

HİTİT SOSYAL BİLİMLER DERGİSİ

Hitit Journal of Social Sciences

e-ISSN: 2757-7949

Cilt | Volume: 17 • Sayı | Number: 3

Aralık | December 2024

Karbon Maliyetlerin Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sistemiyle Hesaplanması Üretim İşletmesi Örneği

Calculation of Carbon Costs Using Activity-Based Costing: A Case Study of a Manufacturing Business

Şahay OK

Corresponding Author | Sorumlu Yazar

Dr. Öğr. Üyesi | Asst. Prof.

Karabük Üniversitesi, İşletme Fakültesi,

İşletme Bölümü, Karabük, Türkiye

Karabük University, Faculty of Business Administration,
Department of Business Administration, Karabük, Türkiye

sahayok@karabuk.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-1420-148X>

Hakan VARGÜN

Doç. Dr. | Assoc. Prof.

Karabük Üniversitesi, İşletme Fakültesi,

Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü, Karabük, Türkiye

Karabük University, Faculty of Business Administration,

Department of International Trade and Finance, Karabük,
Türkiye

hakanvargun@karabuk.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-7781-0912>

Makale Bilgisi | Article Information

Makale Türü | Article Type: Araştırma Makalesi | Research Article

Geliş Tarihi | Received: 06.05.2024

Kabul Tarihi | Accepted: 17.09.2024

Yayın Tarihi | Published: 31.12.2024

Atıf | Cite As

Ok, Ş., & Vargün, H. (2024). Karbon Maliyetlerin Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sistemiyle Hesaplanması Üretim İşletmesi Örneği. *Hitit Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(3), 440-461. <https://doi.org/10.17218/hititsbd.1479453>

Yazar Katkıları: %50- %50

Değerlendirme: Bu makalenin ön incelemesi iki iç hakem (editörler - yayın kurulu üyeleri) içerik incelemesi ise iki dış hakem tarafından çift taraflı kör hakemlik modeliyle incelendi. Benzerlik taraması yapılarak (Turnitin) intihal içermediği teyit edildi.

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

Etik Bildirim: husbededitor@hitit.edu.tr
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/hititsbd>

Çıkar Çatışması: Çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Finansman: Bu araştırmayı desteklemek için dış fon kullanılmamıştır.

Telif Hakkı & Lisans: Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

Author Contributions: 50% - 50%

Review: Single anonymized - Two Internal (Editorial board members) and Double anonymized - Two External Double-blind Peer Review. It was confirmed that it did not contain plagiarism by similarity scanning (Turnitin).

Ethical Statement: It is declared that scientific and ethical principles have been followed while conducting and writing this study and that all the sources used have been properly cited.

Complaints: husbededitor@hitit.edu.tr - <https://dergipark.org.tr/tr/pub/hititsbd>

Conflicts of Interest: The author(s) has no conflict of interest to declare.

Grant Support: The author(s) acknowledge that they received no external funding to support this research.

Copyright & License: Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the CC BY-NC 4.0.

Calculation of Carbon Costs Using Activity-Based Costing: A Case Study of a Manufacturing Business

Abstract

The aim of this study is to calculate the carbon emission amounts and emission costs of an enterprise operating in the iron and steel sector on the basis of activities and products with the Activity Based Costing (ABC) System. Thus, the calculation of the share of carbon cost in operating expenses with the ABC system is considered to be an important factor that can affect the preferences of the management in product production decisions. The main reason for the selection of the iron and steel sector in this study is the significant impact of the sector on carbon emissions on a global scale; since this sector causes approximately 7% of carbon emissions worldwide (International Energy Agency, 2020). The data in the study were obtained from the accounting documents of an enterprise operating in the sector, field research and meetings with the management. In the study, the carbon footprint and carbon costs of each activity centre carried out in the enterprise were determined. While determining the carbon footprints of the activity centres, CO₂, CH₄ and N₂O greenhouse gases determined in the Kyoto Protocol were taken into consideration. The emission factors required to monitor these gases were obtained from Greenhouse Gas (GHG), UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting and previous academic studies in this field. With the help of activity data and emission factors, the amount of carbon emissions occurring in the production activities of the enterprise was determined. In order to calculate the carbon emission cost, the carbon price subject to trading in the Emission Trading System was determined and the costs of carbon emissions collected in the activities were calculated. The findings obtained from the study are as follows: In 2021, 671.39 tonnes of the Raw Material Storage Activity Centre, 1,158.59 tonnes of the Billet Cutting and Furnace Preparation Activity Centre, 27,684.14 tonnes of the Annealing Activity Centre, 6,042.46 tonnes of the Rolling Activity Centre, 1,483.39 tonnes of the Finished Product Cutting Activity Centre, 1,483.39 tonnes, Straightening Activity Centre 3,037.93 tonnes, Finished Product Storage Activity Centre 833.63 tonnes, Maintenance and Repair Activity Centre 1,565.93 tonnes, and Shipment Activity Centre 5,303.64 tonnes, resulting in 47,781.10 tonnes of carbon emissions in total. On the basis of the products produced in the enterprise, it was calculated that UAC Profile 0.882 tonnes, Equilateral Angle Iron 0.663 tonnes, Lama Iron 0.425 tonnes, Square Iron 0.616 tonnes, Round Iron 0.226 tonnes of carbon emissions per unit. As a result of these calculations, the carbon cost incurred by the enterprise is 12,554,484.03 TL. When evaluated on the basis of the products produced in the enterprise, it was determined that UAC Profile 231,75 TL, Equilateral Angle Iron 174,20 TL, Lama Iron 111,67 TL, Square Iron 161,85 TL tonnes, Round Iron 59,38 TL carbon cost. As a result of the study, it is seen that the carbon cost incurred by the enterprise corresponds to approximately 14% of the manufacturing overheads incurred in the enterprise in 2021.

Keywords: Sustainability, Carbon Emissions, Carbon Accounting, Carbon Pricing Activity Based Costing

Karbon Maliyetlerin Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sistemiyle Hesaplanması: Üretim İşletmesi Örneği¹

Öz

Bu çalışmanın amacı demir çelik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin karbon emisyon miktarlarını ve emisyon maliyetlerini Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (FTM) Sistemi ile faaliyetler ve mamuller bazında hesaplamaktır. Böylece FTM sistemiyle karbon maliyetinin işletme giderleri içindeki payının hesaplanması, mamul üretim kararlarında yönetimin tercihlerini etkileyebilecek önemli bir faktör olacağı değerlendirilmektedir. Demir çelik sektörünün bu çalışmada seçilmesindeki başlıca etken, sektörün küresel ölçekte karbon emisyonuna yaptığı önemli etkidir; zira bu sektör, dünya genelindeki karbon emisyonlarının yaklaşık %7'sine sebebiyet vermektedir (International Energy Agency, 2020). Çalışmadaki veriler sektörde faaliyet gösteren bir işletmenin muhasebe dokümanlarından, saha araştırmalarından ve yönetimle yapılan toplantılar neticesinde ortaya çıkmıştır. Çalışmada işletmede gerçekleştirilen her bir faaliyet merkezinin karbon emisyonu ve karbon maliyetleri belirlenmiştir. Faaliyet merkezlerinin karbon emisyonları belirlenirken Kyoto Protokolü'nde belirlenen CO₂, CH₄ ve N₂O sera gazları dikkate alınmıştır. Bu gazların takip edilebilmesi için gerekli olan emisyon faktörleri ise Greenhouse Gas (GHG), UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting ve daha önce bu alanda yapılan akademik çalışmalardan elde edilmiştir. Faaliyet verileri ve emisyon faktörleri yardımıyla işletmenin üretim faaliyetlerinde meydana gelen karbon emisyon miktarları

¹ Bu çalışma, Doç. Dr. Hakan VARGÜN danışmanlığında Şahay OK tarafından Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsünde 10.08.2022 tarihinde tamamlanan "Karbon Muhasebesi Temelinde Faaliyet Tabanlı Maliyetleme ve Bütçeleme: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama" doktora tezinden türetilmiştir.

belirlenmiştir. Karbon emisyon maliyetinin hesaplanabilmesi için Emisyon Ticaret Sistemi'nde alım-satıma konu olan karbon fiyatı tespit edilerek faaliyetlerde toplanan karbon emisyonlarının maliyetleri hesaplanmıştır. Çalışma ile elde edilen bulgular şöyledir: 2021 yılında söz konusu işletmenin Hammadde Depolama Faaliyet Merkezinin 671,39 ton, Kütük Kesim ve Fırın Hazırlık Faaliyet Merkezinin 1.158,59 ton, Tavlama Faaliyet Merkezinin 27.684,14 ton, Haddelme Faaliyet Merkezinin 6.042,46 ton, Mamul Kesim Faaliyet Merkezinin 1.483,39 ton, Doğrultma Faaliyet Merkezinin 3.037,93 ton, Mamul Depolama Faaliyet Merkezinin 833,63 ton, Bakım Onarım Faaliyet Merkezinin 1.565,93 ton, Sevkiyat Faaliyet Merkezinin ise 5.303,64 ton olmak üzere toplamda 47.781,10 ton karbon emisyonuna sebebiyet verdiği hesaplanmıştır. İşletmede üretilen ürünler bazında birim başına UAC Profil 0,882 ton, Eşkenar Köşebent 0,663 ton, Lama Demir 0,425 ton, Kare Demir 0,616 ton, Yuvarlak Demir 0,226 ton karbon emisyonuna neden oldu hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamalar neticesinde işletmenin katlanmış olduğu karbon maliyeti ise 12.554.484,03 TL'dir. İşletmede üretilen mamuller bazında değerlendirildiğinde UAC Profil 231,75 TL, Eşkenar Köşebent 174,20 TL, Lama Demir 111,67 TL, Kare Demir 161,85 TL ton, Yuvarlak Demir 59,38 TL karbon maliyete sebep olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda işletmenin katlanmış olduğu karbon maliyeti, 2021 yılında işletmede gerçekleşen genel üretim giderlerinin yaklaşık olarak %14'üne denk geldiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Karbon Emisyonları, Karbon Muhasebesi, Karbon Fiyatlama, Faaliyet Tabanlı Maliyetleme

Giriş

Sanayi devriminin başlamasıyla birlikte, özellikle 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren fosil yakıtların yaygın kullanımı, atmosferdeki karbon sera gazlarının miktarında hızlı bir artışa neden olmuştur. Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) raporuna göre, küresel sıcaklık ortalamasındaki artışın %90'dan fazlası, karbon sera gazı emisyonlarının artışından kaynaklanmaktadır. Bu artışın neden olduğu iklim değişikliği ile mücadelede ise, sürdürülebilirlik kavramı 21. yüzyılın son çeyreğinde üzerine en yoğun tartışmaların yapıldığı konulardan biri olarak ön plana çıkmaktadır.

