

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Sürdürülebilir Kalkınmanın Sağlanabilmesi İçin İşletmelerin Karbon Ayak İzini Azaltıcı Stratejilerinin Belirlenmesi

Serhat Yüksel¹Hasan Dinçer²Begüm Özdoğan³

Öz

İşletmelerin karbon ayak izinin azaltılabilmesi için birçok strateji geliştirilebilir. Bununla birlikte, her bir iyileştirme stratejisi maliyetlerin de artmasına sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla, bu süreçte en fazla önem arz eden problemin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu sayede, daha fazla önem arz eden konulara yönelik etkin stratejilerin belirlenebilmesi mümkün olabilmektedir. Bu durum da stratejiler daha düşük maliyetle uygulanabilmektedir. Bu çalışmanın amacı işletmenin karbon ayak izinin azaltılabilmesi için etkin ve verimli stratejilerin belirlenmesidir. Bu kapsamda, çalışmanın temel araştırma sorusu, karbon ayak izinin azaltılabilmesi için işletmelerin uygulaması gereken öncelikli stratejilerinin hangileri olduğunun tespit edilmesidir. Bu amaca ulaşabilmek için 4 farklı kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin önem ağırlıklarının hesaplanabilmesi için DEMATEL yönteminden faydalanılmaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre enerji verimliliğinin sağlanması işletmelerin karbon ayak izinin minimize edilmesinde en fazla önem arz eden kriterdir. Çalışanlara eğitim verilmesi ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi de bu süreçte dikkate alınabilecek başka faktörlerdir. Buna karşın, yenilenebilir enerji kullanımı hususu ise diğer değişkenlere kıyasla çok daha düşük önem ağırlığına sahiptir. Bu sonuçlar dikkate alındığında, işletmelerin enerji verimliliğinin sağlanabilmesine daha fazla önem göstermeleri gerekmektedir. Bu durum karbon ayak izinin azaltılmasında çok yüksek maliyetlere katlanılmadan etkin stratejilerin geliştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Enerji verimliliğinin sağlanması bu amaca ulaşılabilmesinde çok kritik bir role sahiptir. Bu çerçevede, verimlilik sağlayacak makineler kullanılabilir ve bina yalıtımları daha iyi hale getirilebilir. Öte yandan, çevre dostu tedarikçiler ile çalışma da bu sürece önemli derecede katkı sağlayabilir. Böylece, işletmenin tedarik zinciri daha sürdürülebilir olabilir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Kalkınma; Karbon Emisyonu; Karbon Ayak İzi; DEMATEL.

JEL Sınıflandırması: G21, L26, O16

Determining Strategies to Reduce the Carbon Footprint of Businesses to Ensure Sustainable Development

Abstract

The aim of this study is to determine effective and efficient strategies to reduce the carbon footprint of the business. In this context, the main research question of the study is to determine which are the priority strategies that businesses should implement to reduce their carbon footprint. To achieve this goal, four different criteria were determined. DEMATEL method is used to calculate the importance weights of these criteria. According to the analysis results obtained, ensuring energy efficiency is the most important criterion in minimizing the carbon footprint of businesses. Training employees and sustainable supply chain management are other factors that can be taken into consideration in this process. On the other hand, the issue of renewable energy use has a much lower importance weight compared to other variables. Considering these results, businesses need to pay more attention to ensuring energy efficiency. This allows effective strategies to be developed to reduce carbon footprint without incurring very high costs. Ensuring energy efficiency has a very critical role in achieving this goal. In this context, machines that will provide efficiency can be used and building insulation can be improved. On the other hand, working with environmentally friendly suppliers can also contribute significantly to this process. Thus, the business's supply chain can be more sustainable.

Keywords: Sustainable Development; Carbon Emission; Carbon footprint; DEMATEL.

JEL Classification: G21, L26, O16

¹ İstanbul Medipol Üniversitesi, İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Prof. Dr.

E-posta: serhatyuksele@medipol.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-9858-1266>

² İstanbul Medipol Üniversitesi, İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Prof. Dr.

E-posta: hdincer@medipol.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-8072-031X>

³ İstanbul Medipol Üniversitesi, İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Ekonomi ve Finans Bölümü Lisans Öğrencisi

E-posta: begum.ozduman@std.medipol.edu.tr

<https://orcid.org/0009-0008-8016-6911>

Atıf/Citation: Yüksel, S., Dinçer, H., Özdoğan, B. (2024). Sürdürülebilir Kalkınmanın Sağlanabilmesi İçin İşletmelerin Karbon Ayak İzini Azaltıcı Stratejilerinin Belirlenmesi, *Maruf İktisat İslam İktisadi Araştırmaları Dergisi*, 4 (1), s.04-15.

