



Investigating causal relationships of factors influencing eco-innovation capability: an integrated approach of regression analysis and DEMATEL

Ali İhsan Boyacı*^{ID}, Gulsen Akman^{ID}, Çağın Karabıçak^{ID}

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kocaeli University, 41380, Kocaeli, Türkiye

Highlights:

- Factors affecting eco-innovation capability have been identified and analyzed
- An innovative method integrating regression analysis and DEMATEL has been used
- Strategic management, technological innovation and R&D capabilities have been identified as the most critical factors

Keywords:

- Eco-innovation capability
- Sustainability
- Regression analysis
- DEMATEL
- Quadrant analysis

Article Info:

Research Article

Received: 08.10.2024

Accepted: 08.03.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1563324

Correspondence:

Author: Ali İhsan Boyacı

e-mail:

ali.ihsan@kocaeli.edu.tr

phone: +90 539 921 6189

Graphical/Tabular Abstract

Eco-innovation capability is a critical element for manufacturing companies, providing both a competitive advantage and supporting long-term success. This study focuses on thoroughly determining the factors affecting the eco-innovation capability of manufacturing companies and investigating the causal relationships between these factors. A methodology consisting of four stages was used in the study, the general framework of which is presented in Figure A, where the regression analysis and DEMATEL method are integrated.

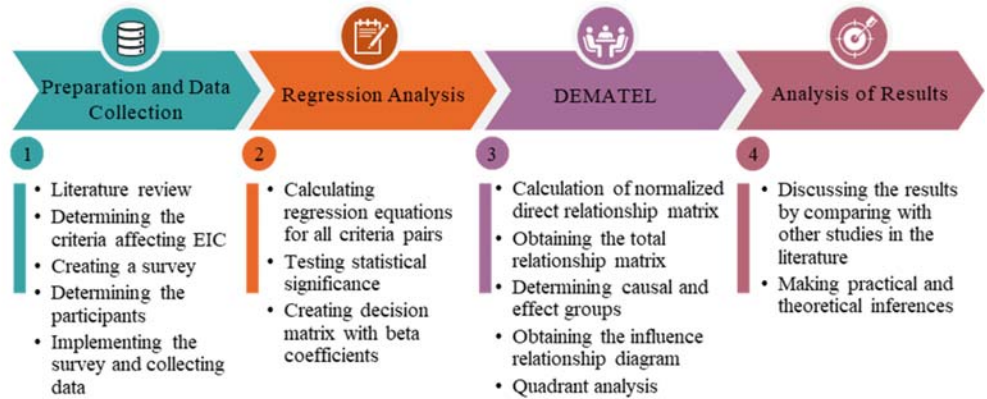


Figure A. Methodological framework of the study

Purpose: This study aims to determine the factors affecting the eco-innovation capability of manufacturing firms and to analyze the complex causal relationships between these factors.

Theory and Methods: In this article, an innovative approach that integrates DEMATEL and regression analysis is used to analyze complex causal relationships between factors. This approach significantly reduces the evaluation burden of experts, especially in studies involving a large number of factors, and provides an effective solution for determining the direct effects of factors on each other by combining expert opinions. Owing to this approach, the direct effects of factors affecting the eco-innovation ability of firms on each other were obtained with regression analysis with data collected from 343 participants. Then, these direct effects were used as input in the DEMATEL method to obtain causal relationships between factors.

Results: The findings demonstrate that, in the context of eco-innovation, strategic management capability, technological innovation capability and R&D capability are the most critical factors that have a driving force on other factors. Although not as critical as these factors, organizational management capability, learning capability and process/production capability factors are also seen as primary criteria that can be defined as core. On the other hand, it can be expressed that other factors have a receptive role that develops under the influence of these core factors or have an autonomous role with less interaction within the system.

Conclusion: This study, which addresses the identification of factors affecting the eco-innovation capability of manufacturing firms and the examination of the relationships between them with an innovative integrated approach, offers many theoretical and practical implications for academic literature and practitioners. While the method developed in the study provides an effective and useful analysis tool for understanding relationships in systems containing a high number of criteria, the findings obtained provide guidance for manufacturing companies to develop applicable strategies to enhance their eco-innovation capability and achieve their sustainability goals.



Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi

Journal of The Faculty of Engineering
and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Eko-inovasyon yeteneğini etkileyen faktörlerin nedensellik ilişkilerinin araştırılması: Regresyon analizi ve DEMATEL tabanlı entegre bir yaklaşım

Ali İhsan Boyacı*, Gulsen Akman, Çağın Karabıçak

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Eko-inovasyon yeteneğini etkileyen faktörler belirlendi ve analiz edildi
- Regresyon analizi ve DEMATEL yönteminden oluşan entegre yenilikçi bir yöntem kullanıldı
- Stratejik yönetim, teknolojik inovasyon ve Ar-Ge yetenekleri en kritik faktörler olarak belirlendi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 08.10.2024

Kabul: 08.03.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1563324

Anahtar Kelimeler:

Eko-inovasyon yeteneği,
sürdürülebilirlik,
regresyon analizi,
DEMATEL,
Kuadrant analizi

ÖZ

Günümüzde artan çevresel bilinç ve sürdürülebilirlik talepleri doğrultusunda, eko-inovasyon (Eİ), imalat firmaları için hem rekabet avantajı sağlayan hem de uzun vadeli başarıyı destekleyen kritik bir unsur haline gelmiştir. Firmaların Eİ yetenekleri, organizasyonel kültürden stratejik yönelimlere kadar çeşitli içsel faktörlerin etkisi altında gelişmekte ve şekillenmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada imalat firmalarının Eİ yeteneklerini etkileyen içsel faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörler arasındaki karmaşık nedensellik ilişkilerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla öncelikle sistematik bir literatür taraması ve uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda Eİ yeteneğini etkileyen toplamda 12 faktör tanımlanmıştır. Çalışmada faktörler arasındaki ilişkilerin araştırılması amacıyla Regresyon analizi ve DEMATEL yönteminin entegre edildiği yenilikçi bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşım özellikle yüksek sayıda faktör içeren çalışmalarda uzmanların değerlendirme yükünü önemli ölçüde azaltmakta ve uzman görüşlerinin birleştirilerek faktörlerin birbirleri üzerindeki doğrudan etkilerinin belirlenmesinde etkili bir çözüm sunmaktadır. Analizler sonucunda sırasıyla stratejik yönetim yeteneği, teknolojik yenilik yeteneği ve Ar-Ge yeteneği diğer faktörler üzerinde itici gücü olan en kritik faktörler olarak elde edilmiştir. Ek olarak örgütsel yönetim yeteneği, öğrenme yeteneği ve proses/üretim yeteneği faktörlerinin de çekirdek faktörler arasında olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular, imalat firmalarının Eİ süreçlerini iyileştirmek ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesinde kapsamlı bir rehber niteliği taşımaktadır.

Investigating causal relationships of factors influencing eco-innovation capability: an integrated approach of regression analysis and DEMATEL

HIGHLIGHTS

- Factors affecting eco-innovation capability have been identified and analyzed
- An innovative method integrating regression analysis and DEMATEL has been used
- Strategic management, technological innovation and R&D capabilities have been identified as the most critical factors

Article Info

Research Article

Received: 08.10.2024

Accepted: 08.03.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1563324

Keywords:

Eco-innovation capability,
sustainability,
regression analysis,
DEMATEL,
quadrant analysis

ABSTRACT

Today, in line with the increasing environmental awareness and sustainability demands, eco-innovation has become a critical element that provides both competitive advantage and supports long-term success for manufacturing companies. The eco-innovation capabilities of companies are developed and shaped under the influence of various internal factors, from organizational culture to strategic orientations. In this context, this study aims to determine the internal factors affecting the eco-innovation capabilities of manufacturing companies and to analyze the complex causal relationships between these factors in detail. For this purpose, firstly, a total of 12 factors affecting eco-innovation capabilities were identified through a systematic literature review and interviews with experts. In the study, an innovative approach in which regression analysis and the DEMATEL method were integrated was employed to investigate the relationships between the factors. This approach significantly reduces the evaluation burden of experts, especially in studies involving a high number of factors, and provides an effective solution in determining the direct effects of factors on each other by combining expert opinions. As a result of the analyses, strategic management capability, technological innovation capability and R&D capability were revealed as the most critical factors that have a driving force on other factors, respectively. In addition, it was found that organizational management capability, learning capability and process/production capability factors are among the core factors. The findings obtained from this study provide a comprehensive guide for the development of applicable strategies to improve the eco-innovation capabilities of manufacturing companies and achieve sustainability goals.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / *Corresponding Author/Authors: *ali.ihsan@kocaeli.edu.tr, akmang@kocaeli.edu.tr, cagink@kocaeli.edu.tr / Tel: +90 539 921 6189

1. Giriş (Introduction)

Eko-inovasyon (Eİ), sürdürülebilir kalkınmanın temel bileşenlerinden biri olarak, çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlayan yenilikçi süreçler ve teknolojilerin kullanımını ifade eder. Küresel çevre sorunlarının artması ve doğal kaynakların giderek daha sınırlı hale gelmesi hem işletmeleri hem de ülkeleri eko-inovasyon yeteneklerini (EİY) geliştirmeye zorlamıştır. Türk imalat firmaları için de EİY'leri her geçen gün daha kritik bir hale gelmektedir. Eİ uygulamalarıyla çevresel sürdürülebilirliğe öncelik veren firmalar, hem maliyet avantajı sağlayan yenilikçi üretim süreçlerini hayata geçirebilir hem de çevre dostu ürünlerle tüketici taleplerini karşılayarak pazar konumlarını güçlendirebilirler. Bu yaklaşım, firmaların rekabet üstünlüğü kazanmasına ve pazar performanslarını olumlu yönde etkilemelerine katkı sağlar [1]. Ayrıca, Eİ uygulamaları firmaların maliyetlerini düşürüp operasyonel verimliliklerini artırmalarına yardımcı olur. Enerji ve hammadde kullanımında sağlanan tasarruflarla maliyetlerini azaltan firmalar, kârlılıklarını artırarak uzun vadede daha sürdürülebilir bir başarı elde edebilirler [2, 3].

Tüketici bilinçlenmesinin artmasıyla birlikte, çevre dostu ürün ve hizmetlere olan talep de artmaktadır. Eİ, firmaların bu talepleri karşılamalarına ve çevre dostu bir marka imajı oluşturmalarına yardımcı olur. Çevresel sorumluluklarını yerine getiren firmalar, tüketiciler nezdinde daha olumlu bir imaj oluşturur ve müşteri sadakatini artırır [4]. Bu da marka imajlarının güçlenmesine ve tüketici taleplerine daha iyi yanıt vermelerine katkıda bulunur. Bu durum, firmanın pazar payını artırmaya ve uzun vadeli müşteri ilişkileri kurmasına olanak tanır [2]. Özellikle genç tüketiciler arasında çevreye duyarlı ürünlere olan ilgi, firmaların bu alanda yenilik yapmalarını zorunlu kılmaktadır. Görüldüğü üzere, EİY, imalat firmaları açısından giderek artan bir öneme sahiptir. Bu yetenek, firmaların çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda rekabet avantajı elde etmelerine ve uluslararası pazarlarda daha güçlü bir konuma gelmelerine de katkıda bulunur.

Firmaların EİY'lerini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bunlar, şirketlerin içsel dinamiklerinden (Ar-Ge kapasitesi, stratejik yönetim yeteneği vb.) ve çevresel koşullardan (yasal düzenlemeler, pazar baskıları vb.) kaynaklanabilir [5]. Bu faktörlerin ve aralarındaki nedensellik ilişkilerinin belirlenmesi, Eİ stratejilerinin etkin bir şekilde yönetilmesi ve yönlendirilmesi için kritik derecede önemlidir. Eİ, işletmelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmaları ve yeşil rekabetçilik elde etmeleri açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, EİY'yi etkileyen faktörlerin incelenmesi, firmaların çevre dostu inovasyon süreçlerini daha etkili bir şekilde yönetmelerine destek olur [1]. Eİ, kaynak verimliliğini artırarak işletmelerin maliyetlerini azaltabilir. Bu nedenle, EİY'yi etkileyen faktörlerin incelenmesi, firmaların kaynaklarını nasıl daha verimli kullanabileceklerini ve maliyetleri nasıl azaltabileceklerini belirlemelerine yardımcı olur [6]. Günümüzde tüketiciler, çevre dostu ürün ve hizmetlere daha fazla önem vermekte ve bu talep, firmaların Eİ süreçlerine odaklanmalarını gerektirmektedir. EİY'yi etkileyen faktörlerin incelenmesi, firmaların tüketici taleplerine daha iyi uyum sağlamalarını, bu doğrultuda stratejiler geliştirmelerini olanaklı kılar ve firmaların yenilikçi iş modelleri geliştirmelerine yardımcı olur [7]. Bu tür iş modelleri, çevresel sürdürülebilirliği ve ekonomik başarıyı birleştirerek firmalara uzun vadeli avantajlar sağlar [8].