İşletmeler açısından değerlendirildiğinde sürdürülebilirlik, işletmelerin doğayı önemli bir paydaş olarak kabul etmeleri ve faaliyetlerini yürütürken sosyal sorumluluk ilkeleri çerçevesinde hareket etmeleri gerekliliğini vurgulayan bir anlayıştır. Bu nedenle işletmelerin faaliyetlerini gerçekleştirirken sürdürülebilirlik politikaları oluşturmaları son derece kritik öneme sahiptir. Ayrıca işletmelerin sadece verimlilik ve karlılık gibi geleneksel göstergelere odaklanmak yerine, sürdürülebilirlik gibi çağdaş performans göstergelerini de göz önünde bulundurmaları, gelecek nesillerin yaşam kalitelerini korumaları açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle işletmelerin her faaliyet döneminin sonunda paydaşlarına sundukları finansal performanslarının yanında karbon emisyonları, fosil yakıt tüketimi, atık miktarı gibi çevreyle alakalı performans göstergelerini de paydaşlarına sunmaları kaçınılmaz olmuştur. Bu sorumluluğun ortaya çıkmasındaki temel unsur ise Kyoto Protokolü'dür. Türkiye 2009 yılında Kyoto Protokolüne taraf olmuştur. Türkiye Kyoto Protokolü kapsamında EK-B dışı ülke statüsünde yer aldığı için karbon emisyon azaltım hedefi bulunmamaktadır (Binboğa, 2014). Ancak ülkemiz 2016 yılında imzalamış olduğu Paris İklim Anlaşması'nı 2021 yılında yürürlüğe alarak 2053 yılına kadar net sıfır karbon hedefini açıklamıştır. Türkiye'nin bu hedefi ile başlayan yeşil dönüşüm süreci tüm sektörlerde olduğu gibi demir çelik sektöründe de kapsamlı bir dönüşümü beraberinde getirmiştir (İklim Değişikliği Başkanlığı 2023). Diğer yandan Avrupa Birliği'nin (AB) Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'na (SKDM) ilişkin (EU) 2023/956 sayılı Tüzük AB resmî gazetesinde 16 Mayıs 2023 tarihinde yayınlanmıştır. SKDM Tüzüğü, AB'nin emisyon azaltım politikalarını olumsuz etkileyecek karbon kaçağı riskini önlemeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda AB'ye ithal edilecek yüksek karbon kaçağı riski taşıyan; çimento, alüminyum, gübre, hidrojen, elektrik ve demir çelik sektörlerine 2026 yılı itibarıyla sınırdaki karbon uygulama başlayacaktır (Türkiye Cumhuriyeti Avrupa Birliği

Başkanlığı, 2023). Çelik İhracatçılar Birliği'nden alınan verilere göre Türkiye'nin 2021 yılında ana ihracat pazarı, toplam çelik ihracatının %31'ine karşılık gelen 7,4 milyon ton ile AB oluşturmaktadır (Çelik İhracatçılar Birliği, 2022). Türkiye'nin çelikte ana pazarı olan AB'ye ihracatına devam edebilmesi için çelik üretimi yapan işletmelerin karbon maliyetlerini hesaplaması ve azaltması bir zorunluluk haline gelmiştir.

Literatürde karbon maliyetlerinin hesaplanmasında Tsai ve diğerleri, (2012b), Pember ve Lemon, 2012; Vargün ve diğerleri 2015; Wang, 2017; Tsai, 2018 çalışmalarında olduğu gibi FTM sistemi uygulanmıştır. FTM sisteminin seçilmesindeki en önemli etken geleneksel maliyetleme sistemlerinin yeterli seviyede bilgi sağlayamamasıdır (Brandt ve diğerleri 1999; No ve Kleiner, 1997; McGowan, 1998). Yapılan literatür taramasında demir çelik sektöründe faaliyetler bazında karbon maliyetlerin hesaplanmasına ilişkin uygulamalı bir örneğe ise rastlanmamıştır. Bahsi geçen bu gerekliliklerle bu çalışmanın amacı da demir çelik üretimi yapan bir işletmenin üretim sürecinde meydana gelen karbon emisyonlarının ve maliyetlerinin faaliyetler bazında hesaplanması ve karbon verilerinin FTM Sistemi'ne entegre edilerek işletmede üretilen mamullerin karbon dahil maliyetlerinin ortaya koyulması şeklinde belirlenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde karbon muhasebesi detaylı bir şekilde ele alınmıştır. İkinci bölümünde karbon maliyetlerin ölçülmesinde ve hesaplanmasında uygulanan FTM sistemi incelenmiş ve aynı bölümde literatür taramasına yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise karbon emisyon miktarlarının ve maliyetlerinin hesaplanmasına yönelik bir demir çelik firmasının gerçek verilerine dayanan uygulama sunulmuştur.

1. Karbon Muhasebesi

Karbon muhasebesi sürdürülebilirlik bağlamında tüm işletmeler için büyük bir öneme sahiptir. Nitekim karbon muhasebesi insanoğlunun küresel ısınma karşısında sergilemiş olduğu tutumdur (Ascu ve Lovell, 2011). Karbon muhasebesinin gelişmesindeki en önemli nokta ise son dönemde dramatik bir şekilde artan karbon sera gazlarıdır. İşletmelerin faaliyetlerini gerçekleştirirken neden oldukları karbon sera gazlarının takip edilip, kayıt altına alınması ve emisyon miktarının ölçülerek finansal tablolara aktarılması ihtiyacı karbon muhasebesinin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Vargün ve diğerleri. 2015; Durgut, 2015; Karakoç, 2012). Karbon muhasebesi Uyar ve Cengiz (2011) tarafından "*Bir kurumun faaliyetine ilişkin ayrıntılı verilerin toplanması, karbon izdüşümünün başka bir ifade ile karbon salınımının hesaplanması ve salım faktörlerini hesaba katarak bu rakamın karbondioksit eşdeğerine dönüştürülmesi*" şeklinde tanımlanmıştır.

Karbon muhasebesi literatürde farklı adlandırmalarda da kullanılmaktadır. Ratnatunga (2007) tarafından karbon maliyet muhasebesi, Burriti, Schaltegger ve Zvezdov (2011) tarafından karbon yönetim muhasebesi, Schaltegger ve Csutora (2012) tarafından iklim muhasebesi, Stechemesser ve Guenther (2012) tarafından ise karbon akış muhasebesi ve karbon denkleştirme muhasebesi olarak da ifade edilmiştir.

Karbon muhasebesi ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik bakış açısıyla değerlendirildiğinde tüm işletmeler için büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle karbon muhasebesi, öncelikle çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması veya en azından artışların engellenmesi açısından bütün işletmeler için kaçınılmaz bir gerekliliktir (Karataş Aracı, 2020). Bu olumsuz etkilerin önüne geçebilmek için işletmelerin, karbon maliyetlerini belirlemeleri gerekmektedir (Uyar ve Cengiz, 2011).

İşletmelerin çevresel açıdan karbon maliyetleri; azaltma "önleme" maliyetleri, kullanma "yararlanma" maliyetleri ve zarar "etkileme" maliyetleri olarak sınıflandırılabilir (Tsai, 2018). Bu açıdan bakıldığında, karbon maliyetlerin sınıflandırılması, kalite maliyetlerinin belirlenmesinde kullanılan Prevention, Appraisal and Failure (PAF) modelini hatırlatmaktadır. Hansen, Mowen ve Guan (2009) çalışmalarında kalite maliyetlerini dikkate alarak çevre maliyetlerini önleme maliyetleri, değerlendirme maliyetleri, iç başarısızlık ve dış başarısızlık maliyetleri olarak kategorize etmişlerdir. Kalite maliyetlerin temelinde önleme ve değerlendirme maliyetlerine ihtiyaç duyulan yatırımları yaparak iç ve dış başarısızlık maliyetlerini yok etmek, yok etmek mümkün değilse minimum seviyeye düşürmek vardır. Bu çerçevede karbon maliyetleri de önleme, yararlanma ve başarısızlık maliyetleri olarak sınıflandırmak karbon emisyonlarının takip edilip azaltılmasına yardımcı olacaktır (Hansen ve diğerleri, 2009; Demircioğlu ve Ever, 2020).

2. Karbon Maliyetlerin Ölçülmesinde ve Hesaplanmasında Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sistemi

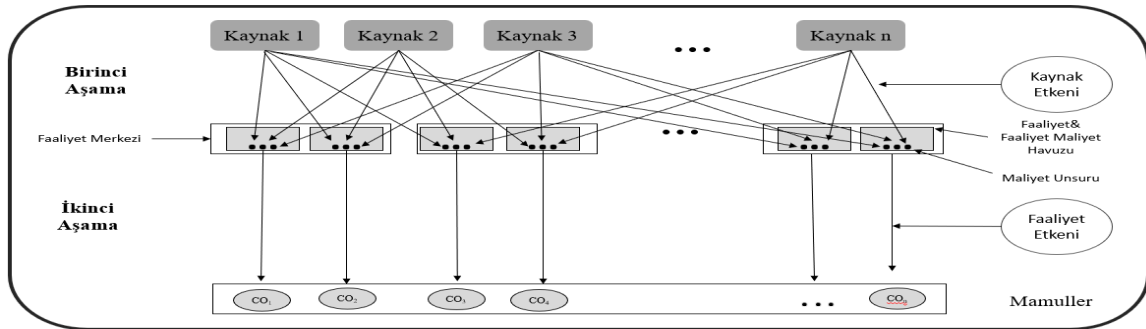
Karbon maliyetlerin ölçülmesinde ve hesaplanmasında hacim tabanlı geleneksel maliyetleme sistemleri yetersiz kalmaktadır. Karbon maliyetlerin ölçülmesinde ve hesaplanmasında FTM Sistemi daha detaylı ve doğru sonuçlar sunmaktadır Tsai ve diğerleri, (2012b).