DOI: 10.58686/marufiktisat.1485405 • **Geliş/Received** - 16.05.2024 • **Kabul/Accepted** - 03.06.2024

1. Giriş

Küreselleşmenin etkisini göstermesiyle çevre sorunları da artmaktadır. Bu durum da küresel ısınma gibi tüm dünyayı etkileyen problemler meydana getirmektedir. Bu problemler gittikçe tehlikeli bir hal almaktadır. Bu çerçevede, küresel ısınma ekolojik dengede birtakım bozulmalar meydana getirmektedir. Bu durum bazı canlı türlerinin yok olmasına yol açmaktadır. Öte yandan, sıcaklık artışları aynı zamanda tarım sektörünü de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu husus da su kaynaklarının azalması ve gıda güvenliği gibi birtakım sorunları meydana getirmektedir (Wang vd., 2023). Öte yandan, küresel ısınma ayrıca halk sağlığını da tehdit etmektedir. Yükselen sıcaklıklar bazı salgın hastalıkların yükselmesine sebebiyet vermektedir. Özetle, küresel ısınma problemi çok tehlikeli bir boyut aldığından dolayı bu problemin olumsuz etkilerinin giderilebilmesi için birtakım tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Küresel ısınma problemi ile etkin bir şekilde mücadele edilmesinde işletmelerin karbon ayak izinin azaltılması kilit bir öneme sahiptir. Bu süreçte etkin stratejilerin belirlenmesi çok gereklidir. Enerji verimliliğinin sağlanması bu amaca ulaşılabilmesinde çok kritik bir role sahiptir. Bu çerçevede, verimlilik sağlayacak makineler kullanılabilir ve bina yalıtımları daha iyi hale getirilebilir (Gao vd., 2023). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması da bu süreçte çok gereklidir. Bu enerji türleri sayesinde karbon emisyonu probleminin minimize edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Çevre dostu tedarikçiler ile çalışma da bu sürece önemli derecede katkı sağlayabilir. Böylece, işletmenin tedarik zinciri daha sürdürülebilir olabilir. Çalışanlara eğitim verilmesi de karbon ayak izinin azaltılabilmesine olanak sağlamaktadır.

İşletmelerin karbon ayak izinin azaltılabilmesi için birçok strateji geliştirilebilir. Bununla birlikte, her bir iyileştirme stratejisi maliyetlerin de artmasına sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla, bu süreçte en fazla önem arz eden problemin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu sayede, daha fazla önem arz eden konulara yönelik etkin stratejilerin belirlenebilmesi mümkün olabilmektedir. Bu durum da stratejiler daha düşük maliyetle uygulanabilmektedir. Bu doğrultuda, çalışmanın amacı işletmenin karbon ayak izinin azaltılabilmesi için etkin ve verimli stratejilerin belirlenmesidir. Bu kapsamda, çalışmanın temel araştırma sorusu karbon ayak izinin azaltılabilmesi için işletmelerin uygulaması gereken öncelikli stratejilerinin hangileri olduğunun tespit edilmesidir. Bu amaca ulaşabilmek için 4 farklı kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin önem ağırlıklarının hesaplanabilmesi için DEMATEL yönteminden faydalanılmaktadır.

Çalışma 4 farklı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde literatür taramasına yer verilmektedir. Üçüncü bölümde analiz sonuçları paylaşılmaktadır. Son bölümde ise elde edilen bulgulara yönelik bilgi verilmektedir.

2. Literatür Taraması

Karbon emisyonu, enerji üretimi, endüstriyel faaliyetler ve ulaşım gibi insan etkinliklerinin sonucunda karbon dioksit ve sera gazlarının atmosferde birikmesine ve dolayısıyla küresel iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Karbon emisyonunda bir insanın veya bir kurumunun etkinliklerinin sera gazı emisyonlarının miktarı karbon ayak izi ile ölçülmektedir. Karbon ayak izi, çevrede oluşan olumlu veya olumsuz gelişen etkileri değerlendirmek ve bu etkileri azaltabilme stratejileri geliştirmek için kullanılır.

maktadır (Chu vd., 2024). Küresel ısınma, doğal dengeyi bozarak insanların yaşamını ve ekonomik faaliyetlerini tehdit eder. Bunun yanı sıra kontrolsüz nüfus artışı, küresel enerji talebindeki artış ve yeşil alanların azalması da karbon emisyonuna neden olan diğer önemli konulardır (Du vd., 2023). Buna ek olarak, günümüzde teknolojinin gelişerek veri madenciliği metodolojisini kullanan birçok sektör içinde bulunan şirketler karbon emisyonu sorunu açısından da büyük önem taşımaktadır (Xu vd., 2023).