Firmaların EİY'lerini etkileyen içsel faktörler çevresel sürdürülebilirlik ve rekabet avantajı elde etme açısından önemli bir rol oynar [5]. Dolayısıyla bu faktörlerin detaylı bir şekilde incelenmesi, işletmelerin sürdürülebilir başarı elde etmeleri ve çevresel performanslarını artırmaları açısından kritik bir öneme sahiptir. Organizasyonel yetenekler, teknolojik yetenekler, Ar-Ge yatırımları,

kaynak paylaşımı ve stratejik karar alma süreçleri vb. içsel faktörler firmaların EİY'lerini doğrudan etkileyen unsurlar olarak öne çıkmaktadır [5, 6]. Bu faktörler, Eİ süreçlerinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu faktörlerin iyi anlaşılması, firmaların iç dinamiklerini optimize etmelerine, çevresel yenilik stratejilerini daha etkili bir şekilde yönetmelerine ve böylece uzun vadeli başarı elde etmelerine olanak tanır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi EİY'yi etkileyen kriterler arasındaki nedensellik ilişkilerini anlamak, sürdürülebilir kalkınma ve rekabet avantajı sağlama açısından büyük bir öneme sahiptir. Günümüzde işletmeler, çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik performans arasında denge kurmaya çalışırken, EİY'yi geliştiriminin yollarını aramaktadırlar. Bu bağlamda, çevre dostu ürünler, süreçler ve hizmetlerin geliştirilmesi ve uygulanması anlamına gelen Eİ, işletmelerin hem çevresel hem de ekonomik performansını olumlu yönde etkileyebilir [9]. Ancak, bu yeteneği etkileyen faktörler arasındaki karmaşık ilişkileri anlamak, karar vericiler için önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu doğrultuda bu çalışmanın amacı, Türk imalat firmalarının EİY'lerini etkileyen içsel faktörlerin detaylı olarak tanımlanması ve bu faktörler arasındaki karmaşık nedensellik ilişkilerinin analiz edilmesidir. Böylece, firmaların EİY'lerini geliştirebilmek için stratejik olarak hangi içsel faktörlere öncelik vermeleri gerektiği net bir şekilde belirlenebilecektir. Bu amaçla bu çalışmada regresyon analizi ile DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) yönteminin entegre edildiği yenilikçi bir yaklaşım kullanılmaktadır. DEMATEL yöntemi, karmaşık sistemlerde faktörlerin arasındaki neden-sonuç ilişkilerini analiz etmek ve bu ilişkilerin yönlerini belirlemek için geliştirilmiş etkili bir araçtır [10]. Diğer yöntemlere kıyasla, faktörler arasındaki karşılıklı bağımlılıkları dikkate alması ve neden-sonuç ilişkilerini görselleştirilebilir bir yapıda sunması, DEMATEL'i öne çıkaran temel özelliklerdendir [11]. Ancak 3. bölümde detaylandırılacağı üzere kriter sayısı arttıkça klasik DEMATEL yönteminde veri toplamak için uzmanların yapması gereken değerlendirme sayıları ve iş yükleri aşırı derecede artmaktadır. Bu durum hem uzmanların çalışmaya katılım konusunda çekimser davranmasına neden olmakta hem de sağlıklı değerlendirme yapma yetilerini olumsuz etkilenmektedir. Basit doğrusal regresyon analizinin DEMATEL yöntemine entegre edilmesiyle bu çalışmada önerilen metodoloji hem uzmanların yapması gereken değerlendirme sayısını önemli ölçüde azaltmakta hem de uzman görüşlerini birleştirerek faktörlerin birbirleri üzerindeki doğrudan ilişkilerini elde etmek için etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışmanın literatüre katkıları şu şekilde özetlenebilir; (1) imalat firmalarının EİY'lerini etkileyen içsel faktörlerin tanımlanması, (2) Regresyon analizi ve DEMATEL yönteminden oluşan entegre bir yaklaşımın geliştirilmesi, (3) geliştirilen entegre yaklaşımla EİY'yi etkileyen içsel faktörler arasındaki karmaşık nedensellik ilişkilerinin belirlenmesi.

Çalışmanın devam eden bölümleri şu şekilde organize edilmiştir; takip eden bölümde EİY ve bu yeteneği etkileyen faktörlerle ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. 3. bölümde, çalışmada geliştirilen yenilikçi entegre yaklaşım ve yöntemleri içeren metodoloji açıklanmıştır. 4. bölümde ise önerilen yaklaşım kullanılarak Türk imalat sektöründe EİY'yi etkileyen firma içi faktörlerin arasındaki nedensellik ilişkileri değerlendirilmiş ve çıkarımlarda bulunulmuştur. Son bölümde ise önemli çıkarımlar, kısıtlamalar ve gelecek çalışmalar hakkında bilgi verilerek makale sonlandırılmıştır.

2. Literatür Taraması (Literature Review)

Son yıllarda, çevresel sürdürülebilirlik ve rekabet avantajı sağlama hedefleri doğrultusunda, firmaların EİY'lerini etkileyen iç faktörler üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekici bir şekilde artmıştır. Eko-inovasyon, firmaların çevresel etkilerini azaltmanın yanı sıra

ekonomik fayda sağlamaya yönelik stratejik bir yaklaşım olarak literatürde ele alınmaktadır. Bu bağlamda, EİY'yi etkileyen iç faktörlerin incelenmesi, firmaların inovasyon stratejilerini şekillendirmeleri açısından kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda, mevcut literatürdeki çalışmaların genel olarak teknolojik yenilik kapasitesi, Ar-Ge yetkinliği ve örgütsel yönetim becerileri gibi unsurların Eİ üzerindeki etkilerini incelediği görülmektedir. Tablo 1'de eko inovasyon konusunda yapılan çeşitli çalışmalar özetlenmiştir.

Literatürdeki bazı çalışmaların özellikle çevre yasalarına uyum ve enerji verimliliği gibi faktörlere odaklandığı görülmektedir. Örneğin, Shahin vd. [15], bilgi temelli firmalarda çevre yasalarına uyumun ve enerji verimliliğinin belirleyici olduğunu, Horbach [16] ise Almanya'daki firmalarda Ar-Ge faaliyetleri ve çevresel yönetim araçlarının Eİ üzerindeki olumlu etkilerini incelemiştir. Ayrıca, Peyravi ve Jakubavičius [17] tarafından Litvanya'da yapılan çalışma, döngüsel ekonomi bağlamında Eİ'yi destekleyen organizasyonel yeteneklerin rolünü ve politik yaklaşımlar ile sosyal davranışların süreçleri güçlendirdiğini vurgulamıştır. Bu çalışmalar bu faktörlerin Eİ süreçlerini nasıl şekillendirdiğini göstermektedir.

Bazı çalışmalar Eİ'nin örgütsel liderlik, stratejik yönetim, Ar-Ge, örgütsel yönetim, öğrenme kapasitesi ve dinamik yetenekler gibi içsel faktörlerle olan ilişkisini incelemektedir. Örneğin Cai ve Zhou [13], örgütsel liderlik ve stratejik yönetimin Eİ üzerindeki etkisini inceleyerek, özellikle üst yönetim desteği ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda geliştirilen stratejilerin önemine dikkat çekmiştir. Diğer yandan, Rodríguez-Rebés vd. [4] Avrupa KOBİ'lerinde liderlik ve örgütsel yönetim kapasitesinin Eİ süreçlerindeki önemini araştırırken, liderlik ve karar alma mekanizmalarının kritik etkilerini ortaya koymuştur. Buna ek olarak, Albort-Morant vd. [20], dinamik yeteneklerin ve çevresel belirsizliklerin, örgütlerin stratejik yenilik süreçlerine ve Eİ'ye nasıl yön verdiğini detaylandırmıştır. Chen vd. [12] teknolojik yenilik ve süreç inovasyonunun çevresel sürdürülebilirliğe katkısını vurgularken, Cai ve Zhou [13] ise dışsal faktörlerin içsel yetenekler aracılığıyla Eİ'yi nasıl tetiklediğini analiz etmişlerdir. Horbach [16] ise teknolojik yeteneklerin ve çevresel yönetim araçlarının etkilerini vurgulamış, özellikle ARGE faaliyetlerinin Eİ üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, Eİ'nin başarısında örgütsel liderlik, öğrenme kapasitesi ve stratejik esnekliğin önemli bileşenler olduğunu ortaya koymaktadır. Ek olarak, bu çalışmalar Eİ'nin iç faktörler kadar dışsal düzenlemeler, müşteri talepleri ve çevresel baskılar gibi unsurlardan da etkilendiğini göstermiştir. Ancak, bu çalışmalar genellikle belirli sektörlerde veya bölgesel düzeylerde sınırlı kalmış ve sektörler arası karşılaştırmalar nadiren yapılmıştır.

Bazı çalışmalar, Eİ süreçlerini destekleyen temel unsurlara odaklanmaktadır. Örneğin, Qu vd. [22], Çin'in turizm sektöründe yeşil örgütsel kültürün kritik rolünü ve yeşil emilim kapasitesinin Eİ performansı üzerindeki aracılık etkisini ortaya koymuştur. El-Kassar ve Singh [23], MENA bölgesinde büyük veri kullanımının Eİ'yi güçlendirdiğini ve çevresel performans artırmadaki önemini vurgularken, Passaro vd. [24] KOBİ'lerde Eİ'yi etkileyen 14 ana faktörü belirlemiş; teknolojik yenilik, pazarlama yeteneği ve firma spesifik faktörlerin çevresel performans üzerindeki etkisini incelemiştir. Ayrıca Rodríguez-Rebés vd. [4], Avrupa KOBİ'lerinde örgütsel yönetim yeteneklerinin ve stratejik liderliğin Eİ süreçlerindeki merkezi rolünü göstermiştir. Srisathan vd. [25] ise Tayland'daki KOBİ'lerde açık inovasyon programlarının Eİ'yi geliştirdiğini ve belirsiz programların başarısızlığa yol açtığını vurgulamıştır. Bazı çalışmalar ise dışsal faktörlerin Eİ üzerindeki etkisini ele almaktadır. Örneğin Mady vd. [14], müşteri talepleri ve düzenleyici baskılar gibi dışsal unsurların, firmaların yenilikçi çevresel uygulamaları benimsemesinde önemli bir itici güç olduğunu belirtmiştir. Al Halbusi vd. [19] ise düzenleyici çerçevelerin ve

çevresel politikaların, firmaların sürdürülebilirlik stratejilerini şekillendirdiğini ve bu süreçte dışsal baskıların firma içi yeteneklerle etkileşim içinde olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, dışsal faktörlerin olumlu etkilerinin genellikle güçlü içsel yenilik yetenekleri ile birleştirildiğinde ortaya çıktığı anlaşılmıştır.

2.1. Araştırma Boşluğu (Research Gap)

Literatürdeki çalışmalar, birçok faktörün, özellikle iç ve dış faktörlerin, Eİ üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilerini incelemektedir. Eİ'yi etkileyen iç faktörler arasında teknolojik yenilik yeteneği, ARGE yeteneği, örgütsel yönetim yeteneği, stratejik yönetim ve ekotasarım yeteneği gibi çeşitli unsurlar öne çıkmaktadır. Her ne kadar bu faktörler dünya genelinde çeşitli sektörlerde incelenmiş olsa da Türkiye bağlamında bu tür çalışmaların oldukça sınırlı ve yetersiz olduğu görülmektedir. Türkiye'de Eİ'yi etkileyen iç faktörler üzerinde derinlemesine bir çalışma yapılmamış olması, bu alandaki önemli bir literatür boşluğunu göstermektedir.

Literatürde eko-inovasyon üzerine yapılan çalışmaların genellikle gelişmiş ülkeler (örneğin, Çin, Avrupa ve MENA bölgesi) bağlamında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu çalışmalarda, içsel ve dışsal faktörlerin Eİ üzerindeki etkileri ele alınsa da gelişmekte olan ülkelerde bu faktörlerin nasıl etkileşim içinde olduğu yeterince incelenmemiştir. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, bu etkileşimlerin dinamikleri ve Eİ üzerindeki etkileri hâlâ sınırlı bir şekilde araştırılmış durumdadır. Bu bağlamda, söz konusu çalışma, Türkiye'de Eİ'yi etkileyen içsel faktörlere derinlemesine bir odaklanmayı amaçlamaktadır.