Karbon maliyetlerin hesaplanmasında geleneksel maliyetleme sistemlerinin yerine FTM Sistemi'nin tercih edilmesinin üç önemli nedeninden bahsetmek mümkündür. Bunlar;

- I. Geleneksel maliyetleme sistemlerinde karbon maliyetlerin hesaplanmasında üretim dışı kaynaklar göz ardı edilirken, FTM Sistemi karbon maliyetlerin ölçülmesinde üretim dışı kaynakları da dikkate alarak daha doğru bir maliyet hesaplaması yapmaktadır (Vargün ve diğerleri, 2015).
- II. FTM Sistemi geleneksel maliyetleme sistemlerinin aksine karbon maliyetleri hacim temelli değil, faaliyet merkezleri seviyesinde takip etmektedir. Bu yaklaşım, karbon maliyetlerinin faaliyetler bazında daha etkili bir şekilde takip edilmesini ve hesaplanmasını mümkün kılmaktadır (Tsai ve diğerleri, 2012b).
- III. Geleneksel maliyetleme sisteminde üretim hacmine bağlı tek bir karbon maliyet etkeni kullanılırken, FTM sisteminde birden çok karbon maliyet etkeninin kullanılması karbon maliyetlerin mamullere daha doğru yüklenmesine olanak tanıyarak daha kesin sonuçlar elde edilmesine imkân tanır (Tsai ve diğerleri, 2012b).

Karbon maliyetlerin hesaplanması için tasarlanan FTM Sistemi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1. FTM Sistemi Kullanılarak Karbon Maliyetlerin Mamullere Yüklenmesi



Kaynak. Tsai ve diğerleri, 2012a

Şekil 1 incelendiğinde FTM sistemini kullanarak karbon maliyetleri, öncelikle birinci aşama karbon maliyet etkenleri vasıtasıyla faaliyet merkezlerine, ardından ikinci aşama maliyet etkenleri vasıtasıyla alakalı olduğu mamule daha doğru bir şekilde yüklenmektedir.

Literatür incelendiğinde karbon maliyetlerin FTM Sistemi'yle hesaplanmasına öncülük eden çalışmalar; Tsai ve diğerleri, (2012a), Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Planı (AB ETS) kotaları altında daha yeşil havayolu filosu kurmak için FTM Sistemi'yle karbon emisyonlarının maliyet eğilimlerini ve Asya-Avrupa arasında en yoğun rotalardan birinde iki farklı uçak tipinin karlılık üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda daha geniş gövdeli bir uçak seçiminin karlılığı daha çok arttırdığı sonucuna varmışlardır. Karakoç (2012) vaka analizi aracılığıyla otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin karbon emisyonlarını FTM Sistemi'yle hesaplamış ve en fazla karbon emisyonlarına sebebiyet veren bölümün kalite kontrol bölümü olduğu sonucuna ulaşmıştır. Tsai ve diğerleri, (2012b) tarafından yapılan diğer bir çalışmada tekstil kâğıt üretimi yapan bir işletmenin karbon emisyon maliyetlerinin hesaplanmasında FTM Sistemi'ni kullanarak hem faaliyet hem de mamul seviyesinde karbon maliyetleri hesaplamışlardır. Pember ve Lemon (2012), FTM Sistemi'ni karbon maliyetleri hesaplamak için yeniden tasarlamış ve bu sistem aracılığıyla işletmelerin iş yapma süreçlerinde çevresel sürdürülebilirlik maliyetlerini, daha etkin bir şekilde yönetme yeteneği kazanabileceklerini ortaya koymuştur. Tsai ve diğerleri, (2013) Kısıtlar teorisi ile FTM Sistemi'ni bir araya getirerek yeşil üretim teknolojileri için bir karar alma modeli oluşturmuşlardır. Çalışmada ürün karmasının oluşturulmasında kısıtlar teorisinden faydalanılırken, ürünlerin karbon ayak izinin takibinde ve maliyetlerinin hesaplanmasında FTM Sistemi'ni kullanmışlardır. Vargün ve diğerleri, (2015) karbon maliyetlerin hesaplanmasında geleneksel maliyetleme sistemlerinin yetersiz kaldığına değinerek FTM Sistemi'yle karbon maliyetlerin daha doğru hesaplanabileceğini örnek bir olay üzerinden incelemişlerdir. Çalışmada ayrıca karbon maliyetlerin hesaplanmasına üretim dışı kaynak kullanım maliyetlerini de dahil ederek, doğruya daha yakın bir maliyet ölçüm sistemine ulaşmışlardır. Wang (2017) faaliyetler bazında karbon maliyetlerin hesaplanması üzerine yapılan çalışmaları daha ileriye taşımak amacıyla insan kaynakları ve pazarlama gibi üretim dışı unsurları da karbon maliyetlerin hesaplanması sürecine dahil etmiştir. Tsai (2018) karbon maliyetleri kalite maliyetlerinde olduğu gibi önleme, değerlendirme, iç ve dış başarısızlık maliyetleri şeklinde kategorize ederek bu maliyetlerin azaltılması amacıyla, üretimin çeşitli safhalarında meydana gelen karbon maliyetleri FTM Sistemi'yle tekrardan hesaplayarak işletmenin doğaya vermiş olduğu zararın etkilerini daha doğru hesaplamıştır.

3. Demir Çelik Sektörü ve Araştırma Kapsamındaki İşletmeye İlişkin Bilgiler

Karbon maliyetlerin hesaplanmasında demir çelik sektöründe faaliyet gösteren bir işletme seçilmiştir. Bu sektörün seçilmesinin temel nedeni küresel karbon emisyonunun yaklaşık %7-%9'luk kısmını oluşturuyor olmasıdır (International Energy Agency, 2020). Ayrıca Avrupa Yeşil Mutabakat kapsamı gereği, AB 2050 yılına kadar "karbon nötr" olmayı amaçlamaktadır. AB mutabakat gereği karbon nötr olmak için Sınırdaki Karbon Düzenlemesi ile AB'ye ihracat gerçekleştiren ülkelere karbon içeriğini dikkate alarak vergilendirme yapmayı hedeflemektedir (Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, 2023). Çelik ihracatçılarından elde edilen verilere göre, 2021 yılında ülkemizin demir çelik ihracatında AB'nin payı yaklaşık %31 seviyesindedir (Çelik İhracatçıları Birliği, 2022). Bu nedenle demir çelik sektörünün ihracattaki payının azalmaması için karbon emisyonlarını ölçerek maliyetlerin azaltılması kaçınılmaz bir hal almıştır.

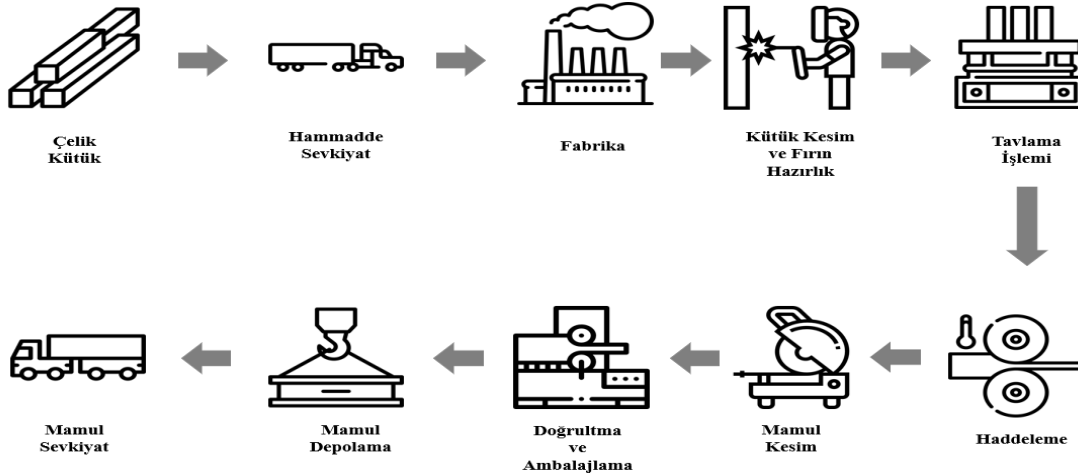
Demir çelik sektöründe faaliyet gösteren ve mamullerinin büyük bir kısmını Avrupa'ya ihracat eden işletmemizde UAC Profil, Eşkenar Köşebent, Lama Demir, Kare Demir ve Yuvarlak Demir mamulleri üretilmektedir. İşletmenin 2021 yılında üretmiş olduğu mamullere ilişkin verilere Tablo 1'de yer verilmiştir.

Tablo 1. İşletmede Üretilen Mamuller ve Üretim Miktarları

Mamul	Miktar (ton)
UAC Profil	25.682
Eşkenar Köşebent	20.992
Lama Demir	11.588
Kare Demir	7.146
Yuvarlak Demir	9.234
Toplam	74.642

Tablo 1'de bahsedilen mamullerin üretiminde kullanılan temel hammadde, çelik kütüklerdir. İşletme çelik kütükleri yarı işlenmiş halde aynı ilde faaliyet gösteren başka bir işletmeden satın alarak faaliyetlerini yürütmektedir. İşletmenin üretim süreci Şekil 2'deki gibidir.

Şekil 2. İşletmenin Üretim Süreci



Şekil 2 incelendiğinde üretim sürecinin ilk halkasını hammaddenin işletmeye getirilmesi oluşturmaktadır. İşletmeye getirilen çelik kütükler öncelikle kesilerek fırınlama için uygun ebatlara getirilir. Ardından tavlama ocağında şekillenebilir hale gelen kütükler, merdanelere alınarak haddeme işlemi yapılır. Haddeme sürecinde istenilen boya ve genişliğe ulaşan hammadde kesim alanında siparişe uygun ölçülerde kesilerek doğrultma alanına gönderilir. Doğrultma alanında daha küçük merdaneler arasında sürekli olarak hareket ettirilerek düzeltilen mamuller, ambalajlanarak depoya alınır. Üretim sürecinin son halkasını ise mamullerin müşterilere işletmenin bünyesindeki araçlarla sevk edilmesi oluşturmaktadır.

4. Karbon Maliyetlerin Hesaplanmasında FTM Sistemi'nin Uygulanması

Karbon maliyetlerin hesaplanmasında FTM Sistemi'nin uygulanabilmesi için işletmenin üretim süreci, faaliyet merkezleri ve bu faaliyet merkezlerinde gerçekleştirilen alt faaliyetler olarak sınıflandırılması gerekmektedir. İşletmenin iş akış şemasının incelenmesi ve yapılan gözlemler sonucunda oluşturulan faaliyet merkezleri ve bu merkezlerde gerçekleştirilen alt faaliyetler Tablo 2'de aktarılmıştır.