Karbon emisyonun çok fazla dezavantajından bahsetmek mümkündür. Büyük ölçüde elektrik tüketimi, karbon salınımına sebep olmaktadır. Buna örnek olarak, veri merkezlerinin işletilmesi, soğutulması, güçlendirilmesi gibi süreçler, karbon salınımına sebep olur. Bu bağlamda, bir şirket, veri merkezi operasyonlarını optimize etmek için sürdürülebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılabilir veya enerji verimliliğini artırmak için teknolojik yenilikler uygulayabilir (Zhou vd., 2023). Buna ek olarak veri depolama ve işleme için kullanılan sunucuların ve veri merkezlerinin sürekli olarak çalışması bu şirketlerin karbon ayak izinin artmasına neden olmaktadır. Buna sonuç olarak da veri depolama ve işleme için kullanılan sunucuların ve veri merkezlerinin enerji verimliliği artırılabilir böylelikle enerji tüketimi azaltılır dolayısıyla karbon emisyonlarında da azalma görülebilir (Zeng ve Li, 2023). Yukarıda verilen nedenlerin karbon emisyonuna olan etkisine bakıldığında, veri madenciliği projelerinin çevresel etkisinin azalması için bazı stratejilere ihtiyaç vardır (Shen vd., 2023).

Günümüzde veri merkezleri son yıllarda bilgi ve iletişim teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak büyümeye başlamıştır. Bu durum elektrik tüketiminde ve karbondioksit emisyonlarında önemli bir artışa yol açtı ve bu durum da çevre üzerindeki olumsuz etkiyi artırdı. Yüksek karbon ayak izi, son zamanlarda işletmeler için giderek artan bir çevre problem haline gelmektedir (Jung ve Song, 2023). Bu problem karşısında ülkeler ve insanlar içerisinde artan çevresel bilinç, işletmelerin karbon emisyonlarını azaltmalarına ve sürdürülebilirliklerini artırmaya yönlendirmektedir. Ancak, karbon emisyonlarını azaltmayan, yüksek karbon ayak izine sahip olan işletmeler, finansal riskler ve itibar kaybı gibi birçok zorlukla karşı karşıya kalmaktadır (Du vd., 2023). Bu tarz zorluklar dışında ayrıca, yüksek karbon emisyonlarının işletmelere olan etkileri arasında tedarik zinciri sorunları, artan operasyonel maliyetler ve sermaye erişimi sorunları yer almaktadır. Bu nedenle, bu merkezlerin enerji tüketimini, uygulanan maliyetlerini azaltabilmek ve karbon azalımı için yeni stratejiler geliştirmeye çalışılmıştır (Wu vd., 2023).

Devletlerin karbon ayak izini minimize edebilmek için kurum ve kuruluşlara finansal stratejilerde bulunması gerekmektedir. Finansal stratejiler içerisinde ilk olarak yeşil tahvillerden bahsetmek mümkün. Yeşil tahviller, çevreye duyarlı olan projelere sağlanan bir fon türüdür. Bu fon türü ile işletmeler çevre dostu olan projelerine, örneğin yenilenebilir enerji projeleri, enerji tasarrufu ve başka sürdürülebilirlik olan projelerini finansa edebilirler (Wang vd., 2023). Çevreye karşı olan sorumluluk standartlarına uyan işletmelerin projeleri için sürdürülebilir kredi adı altında işletmelere sunulan krediler bir başka finansal stratejidir. Yeşil kredi politikası, çevresel performansı teşvik etmek için tasarlanmıştır (Chen vd., 2023). Günümüzde artık yavaş yavaş her kesimden tüketiciler çevre problemlerine karşı daha duyarlı olduğundan, sektörde çevre kirliliğinin azaltılması da önemli bir konudur. Sektörde tüketiciler çevre sorunlarına karşı duyarlı olmakta ve çevre dostu olan işletmeleri tercih etmektedirler (Shang vd., 2023). Tüketicilerin bu yönelimi işletmelerinde çevre dostu ürün veya hizmet sunmalarına teşvikte bulunmaktadır.

