06.129.
- [10] Zhao Y, Onat NC, Kucukvar M, Tatari O. Carbon and energy footprints of electric delivery trucks: A hybrid multi-regional input-output life cycle assessment. *Transp Res Part D Transp Environ* 2016;47:195–207. doi:10.1016/j.trd.2016.05.014.
- [11] Onat NC, Kucukvar M, Tatari O. Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States. *Appl Energy* 2015;150:36–49. doi:10.1016/j.apenergy.2015.04.001.
- [12] Onat NC, Kucukvar M, Tatari O. Scope-based carbon footprint analysis of U.S. residential and commercial buildings: An input–output hybrid life cycle assessment approach. *Build Environ* 2014;72:53–62.
- [13] Junnila S, Horvath A, Guggemos AA. Life-Cycle Assessment of Office Buildings in Europe and the United States. *J Infrastruct Syst* 2006;12:10–7. doi:10.1061/(ASCE)1076-0342(2006)12:1(10).
- [14] Park YS, Egilmez G, Kucukvar M. Emergy and end-point impact assessment of agricultural and food production in the United States: A supply chain-linked Ecologically-based Life Cycle Assessment. *Ecol Indic* 2016;62:117–37. doi:10.1016/j.ecolind.2015.11.045.
- [15] Samaras C, Meisterling K. Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy. *Environ Sci Technol* 2008;42:3170–6. doi:10.1021/es702178s.
- [16] Onat NC, Gumus S, Kucukvar M, Tatari O. Application of the TOPSIS and intuitionistic fuzzy set approaches for ranking the life cycle sustainability performance of alternative vehicle technologies. *Sustain Prod Consum* 2016;6:12–25. doi:10.1016/j.spc.2015.12.003.
- [17] Onat NC, Kucukvar M, Tatari O, Zheng QP. Combined application of multi-criteria optimization and life-cycle sustainability assessment for optimal distribution of alternative passenger cars in U.S. *J Clean Prod* 2016;112:291–307. doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.021.
- [18] Kucukvar M, Tatari O. A comprehensive life cycle analysis of cofiring algae in a coal power plant as a solution for achieving sustainable energy. *Energy* 2011;36:6352–7. doi:10.1016/j.energy.2011.09.039.
- [19] Noori M, Zhao Y, Onat NC, Gardner S, Tatari O. Light-duty electric vehicles to improve the integrity of the electricity grid through Vehicle-to-Grid technology: Analysis of regional net revenue and emissions savings. *Appl Energy* 2016;168:146–58. doi:10.1016/j.apenergy.2016.01.030.
- [20] Huntzinger DN, Eatmon TD. A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. *J Clean Prod* 2009;17:668–75. doi:10.1016/j.jclepro.2008.04.007.
- [21] Hertwich EG. Life cycle approaches to sustainable consumption: a critical review. *Environ Sci Technol* 2005;39:4673–84.
- [22] Kloepffer W. Life cycle sustainability assessment of products. *Int J Life Cycle Assess* 2008;13:89–95.
- [23] Guinée JB, Heijungs R, Huppes G, Zamagni A, Masoni P, Buonamici R, et al. Life cycle assessment: past, present, and future. *Environ Sci Technol* 2011;45:90–6. doi:10.1021/es101316v.
- [24] Finkbeiner M, Schau EM, Lehmann A, Traverso M. Towards Life Cycle Sustainability Assessment. *Sustainability* 2010;2:3309–22. doi:10.3390/su2103309.

- [25] Traverso M, Finkbeiner M, Jørgensen A, Schneider L. Life Cycle Sustainability Dashboard. *J Ind Ecol* 2012;16:680–8. doi:10.1111/j.1530-9290.2012.00497.x.
- [26] Onat NC, Kucukvar M, Tatari O. Integrating triple bottom line input-output analysis into life cycle sustainability assessment framework: The case for US buildings. *Int J Life Cycle Assess* 2014;19:1488–505. doi:10.1007/s11367-014-0753-y.
- [27] Kucukvar M, Tatari O. Towards a triple bottom-line sustainability assessment of the US construction industry. *Int J Life Cycle Assess* 2013.
- [28] Suh S, Lenzen M, Treloar GJ, Hondo H, Horvath A, Huppes G, et al. System Boundary Selection in Life-Cycle Inventories Using Hybrid Approaches. *Environ Sci Technol* 2004;38:657–64. doi:10.1021/es0263745.
- [29] Wiedmann TO, Lenzen M, Barrett JR. Companies on the Scale. *J Ind Ecol* 2009;13:361–83.