Tablo 2. İşletmesinde Oluşturulan Faaliyet Merkezleri ve Faaliyetler

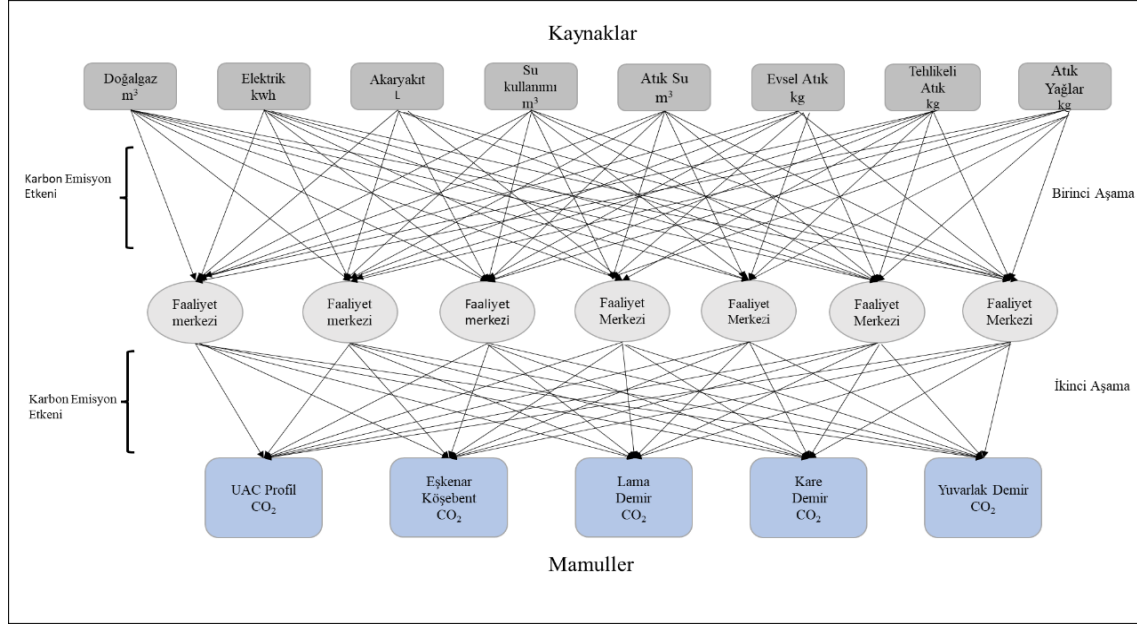
Faaliyet Merkezi	Faaliyetler
Satın Alma Faaliyet Merkezi	Üretilen ürüne ilişkin istek fişinin hazırlanması, Piyasa araştırması, Tedarikçiyle iletişime geçme, Siparişin verilmesi, Faturalama, Giriş bilgilerinin sisteme işlenmesi.
Hammadde Depolama Faaliyet Merkezi	Hammaddenin teslim alınması, Hammaddenin araçlardan vinç yardımıyla boşaltılması, Hammaddenin kütük sahasına yerleştirilmesi, Hammaddenin iş emirlerine uygun üretim için hazırlık yapılması.
Kesim ve Fırın Hazırlık Faaliyet Merkezi	Kesim faaliyetini gerçekleştirmek için hammaddenin kesim alanına taşınması, Hammaddenin üretime uygun ebatta kesilmesi, Kesilen kütüklerin vinç yardımıyla ocak önündeki alana taşınması.
Tavlama Faaliyet Merkezi	Ocak sıcaklığının ayarlanması, Ocak girişinde şartel makinesi ile kesilen hammaddenin ocağa aktarılması, Ocakta tavlanan hammaddenin itici yardımıyla ocaktan çıkarılması.
Haddeleme Faaliyet Merkezi	Haddeleme işleminin gerçekleştirilebilmesi için merdanelerin hazırlanması, Rulmanların yağlanması, Tavlama işlemi gören hammaddenin merdanelere alınması, Haddeleme esnasında oluşan tufalların basınçlı su ile temizlenmesi, Merdaneler yardımıyla hammaddenin istenilen şeklin verilmesi.
Mamul Kesim Faaliyet Merkezi	Haddelemeden gelen mamullerin soğutma ızgarasına alınması, Kesim için makas aralıklarının hazırlanması, Mamullerin istenilen ölçülerde kesilmesi, Kesilen mamullerin doğrultma faaliyeti için stoklara alınması.
Doğrultma Faaliyet Merkezi	Doğrultma tezgahının ayarlanması, Soğutma ızgarasından stoklara alınan mamulün doğrultma tezgahlarına alınması, Doğrultma faaliyetinin yapılması, Mamulün müşteri taleplerine uygun şekilde paketlenmesi.
Mamul Depolama Faaliyet Merkezi	Doğrultma faaliyet merkezinde paketlenen mamullerin depoya giriş işleminin yapılması, Mamullerin tavan vinci yardımıyla depoya alınması ve yerleştirilmesi, Sevkiyata hazırlanan mamullerin arasına ahşap takozların yerleştirilmesi, Sevkiyat için hazır hale getirilen mamullerin sevkiyat aracına yüklenmesi.
Sevkiyat Faaliyet Merkezi	Mamulün müşteriye teslim edilmesi.
Bakım-Onarım Faaliyet Merkezi	Makine ve teçhizatın üretim öncesi kontrol edilmesi ve yağlanması, Elektrik bakımının yapılması, Kırılan rulmanların tamirata, Arızalanan merdanelerin tamirata, İşletmede kullanılan diğer bütün makine ve teçhizatın bakım onarımı,
Satış Faaliyet Merkezi	Müşterilerle ilişkiler kurma, Mamul siparişlerinin alınması, Satış işleminin yapılması.

Görüldüğü üzere Tablo 2’de işletmede oluşturulan faaliyet merkezleri ve bu merkezlerde gerçekleştirilen alt faaliyetler tanımlanmıştır. İşletmede yapılan gözlemler ve üretim yönetimiyle yapılan görüşmeler sonucunda UAC Profil, Eşkenar Köşebent ve Yuvarlak Demirin yukarıda oluşturulan bütün faaliyet merkezlerinden pay aldığı tespit edilirken, Kare Demirin

Mamul Depolama ve Sevkiyat Merkezinden pay almadığı, Lama Demirin ise Doğrultma Faaliyet Merkezinden pay almadığı tespit edilmiştir.

İşletmenin Tablo 2’de gerçekleşen faaliyetler sonucu oluşan karbon maliyetlerinin hesaplanması için tasarlanan model Şekil 3’te verilmiştir.

Şekil 3. İşletmenin Karbon Maliyetlerinin Hesaplanması İçin Tasarlanan FTM sistemi



Şekil 3 incelendiğinde karbon maliyetlere sebep olan kaynaklar, birincil karbon emisyon etkenleri aracılığıyla öncelikle faaliyet merkezlerine ardından ikincil karbon emisyon etkenleri aracılığıyla UAC Profile, Eşkenar Köşebent, Lama Demire, Kare Demire ve Yuvarlak Demire yüklenmektedir.

FTM Sistemi'nin bu iki aşamalı modelini karbon maliyetlerin hesaplanmasında kullanabilmek için öncelikle işletmenin üretim faaliyetlerinin karbon ayak izlerinin hesaplanması gerekmektedir. Karbon ayak izi, işletmelerin faaliyetlerini gerçekleştirirken sarf ettikleri fosil yakıtların yanması sonucunda doğaya vermiş oldukları zararın sayısal ölçüsüdür. Çalışmamızda işletmenin faaliyetlerini gerçekleştirirken sarf ettiği fosil yakıt bileşenli doğalgaz, akaryakıt, elektrik kullanımı sonucu oluşan karbon emisyonları ile faaliyetleri esnasında kullanmış olduğu su kullanımı kaynaklı emisyonları ve faaliyetlerin gerçekleştirilmesi sonucunda oluşan atık su, evsel atık, atık yağ ve tehlikeli atık kaynaklı karbon emisyonları incelenmiştir (OK, 2022). İşletmenin karbon ayak izi hesaplanırken doğada en fazla bulunan CO₂ (karbondioksit) emisyonu temelli bir hesaplama yöntemine gidilmiştir. CO₂ emisyonları hesaplamalara doğrudan aktarılırken, Metan (CH₄) ve Nitroksit (N₂O) emisyonlarının CO₂ cinsinden eşdeğerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.² Greenhouse Gas Protocol'a (GHGP) göre Metan (CH₄) ve Nitroksit'in (N₂O) Karbondioksit (CO₂) eşdeğer karşılıkları Tablo 3'te gösterilmiştir.

² Birden fazla karbon emisyonunun takip edilmesinde yaşanacak karışıklığın önüne geçebilmek için atmosferde en çok bulunan karbon emisyonu (CO₂) dikkate alınarak diğer karbon emisyonlarının (CH₄, N₂O) CO₂ eşdeğer karşılıkları ile hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 3. CH₄ ve N₂O'nun Global Warming Potential (GWP) 5. Değerleme Raporu'na Göre CO₂ Eşdeğer Karşılıkları

Sera Gazı	Emisyon Faktörü (ton CO ₂ eq)
Karbondioksit (CO ₂)	1
Metan (CH ₄)	28
Nitroksit (N ₂ O)	265

Kaynak. World Wide Fund for Nature (2014)

Tablo 3 incelendiğinde 1 birimlik Metan (CH₄) 28 birim Karbondioksit (CO₂) değerine karşılık gelirken, 1 birimlik Nitroksit (N₂O)'ün 265 birim Karbondioksit (CO₂) değerine karşılık geldiği görülmektedir. Çalışmamızda Metan (CH₄) ve Nitroksit (N₂O) ayrı ayrı hesaplandıktan sonra Karbondioksit (CO₂)'e dönüştürülerek Karbondioksit (CO₂) cinsinden takip edilmiştir. İşletmenin karbon ayak izinin hesaplanmasında ise IPCC tarafından oluşturulan Tier 1, denklemi kullanılmıştır (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006). IPCC tarafından oluşturulan Tier 1 denkleminde aşağıda yer verilmiştir.

$$\text{Karbon Ayak İzi (CF)} = \text{Faaliyet Verisi (AD)} \times \text{Emisyon Faktörü (EF)} \quad (1)$$

Denkleminde yer alan CF, bir işletmede ısınma, elektrik kullanımı ve ulaşım gibi faaliyetleri sonucunda atmosfere salmış olduğu emisyonların karbondioksit cinsinden eşdeğer miktarını temsil etmektedir. AD, bir faaliyet esnasında kullanılan fosil yakıt veya hammaddeyle ilgili veriyi ifade ederken, EF ise atmosfere salınan karbon emisyonu ile bu emisyonu sebep olan faaliyet arasındaki ilişkiyi temsil eden bir değerdir.