İşletmelerin yenilenebilir enerjiler kaynaklarına yapacakları yatırımların hava koşulları veya doğa olaylarına bağlı olarak değişiklik gösterme olasılıklarının olduğuna dikkat çekmek gerebilir. Bu tür du-

rumlara aralıklı arz denir ve güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının bağlı olduğu hava durumuna göre farklılık göstermesi anlamına gelmektedir (Gao vd., 2023). İşletmelerin aralıklı arz sorunu ile portföy çeşitlendirerek, enerji depolama teknolojilerine yatırım yaparak veya yedek enerji kaynaklarıyla anlaşmalar yaparak bu sorun ile başa çıkabilmelerini sağlamaktadır (Bai vd., 2023). Portföy çeşitlendirme stratejisi, sadece tek yenilenebilir enerji kaynağına yatırım yapmak yerine diğer kaynaklara da yatırım yapmak, arz güvenliğini artırır. Enerji depolama teknolojilerine yatırım yapmak, yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgar vb.) üretiminin yüksek olduğu zamanlarda enerjiyi depolayarak, ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanmak için depolama çözümlerine yapılan yatırımlar karbon ayak izinin azalmasında faydalı olacaktır. Bazı durumlarda yenilenebilir enerji kaynakları yetersiz kalabilmekte bu sorunun çözümü için ise, işletmeler yedek enerji kaynaklarıyla anlaşma olarak fosil yakıt santralleri gibi kaynaklardan enerjilerini sağlayabilirler (You vd., 2023).

3. Metodoloji

Bu çalışmada işletmelerin karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik stratejilerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çerçevede, kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve bu hususa etki eden kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlerin önem ağırlıklarının gerçekleştirilmesi için öncelik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, DEMATEL yönteminden faydalanılmıştır. Bu tekniğin aşamalarına aşağıda yer verilmektedir (Kou vd., 2024; Özdemirci vd., 2023).

Aşama 1: İlk olarak uzmanlardan görüşler temin edilmektedir. Bu süreçte, seçilmiş kriterler soru haline getirilmektedir. Uzmanların ise bu soruları değerlendirmeleri istenmektedir. Uzmanlar bu değerlendirme sürecinde 5'li skala kullanmaktadır.

Aşama 2: Elde edilen görüşler dikkate alınarak direk ilişki matrisi (A) oluşturulmaktadır. Bu süreçte, tüm uzman görüşlerinin aritmetik ortalaması hesaplanmaktadır. Başka bir ifadeyle, tüm uzman değerlendirmeleri toplanarak uzman sayısına bölünür.

Aşama 3: Normalize matris (X) elde edilir. Normalizasyon sürecinin temel amacı daha düşük değerlerle çalışılmasıdır. Bu durum daha etkin analizlerin gerçekleştirilebilmesine imkan sağlamaktadır. Normalizasyon sürecinde direk ilişki matrisindeki tüm satır toplamları hesaplanır. Bu satır toplamlarının en yüksek değeri eşik değeri olarak kabul edilir. Daha sonra, direk ilişki matrisindeki tüm değerler bu eşik değere bölünür.

Aşama 4: Toplam ilişki matrisi (T) elde edilir. Bu süreçte " $X \cdot (I - X)^{-1}$ " formülünden faydalanılır. Buradaki "I" ifadesi birim matrisi simgelemektedir.

Aşama 5: Kriter ağırlıkları hesaplanır. Toplam ilişki matrisinin satır toplamları (D) ve sütun toplamları (R) elde edilir. Bu bağlamda, "D+R" değeri kriter ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılır.

4. Analiz Sonuçları

Bu bölümde işletmelerin karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik stratejilerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, literatürdeki benzer çalışmaların incelenmesi neticesinde 4 farklı kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin detaylarına Tablo 1’de yer verilmektedir.

Tablo 1: Kriter Listesi

Kriter	Kaynakça
Enerji Verimliliğinin Sağlanması	Cai vd. (2023)
Yenilenebilir Enerji Kullanımı	Raihan (2023)
Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi	Hu (2023)
Çalışanlara Eğitim Verilmesi	Yao vd. (2023)

Yukarıda belirtilen bu kriterlerin önem ağırlıklarının bulunmasında DEMATEL yaklaşımı dikkate alınmaktadır. Bu yöntem çok sayıda kriterin önem ağırlıklarının belirlenebilmesi için kullanılmaktadır (Eti vd., 2023; Dinçer vd., 2024). Elde ettiği başarılı sonuçlardan dolayı bu teknik literatürde birçok araştırmacı tarafından farklı amaçlarla kullanılmaktadır (Kou vd., 2024; Özdemirci vd., 2023). Analiz sürecinde üç farklı uzmanın görüşüne başvurulmaktadır. Bu kişiler konuya yönelik en az 23 yıl tecrübeye sahip olan akademisyen ve üst düzey yöneticilerden oluşmaktadır. Gerçekleştirilen analiz sonucunda belirtilen bu kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmaktadır. Bu önem ağırlıklarının detaylarına Tablo 2’de yer verilmektedir.