- [30] Tatari O, Nazzal M, Kucukvar M. Comparative sustainability assessment of warm-mix asphalts: A thermodynamic based hybrid life cycle analysis. *Resour Conserv Recycl* 2012;58:18–24. doi:10.1016/j.resconrec.2011.07.005.
- [31] Hendrickson CT, Lester BL, Matthews HS. Environmental Life Cycle Assessment of Goods And Services: An Input-Output Approach. Washington DC: 2006.
- [32] Leontief W. Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach. *Rev Econ Stat* 1970;52:262–71.
- [33] Miller RE, Blair PD. Input–output analysis: foundations and extensions. 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2009.
- [34] Carnegie Mellon University Green Design Institute. Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA) 2008. <http://www.eiolca.net/index.html>.
- [35] Murray J, Wood R. The sustainability practitioner’s guide to input-output analysis 2010.
- [36] Horvath A, Hendrickson C. Comparison of environmental implications of asphalt and steel-reinforced concrete pavements. *Transp Res Rec* ... 1998.
- [37] Hendrickson C, Horvath A. Resource Use and Environmental Emissions of U.S. Construction Sectors 2000.
- [38] Noori M, Kucukvar M, Tatari O. Economic input-output based sustainability analysis of onshore and offshore wind energy systems. *Int J Green Energy*, Taylor Fr (Under Rev 2013).
- [39] Noori M, Kucukvar M, Tatari O. Environmental Footprint Analysis of On-shore and Off-shore Wind Energy Technologies. 2012 IEEE ISSST Int. Symp. Sustain. Syst. Technol. Co-organized with IEEE Soc. Soc. Implic. Technol., Boston, MA: 2012.
- [40] Onat NC, Egilmez G, Tatari O. Towards greening the U.S. residential building stock: A system dynamics approach. *Build Environ* 2014;78:68–80. doi:10.1016/j.buildenv.2014.03.030.
- [41] Onat NC, Kucukvar M, Tatari O. Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States. *Appl Energy* 2015;150. doi:10.1016/j.apenergy.2015.04.001.
- [42] Tatari O, Kucukvar M, Onat NC. Towards a Triple Bottom Line Life Cycle Sustainability Assessment of Buildings. *Sci. Sustain. Constr. Manuf. Work. Vol. I. Position Pap. Find.*, 2015, p. 226.
- [43] Ercan T, Onat NC, Tatari O. Investigating carbon footprint reduction potential of public transportation in United States: A system dynamics approach. *J Clean Prod* 2016;133:1260–76. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.051.
- [44] Ercan T, Onat NC, Tatari O, Mathias J-D. Public transportation adoption requires a paradigm shift in urban development structure. *J Clean Prod* 2016. doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.109.
- [45] Onat NC, Kucukvar M, Tatari O, Egilmez G. Integration of system dynamics approach toward deepening and broadening the life cycle sustainability assessment framework: a case for electric vehicles. *Int J Life Cycle Assess* 2016;21:1009–34. doi:10.1007/s11367-016-1070-4.

- [46] Onat NC. A macro-level sustainability assessment framework for optimal distribution of alternative passenger vehicles. University of Central Florida, 2015.
- [47] Onat NC, Noori M, Kucukvar M, Zhao Y, Tatari O, Chester M. Exploring the suitability of electric vehicles in the United States. *Energy* 2017;121. doi:10.1016/j.energy.2017.01.035.
- [48] Alirezaei M, Onat NC, Tatari O, Abdel-Aty M. The Climate Change-Road Safety-Economy Nexus: A System Dynamics Approach to Understanding Complex Interdependencies. *Systems* 2017;5:6.
- [49] Tatari O, Onat N, Abdel-Aty M, Alirezaei M. Dynamic Simulation Models for Road Safety and Its Sustainability Implications 2015.
- [50] Onat NC, Kucukvar M, Tatari O. Towards Life Cycle Sustainability Assessment of Alternative Passenger Vehicles. *Sustainability* 2014;6:9305–42. doi:10.3390/su6129305.
- [51] Egilmez G, Kucukvar M, Tatari O, Bhutta MKS. Supply chain sustainability assessment of the U.S. food manufacturing sectors: A life cycle-based frontier approach. *Resour Conserv Recycl* 2014;82:8–20. doi:10.1016/j.resconrec.2013.10.008.
- [52] Kucukvar M, Egilmez G, Onat NC, Samadi H. A global, scope-based carbon footprint modeling for effective carbon reduction policies: Lessons from the Turkish manufacturing. *Sustain Prod Consum* 2015;1:47–66. doi:10.1016/j.spc.2015.05.005.
- [53] Wiedmann T, Wilting HC, Lenzen M, Lutter S, Palm V. Quo Vadis MRIO? Methodological, data and institutional requirements for multi-region input–output analysis. *Ecol Econ* 2011;70:1937–45. doi:10.1016/j.ecolecon.2011.06.014.