4.1.Emisyon Kapsamlarının, Faaliyet Verilerinin ve Karbon Maliyet Etkenlerinin Belirlenmesi

İşletmenin 2021 yılına ilişkin karbon ayak izinin hesaplanmasında karbon emisyonları, Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO-International Standard Organization) tarafından yayınlanan ISO 14064 standardı gereğince Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 olarak kategorize edilerek Tablo 4'te gösterilmiştir. Tabloda ayrıca işletmenin 2021 yılı faaliyet verilerine de yer verilmiştir.

Tablo 4. İşletmenin Kapsamlarına Göre Karbon Emisyonları ve Faaliyet Verileri

Kapsamlar	Emisyon Kaynaklar	Faaliyet Verileri
Kapsam 1	Yıllık Tüketilen Doğal Gaz Miktarı	13.503.497,30 m ³
Kapsam 1	Yıllık Tüketilen Akaryakıt Miktarı	1.969.855,23 Litre
Kapsam 2	Yıllık Tüketilen Elektrik Miktarı	18.971.546,54 kwh
Kapsam 3	Yıllık Tüketilen Su Miktarı	210.128,09 m ³
Kapsam 3	Toplam Atık Su Miktarı	84.051,24 m ³
Kapsam 3	Toplam Evsel Atık Miktarı	134,28 kg
Kapsam 3	Tehlikeli Atıklar	72.413 kg
Kapsam 3	Atık Yağlar	15.247 Kg

Tablo 4 incelendiğinde işletmenin faaliyetlerini yerine getirmek için tükettiği doğal gaz ve akaryakıt sonucu oluşan karbon emisyonları Kapsam 1, dışardan sağlanan elektrikten kaynaklanan emisyonlar Kapsam 2, su kullanımı, atık su, evsel atık, tehlikeli atıklar ve atık yağların sebep olduğu karbon emisyonları ise Kapsam 3 olarak kategorize edilmiştir (Vargün ve Ok, 2019; Caro, 2019; Vargün ve diğerleri, 2015).

Tablo 4'te gösterilen karbon emisyonlarına ilişkin faaliyet verilerinin faaliyet merkezlerine yüklenmesinde dikkate alınacak maliyet etkenlerine ise Tablo 5'te yer verilmiştir.

Tablo 5. Karbon Maliyet Etkenleri

Kapsamlar	Emisyon Kaynaklar	Birim	Karbon Maliyet Etkenleri
Kapsam 1	Yıllık Tüketilen Doğal Gaz Miktarı	m ³	Direkt
Kapsam 1	Yıllık Tüketilen Akaryakıt Miktarı	Litre	Direkt
Kapsam 2	Yıllık Tüketilen Elektrik Miktarı	Kwh	Kwh
Kapsam 3	Yıllık Tüketilen Su Miktarı	m ³	Direkt/Personel sayısı ³
Kapsam 3	Toplam Atık Su Miktarı	m ³	Personel sayısı ⁴
Kapsam 3	Toplam Evsel Atık Miktarı	m ³	Personel sayısı
Kapsam 3	Tehlikeli Atıklar	Kg	Yüzde
Kapsam 3	Atık Yağlar	Kg	Yüzde

Tablo 5 incelendiğinde doğal gaz ve akaryakıt kaynaklı karbon emisyonları faaliyet merkezlerine direkt olarak yüklenirken atık suyun belirli bir kısmı ilgili faaliyet merkezine direkt olarak yüklenmiştir. Doğal gaz, akaryakıt ve kullanılan suyun direkt kısmının dışında kalan emisyon kaynakları ise çeşitli maliyet etkenleri aracılığı ile faaliyet merkezlerine yüklenmiştir.

Karbon ayak izinin hesaplanmasında faaliyet verileriyle birlikte ihtiyaç duyulan bir diğer unsur da emisyon faktörüdür. Emisyon faktörü, atmosfere salınan karbon emisyonu ile karbon emisyonuna neden olan faaliyet arasındaki ilişkiyi temsil eden sayısal bir değerdir. Çalışmamızda emisyon faktörleri belirlenirken Greenhouse Gas Protocol (2017), Sawant ve Babaleshwar (2016) ve UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting (2020) tarafından belirlenen faktör değerleri kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılacak emisyon faktörlerine ve emisyon faktörlerinin alındığı kaynaklara Tablo 6'da yer verilmiştir.

Tablo 6. Emisyon Faktörleri ve Kaynakları

Emisyon Kaynaklar	Emisyon Faktörü	Birimler	Kaynaklar
Doğal Gaz Kullanımı	1,88496	CO ₂ kg/m ³	
Doğal Gaz Kullanımı	0,000168	CH ₄ kg/m ³	
Doğal Gaz Kullanımı	0,00000336	N ₂ O kg/m ³	Greenhouse Gas Protocol, 2017
Yıllık Tüketilen Dizel Akaryakıt Miktarı	2,676492	CO ₂ kg/L	
Yıllık Tüketilen Dizel Akaryakıt Miktarı	0,0003612	CH ₄ kg/L	
Yıllık Tüketilen Dizel Akaryakıt Miktarı	0,000021672	N ₂ O kg/L	
Yıllık Tüketilen Elektrik Miktarı	0,856	CO ₂ kg/kWh	
Yıllık Tüketilen Su Miktarı	0.0014	CO ₂ kg /m ³	Sawant ve Babaleshwar, 2016
Toplam Atık Su Miktarı	0,3	CH ₄ kg/m ³	
Toplam Evsel Atık Miktarı	3,59	CO ₂ kg/kg	
Tehlikeli Atıklar	0,021	CO ₂ kg /kg	UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting, 2020
Atık Yağlar	0,021	CO ₂ kg/kg	

³ Üretim birimiyle yapılan görüşmeler sonucunda su kullanımı kaynaklı ortaya çıkan karbon emisyonlarının faaliyet merkezlerine yüklenmesinde, emisyonun %80'i haddeleme faaliyet merkezine doğrudan yüklenmiştir, geriye kalan %20'lik kısım ise karbon maliyet etkeni kullanılarak bütün faaliyet merkezlerine eşit olarak.

⁴ Atık su sistem içerisinde tekrar pompalanarak birkaç kez kullanıldığı için atık su kaynaklı karbon emisyonlarının %80'i haddeleme bölümüne yüklenmemiş, personel sayısı karbon maliyet etkeni olarak kullanılmıştır.

Tablo 6 incelendiğinde doğalgaz ve akaryakıt kullanımı CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonlarına sebebiyet verirken elektrik, su, evsel atık, tehlikeli atıklar ve atık yağlar CO₂, atık su ise CH₄ emisyonlarına sebebiyet vermektedir.

4.2. Faaliyetler Bazında Karbon Emisyonların Hesaplanması

Bu aşamada, FTM sistemi'nin ilk aşamasında olduğu gibi, işletmenin üretim faaliyetlerini gerçekleştirmek için kullandığı kaynakların faaliyetler bazında sebep olduğu karbon emisyonları hesaplanarak Tablo 5'te yer alan karbon maliyet etkenleri aracılığı ile faaliyetlere yüklenmiştir.

FTM Sistemi'nin birinci aşamasında olduğu gibi kaynakların emisyon miktarları faaliyet merkezlerine yüklenmiştir. İşletmenin faaliyet merkezlerine yüklenen karbon emisyon miktarları Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7 incelendiğinde doğalgaz tüketimi yalnızca tavlama ocağında kullanıldığı için Tavlama Faaliyet Merkezine direkt olarak yüklenmiştir. Aynı şekilde akaryakıt da sadece mamullerin sevkiyatında kullanıldığı için Sevkiyat Faaliyet Merkezine doğrudan yüklenmiştir. Su kullanımının %80'i Haddeme Faaliyet Merkezinde kütüğün şekillendirilmesinde kullanıldığı için su kullanımı kaynaklı oluşan karbon emisyonunun %80'i Haddeme Faaliyet Merkezine direkt olarak yüklenirken geriye kalan kısım, faaliyet merkezlerine çalışan personel sayısı dikkate alınarak yüklenmiştir. (Hammadde Depolama Faaliyet Merkezi 2 işçi, Kütük Kesim ve Fırın Hazırlık 2 işçi, Tavlama Faaliyet Merkezi 4 işçi, Haddemem Faaliyet Merkezi 22 işçi, Mamul Kesim Faaliyet Merkezi 2 işçi, Doğrultma Faaliyet Merkezi 21 işçi, Mamul Depolama Faaliyet Merkezi 2 işçi, Bakım-Onarım Faaliyet Merkezi 10 işçi). Tehlikeli atık kaynaklı karbon emisyonlarının faaliyet merkezlerine yüklenmesinde yönetim ve üretim birimiyle belirlenen oranlar dikkate alınarak yüklenmiştir. Bu oranlar Haddeme Faaliyet Merkezi için %40, Tavlama Faaliyet Merkezi için %30, Hammadde Depolama, Kütük Kesim ve Fırın Hazırlık, Mamul Kesim, Doğrultma, Mamul Depolama ve Bakım-Onarım Faaliyet Merkezleri için %5'tir. Atık yağ kaynaklı karbon emisyonlarının faaliyet merkezlerine yüklenmesinde madeni yağ kullanım oranları dikkate alınmıştır. Bu oranlar Haddeme Faaliyet Merkezi için %50, Doğrultma Faaliyet Merkezi %40 ve Bakım-Onarım Faaliyet Merkezi %10'dur. Satın Alma ve Satış Faaliyet Merkezlerinde fosil yakıt tüketiminin olmaması nedeniyle bu iki faaliyet merkezine karbon emisyon yüklemesi yapılmamıştır. Sonuç olarak işletmenin 2021 yılı toplam karbon emisyon miktarı 47.781,11 ton olarak hesaplanmıştır. Faaliyet merkezleri bazında incelendiğinde en yüksek karbon emisyonuna sahip faaliyet merkezi, 27.684,14 ton ile Tavlama Faaliyet Merkezi olurken karbon emisyonu en düşük olan faaliyet merkezi ise 671,39 ton ile Hammadde Depolama Faaliyet Merkezi olmuştur. Tavlama Faaliyet Merkezinin karbon emisyonunun bu kadar yüksek olmasındaki neden doğal gaz kaynaklı karbon emisyonunun tamamının bu faaliyet merkezini yüklenmesidir. Çünkü doğal gaz yalnızca tavlama ocağına enerji sağlamak için kullanılmaktadır.