Tablo 2: Kriterlerin Önem Ağırlıkları

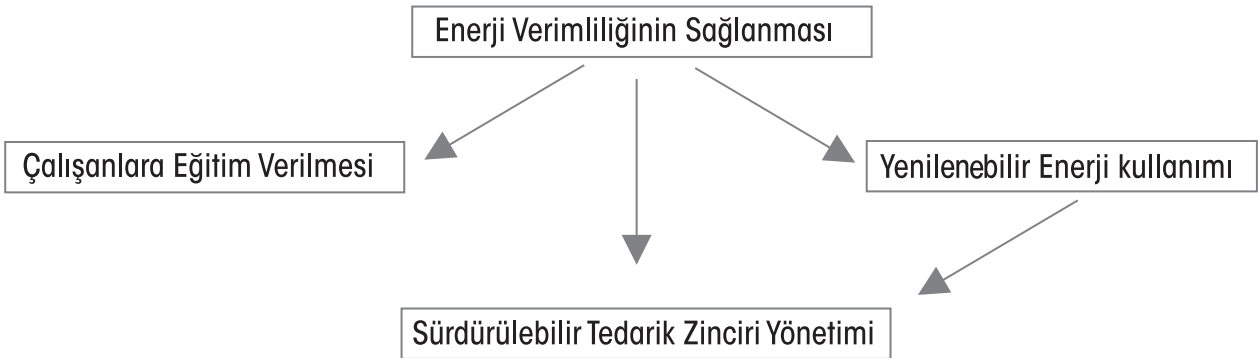
Kriter	Önem Ağırlıkları
Enerji Verimliliğinin Sağlanması	0,281
Yenilenebilir Enerji Kullanımı	0,223
Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi	0,234
Çalışanlara Eğitim Verilmesi	0,262

Elde edilen analiz sonuçlarına göre enerji verimliliğinin sağlanması işletmelerin karbon ayak izinin minimize edilmesinde en fazla önem arz eden kriterdir. Çalışanlara eğitim verilmesi ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi de bu süreçte dikkate alınabilecek başka faktörlerdir. Buna karşın, yenilenebilir enerji kullanımı hususu ise diğer değişkenlere kıyasla çok daha düşük önem ağırlığına sahiptir. Bu sonuçlar dikkate alındığında, işletmelerin enerji verimliliğinin sağlanabilmesine daha fazla önem göstermeleri gerekmektedir. Bu durum karbon ayak izinin azaltılmasında çok yüksek maliyetlere kat-

lanılmadan etkin stratejilerin geliştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaca ulaşabilmek için birtakım stratejilerin geliştirilebilmesi mümkündür. İşletmelerde uygulanan finansal stratejilerin uygulanmasında, sektördeki diğer paydaşlarla iş birliği yapmaları karbon emisyonlarını azaltmasında etkili bir tedarik iş birliği olduğu savunulmaktadır. Bu tedarik iş birliği sayesinde çevreye duyarlı işletmelerin ortak sürdürülebilir hedefler belirleyerek ortak çözüm geliştirmeyi amaçlayarak birden fazla işletmenin karbon ayak izini azaltmasına yarar sağlayacaktır.

Finansal stratejiler arasında emisyon düzenlemelerinde etkisi vardır. İşletmeler arasındaki karbon vergileri, emisyon sınırlamaları gibi farklı düzenlemeler işletmelerin tedarik zincirlerindeki karbon ayak izlerini azaltmaya teşvik eder. Bu finansal stratejilerin daha verimli olabilmesi için işletmelerin iş birliği yapacağı diğer işletmelerin karbon ayak izi seviyesine dikkat ederek iş birliklerini gerçekleştirme daha doğru olacaktır. İşletmeler, daha düşük karbon emisyonuna sahip tedarikçiler ile arasında ortaklık kurulmalıdır. İşletmeler kurdukları bu iş birliği ile üretim ve dağıtım süreçlerini optimize ederek gerçekleştirmeleri enerji kullarımlarına azaltacaklar ve böylece karbon ayak izinde de azalma olacaktır. İşletmeler üretilen malzemelerin geri dönüşümünü sağlayarak ve hammadde kullarımlarını azaltarak karbon emisyonlarında azalma olacaktır. Bu da tüketiciler için daha tercih edilen ve işletmelerin sektörde öne çıkmasını sağlayacakları bir finansal stratejidir. DEMATEL analizi ile gerçekleştirilen etki diyagramı Şekil 1’de gösterilmektedir.