- [54] Foran B, Lenzen M, Dey C. Balancing Act a Triple Bottom Line Analysis of the Australian Economy Volume 1. In: CSIRO, editor. *Balanc. Act*, vol. 358, CSIRO; 2005, p. 277.
- [55] Wiedmann T, Lenzen M. Triple-Bottom-Line Accounting of Social, Economic and Environmental Indicators-A New Life-Cycle Software Tool for UK Businesses. ... *Creat Cult Perth* Retrieved from ... 2006.
- [56] Foran B, Lenzen M, Dey C. Balancing Act: a triple bottom line analysis of the Australian economy. vol. 1. 2011.
- [57] Wiedmann T, Minx J. A Definition of ‘Carbon Footprint. *Science* (80-) 2007;1:1–11.
- [58] Malik A, Lenzen M, Geschke A. Triple bottom line study of a lignocellulosic biofuel industry. *GCB Bioenergy* 2016;8:96–110. doi:10.1111/gcbb.12240.
- [59] Kucukvar M, Tatari O. Towards a triple bottom-line sustainability assessment of the U.S. construction industry. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:958–72. doi:10.1007/s11367-013-0545-9.
- [60] Noori M. Sustainability assessment of wind energy for buildings 2013.
- [61] Ercan T, Kucukvar M, Tatari O, Al-Deek H. Congestion Relief Based on Intelligent Transportation Systems in Florida. *Transp Res Rec J Transp Res Board* 2013;2380:81–9. doi:10.3141/2380-09.
- [62] Tatari O, Kucukvar M. Eco-Efficiency of Construction Materials: Data Envelopment Analysis. *J Constr Eng Manag* 2012;138:733–41. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000484.
- [63] Kucukvar M, Noori M, Egilmez G, Tatari O. Stochastic decision modeling for sustainable pavement designs. *Int J Life Cycle Assess* 2014;19:1185–99. doi:10.1007/s11367-014-0723-4.
- [64] Kucukvar M, Egilmez G, Tatari O. Sustainability assessment of U.S. final consumption and investments: triple-bottom-line input–output analysis. *J Clean Prod* 2014;81:234–43. doi:10.1016/j.jclepro.2014.06.033.
- [65] Egilmez G, Kucukvar M, Tatari O. Sustainability assessment of U.S. manufacturing sectors: an economic input output-based frontier approach. *J Clean Prod* 2013;53:91–102. doi:10.1016/j.jclepro.2013.03.037.
- [66] Tukker A, Dietzenbacher E. Global Multiregional Input–Output Frameworks: An Introduction and Outlook. *Econ Syst Res* 2013;25:1–19.

- doi:10.1080/09535314.2012.761179.
- [67] Lenzen M, Geschke A, Wiedmann T, Lane J, Anderson N, Baynes T, et al. Compiling and using input–output frameworks through collaborative virtual laboratories. *Sci Total Environ* 2014;485:241–51. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.03.062.
- [68] Hoekstra R. A complete database of peer-reviewed articles on environmentally extended input-output analysis. 2010.
- [69] Dietzenbacher E, Lenzen M, Los B, Guan D, Lahr ML, Sancho F, et al. INPUT–OUTPUT ANALYSIS: THE NEXT 25 YEARS. *Econ Syst Res* 2013;1–21. doi:10.1080/09535314.2013.846902.
- [70] Onat NC, Kucukvar M, Halog A, Cloutier S. Systems Thinking for Life Cycle Sustainability Assessment: A Review of Recent Developments, Applications, and Future Perspectives. *Sustain* 2017, Vol 9, Page 706 2017;9:706. doi:10.3390/SU9050706.
- [71] Ewing R, Rong F. The impact of urban form on U.S. residential energy use. *Hous Policy Debate* 2008;19:1–30. doi:10.1080/10511482.2008.9521624.
- [72] Hertwich EG, Peters GP. Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis. *Environ Sci Technol* 2009;43:6414–20. doi:10.1021/es803496a.
- [73] Dietzenbacher E, Los B, Stehrer R, Timmer M, de Vries G. The Construction of World Input–Output Tables in the WIOD Project. *Econ Syst Res* 2013;25:71–98. doi:10.1080/09535314.2012.761180.
- [74] Lenzen M, Moran D, Kanemoto K, Geschke A. Building EORA: A Global Multi-Region Input–Output Database at High Country And Sector Resolution. *Econ Syst Res* 2013;25:20–49. doi:10.1080/09535314.2013.769938.