Türkiye özelinde, Eİ stratejilerini geliştiren ve uygulayan imalat sektöründeki KOBİ'ler ve büyük ölçekli firmalar arasında, bu içsel faktörlerin nasıl şekillendiği ve birbirini nasıl etkilediğine dair çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu eksiklik, organizasyonel düzeyde içsel faktörlerin dinamiklerini anlamada önemli bir boşluk yaratmaktadır. Literatürdeki mevcut çalışmalar genellikle çeşitli faktörlerin Eİ üzerindeki etkilerini bağımsız olarak incelemekte; bu da faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri hakkında yeterli bilgi sunmamaktadır. Bu durum, Eİ'nin sadece bireysel unsurlar üzerinden ele alınması yol açmakta ve faktörler arasındaki etkileşimlerin göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Bu çalışma, literatürdeki bu eksikliği gidermeyi hedefleyerek, içsel faktörler arasındaki etkileşimleri analiz etmek ve bunların Eİ üzerindeki dönüşümsel etkilerini ortaya koymak için yenilikçi bir yöntem sunmaktadır. Özellikle Regresyon Analizi ve DEMATEL gibi entegre bir yaklaşımla, içsel faktörlerin karşılıklı ilişkileri detaylı bir şekilde incelemektedir. Bu yöntem, faktörler arasındaki etkileşimleri görselleştirerek ve önceliklendirmeler yaparak, literatüre daha kapsamlı bir katkı sunmaktadır.

3. Metodoloji (Methodology)

Bu çalışmada, imalat firmalarının EİY'lerini etkileyen içsel faktörler arasındaki ilişkilerin analiz edilmesi ve böylece firmaların Eİ kapasitelerini artırmaya yönelik stratejik çıkarımlar yapılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda, faktörler arasındaki karmaşık ilişkileri analiz etmek ve bu ilişkilerin yönlerini belirlemek için DEMATEL yöntemi tercih edilmiştir. DEMATEL, diğer yöntemlerden farklı olarak, faktörler arasındaki karşılıklı bağımlılıkları dikkate alması ve neden-sonuç ilişkilerini yönlü ve görselleştirilebilir bir yapıda sunmasıyla öne çıkmaktadır [31]. Ayrıca, AHP ve TOPSIS gibi yöntemler bağımsızlık varsayımıyla sınırlı kalırken, DEMATEL'in faktörler arasındaki etkileşimleri detaylı bir şekilde analiz ederek sistemdeki rolleri açıkça ortaya koyabilmesi onu bu çalışmada ele alınan problem için ideal kılmaktadır [10, 11].

Tablo 1. Literatür özeti (Literature summary)

Yazar	Yıl	Amaç	Kapsam	Yöntem	Sonuçlar	Ülke
Chen vd. [12]	2017	Eİ seviyelerini ve bunları etkileyen faktörleri incelemek	Çin'in 30 bölgesindeki firmalar	Regresyon analizi	Teknolojik yenilik, piyasa çekiş gücü ve çevresel düzenlemelerin Eİ üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Bölgesel farklılıklar etkilidir.	Çin
Cai ve Zhou [13]	2014	Eİ üzerindeki içsel ve dışsal faktörleri analiz etmek	Çin'deki 1266 firma	Hiyerarşik regresyon analizi	Çevresel düzenlemeler, müşteri talepleri, rekabet baskıları Eİ'yi tetikler; Çin içsel yetenekler etkilidir.	Çin
Mady vd. [14]	2024	Eİ üzerindeki çevresel baskıların etkisini incelemek	Mısır'ın imalat sektöründeki KOBİ'ler	Regresyon analizi	Yeşil talep Eİ'yi doğrudan etkiler, düzenleyici baskılar çevresel yetenekler aracılığıyla etki etmektedir.	Mısır
Shahin vd. [15]	2020	Eİ'nin belirleyicilerini analiz etmek	İran'daki 130 bilgi temelli şirket	Yorumlayıcı yapısal modelleme	Çevre yasalarına uyum ve enerji verimliliği Eİ süreçlerinde kritik belirleyicilerdir.	İran
Horbach [16]	2008	Eİ'nin belirleyicilerini incelemek	Almanya'daki firmalar	Panel veri analizi	Ar-Ge faaliyetleri, çevresel yönetim araçları Eİ'yi teşvik etmektedir. Organizasyonel değişimlerin olumlu etkileri bulunmuştur.	Almanya
Peyravi ve Jakubavičius [17]	2022	Eİ'nin sürükleyici faktörlerini incelemek	Litvanya'daki firmalar	Çok kriterli karar verme yöntemi	Eİ süreçleri politik yaklaşımlar, sosyal davranışlar ve eko-tasarım gibi faktörlerle güçlenir.	Litvanya
Arranz vd. [2]	2019	Eİ'yi etkileyen faktörleri incelemek	İspanya'daki firmalar	Regresyon analizi ve anket verisi analizi	Eİ sürecinin karmaşıklığı firmaların katılımını zorlarsa da kamu finansmanı ve iş birliği Eİ'yi desteklemektedir.	İspanya
Qalati vd. [18]	2023	Eİ yeteneklerini etkileyen faktörleri incelemek	Çin'deki imalat sektörü	Regresyon analizi ve anket	Katılımcı karar verme süreçleri ve çalışan motivasyonu Eİ üzerinde büyük etkiye sahiptir.	Çin
Al Halbusi vd. [19]	2023	Yeşil çekirdek yetkinliklerin Eİ'ye etkilerini incelemek	Irak'taki firmalar	Regresyon analizi ve anket	Ar-Ge yatırımları ve üst yönetim desteği Eİ süreçlerinde belirleyicidir.	Irak
Albort-Morant vd. [20]	2016	Dinamik yeteneklerin Eİ üzerindeki etkisini incelemek	İspanya'daki otomotiv sektörü	Regresyon analizi ve anket verisi analizi	Öğrenme yetenekleri Eİ performansını artırır, stratejik yönetim süreçlerinde bu yetenekler kullanılır.	İspanya
Pham vd. [21]	2019	Eİ yeteneklerini incelemek	Bilgi-temelli şirketler	Sistematis literatür taraması	Teknolojik ve öğrenme yeteneklerinin Eİ kapasitelerini şekillendirdiği bulunmuştur.	Çeşitli ülkeler
Salim vd. [5]	2019	Eİ performansını artırmaya yönelik iç yetenekleri incelemek	İmalat sektöründeki firmalar	Literatür taraması	Dinamik yetenekler ve entegrasyon Eİ süreçlerinde kritik rol oynar.	Çeşitli ülkeler
Qu vd. [22]	2022	Örgütsel kültürün Eİ üzerindeki etkisini incelemek	Çin'in turizm sektörü	Yapısal modelleme ve anket analizi	Yeşil örgütsel kültür Eİ performansında kritik rol oynar. Yeşil emilim kapasitesi önemli bir araçtır.	Çin
El-Kassar ve Singh [23]	2019	Büyük veri kullanımı ve Eİ performansı arasındaki ilişkiyi incelemek	Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesi	Yapısal eşitlik modellemesi	Büyük veri kullanımı Eİ'yi güçlendirir ve çevresel performansı artırır.	MENA
Passaro vd. [24]	2023	KOBİ'lerde Eİ'nin sürükleyici faktörlerini incelemek	KOBİ'ler	Literatür taraması ve anket analizi	Teknolojik yenilik, pazarlama yeteneği ve firma spesifik faktörler Eİ'yi etkiler.	Çeşitli ülkeler
Rodríguez-Rebés vd. [4]	2024	KOBİ'lerde Eİ'nin sürükleyicilerini incelemek	Avrupa'daki KOBİ'ler	Regresyon analizi	Örgütsel yönetim yetenekleri Eİ'de merkezi rol oynar. Liderlik ve karar alma mekanizmaları Eİ'yi tetikler.	Avrupa
Srisathan vd. [25]	2023	Açık inovasyon programlarının Eİ yeteneklerine etkisini incelemek	Tayland'daki 495 KOBİ	Probit regresyon analizi	Yeşil iş birliği, Eİ üzerinde pozitif etki gösterir. Belirsiz içsel inovasyon programlarına sahip KOBİ'ler Eİ yeteneklerini geliştirememektedir.	Tayland
Bittencourt vd. [26]	2018	Kümelenmiş firmaların inovasyon kapasitelerini incelemek	Brezilya'daki kümelenmiş firmalar	Sistematis literatür taraması ve vaka analizi	Kümeler arası iş birliği, inovasyon yeteneklerini artırır ve Eİ'nin geliştirilmesinde kritik rol oynar.	Brezilya
Vasconcelos-Garcia ve Carrilho-Nunes [27]	2024	Uluslararasılaşma ve dijitalleşmenin Eİ üzerindeki etkilerini incelemek	AB ülkeleri	Panel veri analizi	Dijitalleşme Eİ'yi sürekli olarak destekler, düşük karbon uygulamalarına geçişi hızlandırır.	AB Ülkeleri
Pichlak [28]	2021	Dinamik yeteneklerin ve liderlik tarzlarının Eİ üzerindeki etkilerini incelemek	Polonya'daki 54 yenilikçi firma	Regresyon analizi	Dönüşümcü liderlik, dinamik yetenekleri güçlendirerek Eİ'yi artırır.	Polonya
Özgül [29]	2023	Yeşil dönüşümcü liderliğin yeşil süreç inovasyonuna etkisini incelemek	Türkiye'deki 403 KOBİ	Anket verisi analizi	Yeşil dönüşümcü liderlik, yeşil süreç inovasyonunu artırır, yeşil temel yetenekler bu etkiye aracılık eder.	Türkiye

Klasik DEMATEL yöntemi kriterlerin karşılıklı olarak birbirleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi verisine dayanmaktadır. Bu süreçte her bir karar verici bir kriterin diğer kriterler üzerindeki etkisini 0 ile 4 arasında değer alan bir skalaya göre ifade etmektedir [31, 32]. Böylelikle K adet kriterin olduğu bir sistemi analiz etmek için her bir karar vericinin $K * (K - 1)$ adet değerlendirme yapması gerekmektedir. Bu nedenle, örneğin 5 kriterli bir çalışmada değerlendirme sayısı 20 iken, 8 kriterli bir çalışmada 56, 10 kriterli bir çalışmada 90 ve 12 kriterli bir çalışmada ise 132 olmaktadır.

Dolayısıyla bu çalışmada olduğu gibi yüksek faktör sayısına sahip araştırmalarda, DEMATEL yönteminin uygulanmasında bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır. Öncelikle bu yoğun değerlendirme süreci karar vericilerin çalışmaya katılım konusunda çekimser davranmasına yol açmaktadır. Ayrıca karar vericilerin üzerinde oluşan bu yük, onların sağlıklı ve dikkatli bir değerlendirme yapma yetilerini olumsuz etkileyebilmekte böylece nihai sonuçların güvenilirliğini zayıflatılabilmektedir. Bu nedenle, çok sayıda faktörün söz konusu olduğu çalışmalarda, DEMATEL yönteminin

uygulanabilirliğini ve verimliliğini sağlamak adına yenilikçi bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma bu problemleri ortadan kaldırmak ve imalat firmalarının EİY'lerini etkileyen faktörler arasındaki karmaşık nedensellik ilişkilerinin ve etkileşimlerin sağlıklı ve güvenilir bir şekilde araştırılmasını sağlamak amacıyla regresyon analizi ve DEMATEL yönteminin entegre bir şekilde kullanıldığı yeni bir yaklaşım önermektedir. Genel çerçevesi Şekil 1'de sunulan bu yaklaşım, hazırlık ve veri toplama, regresyon analizi, DEMATEL ve sonuçların değerlendirilmesi olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır.