Faaliyetlerin karbon emisyon miktarları belirlendikten sonraki aşama her bir faaliyetin karbon maliyetinin hesaplanmasıdır. Dünyanın işlem hacmi en yüksek karbon borsası olan AB Emisyon Ticaret Sisteminde 1 ton karbon emisyonu yaklaşık olarak 25 Euro'dan işlem görmektedir (Early, 2020). Bu bilgiler ışığında çalışmamızda da 1 ton karbon emisyonunun maliyeti 25 Euro olarak dikkate alınacaktır. İşletmenin faaliyet merkezlerinin karbon emisyon maliyetleri Tablo 8'de hesaplanmıştır.

Tablo 7. İşletmenin Faaliyet Merkezlerinin Toplam Karbon Emisyonları (ton)

Faaliyet Merkezleri	Doğal Gaz Kaynaklı Karbon Emisyonları (ton)	Dizel Akaryakıt Kullanımı Kaynaklı Karbon Emisyonları (ton)	Elektrik Kullanımı Kaynaklı Karbon Emisyonları (ton)	Su Kullanımı Kaynaklı Karbon Emisyonları (ton)	Atık Su Oluşumu Kaynaklı Karbon Emisyonları (ton)	Evsel Atık Kaynaklı Karbon Emisyonları (ton)	Tehlikeli Atık Kaynaklı Karbon Emisyonları (ton)	Atık Yağ Kaynaklı Karbon Emisyonları (ton)	Toplam Karbon Emisyonları (ton)
Ham madde Depolama Faaliyet Merkezi	-	-	649,57	0,0018	21,73	0,0148	0,076	-	671,39
Kütük Kesim ve Fırın Hazırlık	-	-	1.136,77	0,0018	21,73	0,0148	0,076	-	1.158,59
Tavlama Faaliyet Merkezi	25.529,04	-	2.111,15	0,0036	43,46	0,0296	0,456	-	27.684,14
Haddeleme Faaliyet Merkezi	-	-	5.802,26	0,2548	239,01	0,1631	0,608	0,160	6.042,46
Mamul Kesim Faaliyet Merkezi	-	-	1.461,57	0,0018	21,73	0,0148	0,076	-	1.483,39
Doğrultma Faaliyet Merkezi	-	-	2.809,41	0,0189	228,14	0,1557	0,076	0,128	3.037,93
Mamul Depolama Faaliyet Merkezi	-	-	811,81	0,0018	21,73	0,0148	0,076	-	833,63
Bakım-Onarım Faaliyet Merkezi	-	-	1.457,10	0,009	108,64	0,074	0,076	0,032	1.565,93
Sevkiyat Faaliyet Merkezi	-	5.303,64	-	-	-	-	-	-	5.303,64
Toplam	25.529,04	5.303,64	16.239,64	0,294	706,17	0,482	1,52	0,32	47.781,11

Tablo 8. İşletmenin Faaliyet Merkezlerinin Karbon Emisyon Maliyetleri (TL)

Faaliyet Merkezleri	Toplam Karbon Emisyonları (ton/yıl)	Karbon Maliyeti (ton/ TL) ⁵	Faaliyetlerin Karbon Maliyetleri (TL/yıl)
Hammadde Depolama Faaliyet Merkezi	671,39		176.407,72
Kütük Kesim ve Fırın Hazırlık	1.158,59		304.419,52
Tavlama Faaliyet Merkezi	27.684,14		7.274.007,79
Haddeleme Faaliyet Merkezi	6.042,46		1.587.656,37
Mamul Kesim Faaliyet Merkezi	1.483,39	262,75	389.760,72
Doğrultma Faaliyet Merkezi	3.037,93		798.216,11
Mamul Depolama Faaliyet Merkezi	833,63		219.036,28
Bakım-Onarım Faaliyet Merkezi	1.565,93		411.448,11
Sevkiyat Faaliyet Merkezi	5.303,64		1.393.531,41
Toplam	47.781,10		12.554.484,03

⁵ 2021 yılında ortalama EURO / TL kuru 10,51 TL olarak değerlendirilmiş ve birim (ton) başına karbon maliyeti (25 EURO x 10,51 TL) = 262,75 TL olarak hesaplanmıştır

Tablo 8 incelendiğinde işletmenin 2021 yılında Hammadde Depolama Faaliyet Merkezi 176.407,72 TL, Kütük Kesim ve Fırın Hazırlık 304.419,52 TL, Tavlama Faaliyet Merkezi 7.274.007,79 TL, Haddelme Faaliyet Merkezi 1.587.656,37 TL, Mamul Kesim Faaliyet Merkezi 389.760,72 TL, Doğrultma Faaliyet Merkezi 798.216,11 TL, Mamul Depolama Faaliyet Merkezi 219.036,28 TL, Bakım-Onarım Faaliyet Merkezi 411.448,11 TL, Sevkiyat Faaliyet Merkezi 1.393.531,41 TL olmak üzere toplam 12.554.484,03 TL karbon maliyetine katlandığı görülmektedir.

4.3. İkinci Aşama Karbon Maliyet Etkenlerinin Belirlenmesi

Faaliyet merkezlerinde toplanan karbon emisyonlarının mamullere yüklenebilmesi için FTM Sistemi'nde olduğu gibi ikinci aşama karbon maliyet etkenlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 9'da işletmede belirlenen ikincil aşama karbon maliyet etkenlerine yer verilmiştir.

Tablo 9. İkinci Aşama Karbon Emisyon Maliyet Etkenleri

Faaliyet Merkezleri	Maliyet Etkeni
Hammadde Depolama Faaliyet Merkezi	Üretim Miktarı
Kütük Kesim ve Fırın Hazırlık Faaliyet Merkezi	Üretim Miktarı
Tavlama Faaliyet Merkezi	Makine saati
Haddelme Faaliyet Merkezi	Makine saati
Mamul Kesim Faaliyet Merkezi	Makine saati
Doğrultma Faaliyet Merkezi	Makine saati
Mamul Depolama Faaliyet Merkezi	m ²
Bakım-Onarım Faaliyet Merkezi	Makine saati
Sevkiyat Faaliyet Merkezi	Sevkiyat sayısı ⁶

Üretim hacminden bağımsız mamul ile faaliyet arasındaki güçlü ilişkiyi ortaya koyan maliyet etkenlerini belirlemek, sistemin daha doğru sonuçlar elde etmesine önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca ikinci aşama karbon emisyon maliyet etkenleri belirlenirken mamul ile faaliyet arasında korelasyon seviyesi yüksek maliyet etkenlerinin belirlenmesi sistemin başarısını arttıracaktır.

4.4. Faaliyet Merkezlerinde Toplanan Karbon Emisyonlarının Mamullere Yüklenebilmesi

Karbon emisyon maliyet etkenleri ikinci aşamada belirlendikten sonra, faaliyet merkezlerinde biriken karbon emisyonlarını mamullere yüklenerek birim karbon maliyetlerinin belirlenmesi aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada ilk olarak faaliyet merkezlerine özgü karbon emisyon yükleme oranının belirlenmesi gerekmektedir.

$$\text{Faaliyet Merkezi Yükleme Oranı} = \frac{\text{Faaliyet Merkezi Karbon Toplamı}}{\text{İkinci Aşama Karbon Maliyet Etkeni}} \quad (2)$$

⁶ Tamamlanan mamullerin taşıma sürecinde, işletme ile müşteri arasındaki mesafe kilometre cinsinden dikkate alınarak her 1000 km için 1 sevkiyat sayısı hesaplanmıştır.

Her bir faaliyet merkezi için yükleme oranı hesaplandıktan sonra mamullerin karbon maliyet etkeni, kullanım miktarı ile faaliyet merkezi yükleme oranı çarpılarak mamullerin sebep oldukları karbon emisyon miktarları hesaplanmaktadır.

$$\text{Mamule Yüklenen Faaliyet Merkezi Karbon Emisyon Miktarı} = \text{Faaliyet Merkezi Yükleme Oranı} \times \text{Mamullerin Karbon Maliyet Etkeni Kullanma Miktarı}$$

İşletmede üretilen mamullerin her bir faaliyet merkezinden almış olduğu karbon emisyon miktarları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tablo 10'da ise mamuller faaliyet merkezlerinden aldığı karbon emisyonları tek bir tabloda gösterilmiştir.

Tablo 10. Mamullerin Faaliyet Merkezlerinden Aldıkları Birim (ton) Karbon Emisyon Miktarları

Faaliyet Merkezleri	UAC Profil	Eşkenar Köşebent	Lama Demir	Kare Demir	Yuvarlak Demir
Hammadde Depolama Faaliyet Merkezi	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Kütük Kesim ve Fırın Hazırlık Faaliyet Merkezi	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
Tavlama Faaliyet Merkezi	0,527	0,36	0,251	0,426	0,089
Haddelme Faaliyet Merkezi	0,117	0,083	0,038	0,102	0,011
Mamul Kesim Faaliyet Merkezi	0,015	0,034	0,013	0,018	0,011
Doğrultma Faaliyet Merkezi	0,063	0,047	-	0,034	0,022
Mamul Depolama Faaliyet Merkezi	0,018	0,01	0,006	-	0,009
Bakım-Onarım Faaliyet Merkez	0,027	0,024	0,02	0,011	0,006
Sevkiyat Faaliyet Merkezi	0,09	0,08	0,072	-	0,053
Toplam	0,882	0,663	0,425	0,616	0,226

Tablo 10 incelendiğinde birim başına karbon emisyon miktarı en fazla olan mamul 0,882 ton ile UAC Profil olurken, Eşkenar Köşebent 0,663 ton ile ikinci, Kare Demir 0,616 ton ile üçüncü, Lama Demir 0,425 ton ile dördüncü sırada yer alırken Yuvarlak Demir ise 0,226 ton ile son sırada yer almıştır. Lama Demir doğrultma işlemine tabi tutulmadığı için doğrultma faaliyet merkezinden pay almazken, Kare Demir şehir içerisinde başka bir işletme için üretilmektedir. Anlaşma gereği sevkiyat işlemini satın alan işletme gerçekleştirmektedir. Bu nedenle Kare Demir hem mamul depolama faaliyetinden kaynaklı karbon emisyonlarından hem de sevkiyat faaliyetinden kaynaklı karbon emisyonlarından pay almamıştır.