- [75] Tukker A, Poliakov E, Heijungs R, Hawkins T, Neuwahl F, Rueda-Cantucho JM, et al. Towards a global multi-regional environmentally extended input–output database. *Ecol Econ* 2009;68:1928–37. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.11.010.
- [76] Kovanda J, Weinzettel J. The importance of raw material equivalents in economy-wide material flow accounting and its policy dimension. *Environ Sci Policy* 2013;29:71–80. doi:10.1016/j.envsci.2013.01.005.
- [77] Steen-Olsen K, Weinzettel J, Cranston G, Ercin AE, Hertwich EG. Carbon, Land, and Water Footprint Accounts for the European Union: Consumption, Production, and Displacements through International Trade. *Environ Sci Technol* 2012;46:10883–91. doi:10.1021/es301949t.
- [78] Andrew RM, Peters GP. A Multi-Region Input–Output Table Based On The Global Trade Analysis Project Database (Gtap-Mrio). *Econ Syst Res* 2013;25:99–121. doi:10.1080/09535314.2012.761953.
- [79] Wiebe KS, Bruckner M, Giljum S, Lutz C. Calculating Energy-Related CO₂ Emissions Embodied In International Trade Using A Global Input–Output Model. *Econ Syst Res* 2012;24:113–39. doi:10.1080/09535314.2011.643293.
- [80] Wiedmann TO, Schandl H, Lenzen M, Moran D, Suh S, West J, et al. The material footprint of nations. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2015;112:6271–6. doi:10.1073/pnas.1220362110.
- [81] Kucukvar M, Cansev B, Egilmez G, Onat NC, Samadi H. Energy-climate-manufacturing nexus: New insights from the regional and global supply chains of manufacturing industries. *Appl Energy* 2016. doi:10.1016/j.apenergy.2016.03.068.
- [82] Kucukvar M, Samadi H. Linking National Food Production to Global Supply Chain Impacts for the Energy-Climate Challenge: The Cases of the EU-27 and Turkey. *J Clean Prod* 2015;108:395–408. doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.117.
- [83] WBCSD & WRI. Corporate value chain (Scope 3) accounting and reporting standard. Geneva, Switzerland: 2011.
- [84] GHG Protocol Initiative. Guidance for Calculating Scope 3 Emissions 2011. [http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/GHG Protocol Guidance for Calculating Scope 3 Emissions - DRAFT August 2011.pdf](http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/GHG%20Protocol%20Guidance%20for%20Calculating%20Scope%203%20Emissions%20-%20DRAFT%20August%202011.pdf).
- [85] Huang YA, Weber CL, Matthews HS. Categorization of Scope 3 emissions for streamlined enterprise carbon footprinting. *Environ Sci Technol* 2009;43:8509–15. doi:10.1021/es901643a.
- [86] Lee K-H. Integrating carbon footprint into

supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry. *J Clean Prod* 2011;19:1216–23.
doi:10.1016/j.jclepro.2011.03.010.

- [87] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Sera gazlarının izlenmesi ve raporlanması 2014. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/07/20140722-5.htm>.
- [88] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Enerji verimliliği stratejisi makalesi 2013. http://www.eie.gov.tr/verimlilik/document/Energy_Efficiency_Strategy_Paper.pdf.
- [89] Bakanlığı TCK. 10. Kalkınma Planı: 2014-2018 2013. [http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/Yaynlar/Attachments/518/Onuncu Kalkınma Planı.pdf](http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/Yaynlar/Attachments/518/Onuncu_Kalkinma_Planı.pdf).
- [90] Foran, B., Lenzen, M., Moran, D., Alsamawi., Geschke, A., Kanemoto, K. Balancing the G20's Global Impact. KGM & Associates. Univ Sydney, Inst Land, Water Soc 2014. <http://apo.org.au/node/42294>.
- [91] Çalışkan, E. T., Aydoğuş O. Türkiye Ekonomisinde Endüstriyel Büyümenin Kaynakları: Girdi-Çıktı Modeli ile Ampirik Bir Analiz (1985-2002). *Ege Akad Bakış* 2011;11:499–510.
- [92] Suh S, Ferrao P, Nhambiu J. Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology. New York: Springer; 2009. doi:10.1007/978-1-4020-5737-3.
- [93] Timmer M, Erumban A, Gouma R. The world input-output database (WIOD): contents, sources and methods. WIOD Work Pap Number 10 2012. <http://www.wiod.org/publications/papers/wiod10.pdf> (accessed November 26, 2014).
- [94] Eurostat. Eurostat manual of supply, use and input–output tables. Luxembourg: 2008.
- [95] United Nations. UN (1999) Studies in methods: handbook of national accounting. New York, USA: 1999.