Metodolojinin ilk aşaması, öncelikle kapsamlı ve sistematik bir literatür taramasını içermektedir. Bu aşamada literatür taraması ile elde edilen veriler ve Türkiye'de faaliyet gösteren imalat firmalarından tecrübeli uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda imalat firmalarının EİY'lerini etkileyen faktörler kararlaştırılmıştır. Tablo 2'de, belirlenen 12 faktör kısa açıklamaları ve bu faktörlerin belirlenmesinde yararlanılan referanslarla birlikte sunulmaktadır [33]. Faktörlerden ikisi, eko-üretim yeteneği ve organizasyonel yenilik yeteneği, tamamen uzman görüşlerine dayanılarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın genel metodoloji çerçevesi (General methodology framework of the study)

Tablo 2. Eko-inovasyon yeteneğini etkileyen faktörler (Factors affecting eco-innovation capability)

Faktör	Kısaltma	Kısa açıklama	Referanslar
Teknolojik yenilik yeteneği	TYT	Firmaların mevcut teknolojileri geliştirerek veya yenilikçi teknolojiler üretmek pazar avantajı elde etme yetisidir.	[12], [16], [28]
Teknolojik yetenek	TY	Firmanın mevcut teknolojik donanım ve bilgi birikimini kullanma kapasitesidir.	[13], [20], [21]
Proses/Üretim yeteneği	PÜY	Firmanın üretim süreçlerini optimize etme ve maliyetleri düşürme yeteneğidir.	[2], [5]
ARGE yeteneği	AGY	Yeni ürünler veya süreçler geliştirmek için araştırma ve geliştirme (ARGE) çalışmalarını yürütme kapasitesidir.	[16], [34]
Kaynak paylaşım yeteneği	KPY	Firmanın sahip olduğu kaynakları (bilgi, teknoloji, vb.) etkin bir şekilde paylaşma ve kullanma kapasitesidir.	[2], [35]
Örgütsel yönetim yeteneği	ÖYÖY	Firmanın iç yapısını ve süreçlerini etkin bir şekilde yönetme kabiliyetidir.	[4], [17], [18], [20]
Pazarlama yeteneği	PAZY	Pazar ihtiyaçlarını anlama, uygun stratejiler geliştirme ve müşteri ilişkilerini yönetme yetisidir.	[3], [14]
Öğrenme yeteneği	ÖY	Firmanın geçmiş deneyimlerden ders çıkarma ve yeni bilgileri hızla entegre etme kapasitesidir.	[21], [36]
Stratejik yönetim yeteneği	STRY	Firmanın uzun vadeli hedefler belirleyip bu hedeflere ulaşmak için stratejiler geliştirme kabiliyetidir.	[1], [5], [14]
Eko-tasarım yeteneği	ETY	Çevresel etkileri en aza indiren ürünler tasarlama kapasitesidir.	[12], [17]
Eko-üretim yeteneği	EÜY	Çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutarak üretim süreçlerini optimize etme kabiliyetidir.	Uzman görüşleri ile belirlenmiştir.
Organizasyonel yenilik yeteneği	OYY	Firmanın iç süreçlerini, yapısını veya kültürünü yenilikçi bir şekilde değiştirme kapasitesidir.	Uzman görüşleri ile belirlenmiştir.

Daha sonra veri toplama süreci için bir anket tasarlanmıştır. İki kısımdan oluşan bu anketin ilk kısmında çalışmanın amaçları ve kapsamı belirtilerek katılımcıların bilgilendirilmesi sağlanmıştır. İkinci kısım ise EİY'yi etkileyen içsel faktörlerin değerlendirilmesini içermektedir. Bu ankette katılımcılardan faktörlerin birbirleri üzerindeki etki seviyelerini ikili olarak değerlendirmek yerine, her bir faktörün imalat firmalarının EİY'leri üzerindeki etkilerini puanlandırmaları istenmiştir. Böylelikle 12 faktörlü bu çalışma için her bir katılımcı 132 adet değerlendirme yapmak yerine yalnızca 12 değerlendirme yapmıştır. Değerlendirme sayısının ve dolayısıyla anket cevaplama süresinin az olması birçok farklı sektörden yüksek sayıda katılımcının anketi cevaplandırmasını sağlamış ve daha sağlıklı, güvenilir bilgilerin elde edilmesine olanak tanımıştır. Anketin ikinci kısmında puanlandırma için 7'li likert ölçeği tercih edilmiştir. Bu ölçeğe 1, ilgili faktörün EİY üzerinde kesinlikle etkisi olmadığını, 7 ise güçlü bir etkisi olduğunu ifade etmektedir (Tablo 3).

Anket, hedef kitlesi olarak imalat sektöründe faaliyet gösteren imalat firmalarının Eİ stratejilerinin belirlenmesi ve uygulanmasında önemli rol oynayan firma yöneticileri ve üst düzey karar vericilerine, Ar-Ge ve inovasyon departmanı çalışanlarına, üretim ve operasyon yöneticilerine uygulanmıştır. Ayrıca Eİ, sürdürülebilirlik, çevre yönetimi gibi konularda uzmanlaşmış, sektörde danışmanlık hizmeti veren veya bu konuda araştırmalar yapan endüstri uzmanları, akademisyenler ve danışmanlar da çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmanın ana kütlesini Kocaeli Sanayi Odası'na üye olan imalat firmaları oluşturmaktadır. Anket formu çevrim içi ortamda oluşturularak e-posta yoluyla, telefon ile ve yüz yüze görüşmeler ile ilgili imalat firmalarına ulaştırılmıştır. 500'ün üzerinde firmaya gönderilen ankete gelen dönüşlerden tamamlanmamış ve boş olanlar çıkarıldığında toplamda 343 kullanılabılır anket verisine ulaşılmıştır. Veri toplama süreci 01 Haziran 2023 ile 01 Ocak 2024 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Kocaeli sanayi odasına üye 3585 firma bulunmaktadır. Örneklem büyüklüğünün doğru belirlenmesi araştırma sonuçlarının güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Sonsuz evren varsayımı altında %95 güven düzeyi ve %5 hata payı ile gerekli örneklem büyüklüğü 384 olarak hesaplanmaktadır [37; 38]. Ancak, 3585 firmadan oluşan bu çalışmanın evreni için sonlu evren düzeltmesi uygulandığında, örneklem büyüklüğü 347 olarak elde edilmektedir [38, 39]. Toplanan 343 anket, düzeltilmiş örneklem büyüklüğünü %98.83 oranında karşılamaktadır. Bu sonuç, çalışmadan elde edilen bulguların, hedef evrenin genel eğilimlerini ve özelliklerini yüksek bir doğrulukla temsil edebildiğini göstermektedir. Veri setinin örnek bir bölümü Tablo 4'te sunulmaktadır.

Önerilen metodolojinin ikinci aşamasında anket ile toplanan veriler kullanılarak regresyon analizi ile faktörlerin birbirlerini etkileme

dereceleri araştırılmaktadır. Bu aşamada her bir faktör ikililerinden biri bağımsız diğeri bağımlı değişken olarak kabul edilerek regresyon bağıntısı tahminlenmektedir. Böylelikle regresyon bağıntısındaki beta katsayısına dayalı olarak bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisi saptanmaktadır. Bu aşamada ayrıca tahminlenen modelin ve beta katsayıların istatistiksel anlamlılıkları sırasıyla F ve t testi ile analiz edilmektedir. Bütün faktör ikilileri için regresyon bağıntısı elde edildikten ve anlamlılıkları sınılandıktan sonra beta katsayıları ile direk ilişki matrisi oluşturulmaktadır. Daha sonra bu matris üçüncü aşamada DEMATEL metodunun girdisi olarak kullanılıp faktörler arasındaki nedensellik ilişkileri araştırılmaktadır. Takip eden bölümlerde regresyon analizi ve DEMATEL yöntemi hakkında ayrıntılı bilgiler verilerek önerilen yaklaşımın detaylandırılması sağlanacaktır.

3.1. Regresyon Analizi (Regression Analysis)

Regresyon analizi, bir veya daha fazla bağımsız değişkenin (açıklayıcı değişken) bağımlı bir değişken (sonuç değişkeni) üzerindeki etkisini araştırmak ve modellemek için kullanılan temel bir istatistiksel analiz yöntemidir [40]. Temel amacı, bağımsız değişken ya da değişkenlerin bağımlı değişkeni nasıl etkilediğini yani etkinin yönünü ve şiddetini araştırmak ve bu ilişkiyi sayısal olarak ifade etmektir [41]. Regresyon analizi, göz önünde bulundurulmuş bağımsız değişken sayısına göre basit ve çoklu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Basit regresyon analizinde tek bir bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişki incelenirken, çoklu regresyon analizinde birden fazla bağımsız değişkenin etkisi dikkate alınmaktadır [42]. Diğer taraftan bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin tipine göre regresyon bağıntıları doğrusal ve doğrusal olmayan şeklinde ikiye ayrılmaktadır [43]. Regresyon analizi, neden-sonuç ilişkilerinin araştırılmasının yanında bağımlı değişkenin, bağımsız değişken kullanılarak tahminlenmesi amacıyla da yaygın olarak kullanılmaktadır [44, 45]. Literatürde bu analiz tekniğinin ekonomi ve finans, sosyal bilimler, tıp ve biyoloji, mühendislik, üretim ve kalite kontrol gibi birçok farklı disiplinde geniş bir uygulama alanı bulduğu görülmektedir [46-48]. Bu çalışmada ise imalat firmalarının EİY'lerini etkileyen faktörlerin birbirlerine olan etkilerini araştırmak amacıyla basit doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır.

Basit doğrusal regresyon analizinde bağımlı değişken (Y) ve bağımsız değişken (X) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edecek doğru denkleminin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğru denkleminin genel hali aşağıda verilen Eş. 1 ile ifade edilmektedir [49].

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon = \hat{Y} + \varepsilon \quad (1)$$

Tablo 3. Değerlendirme skalası (Rating scale)

İfade	İlgili faktörün EİY üzerindeki etkisini nasıl değerlendiriyorsunuz?						
	Etkisi yoktur	Zayıf bir etkisi vardır	Biraz etkisi vardır	Orta derecede etkisi vardır	Oldukça etkisi vardır	Etkisi vardır	Güçlü bir etkisi vardır
Likert değeri	1	2	3	4	5	6	7

Tablo 4. Veri setinin örnek bir bölümü (A sample section of the dataset)

Katılımcı (K)	TYT	TY	PÜY	AGY	KPY	ÖYÖY	PAZY	ÖY	STRY	ETY	EÜY	OYY
K 1	5	4	5	6	6	4	6	6	5	4	4	4
K 2	4	3	5	5	6	5	4	6	4	3	3	4
K 3	5	5	5	5	7	5	6	5	5	4	5	5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
K 343	6	6	7	6	6	6	6	7	7	5	7	5

Burada β_0 model sabitini (kesişim değerini), β_1 ise regresyon doğrusunun eğimini ifade etmektedir. β_1 aynı zamanda bağımsız değişkenin bir birim artışı durumunda, bağımlı değişkenin ortalama olarak ne kadar değişeceğini bir göstergesidir. Başka bir deyişle, β_1 , bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü temsil etmektedir [44, 50]. Bu nedenle bu çalışmada EİY'i etkileyen iki faktörden birinin diğeri üzerindeki etkisini belirlemek için regresyon eşitliğindeki β_1 değeri kullanılmıştır. Modeldeki ε ise hata terimidir. Bu terim gözlemlenen (gerçek) bağımlı değişken değeri (Y) ve model ile tahminlenen bağımlı değişken değeri ($\hat{Y}$) değeri arasındaki farkı ifade etmektedir [51].

Eş. 1'de verilen regresyon modelinin parametreleri β_0 ve β_1 mümkün olan en hatasız modeli elde etmek için genellikle En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) kullanılarak hesaplanmaktadır. EKKY, modelin bütün gözlem değerleri için yaptığı hataların (ε_i) kareli toplamının en küçüklenmesi prensibine dayanmaktadır. N veri sayısını ifade etmek üzere H ile temsil edilen hata kareleri toplamı Eş. 2'de verilmektedir.

$$\min H = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_i))^2 \quad (2)$$

Hataların kareli toplamını en küçüklemek için Eş. 2'de verilen hata fonksiyonunun sırasıyla β_0 ve β_1 değişkenlerine göre türevi alınarak sıfıra eşitlenmektedir. Daha sonra bu denklem sisteminin çözümü ile sırasıyla β_0 ve β_1 katsayılarının hesaplanması için Eş. 3-4'e ulaşılmaktadır [47].

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X} \quad (3)$$

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (4)$$

Bu katsayılar kullanılarak bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde ifade eden bağıntı elde edilmektedir. Ancak bu ilişkinin istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadığının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada F testi, modelin genel geçerliliğini değerlendirmek ve bağımsız değişkenin, bağımlı değişkeni açıklamakta anlamlı bir etkisi olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır [50]. F test değeri modelin açıklanan varyansı ile açıklanmayan varyans arasındaki oranı göstermekte ve Eş. 5 kullanılarak hesaplanmaktadır [47].

$$F = \frac{RKO}{HKO} = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 / k}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (N - k - 1)} \quad (5)$$

Burada k bağımsız değişken sayısını (basit regresyon için 1), RKO regresyon kareler ortalamasını, HKO hata kareler ortalamasını ifade etmektedir. Elde edilen F değeri, serbestlik dereceleri ve belirlenen bir anlamlılık seviyesi (α) dikkate alınarak bulunan F_{tablo} değeri ile kıyaslanır. Eğer $F > F_{tablo}$ ise aşağıda verilen iki hipotezden alternatif hipotez kabul edilerek ilişkinin anlamlı olduğuna karar verilir.