Mamullerin birim karbon emisyon miktarları belirlendikten sonra mamullerin karbon maliyetlerine Tablo 11'de yer verilmiştir.

Tablo 11. FTM Sistemine Göre Mamullerin Karbon Emisyon Maliyetleri

Mamul	Karbon Emisyon Miktarı (ton) (A)	Karbon Emisyon Maliyeti (TL/ton) ⁷ (B)	Birim Karbon Emisyon Maliyeti (TL) (C) = A*B
UAC Profil	0,882		231,75
Eşkenar Köşebent	0,663		174,20
Lama Demir	0,425	262,75 ⁸	111,67
Kare Demir	0,616		161,85
Yuvarlak Demir	0,226		59,38

Tablo 11 incelendiğinde, 1 birim (ton) üretim sırasında işletmenin karşılaştığı en yüksek karbon emisyon maliyeti 231,75 TL ile UAC Profil'dir. Diğer ürünler için ise Eşkenar Köşebent için 174,20 TL, Kare Demir için 161,85 TL, Lama Demir için 111,67 TL ve Yuvarlak Demir için işletmenin katlandığı karbon emisyon maliyeti ise 59,38 TL olarak hesaplanmıştır.

İşletmenin geleneksel maliyet verileri ve FTM sistemiyle hesaplanan karbon maliyetlerine ilişkin karşılaştırmalı verilere Tablo 12'de yer verilmiştir.

Tablo 12. Mamullerin Geleneksel ve FTM Sistemiyle Hesaplanmış Birim Maliyetleri ve Karbon Emisyon Maliyetler

Mamul	Geleneksel Maliyetleme Sistemi (TL)	Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sistemi			Fark Tutar (TL)
		Mamul Maliyeti (TL)	Mamul Karbon Emisyon Maliyet (TL)	Toplam Maliyet (TL)	
UAC Profil	5.793,24	6.033,63	231,75	6.265,38	472,14
Eşkenar Köşebent	5.808,58	5.798,48	174,20	5.972,68	164,10
Lama Demir	5.421,25	5.171,18	111,67	5.282,85	-138,40
Kare Demir	5.841,74	5.770,00	161,85	5.931,85	90,11
Yuvarlak Demir	5.468,57	5.192,47	59,38	5.251,85	-216,75

Tablo 12 incelendiğinde işletmenin geleneksel olarak belirlenen UAC Profil birim (ton) maliyeti 5.793,24 olarak hesaplanırken FTM Sistemi'yle hesaplanan birim maliyeti 6.033,63 TL'dir. Mamul maliyetinin hesaplanmasında karbon emisyon maliyetleri de dahil edildiğinde UAC Profil mamulünün birim (ton) maliyeti 6.265,38 TL olarak hesaplanmıştır. Geleneksel maliyet verileri ile karbon maliyetleri dahil FTM Sistemi'yle hesaplanan birim maliyet verileri karşılaştırıldığında FTM Sistemi'ne göre UAC Profilin maliyetinin 472,14 TL az hesaplandığı görülmektedir. Eşkenar Köşebenttin geleneksel sistemle hesaplanan birim (ton) maliyeti 5.808,58 TL olarak hesaplanırken, FTM Sistemi'yle hesaplanan birim (ton) maliyeti 5.798,48 TL'dir. Mamul maliyetinin hesaplanmasında karbon emisyon maliyetleri de dahil edildiğinde Eşkenar Köşebent mamulünün birim (ton) maliyeti 5.972,68 TL olarak hesaplanmıştır. Geleneksel maliyet verileri ile karbon maliyetleri dahil FTM Sistemi'yle hesaplanan birim

⁷ 2021 yılında ortalama EURO / TL kuru 10,51 TL olarak değerlendirilmiş ve birim (ton) başına karbon maliyeti (25 EURO x 10,51 TL) = 262,75 TL olarak hesaplanmıştır.

maliyet verileri karşılaştırıldığında Eşkenar Köşebenttin maliyetinin FTM Sistemi'ne göre 164,10 TL az hesaplandığı görülmektedir. Lama Demirin geleneksel sistemle hesaplanan birim (ton) maliyeti 5.421,25 TL olarak hesaplanırken, FTM Sistemi'yle hesaplanan birim (ton) maliyeti 5.171,18 TL'dir. Mamul maliyetinin hesaplanmasında karbon emisyon maliyetleri de dahil edildiğinde Lama Demir mamulünün birim (ton) maliyeti 5.282,85 TL olarak hesaplanmıştır. Geleneksel maliyet verileri ile karbon maliyetleri dahil FTM Sistemi'yle hesaplanan birim maliyet verileri karşılaştırıldığında Lama Demirin maliyetinin geleneksel maliyetleme sisteminde FTM Sistemi'ne göre 138,40 TL fazla hesaplandığı görülmektedir. Kare Demirin geleneksel sistemle hesaplanan birim (ton) maliyeti 5.841,74 TL olarak hesaplanırken, FTM Sistemi'yle hesaplanan birim (ton) maliyeti 5.770,00 TL'dir. Mamul maliyetinin hesaplanmasında karbon emisyon maliyetleri de dahil edildiğinde Kare Demir mamulünün birim (ton) maliyeti 5.931,85 TL olarak hesaplanmıştır. Geleneksel maliyet verileri ile karbon maliyetleri dahil FTM Sistemi'yle hesaplanan birim maliyet verileri karşılaştırıldığında Kare Demirin maliyetinin FTM Sistemi'ne göre olması gerekenden 90,11 TL az hesaplandığı görülmektedir. Yuvarlak Demirin geleneksel sistemle hesaplanan birim (ton) maliyeti 5.468,57 TL olarak hesaplanırken, FTM Sistemi'yle hesaplanan birim (ton) maliyeti 5.192,47 TL'dir. Mamul maliyetinin hesaplanmasında karbon emisyon maliyetleri de dahil edildiğinde Yuvarlak Demir mamulünün birim (ton) maliyeti 5.251,85 TL olarak hesaplanmıştır. Geleneksel maliyet verileri ile karbon maliyetleri dahil FTM Sistemi'yle hesaplanan birim maliyet verileri karşılaştırıldığında Yuvarlak Demirin maliyetinin geleneksel maliyetleme sisteminde FTM Sistemi'ne göre olması gerekenden 216,75 TL fazla hesaplandığı görülmektedir.

Sonuç

Sanayi devrimiyle birlikte insan faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan karbon emisyon miktarında gözle görülür bir artış olmuştur. İklim değişikliğine sebep olan bu emisyonların 1970 ile 2005 yılları arasındaki değişimi incelendiğinde, sanayi devrimi öncesi döneme kıyasla %70 oranında bir artış gözlemlenmiştir (Ok, 2022). Fosil yakıtların yakılmasına bağlı olarak insan faaliyetleri sonucu meydana gelen bu artış, atmosferdeki gazların doğal dengesini bozarak küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu dengenin tekrardan sağlanabilmesi için karbon emisyonlarının en aza indirgenmesi gerekmektedir.

Karbon emisyon miktarının azaltılması ve sağlıklı bir ekosistemin oluşturulması konusunda, devletlere ve şirketlere önemli sorumluluklar düşmektedir (Kestane ve Sezgin, 2022). BM nezdinde devletler 21. yüzyılın son çeyreğinde ciddi adımlar atmışlardır. Bu adımlar beraberinde şirketlere de çevreci sorumluluklar yüklemiştir. Bu kapsamda işletmeler mamul üretirken veya faaliyetlerini gerçekleştirirken çevreye verecekleri olası zararları da dikkat almaları gerekmektedir. Çevresel etkilerin göz önünde bulundurulması ve minimize edilebilmesi için, işletmelerin öncelikle gerçekleştirdikleri faaliyetlerin ve ürettikleri mamullerin karbon emisyon miktarını ve maliyetlerini hesaplaması gerekmektedir (Vargün ve diğerleri, 2015).

Karbon emisyon miktarlarının ve maliyetlerin geleneksel yöntemlerle hesaplanması oldukça zordur. Zira geleneksel sistemler karbon maliyetleri genel üretim giderleri içerisinde takip etmektedir. Ayrıca hacim tabanlı tek bir maliyet etkeninin kullanılması da karbon emisyon maliyetlerinin mamullere doğru yüklenememesine neden olmaktadır. Karbon emisyon miktarlarının ve maliyetlerin hesaplanmasında FTM Sistemi'nin tercih edilmesi ile daha doğru sonuçların elde edilmesi muhtemeldir (Tsai ve diğerleri, 2012b). Çünkü FTM sistemiyle karbon

maliyetleri ve emisyonları, faaliyet bazında takip edilmekte ve bu faaliyetlerde toplanan değerler, mamullere aktarılırken birden çok maliyet etkeni kullanılmaktadır. Bu sayede, mamul üretimi sırasında hangi faaliyetin ne kadar karbon maliyeti ve emisyonuna neden olduğu daha doğru bir şekilde ortaya koyulmaktadır (Pember ve Lemon 2012).

Çalışmada elde edilen bulgular incelendiğinde, 2021 yılında işletmenin toplam 47.781,11 ton karbon emisyonuna sebep olduğu, bu karbon emisyonlarının işletmeye maliyetinin ise 12.554.481,40 TL olduğu hesaplanmıştır. Bu tutar işletmenin 2021 yılı genel üretim giderinin yaklaşık %14'üne tekabül etmektedir. Karbon emisyon maliyetinin bu denli yüksek olması işletme performansının değerlendirilmesinde bu maliyetlerin göz ardı edilmesine engel olmaktadır. İşletmede gerçekleştirilen faaliyetler bazında karbon emisyonları dikkate alındığında Hammadde Depolama Faaliyet Merkezinin karbon maliyeti 176.407,72 TL, Kütük Kesim ve Fırın Hazırlık Faaliyet Merkezinin karbon maliyeti 304.419,52 TL, Tavlama Faaliyet Merkezinin karbon maliyeti 7.274.007,79 TL, Haddeleme Faaliyet Merkezinin karbon maliyeti 1.587.656,37 TL, Mamul Kesim Faaliyet Merkezinin karbon maliyeti 389.760,72 TL, Doğrultma Faaliyet Merkezinin karbon maliyeti 798.216,11 TL, Mamul Depolama Faaliyet Merkezinin karbon maliyeti 219.036,28 TL, Bakım-Onarım Faaliyet Merkezinin karbon maliyeti 411.448,11 TL son olarak Sevkiyat Faaliyet Merkezinin karbon maliyeti 1.393.531,41 TL olarak hesaplanmıştır. Ürünler bazında ise UAC Profilin birim başına karbon maliyeti 231,75 TL, Eşkenar Köşebent'in birim başına karbon maliyeti 174,20 TL, Lama Demirin birim başına karbon maliyeti 111,67 TL, Kare Demirin birim başına karbon maliyeti 161,85 TL ve Yuvarlak Demirin birim başına karbon maliyeti ise 59,38 TL olarak hesaplanmıştır.