Şekil 1: Etki Diyagramı



Şekil 1’den görüleceği üzere, enerji verimliliğinin sağlanması en fazla etkileyen kriter olarak öne çıkmaktadır. Bu faktör diğer üç kriter üzerinde de olumlu etkiye sahiptir. Belirtilen bu durum da enerji verimliliğinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Öte yandan, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi kriteri de en fazla etkilenen kriter olarak belirlenmektedir. Bu faktörün de diğer iki kriterden önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmanın amacı işletmenin karbon ayak izinin azaltılabilmesi için etkin ve verimli stratejilerin belirlenmesidir. Bu kapsamda, çalışmanın temel araştırma sorusu karbon ayak izinin azaltılabilmesi için işletmelerin uygulaması gereken öncelikli stratejilerinin hangileri olduğunun tespit edilmesidir. Bu amaca ulaşabilmek için 4 farklı kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin önem ağırlıklarının hesaplanabilmesi için DEMATEL yönteminden faydalanılmaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre enerji verimliliğinin sağlanması işletmelerin karbon ayak izinin minimize edilmesinde en fazla önem arz eden kriterdir. Çalışanlara eğitim verilmesi ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi de bu süreçte dikkate alınabilecek başka faktörlerdir. Buna karşın, yenilenebilir enerji kullanımı hususu ise diğer değişkenlere kıyasla çok daha düşük önem ağırlığına sahiptir. Bu sonuçlar dikkate alındığında, işletmelerin enerji verimliliğinin sağlanabilmesine daha fazla önem göstermeleri gerekmektedir. Bu durum karbon ayak izinin azaltılmasında çok yüksek maliyetlere katlanılmadan etkin stratejilerin geliştirilebilmesine olanak sağlamaktadır.

Bir işletmenin karbon ayak izini azaltması veya bu konu hakkında çalışmalar ortaya koyması öncelikle çevre için, daha sonrasında ise, daha sürdürülebilirlik bilincine sahip tüketicilerin oluşmasında, işletmeler arasında rekabet oluşması ve bir işletmenin itibarı açısından avantajları olsa da işletmeler açısından bazı engeller ortaya çıkabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak, enerji depolama veya enerji verimliliği teknolojisini kullanmak yüksek yatırım maliyeti sınıfı içerisine girmektedir (Meng vd., 2023). Bir işletmenin karbon ayak izini hesaplamak ve karbon emisyon azaltmak için stratejiler geliştirmek ve uygulamak için gerekli uzmanlık veya bilgiye sahip olunmayabilir. Karbon ayak izinin ölçümü için gereken danışmanlık hizmeti veya bu hesaplamaların yapıldığı teknolojiden yararlanmak işletme için yüksek maliyetli olabilir. İşletmeler tarafından üretim süreçleri ve bu süreçle ilgili verilere doğru veya eksiksiz erişim zor olabilir. Veriye erişim sıkıntısı yaşayan bir işletmenin karbon ayak izinin hesaplanmasını zorlaştırabilir. Bu da tedarik bilgi eksikliği veya veri eksikliği dediğimiz engeli karşımıza çıkarmaktadır (Xiao vd., 2023). Bu engellere baktığımızda işletmelerin karşılaşılabilecekleri bu tarz zorluklar genellikle gelişmekte olan ülkelerde olan işletmelerinin karbon emisyonlarını azaltmalarına yönelik problemlerle karşılaşma olasılıkları fazladır.

İşletmelerde karbon ayak izini azaltımının takibinde kullanılan bazı teknik ölçümler vardır. Bu ölçümlerin belirli ölçüm standartları vardır. ISO (Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu) tarafından belirlenen bazı standart, karbon ayak izi hesaplamaları için uluslararası kabul gören bir standarttır (Di vd., 2023). İşletmelere emisyonlarını izleyebilmeleri ve emisyonlarını raporlandırımları ve rapor sonuçları karşısında azaltmaları için rehberlik sağlamaktadır. Hesaplama yöntemleri olarak, “Yaşam Döngüsü Analizi (LCA)” işletmelerin ürettiği bir ürünün veya hizmetin bütün bir döngüsünde sera gaz emisyonunu hesaplamalarında kullanılan bir analizdir. İşletmelerin ürettiği belirli bir ürünler veya uyguladıkları faaliyetler için “Ortalama Emisyon Faktörleri” kullanılır. Yaşam döngüsü analizinden farklı olarak daha kolay ve hızlı ilerleyen fakat güvenilirlik konusunda daha düşük bir emisyon faktörleridir (Xu vd., 2023).