- H_0 (Boş hipotez): Regresyon modeli anlamlı değildir ($\forall \beta_i = 0, i = \{0,1\}$)
- H_1 (Alternatif hipotez): Regresyon modeli anlamlıdır ($\exists \beta_i \neq 0, i = \{0,1\}$)

Regresyon modelindeki her bir katsayının istatistiksel anlamlılığını sınamak için ise t testi kullanılmaktadır. t test değeri aşağıda verilen Eş. 6-7 kullanılarak hesaplanmaktadır [47].

$$t = \frac{\beta_1}{SH_{\beta_1}} \quad (6)$$

$$SH_{\beta_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(N-2) \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}} \quad (7)$$

Elde edilen t değeri, serbestlik dereceleri ve belirlenen bir anlamlılık seviyesi (α) dikkate alınarak bulunan t_{tablo} değeri ile kıyaslanır. Eğer $t > t_{tablo}$ ise aşağıda verilen iki hipotezden alternatif hipotez kabul edilerek katsayının istatistiksel olarak anlamlı olduğuna karar verilir [44, 50].

- H_0 (Boş hipotez): Bağımsız değişkenin katsayısı sıfıra eşittir, yani bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur ($\beta_1 = 0$)
- H_1 (Alternatif hipotez): Bağımsız değişkenin katsayısı sıfırdan farklıdır, yani bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi vardır ($\beta_1 \neq 0$)

Regresyon analizinde belirlilik katsayısı (R^2) model geçerliliğini değerlendirme için kullanılan önemli ölçütlerden bir tanesidir. Bu metrik Eş. 8 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$R^2 = 1 - \frac{HKT}{TKT} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \right) \quad (8)$$

Burada HKT hataların kareli toplamını, TKT toplam kareler toplamını ifade etmektedir. R^2 bağımsız değişken(ler)in bağımlı değişkenin varyansını ne kadar açıkladığını gösteren bir istatistiksel ölçüttür ve 0-1 arasında değerler almaktadır [52].

3.2. DEMATEL Yöntemi (DEMATEL Method)

DEMATEL (ing: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi, karmaşık karar verme problemlerinde birbiriyle ilişkili kriterler arasındaki ilişkilerin çözülmesinde ve modellenmesinde yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir [53]. Özellikle kriterler arasındaki nedensellik (sebe-sonuç) ilişkilerini belirlemek ve bu ilişkilerin önem derecelerini ortaya koymak amacıyla geliştirilmiş bir tekniktir. DEMATEL metodu kriterler arasındaki karşılıklı etkileşimleri sayısallaştırarak ve görselleştirerek sistemin bütüncül bir yapıda incelenebilmesine olanak sağlar [54]. Sağladığı bu pratik avantajları nedeniyle eğitim, tedarik zinciri yönetimi, sürdürülebilirlik ve çevresel yönetim, sağlık, enerji yönetimi, turizm ve otelcilik gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir [31].

Bu yaklaşım karar vericilerden alınan bilgiler doğrultusunda kriterleri birbirleri üzerindeki etkilerine göre etkileyen (gönderici) grup ve etkilenen (alıcı) grup olmak üzere iki temel gruba ayırmaktadır. Ayrıca kriterlerin sistem içerisindeki toplam etki gücünü hesaplayarak karar vericilere ve uygulayıcılara pratik ve kullanışlı bilgiler sağlar. Bu çalışmada DEMATEL yöntemi, regresyon analiziyle birlikte imalat firmalarının EİY'lerini etkileyen 12 adet içsel faktörün (Tablo 2) birbirleri ile olan ilişkilerinin irdelenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Böylelikle hangi içsel faktörlere öncelikli olarak odaklanılması gerektiği ile ilgili imalat firmaları için stratejik öneme sahip çıkarımlara ulaşılması hedeflenmektedir. DEMATEL yönteminin pratik uygulama adımları aşağıda verilmektedir [32, 54].

Adım 1. Faktörlerin belirlenmesi ve direk ilişki matrisinin oluşturulması: Klasik DEMATEL yönteminde ilk olarak süreç üzerinde etkili faktörler (kriterler) belirlenir ve belirli sayıda uzmandan bu faktörlerin ikili olarak birbirleri üzerindeki etkilerini değerlendirmeleri istenir. Bu değerlendirme için genellikle 0-4 (0: etkisi yok, 4: çok yüksek etkisi var) arasında tamsayı değerleri alan bir skala kullanılır [30]. Böylece K adet faktör ve P adet karar verici içeren bir çalışmada her bir p karar vericisi için $D^p = [D_{ij}^p]_{K \times K}$, $p = 1, 2, \dots, P, i, j = 1, 2, \dots, K$ karar matrisi elde edilir. Daha sonra farklı

uzmanlardan elde edilen görüşler aşağıda verilen Eş. 9 kullanılarak aritmetik ortalama ile bir araya getirilir ve böylece direk ilişki matrisi (D) oluşturulur.

$$D = \frac{1}{p} \sum_{p=1}^p [D_{ij}^p], \quad i, j = 1, 2, \dots, K \quad (9)$$

Ancak daha önce de bahsedildiği gibi klasik DEMATEL yönteminin bu veri toplama süreci faktör sayısı arttıkça pratikte uygulanması oldukça zor bir hal almaktadır. Örneğin 5 faktörlü bir çalışmada bir karar vericinin yapacağı toplam değerlendirme sayısı 20 iken, faktör sayısı bu çalışmada olduğu gibi 12'ye yükseldiğinde toplam değerlendirme sayısı 132 olmaktadır.

Faktör sayısının neredeyse karesiyle doğru orantılı olarak artan bu değerlendirme yükü doğal olarak karar vericilerin (katılımcıların) sağlıklı değerlendirme yapma yetilerini olumsuz etkilemekte ve nihai olarak sonuçların güvenilirliğini düşürmektedir. Ayrıca bu yük, katılımcıların değerlendirme sürecine dahil olma konusunda çekimser davranmasına ve böylece katılımcı sayısının düşük kalmasına neden olabilmektedir. Az sayıda değerlendireciden alınan veriler de sonuçların daha fazla yanlışlık taşıması ihtimalini oldukça artırmaktadır. Belirtilen nedenlerle bu çalışmada DEMATEL yaklaşımında kullanılmak üzere direk ilişki matrisi Eş. 10'da gösterildiği gibi regresyon analizi ile elde edilen bağımsız değişken katsayılarıyla oluşturulmuştur.

$$D = [\beta_{1ij}]_{K \times K}, \quad i, j = 1, 2, \dots, K \quad (10)$$

Burada β_{1ij} j faktörü (bağımlı değişken) ile i faktörü (bağımsız değişken) arasında oluşturulan basit doğrusal regresyonun β_1 katsayısını temsil etmektedir. Bir önceki bölümde açıklandığı üzere bu katsayı bağımsız faktörün (i faktörü) bağımlı faktör (j faktörü) üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Her bir faktör çifti için oluşturulan regresyon modellerinin ve katsayıların istatistiksel anlamlılığı ve geçerliliği sırasıyla F ve t testi ile sınındığı için bu değerlerle oluşturulan direk ilişki matrisinin DEMATEL yönteminde kullanılmasıyla elde edilen bulguların güvenilir ve geçerli olacağı açıktır [44].

Adım 2. Direk ilişki matrisinin normalize edilmesi: Bu aşamada direk ilişki matrisi (D), aşağıda verilen Eş. 11-12 kullanılarak normalize edilmekte ve normalize direk ilişki matrisi (T) elde edilmektedir.

$$T = [t_{ij}]_{K \times K} = \frac{D}{m} \quad (11)$$

$$m = \max \left(\max_{1 \leq i \leq K} \sum_{j=1}^K \beta_{1ij}, \max_{1 \leq j \leq K} \sum_{i=1}^K \beta_{1ij} \right) \quad (12)$$

Adım 3. Toplam ilişki matrisinin hesaplanması: Direk ilişki matrisi ve birim matris (I) kullanılarak toplam ilişki matrisi (F) aşağıda verilen Eş. 13 ile hesaplanmaktadır.

$$F = [f_{ij}]_{K \times K} = (T + T^2 + T^3 + \dots + T^h) = T(I - T)^{-1} \quad (13)$$

Adım 4. Etki-ilişki diyagramının oluşturulması: Bu aşamada öncelikle Eş. 14-15 kullanılarak sırasıyla satır ve sütun toplamlarını ifade eden R ve C vektörleri hesaplanır.

$$R = [r_i]_{K \times 1} = [\sum_{j=1}^K f_{ij}]_{K \times 1} \quad (14)$$

$$C = [c_i]_{1 \times K} = [\sum_{j=1}^K f_{ji}]_{1 \times K} \quad (15)$$

Bunlardan R vektörünün elemanı r_i , i. faktörün diğer bütün faktörler üzerindeki toplam etkisini ifade ederken, C vektörünün elemanı c_i , i. faktörün diğer bütün faktörler tarafından toplamda ne kadar

etkilendiğini ifade etmektedir. Etki-ilişki diyagramının çizilmesi için öncelikle R+C ve R-C vektörleri hesaplanmaktadır. R+C vektörünün elemanlarından her biri ilgili faktörün diğer faktörleri etkileme ve onlardan etkilenme miktarlarının toplamını yani sistem içerisindeki önemini ifade etmektedir. R-C vektörünün elemanları ise ilgili faktörün sistem içerisindeki etki durumunu göstermektedir. R-C değeri pozitif olan faktörler etkileyen (gönderici) grupta, negatif olan faktörler ise etkilenen (alıcı) grupta sınıflanmaktadır. Daha sonra R+C değerleri x ekseninde, R-C değerleri y ekseninde olacak şekilde etki-ilişki diyagramı çizilerek faktörlerin sistem içerisindeki nedensellik ilişkileri görselleştirilmektedir [30]. Etki ilişki diyagramında bütün faktörlerin birbirlerine olan etkilerini göstermek çok karmaşık ve değerli bilgilerin gözden kaçmasına sebep olacağından genellikle belirli bir eşik değeri belirlenerek sadece bunun üzerindeki ilişkiler gösterilmektedir. Bu eşik değeri (th) çoğunlukla Eş. 16'de gösterildiği gibi direk ilişki matrisindeki bütün değerlerin ortalaması alınarak belirlenmektedir. Ancak bazı durumlarda uzmanlarla tartışarak farklı bir eşik değeri belirlenmesi de literatürde yaygındır [55].

$$th = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K f_{ij}}{K^2} \quad (16)$$

Adım 5. Faktör ağırlıklarının hesaplanması: Son aşamada her bir faktörün ağırlığı bir önceki aşamada elde edilen r_i ve c_i değerlerine dayalı olarak Eş. 17 ile hesaplanmaktadır.

$$w_i = \frac{\sqrt{(r_i + c_i)^2 + (r_i - c_i)^2}}{\sum_{i=1}^K (\sqrt{(r_i + c_i)^2 + (r_i - c_i)^2})} \quad (17)$$

Kuadrant analizi, DEMATEL yönteminin bir adımı olmamakla birlikte genellikle faktörlerin daha detaylı analizi için DEMATEL'e ek olarak kullanılmaktadır. Bu analiz tekniği faktörleri dikey eksen (R-C), yatay eksen (R+C) değerleri olacak şekilde bir düzleme yerleştirir ve bu düzlemi dikey eksen 0 noktasından, yatay eksen ise (R+C) değerlerinin ortalamasından bölerek faktörleri 4 gruba ayırır. I. kuadrant, yüksek öneme ve gönderici etkiye sahip çekirdek faktörler olarak tanımlanan faktörleri içerir. II. kuadrant, düşük öneme ve gönderici etkiye sahip faktörleri içerir, bu faktörler otonom gönderici faktörler olarak tanımlanır. III. kuadranttaki faktörler düşük öneme ve alıcı statüsüne sahiptir. Bu faktörler otonom alıcı faktörler olarak adlandırılır. IV. kuadrant faktörler yüksek öneme ve alıcı statüsüne sahiptir. Bu faktörler yoğun etkilenen faktörler olarak adlandırılır [32, 55].