Karbon emisyon miktarı ve maliyeti en yüksek olan faaliyet alanı tavlama olarak belirlenmiştir. İşletmenin tavlama faaliyetini gerçekleştirmiş olduğu fırının yapılan incelemeler sonucunda ekonomik ömrünün sonuna yaklaştığı tespit edilmiştir. İşletmenin daha az enerji sarf eden veya yenilenebilir enerji destekli bir fırın alması karbon emisyonlarını azaltacağı kuvvetle muhtemeldir. İşletmenin Sevkiyat Faaliyet Merkezinin karbon maliyetleri de oldukça yüksek olarak hesaplanmıştır. Sevkiyat için daha optimal teslimiyet ağının oluşturulması veya sevkiyat faaliyetinin müşteri işletmeler tarafından gerçekleştirilmesi işletmenin karbon emisyon ve maliyetini büyük oranda azaltacağı tespit edilmiştir.

Çalışmanın işletmeye sağladığı katkıları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- İşletmede gerçekleştirilen faaliyetlerin neden olduğu karbon emisyonlarının ve maliyetlerinin ayrıntılı bir şekilde hesaplanması,
- Mamullerin satış fiyatının belirlenmesinde karbon maliyetlerinde dikkate alınması,
- Finansal olmayan ölçütlerin de işletme yönetiminin alacağı kararlara dahil edilmesi hususlarında katkı sunmuştur.

Ayrıca demir çelik sektöründe karbon emisyonlarının faaliyetler bazında hesaplanmasına yönelik benzer bir çalışmanın olmamasından dolayı bu çalışmayla, literatüre önemli bir katkı sağlanmaktadır. Bununla beraber çalışmanın ilgili sektörde faaliyet gösteren diğer işletmelere de karbon maliyeti hesaplamada yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda farklı sektörlerle ilişkin ve farklı maliyetleme sistemleri kullanılarak karbon maliyeti hesaplamaları yapılabilir. Ayrıca karbon maliyeti ve karbon ticareti bir arada ele alınarak, işletmelerin ihtiyaç duyacağı karbon kredileri de hesaplanabilir.

Kaynakça

- Ascui, F., & Lovell, H. (2011). As frames collide: making sense of carbon accounting, *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 24(8), 978-999. <https://doi.org/10.1108/09513571111184724>
- Binboğa, G. (2014). Uluslararası karbon ticareti ve Türkiye, *Journal of Yaşar University*, 9(34), 5732-5759. <https://doi.org/10.19168/jyu.90063>
- Brandt, M. T., Levine, S. P., & Gourdoux, J.R. (1999). Application of activity-based cost management – a descriptive case study, *Professional Safety*, 44(11), 22-27
- Burritt, R. L., Schaltegger, S., & Zvezdov D. (2011). Carbon Management Accounting: Explaining Practice in Leading German Companies. *Australian Accounting Review*, 21(1), 80-98. <https://doi.org/10.1111/j.1835-2561.2010.00121.x>
- Caro, D. (2019). Carbon footprint, *encyclopedia of ecology*, 2(4), 252-257. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10752-3>
- Çelik İhracatçılar Birliği (2022). Dünya Türk çeliği ile şekilleniyor. Erişim adresi: https://cib.org.tr/files/Doc/files/KATALOG2022_TR.pdf
- Early, C. (2020). The EU can expect heavy pushback on ist carbon border tax, Erişim adresi: <https://chinadialogue.net/en/business/eu-can-expect-heavy-pushback-carbon-border-tax/>.
- Demircioğlu, E., & Ever, D. (2020). Karbon maliyetlerin belirlenmesine ilişkin demir çelik işletmesinde uygulama. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(1), 649-662 <https://doi.org/10.20491/isarder.2020.868>
- Durgut, M. (2015). Karbon ticaretinin uluslararası muhasebe standartlarına göre muhasebeleştirilmesi, *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 3(2) 23-40. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1024736>
- Greenhouse Gas Protocol. (2017). World resources institute. Erişim adresi: <https://ghgprotocol.org/calculation-tools>
- Greenhouse Gas Protocol. (2014). Global warming potential values, Erişim adresi: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf
- Hansen, D. R., Mowen M. M., & Guan, L. (2009). *Cost Management: Accounting & Control*, Sixth Edition, South- Western Cengage Learning, USA
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 1. Erişim adresi: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). The physical science basis. Cambridge University Press. Erişim adresi: <https://www.esf.org/>
- International Energy Agency. (2020). Iron and steel technology roadmap, Erişim adresi: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>
- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı 2024-2030. Erişim adresi: [https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi%20Azalt%C4%B1m%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Plan%C4%B1%20\(2024-2030\).pdf](https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi%20Azalt%C4%B1m%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Plan%C4%B1%20(2024-2030).pdf)
- Karakoç, M. (2012). Karbon Emisyon Muhasebesi ve Türkiye’de Uygulanabilirliği (Yayın No: 325320). (Doktora Tezi Afyon Kocatepe Üniversitesi). Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyon
- Karataş Aracı, Ö. N. (2020). *Çevre Muhasebesinin Bir Alt Dalı Olarak Karbon Muhasebesi: Dünya ve Türkiye’deki Uygulamalar*. Ankara: Nobel Bilim Eserleri

- Kestane A., & Sezgin R. (2022). Karbon muhasebesi perspektifinde karbon emisyonu açıklamalarının belirleyicileri. *IJAR*, 7(13), 92-106. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2040968>
- McGowan, A. S. (1998). Perceived benefits of ABCM implementation, *Accounting Horizons*, 12(1), 31-50
- No, J. J., & Kleiner, B. H. (1997). How to implement activity-based costing. *Logistics Information Management*, 10(2), 68-72. <https://doi.org/10.1108/09576059710815725>
- Ok, Ş. (2022). Karbon muhasebesi temelinde faaliyet tabanlı maliyetleme ve bütçeleme: bir üretim işletmesinde uygulama (Yayın No: 751702)(Doktora Tezi Karabük Üniversitesi). Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük
- Pember, A., & Lemon, M. (2012). Measuring and managing environmental sustainability: using activity-based costing/Management (ABC/M). Erişim adresi: https://www.cami.org/docs/CAM-I_ESIG_Article-ABC.pdf
- Ratnunga, J. (2007). Carbon cost accounting: the impact of global warming on the cost accounting, *Jamar*, 5(2), 1-8. Erişim adresi: <https://cmaaustralia.edu.au/wp-content/uploads/2021/10/JAMAR-Carbon-Cost-Accounting-Edited2.pdf>
- Sawant, S., & Babaleshwar, B. (2015). A new method of assessment and equations on carbon footprint, *J. Appl. Geology and Geophysics*, 3(4), 52-59. <https://doi.org/10.9790/0990-03415259>
- Schaltegger, S., & Csutora M. (2012). Carbon accounting for sustainability and management. Status quo and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 36, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.06.024>
- Stechemesser, K. & Guenther, E. (2012). Carbon Accounting: a Systematic Literature Review, *Journal of Cleaner Production*, 36, 17-38. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.021>
- Türkiye Cumhuriyeti Avrupa Birliği Başkanlığı. (2023). Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'na (SKDM) ilişkin Tüzük AB Resmî Gazetesi'nde yayımlandı. Erişim adresi: https://www.ab.gov.tr/test_53490.html
- Türkiye Sınai Kalkınma Bankası. (2023). Çelik sektörünün yeni gündemi: yeşil çelik Erişim adresi: <https://www.tskb.com.tr/blog/sectorler/celik-sektorunun-yeni-gundemi-yesil-celik>
- Tsai, W. H. (2018). A green quality management decision model with carbon tax and capacity expansion under activity-based costing (ABC)- a case study in the tire manufacturing industry, *Energines*, 11(7), 1-30. <https://doi.org/10.3390/en11071858>
- Tsai, W. H., Chen, H. C., Leu, J. D., Chang Y. C., & Lin, T. W. (2013). A product-mix decision model using green manufacturing technologies under activity-based costing. *Journal of Cleaner Production*, 57, 178- 187. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.011>
- Tsai, W. H., Lee, K. C., Liu, J. Y., Lin, H. L., Chou, Y. W., & Lin, S. J. (2012a) A mixed activity-based costing decision model for green airline fleet planning under the constraints of the European Union emissions trading scheme, *Energy*, 39, 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.027>
- Tsai, W., Shen, Y.S., Lee, P. L., Chen, H. C., Kuo, L., & Huang, C. C. (2012b). Integrating information about the cost of carbon through activity-based costing, *Journal of Cleaner Production*, 36, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.024>
- UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting. (2020). Government department for business, energy & industrial strategy. greenhouse gas reporting: Conversion factors 2018 Erişim adresi: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>
- Uyar, S., & Cengiz, E. (2011). Karbon (Sera gazı) muhasebesi, *Mali Çözüm Dergisi*, 105, 47-70. Erişim adresi: <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=b430b8dc-4b5c-454e-a3b5-6a1a5e0caada%40redis>

- Vargün H., Gürkan S., & Akbulut H. (2015). Sürdürülebilir bir çevre için karbon muhasebesi ve faaliyet tabanlı maliyetleme sisteminin entegrasyonu, *Mali Çözüm Dergisi*, 132, 11-31
- Vargün, H., & OK, Ş. (2019). Yönetim kararları açısından karbon muhasebesi bilgilerinin önemi, *Mali Çözüm Dergisi*, 29(156), 73-88. Erişim adresi: <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=574502a3-4e64-4492-852d-3f812b89ff13%40redis>.
- Wang, Z. (2017). The Study of Carbon Cost Management Under the Carbon Trading Mechanism Based on the Value Chain Theory, *Low Carbon Economy*, 8(2), 51. <https://doi.org/10.4236/lce.2017.82005>
- World Wide Fund for Nature. (2014). IPCC 5. değerlendirme raporu. Erişim adresi: <https://www.wwf.org.tr/?2340>