Ayrıca, enerji faturaları veya enerji masrafları gibi finansal veriler karbon emisyonları tahmin etmek için kullanılmaktadır. Finansal veriler, yaşam döngüsü analizi ve ortalama emisyon faktörlerinden farklı olarak daha hızlı ve kolay olan bir yöntem fakat bu yöntemler kadar sonuçlar doğru değildir (Pan vd., 2023). Veri toplama ve izleme sürecinde enerji tüketimi olarak enerji faturaları, enerji masrafları, atık üretimi ve diğer ölçüm cihazları sayesinde enerji tüketimi ve karbon ayak izi hesaplamalarının verileri toplanmaktadır. Bu izleme ve ölçme süreci takibine başlamadan önce bir uzman veya danışmanlık hizmeti alınması daha doğru veya güvenilir sonuçlar elde edilmektedir (Voumik vd., 2023).

Kaynakça

Bai, C., Chen, Z., & Wang, D. (2023). Transportation carbon emission reduction potential and mitigation strategy in China. *Science of The Total Environment*, 873, 162074.

Cai, L., Luo, J., Wang, M., Guo, J., Duan, J., Li, J., ... & Ren, D. (2023). Pathways for municipalities to achieve carbon emission peak and carbon neutrality: A study based on the LEAP model. *Energy*, 262, 125435.

Chen, J., Sun, C., Wang, Y., Liu, J., & Zhou, P. (2023). Carbon emission reduction policy with privatization in an oligopoly model. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 45209-45230.

Chu, H., Huang, Z., Zhang, Z., Yan, X., Qiu, B., & Xu, N. (2024). Integration of carbon emission reduction policies and technologies: Research progress on carbon capture, utilization and storage technologies. *Separation and Purification Technology*, 127153.

Di, K., Chen, W., Zhang, X., Shi, Q., Cai, Q., Li, D., ... & Di, Z. (2023). Regional unevenness and synergy of carbon emission reduction in China's green low-carbon circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 420, 138436.

Dincer, H., Eti, S., Yüksel, S., Gökcalp, Y., & Çelebi, B. (2024). Strategy generation for risk minimization of renewable energy technology investments in hospitals with sf top-dematel methodology. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*, 3(1), 1-17.

Du, M., Wu, F., Ye, D., Zhao, Y., & Liao, L. (2023). Exploring the effects of energy quota trading policy on carbon emission efficiency: Quasi-experimental evidence from China. *Energy Economics*, 124, 106791.

Du, Y., Liu, H., Huang, H., & Li, X. (2023). The carbon emission reduction effect of agricultural policy—Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 406, 137005.

Eti, S., Dinçer, H., Yüksel, S., & Gökcalp, Y. (2023). Analysis of the suitability of the solar panels for hospitals: A new fuzzy decision-making model proposal with the T-spherical TOPDEMATEL method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 44(3), 4613-4625.

Gao, D., Tan, L., Mo, X., & Xiong, R. (2023). Blue sky defense for carbon emission trading policies: a perspective on the spatial spillover effects of total factor carbon efficiency. *Systems*, 11(8), 382.

Gao, H., Wang, X., Wu, K., Zheng, Y., Wang, Q., Shi, W., & He, M. (2023). A review of building carbon

emission accounting and prediction models. *Buildings*, 13(7), 1617.

Hu, J. (2023). Synergistic effect of pollution reduction and carbon emission mitigation in the digital economy. *Journal of environmental management*, 337, 117755.

Jung, H., & Song, C. K. (2023). Effects of emission trading scheme (ETS) on change rate of carbon emission. *Scientific Reports*, 13(1), 912.

Kou, G., Dinçer, H., & Yüksel, S. (2024). Pattern recognition of financial innovation life cycle for renewable energy investments with integer code series and multiple technology S-curves based on Q-ROF DEMATEL. *Financial Innovation*, 10(1), 53.

Meng, C., Du, X., Zhu, M., Ren, Y., & Fang, K. (2023). The static and dynamic carbon emission efficiency of transport industry in China. *Energy*, 274, 127297.

Özdemirci, F., Yüksel, S., Dinçer, H., & Eti, S. (2023). An assessment of alternative social banking systems using T-Spherical fuzzy TOP-DEMATEL approach. *Decision Analytics Journal*, 6, 100184.

Pan, M., Zhao, X., Rosak-Szyrocka, J., Mentel, G., & Truskolaski, T. (2023). Internet development and carbon emission-reduction in the era of digitalization: where will resourcebased cities go?. *Resources Policy*, 81, 103345.

Raihan, A. (2023). Toward sustainable and green development in Chile: dynamic influences of carbon emission reduction variables. *Innovation and Green Development*, 2(2), 100038.