4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Çalışma kapsamında öncelikle kapsamlı literatür taraması ve uzman görüşleri ile EİY'yi etkileyen 12 adet içsel faktör (Tablo 2) belirlenmiş ve bunlar arasındaki karmaşık nedensellik ilişkilerinin araştırılması amacıyla bir anket çalışması yapılmıştır. Anketin hedef kitlesi olarak Eİ ile ilgili stratejik kararlar verme ve uygulama süreçlerinde yer alan üst ve orta düzey yöneticiler, Ar-Ge departmanlarında görevli mühendis ve karar vericiler belirlenmiştir. Ayrıca Eİ, sürdürülebilirlik ve çevre yönetimi konularında uzmanlaşmış ve bu konularda araştırmalar yapan akademisyenler ve danışmanlara da çalışmaya dahil edilmiştir. Sonuçların güvenilirliğini ve genellenebilirliğini artırmak adına olabildiğince fazla sayıda katılımcıya ulaşılmaya çalışılmıştır. Çevrim içi ortamda hazırlanarak e-posta, telefon ve yüz yüze görüşmeler ile Kocaeli Sanayi Odasına kayıtlı imalat firmalarına ulaştırılan ankete toplamda 343 kullanılabilir yanıt gelmiştir. Çalışmada önerilen yenilikçi uzman görüşü toplama ve birleştirme yaklaşımı sayesinde her bir katılımcının 132 değerlendirme yapmak yerine 12 değerlendirme yapmasını yeterli olması ankete katılım sayısının artmasını sağlamıştır. Örnek olarak bir kısmı Tablo 4'te verilen anket ile toplanan verinin faktörler bazında tanımlayıcı istatistikleri Tablo 5'te sunulmaktadır.

Veriler elde edildikten sonra basit doğrusal regresyon analizi ile faktörlerin birbirleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla faktörlerden biri bağımsız, diğerleri sırasıyla bağımlı değişkenler olarak kabul edilerek verileri en iyi temsil edecek regresyon eşitlikleri ayrı ayrı elde edilmiştir. Örneğin “teknolojik yenilik yeteneği” faktörünün bağımsız, “proses/üretim yeteneği” faktörünün bağımlı değişken olarak kabul edilerek EKKY ile elde edilen regresyon denklemi Eş. 18’de verilmektedir. Aynı şekilde “teknolojik yenilik yeteneği” faktörünün bağımsız, “Ar-Ge yeteneği” faktörünün ise bağımlı değişken olarak kabul edilerek oluşturulan regresyon denklemi Eş. 19’de verilmektedir.

$$PÜY = 1,66 + 0,67 TYY + \varepsilon \quad (18)$$

$$AGY = 2,32 + 0,56 TYY + \varepsilon \quad (19)$$

Bu eşikliklerdeki β_1 katsayıları 0,67 ve 0,56 daha önce anlatıldığı gibi sırasıyla TYY faktörünün Eİ açısından PÜY ve AGY faktörleri üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Daha sonra tahminlenen her bir regresyon eşitliğinin istatistiksel anlamlılığı F testi, beta katsayılarının anlamlılığı ise t testi ile sınanmıştır. Bu çalışmada ele alınan bütün faktör ikililerinin her biri için oluşturulan regresyon modellerine ilişkin düzeltilmiş R^2 , beta katsayıları (β_1), istatistiksel anlamlılık testleri için F ve t değerleri ile önem (sig.) değerleri EK A’da Tablo A1-A12’de verilmektedir. Tablolardaki değerler incelendiğinde, p-değeri olarak da ifade edilen önem değerlerinin tamamının 0,01’den küçük olduğu görülmektedir. Bu durum, %99 güven düzeyinde dahi değerlendirildiğinde tüm regresyon modellerinin ve beta katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bu bulgu, faktörlerin birbirleri üzerindeki

etkilerinin anlamlı ve güvenilir bir şekilde beta katsayıları aracılığıyla temsil edilebildiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, beta katsayıları kullanılarak oluşturulan direk ilişki matrisi Tablo 6’da sunulmuştur.

Direk ilişki matrisi öncelikle DEMATEL yönteminin ikinci adımında yer alan Eş. 11-12 kullanılarak normalize edilmiştir. Bu aşamada m değeri 7,26 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra normalize direk ilişki matrisi ve birim matris kullanılarak Eş. 13 ile toplam ilişki matrisi Tablo 7’de verildiği şekilde elde edilmiştir.

Tabloda koyu ve italik olarak gösterilen değerler Eş. 16 kullanılarak belirlenen 0,42 eşik değeri üzerindeki etkileri ifade etmektedir. Ayrıca Tablo 7’de Eş. 14-15 kullanılarak hesaplanan D ve R değerleri de gösterilmektedir. Satır ve sütun toplamlarını ifade eden bu değerler sırasıyla her bir faktörün diğer faktörleri toplam etkileme miktarını ve onlardan toplam etkilene miktarını temsil etmektedir. Bu değerler kullanılarak DEMATEL yönteminin dördüncü adımında anlatıldığı gibi her bir kriter için $D+R$ ve $D-R$ değerleri Tablo 8’de verildiği şekilde hesaplanmıştır. Ayrıca Tabloda her bir faktörün $D-R$ değerine göre sistem içerisindeki etki durumu ve Eş. 17 kullanılarak hesaplanan ağırlık değeri de sunulmaktadır.

Tablodaki ağırlık değerleri incelendiğinde sistem içerisinde ağırlığı en yüksek faktörün proses/üretim yeteneği olduğu ve bunu sırasıyla örgütsel yönetim yeteneği, stratejik yönetim yeteneği ve Ar-Ge yeteneğinin izlediği anlaşılmaktadır. Ağırlığı en düşük faktörün ise pazarlama yeteneği olarak elde edildiği görülmektedir. Şirketlerin EİY’lerini etkileyen içsel faktörler arasındaki nedensellik ilişkilerin görselleştirilmesi ve irdelenebilmesi amacıyla Tablo 8’de verilen $D+R$ ve $D-R$ değerleri kullanılarak oluşturulan etki-ilişki diyagramı

Tablo 5. Veriye ait tanımlayıcı istatistikler (Descriptive statistics of the data)

Faktörler	Veri sayısı	Ortalama	Standart sapma	Minimum	25%	50%	75%	Maksimum
TYT	343	5,178	0,965	1	5	5	6	7
TY	343	5,096	1,089	1	4	5	6	7
PÜY	343	5,137	0,995	2	5	5	6	7
AGY	343	5,242	0,969	2	5	5	6	7
KPY	343	5,577	1,017	2	5	6	6	7
ÖYÖY	343	5,076	0,991	1	5	5	6	7
PAZY	343	5,528	1,134	1	5	6	6	7
ÖY	343	5,163	0,990	2	5	5	6	7
STRY	343	5,102	0,917	2	5	5	6	7
ETY	343	4,828	1,229	1	4	5	6	7
EÜY	343	4,988	1,266	1	4	5	6	7
OYY	343	5,050	1,079	1	4	5	6	7

Tablo 6. Beta katsayıları ile oluşturulan başlangıç direk ilişki matrisi (Initial direct relation matrix created with beta coefficients)

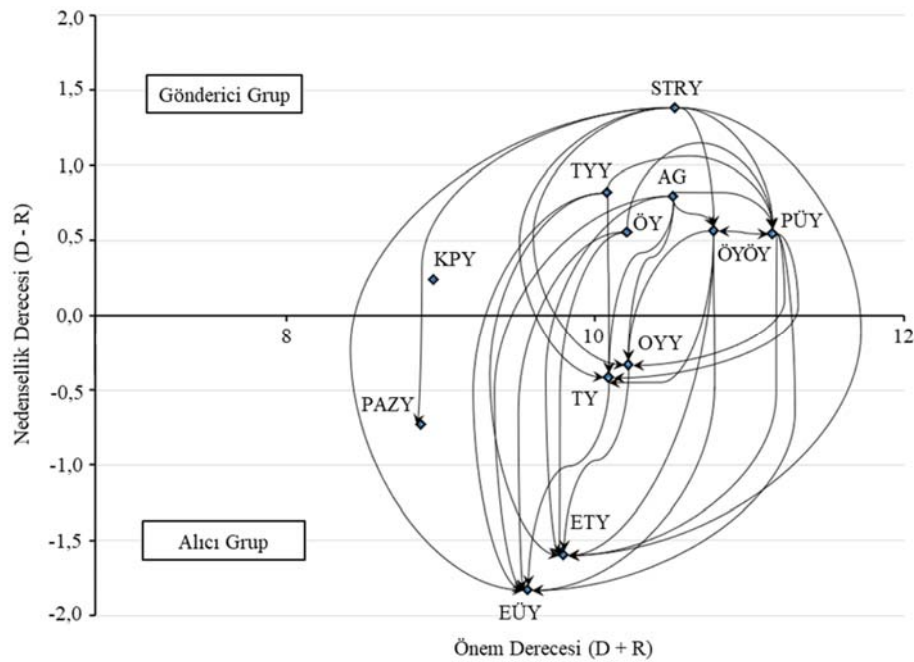
	TYT	TY	PÜY	AGY	KPY	ÖYÖY	PAZY	ÖY	STRY	ETY	EÜY	OYY
TYT	0,00	0,73	0,67	0,56	0,50	0,59	0,52	0,58	0,53	0,62	0,72	0,61
TY	0,57	0,00	0,57	0,51	0,44	0,49	0,47	0,43	0,43	0,62	0,80	0,53
PÜY	0,63	0,68	0,00	0,66	0,55	0,65	0,61	0,63	0,63	0,74	0,69	0,67
AGY	0,56	0,65	0,70	0,00	0,61	0,67	0,55	0,72	0,53	0,65	0,64	0,59
KPY	0,45	0,51	0,53	0,56	0,00	0,50	0,60	0,50	0,44	0,42	0,53	0,48
ÖYÖY	0,55	0,60	0,66	0,64	0,53	0,00	0,56	0,66	0,61	0,75	0,66	0,69
PAZY	0,38	0,44	0,47	0,40	0,48	0,43	0,00	0,46	0,40	0,44	0,53	0,44
ÖY	0,55	0,52	0,64	0,69	0,53	0,66	0,60	0,00	0,57	0,60	0,57	0,56
STRY	0,59	0,61	0,74	0,60	0,54	0,71	0,62	0,66	0,00	0,79	0,63	0,78
ETY	0,38	0,49	0,49	0,40	0,29	0,49	0,38	0,39	0,44	0,00	0,55	0,59
EÜY	0,42	0,60	0,42	0,37	0,34	0,41	0,42	0,35	0,33	0,52	0,00	0,44
OYY	0,48	0,54	0,57	0,48	0,42	0,58	0,49	0,47	0,56	0,76	0,61	0,00

Tablo 7. Toplam ilişki matrisi (Total relation matrix)

	TYY	TY	PÜY	AGY	KPY	ÖYÖY	PAZY	ÖY	STRY	ETY	EÜY	OYY	D
TYY	0,35	0,49	0,49	0,44	0,40	0,46	0,43	0,44	0,42	0,51	0,53	0,48	5,45
TY	0,39	0,36	0,43	0,39	0,35	0,41	0,39	0,38	0,36	0,46	0,49	0,43	4,84
PÜY	0,46	0,52	0,43	0,48	0,43	0,50	0,47	0,48	0,45	0,56	0,55	0,52	5,85
AGY	0,44	0,50	0,51	0,38	0,42	0,49	0,45	0,47	0,43	0,53	0,53	0,49	5,65
KPY	0,36	0,40	0,41	0,38	0,28	0,39	0,39	0,38	0,35	0,42	0,43	0,40	4,59
ÖYÖY	0,44	0,49	0,50	0,47	0,41	0,40	0,45	0,47	0,44	0,55	0,54	0,51	5,67
PAZY	0,31	0,36	0,36	0,33	0,31	0,35	0,27	0,33	0,31	0,38	0,39	0,36	4,07
ÖY	0,42	0,46	0,48	0,45	0,40	0,47	0,44	0,36	0,42	0,51	0,50	0,47	5,38
STRY	0,46	0,52	0,53	0,48	0,43	0,51	0,48	0,49	0,38	0,57	0,56	0,54	5,95
ETY	0,32	0,36	0,37	0,33	0,29	0,36	0,32	0,33	0,32	0,33	0,40	0,38	4,10
EÜY	0,31	0,36	0,34	0,31	0,28	0,33	0,31	0,31	0,29	0,37	0,31	0,34	3,87
OYY	0,38	0,43	0,44	0,40	0,36	0,43	0,39	0,39	0,39	0,49	0,47	0,37	4,94
R	4,63	5,25	5,30	4,85	4,36	5,10	4,80	4,83	4,57	5,69	5,70	5,27	

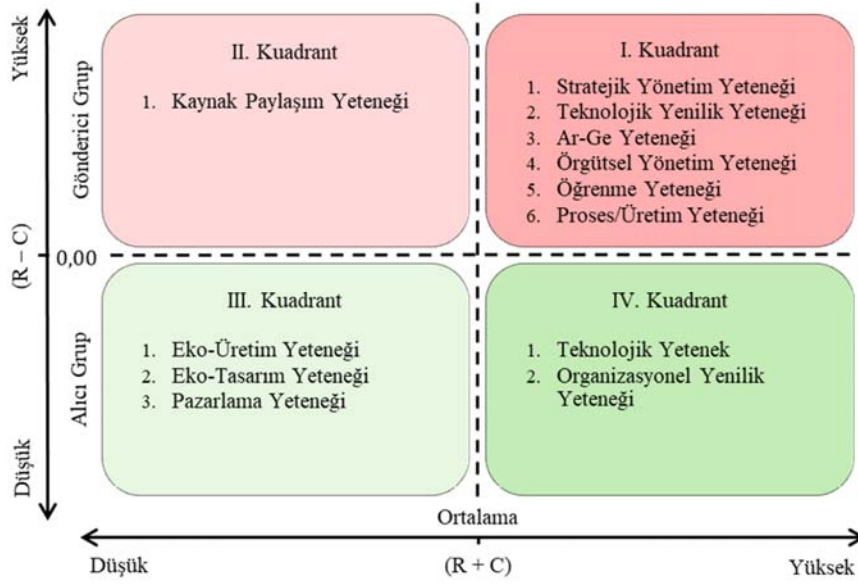
Tablo 8. Kriterlerin önem, nedensellik ve ağırlık değerleri (The prominence, causality and weight values of criteria)

Kriter	D	R	D+R	D-R	Etki Durumu	Ağırlık	Sıralama
TYY	5,445	4,630	10,075	0,815	Etkileyen	0,083	7
TY	4,836	5,253	10,089	-0,417	Etkilenen	0,083	8
PÜY	5,848	5,300	11,148	0,548	Etkileyen	0,092	1
AGY	5,651	4,854	10,505	0,797	Etkileyen	0,087	4
KPY	4,594	4,355	8,949	0,239	Etkileyen	0,074	11
ÖYÖY	5,666	5,095	10,761	0,570	Etkileyen	0,089	2
PAZY	4,068	4,800	8,868	-0,732	Etkilenen	0,073	12
ÖY	5,376	4,825	10,201	0,551	Etkileyen	0,084	6
STRY	5,949	4,565	10,514	1,383	Etkileyen	0,087	3
ETY	4,098	5,695	9,792	-1,597	Etkilenen	0,082	9
EÜY	3,869	5,698	9,566	-1,829	Etkilenen	0,080	10
OYY	4,941	5,271	10,212	-0,330	Etkilenen	0,084	5

**Şekil 2.** Etki-ilişki diyagramı (Impact-relation diagram)

Şekil 2' te sunulmaktadır. Diyagramda 12 faktörden her biri önem ve nedensellik derecesine göre koordinat eksenleri üzerinde konumlandırılmıştır. Yatay eksenin üzerindeki faktörler gönderici (etkileyen) grubu altındaki faktörler ise alıcı (etkilenen) grubu oluşturmaktadır. Faktörler arasındaki ilişki okları ise toplam ilişki matrisinde (Tablo 7) italik olarak işaretlenen eşik üstü etkiler dikkate alınarak çizilmiştir. Ancak bütün eşik üstü değerlerin çizilmesi etki-ilişki diyagramını çok karmaşık ve anlaşılması zor hale getireceğinden yalnızca 0,48 değerini aşan etkiler gösterilmiştir. Diyagram

incelendiğinde başta stratejik yönetim yeteneği (STRY), teknoloji yenilik yeteneği (TY) ve Ar-Ge yeteneği (AGY) olmak üzere 7 adet faktör gönderici grupta yer aldığı görülmektedir. Bu faktörler, diğer faktörler üzerinde önemli etkileri olan ve EÜY açısından kritik roller oynayan unsurlardır. Alıcı grupta ise başta eko-üretim yeteneği (EÜY) ve eko-tasarım yeteneği (ETY) olmak üzere beş adet faktörün yer aldığı görülmektedir. Bu faktörler, diğer faktörlerin etkilerine daha açık olup, gönderici gruptaki yeteneklerinin etkisi altında geliştiği ifade edilebilir.



Şekil 3. Kuadrant analizi matrisi (Quadrant analysis)

EİY'i etkileyen faktörlerin dört kuadrantta sınıflandırılarak aralarındaki ilişkiler açısından daha detaylı incelenmesi amacıyla kuadrant analizi matrisi Şekil 3'te görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi matrisin I. kuadrantı etki gücüne göre sıralanmış altı adet faktör içermektedir. Daha önce de anlatıldığı gibi bunlar yüksek önem ve etkileme gücüne sahip, sistemin temel itici gücünü temsil eden çekirdek faktörlerdir. Bu kuadranttaki en belirgin faktör olan stratejik yönetim yeteneğinin, etki-ilişki diyagramı ve Tablo 7 göz önünde bulundurulduğunda diğer bütün faktörler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Böylece bu faktörün EİY'yi geliştirmede uzun vadeli başarı için kritik ve belirleyici bir unsur olduğu sonucuna varılmaktadır. Literatürde Eİ stratejileri geliştirmeleri açısından STRY'nin önemli bir role sahip olduğunu vurgulayan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Doran ve Ryan [1], Eİ'nin başarıya ulaşmasında stratejik yönetimin önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Çalışma, stratejik karar alma süreçlerinde çevresel sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımların benimsenmesinin, inovasyon performansını doğrudan etkilediğini göstermiştir. Bu bulgu, stratejik yönetimin, sürdürülebilir inovasyon süreçlerini teşvik eden bir araç olarak kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, Klewitz ve Hansen [56], özellikle KOBİ'lerin Eİ kapasitesini artırmak için stratejik yönetim yeteneklerine büyük ölçüde ihtiyaç duyduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, Eİ süreçlerinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için şirketlerin stratejik yeteneklerinin gelişmiş olması gerektiği belirtilmiştir. Ek olarak, Rennings [9] Eİ'nin karmaşıklığına dikkat çekerek, stratejik yönetimin sadece çevresel hedeflere ulaşmayı değil, aynı zamanda ekonomik performansı artırmayı da sağladığını belirtmektedir. Diğer yandan, bazı çalışmalar stratejik yönetim yeteneğinin EİY açısından etkisinin sektörel farklılıklar gösterdiğini ve bu etkinin her zaman yüksek olmadığını belirtmektedir. Örneğin, Dangelico ve Pujari [57], yüksek teknolojiye dayalı sektörlerde stratejik yönetimin etkisinin daha belirgin olduğunu, düşük teknolojiye sahip sektörlerde ise bu etkinin sınırlı kalabileceğini ifade etmektedirler.

I. kuadranttaki ikinci sırada etkili faktör TYY Eİ'nin gerçekleşmesi için kritik bir diğer unsurdur. TYY faktörünün başta PÜY, TY, EÜY olmak üzere birçok faktörü doğrudan ve dolaylı olarak etkilediği anlaşılmaktadır. Teknolojik yenilikler, sürdürülebilir çözümler geliştirmek için gerekli altyapıyı sağlarlar [58]. Pichlak [28] firmaların teknolojik yenilik kapasitesinin, EİY'i artırarak çevresel

düzenlemelere uyum sağlama kapasitesini de güçlendirdiğini ifade etmektedir. Üçüncü sırada olan Ar-Ge yeteneği ise şirketlerin Eİ süreçlerinde diğer içsel faktörleri etkileyen önemli diğer bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Tablo 7 incelendiğinde Ar-Ge yeteneğinin Eİ bağlamında birçok içsel faktörü etkilediği görülmektedir. Horbach [16], bunu destekleyici nitelikte, Ar-Ge yatırımlarının çevresel yeniliklerin geliştirilmesinde belirleyici bir faktör olduğunu belirtmektedir. Ayrıca Del Rio, vd. [34] Ar-Ge yeteneklerinin, teknolojik yeniliklerle birlikte çevre dostu süreç ve ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlayarak, şirketlerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarını kolaylaştırdığını ifade etmektedir. Diğer bir faktör olan örgütsel yönetim yeteneği, organizasyonel yapının esnekliği ve Eİ süreçlerine adaptasyon kabiliyeti açısından oldukça önemlidir [17]. Diğer faktörleri etkileme gücü yüksek olduğu görünen ÖYÖY'nin, kaynak paylaşımını ve öğrenme yeteneği gibi faktörleri doğrudan etkileyerek Eİ'nin organizasyonel düzeyde benimsenmesini sağladığı sonucuna varılabilir. Peyravi ve Jakubavičius [17], örgütsel yönetim yeteneğinin Eİ süreçlerinde organizasyonun diğer içsel faktörlerini de etkileyerek işletmelerin döngüsel ekonomiye geçişini destekleyen önemli bir faktör olduğunu vurgulamaktadır. I. kuadranttaki beşinci faktör olan öğrenme yeteneği ise sürekli değişen çevresel koşullara ve yeniliklere uyum sağlayabilmek için kritik bir öneme sahiptir. EİY açısından öğrenme yeteneğinin, ETY ve EÜY'yi doğrudan etkilediği, aynı zamanda teknolojik yenilik yeteneği ile de yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda, Zhang vd. [36], öğrenme yeteneğinin Eİ açısından kilit bir rol oynadığını, özellikle proaktif çevresel stratejilere sahip organizasyonların öğrenme kabiliyetlerini geliştirerek yeşil inovasyon süreçlerinde daha başarılı olabileceklerini ifade etmektedir. Eko-inovasyonun operasyonel boyutunu oluşturan proses/üretim yeteneğinin ise özellikle EÜY ve ETY üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Diğer taraftan bu yetenek teknolojik yenilikler, stratejik yönetim ve Ar-Ge yetenekleri gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bunun temel nedeni üretim süreçlerinin çevreye duyarlı hale getirilmesinin ancak yeni teknolojiler ve yenilikçi prosesler sayesinde mümkün olabilesidir.

II. Kuadrantta sadece kaynak paylaşım yeteneği faktörünün konumlandığı görülmektedir. Bu kuadrant, sistemin genel yapısına doğrudan katkıları sınırlı olan ve sistem üzerinde düşük bir etkiye sahip olmakla birlikte gönderici rolünde olan otonom faktörleri içermektedir. Bu nedenle KPY'nin diğer gönderici faktörler kadar

merkezi bir rol oynamadığı ve çoğunlukla STRY, ÖYÖY ve AGY gibi daha güçlü faktörlerin etkisi altında geliştiği ifade edilebilir. Ancak gönderici grupta bulunan KPY'nin az da olsa ETY ve EÜY gibi faktörleri etkilediği görülmektedir. Literatürde de bu bulguya paralel olarak Arranz vd. [2] tarafından KPY'nin Eİ sürecinde dolaylı bir rol oynadığı, özellikle çevresel yönetim sistemleri ve teknolojik yetenekler gibi faktörlerin gelişimine katkı sağladığı vurgulanmıştır. Aynı şekilde Hojnik ve Ruzzier [35] KPY'nin otonom bir faktör olarak sistemde düşük bir etkiye sahip olduğunu ifade etmektedir.

III. Kuadrant ise EÜY, ETY ve PAZY faktörlerini içermektedir. Bu kuadrantta yer alan faktörler, Eİ açısından diğer faktörlerle zayıf etkileşimde olup, daha çok sistemin diğer bileşenlerinden etkilenme eğilimindedirler. Bunlardan EÜY ve ETY'nin başta STRY, TYY ve PÜY olmak üzere birçok faktör tarafından güçlü bir şekilde etkilendiği görülmektedir. Bu iki faktör her ne kadar Eİ bağlamında çevresel yeniliklerin uygulanabilir hale getirilmesi açısından kritik olsa da kendilerinin sistemin genel işleyişini pek fazla etkilemediği, daha çok etkilenen tarafta bulundukları anlaşılmaktadır. Chen vd. [12] de bu tür yeteneklerin diğer faktörlerle zayıf etkileşim içinde olduğunu ve dolayısıyla sistem üzerinde sınırlı bir etki yarattığını özellikle vurgulamışlardır. Bu kuadrantta bulunan diğer faktör pazarlama yeteneği ise özellikle STRY ve diğer bazı faktörler tarafından etkilendiği görülmektedir. Bu sonucun ortaya çıkmasının temel nedeni olarak; firmaların çevre dostu ürünlerini nasıl tanıttacağı ve hangi pazarlara gireceğinin stratejik kararlarla belirlenmesi ve bu doğrultuda pazarlama yeteneklerinin şekillenmesi olarak düşünülebilir. Bu düşüncüye destekleyici nitelikte olacak şekilde Benkraiem vd. [3] pazarlama yeteneklerinin çevre dostu ürünlerin pazarlanmasında önemli bir rol oynadığını ve bu yeteneklerin stratejik kararlarla şekillendiği vurgulanmaktadır. Son olarak IV. kuadrantın teknolojik yetenek ve organizasyonel yenilik yeteneği faktörlerini içerdği görülmektedir. Bu kuadranttaki faktörler Şekil 2 ve Şekil 3'ten de anlaşılacağı gibi sistem içerisinde III. kuadranttaki faktörlerden daha yüksek öneme sahip ancak diğer faktörlerden nispeten daha az etkilenmektedirler. Bu faktörlerden Eİ'nin hayata geçirilmesinde önemli bir rolü olan teknolojik yetenek faktörünün, STRY, AGY, TYY ve ÖYÖY gibi çekirdek faktörler tarafından yönlendirildiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan şirketlerin iç yapısında ve süreçlerinde sürdürülebilirlik odaklı yeniliklerin gerçekleştirilmesi açısından önemli olan organizasyonel yenilik yeteneğinin, ÖYÖY, STRY ve ÖY gibi faktörlerden güçlü bir şekilde etkilendiği görülmektedir.