Shang, Y., Raza, S. A., Huo, Z., Shahzad, U., & Zhao, X. (2023). Does enterprise digital transformation contribute to the carbon emission reduction? Micro-level evidence from China. *International Review of Economics & Finance*, 86, 1-13.

Shen, B., Yang, X., Xu, Y., Ge, W., Liu, G., Su, X., ... & Ran, Q. (2023). Can carbon emission trading pilot policy drive industrial structure low-carbon restructuring: new evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 41553-41569.

Voumik, L. C., Ridwan, M., Rahman, M. H., & Raihan, A. (2023). An investigation into the primary causes of carbon dioxide releases in Kenya: Does renewable energy matter to reduce carbon emission?. *Renewable Energy Focus*, 47, 100491.

Wang, Q., Li, L., & Li, R. (2023). Uncovering the impact of income inequality and population aging on carbon emission efficiency: an empirical analysis of 139 countries. *Science of The Total Environment*, 857, 159508.

Wang, Y., Liu, J., Zhao, Z., Ren, J., & Chen, X. (2023). Research on carbon emission reduction effect of China's regional digital trade under the "double carbon" target--combination of the regulatory role of industrial agglomeration and carbon emissions trading mechanism. *Journal of Cleaner Production*, 137049.

Wu, R., Tan, Z., & Lin, B. (2023). Does carbon emission trading scheme really improve the CO2 emission efficiency? Evidence from China's iron and steel industry. *Energy*, 277, 127743.

Xiao, Y., Ma, D., Zhang, F., Zhao, N., Wang, L., Guo, Z., ... & Xiao, Y. (2023). Spatiotemporal differen-

tiation of carbon emission efficiency and influencing factors: From the perspective of 136 countries. *Science of the Total Environment*, 879, 163032.

Xu, H., Pan, X., Li, J., Feng, S., & Guo, S. (2023). Comparing the impacts of carbon tax and carbon emission trading, which regulation is more effective?. *Journal of Environmental Management*, 330, 117156.

Xu, P., Ye, P., Jahanger, A., Huang, S., & Zhao, F. (2023). Can green credit policy reduce corporate carbon emission intensity: Evidence from China's listed firms. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 30(5), 2623-2638.

Yao, Y., Sun, Z., Li, L., Cheng, T., Chen, D., Zhou, G., ... & Guan, Q. (2023). CarbonVCA: A cadastral parcel-scale carbon emission forecasting framework for peak carbon emissions. *Cities*, 138, 104354.

You, K., Ren, H., Cai, W., Huang, R., & Li, Y. (2023). Modeling carbon emission trend in China's building sector to year 2060. *Resources, Conservation and Recycling*, 188, 106679.

Zeng, Q. H., & He, L. Y. (2023). Study on the synergistic effect of air pollution prevention and carbon emission reduction in the context of "dual carbon": Evidence from China's transport sector. *Energy Policy*, 173, 113370.

Zhou, X., Niu, A., & Lin, C. (2023). Optimizing carbon emission forecast for modelling China's 2030 provincial carbon emission quota allocation. *Journal of Environmental Management*, 325, 116523.

Etik Beyan / Ethical Statement

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

It is declared that scientific and ethical principles have been followed while carrying out and writing this study and that all the sources used have been properly cited.

Finansman / Funding

Yazarlar, bu araştırmayı desteklemek için herhangi bir dış fon almadığını kabul ederler.

The authors acknowledge that they received no external funding in support of this research.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Her bir yazarın mevcut çalışmaya sağladığı katkı düzeyi aşağıda belirtilmiştir:

The contributions of each author to the study by percentages are as follows:

Yazar 1'in araştırmaya katkı oranı %40, yazar 2'nin araştırmaya katkı oranı %35, yazar 3'ün araştırmaya katkı oranı %25'dir.

The percentage-based contributions of the 1st author is 40%, the percentage-based contributions of the 2nd author is 35%, and the percentage-based contributions of the third author is 25%.

Yazar 1: Araştırmanın tasarımı, modelin oluşturulması, literatür taraması, yazım.

1st Author: Conceptualization, methodology, formal analysis, investigation, resources, writing-original draft, writing-review & editing, and visualization.

Yazar 2: Alan araştırması, verilerin analizi, yazım.

2nd Author: Conceptualization, resources, writing-review & editing, and supervision.

Yazar 3: Alan araştırması, verilerin analizi, yazım.

3rd Author: Conceptualization, resources, writing-review & editing, and supervision.

Çıkar Çatışması / Competing Interests

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

The authors declare that have no competing interests.