5. Sonuçlar (Conclusions)

Çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini göz önünde bulundurarak yenilikçi çözümler üretebilme kapasitesini ifade eden EİY, imalat firmaları için çevresel etkileri en aza indirmenin ötesinde, pazarda farklılaşma ve sürdürülebilir rekabet gücü kazanmanın temel unsurlarından biri haline gelmiştir. Özellikle günümüzde artan çevresel kaygılar, imalat sektöründeki firmalar için EİY'yi hem rekabet avantajı kazanmanın hem de sürdürülebilir büyümeyi sağlamanın kritik bir gerekliliği haline getirmektedir. Firmaların EİY'lerini şekillendiren ve etkileyen birçok içsel faktör mevcuttur. Bu faktörler, organizasyonel kültürden teknolojiye, kaynak yönetiminden stratejik yöneltilere kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. EİY'yi güçlendirmek için, bu faktörlerin doğru bir şekilde belirlenmesi, aralarındaki ilişkilerin anlaşılması ve stratejik olarak doğru faktörlere odaklanılması gerekmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren imalat firmalarının EİY'lerini etkileyen içsel faktörlerin kapsamlı bir şekilde belirlenmesi ve bu faktörler arasındaki ilişkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle sistematik bir literatür taraması ve uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda imalat firmaların EİY'lerini etkileyen toplamda 12 içsel faktör tanımlanmıştır. Çalışmada bu faktörler arasındaki karmaşık

nedensellik ilişkilerinin araştırılması amacıyla basit regresyon analizi ve DEMATEL yönteminin entegre edildiği yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Önerilen yaklaşım doğrultusunda 12 içsel faktörün her birinin EİY üzerindeki etkisini 7'li likert ölçeğiyle değerlendirilmesini içeren bir anket tasarlanarak bu konuda tecrübeli, karar verici pozisyonunda bulunan üst ve orta düzey yöneticilerle akademisyenlere ulaştırılmıştır. Elde edilen 343 adet kullanılabilir anket verisine dayalı olarak her bir faktörün diğer faktörler üzerindeki etkisi, ayrı ayrı tahminlenen regresyon bağıntılarının beta katsayıları kullanılarak belirlenmiştir. Böylece DEMATEL yöntemine girdi oluşturan direk ilişki matrisi elde edilmiştir. Daha sonra DEMATEL yöntemi ile faktörlerin önem dereceleri, nedensellik dereceleri, etki durumları ve ağırlıkları hesaplanmış ve faktörler arasındaki ilişkiler, etki-ilişki diyagramı ile görselleştirilerek incelenmiştir. Son olarak kuadrant analizi ile dört kümede sınıflandırılarak faktörlerin sistem içerisindeki durumları daha detaylı bir şekilde ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular EİY'yi etkileme bağlamında özellikle stratejik yönetim yeteneği, teknolojik yenilik yeteneği ve Ar-Ge yeteneğinin diğer faktörler üzerinde itici gücü olan en kritik faktörler olduğunu ortaya koymaktadır. Bu faktörler kadar kritik olmasa da örgütsel yönetim yeteneği, öğrenme yeteneği ve proses/üretim yeteneği faktörlerinin de çekirdek olarak tabir edilebilecek öncelikli kriterler olduğu görülmektedir. Buna karşılık diğer faktörlerin ise daha çok bu çekirdek faktörlerin etkisi altında gelişen alıcı role sahip oldukları veya sistem içerisindeki etkileşimleri daha az olan otonom rolde oldukları ifade edilebilir.

Bu çalışma teorik ve pratik açıdan akademik literatüre ve uygulayıcılara önemli katkılar ve çıkarımlar sunmaktadır. Öncelikle çalışmada DEMATEL yöntemi ile entegre olarak regresyon analizine dayalı yenilikçi bir uzman görüşü toplama ve birleştirme yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşım klasik DEMATEL yönteminin tek başına kullanıldığı duruma göre bir karar vericinin yapması gereken değerlendirme sayısını önemli ölçüde düşürmekte ve karar vericilerin fikirlerini birleştirmede etkili bir çözüm sunmaktadır. Özellikle yüksek sayıda kriter içeren çalışmalarda karar vericilerin üzerindeki değerlendirme yükünü azaltan bu yaklaşım, hem daha fazla kişinin çalışmaya katılmasını kolaylaştırmakta hem de katılımcıların daha sağlıklı ve dikkatli değerlendirme yapabilmesine olanak tanımaktadır. Böylece elde edilen sonuçların güvenilirliği ve geçerliliği artırarak akademik literatüre ve uygulayıcılara kullanışlı ve etkili bir araç sunmaktadır. Firma yöneticileri ve strateji belirleyicileri açısından değerlendirildiğinde ise bu çalışmanın bulguları EİY'lerini ve becerilerini geliştirmek için hangi faktörlere daha fazla odaklanılması ve öncelik verilmesi gerektiği konusunda rehberlik sağlamaktadır. Bu çalışmadan elde edilen çıkarımlar sayesinde şirket yöneticileri ve karar vericiler, sınırlı kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak Eİ kapasitelerini stratejik olarak güçlendirebilir ve sürdürülebilir büyümeye katkıda bulunabilirler. Böylelikle çevresel performansı arttırmanın yanında maliyet tasarrufu ve operasyonel verimlilik sağlayarak uzun vadede rekabet avantajı kazanabilirler. Bu sayede firmalar, hızla değişen piyasa koşullarına daha esnek bir şekilde uyum sağlayabilir, çevre dostu ürün ve hizmetleriyle müşteri memnuniyetini artırabilir ve bu süreçte markalarının itibarını güçlendirebilirler.

Yukarıda ifade edilen önemli katkılarına rağmen bu çalışmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Öncelikle, çalışmada kullanılan veriler yalnızca Türkiye'deki imalat firmalarının yönetici ve uzman kadrolarından, danışmanlardan ve akademisyenlerden toplanmıştır. Bu durum, elde edilen sonuçların diğer ülkeler veya bölgeler için genellenebilirliği konusunda kısıtlar yaratabilir. Farklı coğrafi bölgelerdeki kültürel, ekonomik ve yasal farklılıklar dikkate alındığında, bulguların küresel düzeyde geçerliliği için daha geniş çaplı ve çeşitli katılımcı gruplarıyla ek araştırmalar yapılması

gerekebilir. Ek olarak, her ne kadar geniş bir katılımcı kitlesiyle bu risk minimize edilmeye çalışılmış olsa da uzman görüşlerine dayalı bir analiz yapılması, elde edilen sonuçların subjektif olma olasılığını tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Gelecek çalışmalar için öneriler, daha geniş bir veri seti kullanarak farklı sektörlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması yönünde olabilir. Ayrıca, DEMATEL yöntemi ile birlikte farklı analiz yöntemlerinin entegre edilmesi, daha kapsamlı ve karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayabilir.

Kaynaklar (References)

- Doran, J., Ryan, G., The importance of the diverse drivers and types of environmental innovation for firm performance, *Business Strategy and the Environment*, 25 (2), 102-119, 2016.
- Arranz, N., Arroyabe M.F., Agustin M, Arroyabe, J.C.F., Incentives and inhibiting factors of eco-innovation in the Spanish firms, *J. Cleaner Prod.*, 220, 1-28, 2019.
- Benkraiem R., Dubocage E., Lelong Y., Shuwaikh, F., The effects of environmental performance and green innovation on corporate venture capital, *Ecological Economics*, 210, 1-57, 2023.
- Rodríguez-Rebés, L., Ibar-Alonso, R., Gomez, L.M.R., Navío-Marco, J., The use and drivers of organizational eco-innovation in European SMEs, *Research in International Business and Finance*, 70, 1-18, 2024.
- Salim, N., Ab Rahman, M.N., Abd Wahab, D., A systematic literature review of internal capabilities for enhancing eco-innovation performance of manufacturing firms, *Journal of Cleaner Production*, 209, 1445-1460, 2019.
- Xie, X., Huo, J., Qi, G., Zhu, K.X., Green process innovation and financial performance in emerging economies: Moderating effects of absorptive capacity and green subsidies, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67 (3), 760-772, 2019.
- Testa, F., Annunziata, E., Iraldo, F., Frey, M., Drawbacks and opportunities of green public procurement: an effective tool for sustainable production, *Journal of Cleaner Production*, 216, 144-152, 2019.
- Borghesi, S., Cainelli, G., Mazzanti, M., Linking emission trading to environmental innovation: Evidence from the Italian manufacturing industry, *Research Policy*, 44 (3), 669-683, 2015.
- Rennings, K., Redefining innovation-eco-innovation research and the contribution from ecological economics, *Ecological Economics*, 32 (2), 319-332, 2000.
- Roostaie, S., Nawari, N., The DEMATEL approach for integrating resilience indicators into building sustainability assessment frameworks, *Building and Environment*, 207, 108113, 2022.
- Kabra, G., Mukerjee, H.S., Analyzing barriers to design thinking adoption within organizations: a DEMATEL approach. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2024.
- Chen, J., Cheng J., Dai, S., Regional eco-innovation in China: An analysis of eco-innovation levels and influencing factors, *Journal of Cleaner Production*, 153, 1-14, 2017.
- Cai, W., Zhou, X., On the drivers of eco-innovation: empirical evidence from China, *Journal of Cleaner Production*, 79 (15), 2014.
- Mady, K., Halim M., Omar, K., Environmental pressures and eco-innovation in manufacturing SMEs: the mediating effect of environmental capabilities, *International Journal of Innovation Studies*, 16 (3), 501-526, 2024.
- Shahin, A., Imanipour N, Shahin, A., Wood, L., C., An integrative approach for structuring and prioritizing eco-innovation determinants with a survey in knowledge-based companies, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31 (4), 799, 824, 2020.
- Horbach, J., Determinants of environmental innovation—New evidence from German panel data sources, *Research Policy*, 37(1), 163-173, 2008.
- Peyravi, B., Jakubavičius, A., Drivers in the Eco-Innovation Road to the Circular Economy: Organizational Capabilities and Exploitative Strategies, *Sustainability*, 14(17), 10748, 2022.
- Qalati, S.A., Barbosa, B., Ibrahim, B., Factors influencing employees' eco-friendly innovation capabilities and behavior: the role of green culture and employees' motivations, *Environment, Development and Sustainability*, 10, 1-22, 2023.
- Al Halbusi, H., Klobas, J.E., Ramayah, T. Green core competence and firm performance in a post-conflict country, Iraq. *Business Strategy and the Environment*, 1-13, 2023.
- Albort-Morant, G., Leal-Millan, A., Cepeda-Carrion G., The antecedents of green innovation performance: A model of learning and capabilities, *Journal of Business Research*, 69 (11), 4912-4917, 2016.
- Pham D.D.T., Paille, P., Halilem, N., Systematic review on environmental innovativeness: A knowledge-based resource view, *Journal of Cleaner Production* 211, 1088-1099, 2019.
- Qu, X., Khan, A., Yahya, S., Zafar, A.U., Shahzad, M., Green core competencies to prompt green absorptive capacity and bolster green innovation: the moderating role of organization's green culture. *Journal of Environmental Planning and Management*, 65 (3), 536-561, 2022.
- El-Kassar A., Singh S.K., Green innovation and organizational performance: The influence of big data and the moderating role of management commitment and HR practices, *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 483-498, 2019.
- Passaro, R., Quinto, I., Scandurra, G., Thomas, A., The drivers of eco-innovations in small and medium-sized enterprises: A systematic literature review and research directions, *Business Strategy and the Environment*, 32 (4), 1432-1450, 2023.
- Srisathan, W.A., Ketkaew, C., Phonthanakitithaworn, C., Naruetharadhol, P., Driving policy support for open eco-innovation enterprises in Thailand: A probit regression model, *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*, 9 (3), 2023.
- Bittencourt, B.A., Galuk, M.B., Daniel, V.M., Zen, A.C., Cluster Innovation Capability: A Systematic review, *International Journal of Innovation*, 7 (1), 26-44, 2018.
- Vasconcelos-Garcia, M, Carrilho-Nunes, I., Internationalisation and digitalisation as drivers for eco-innovation in the European Union, *Structural Change and Economic Dynamics* 70, 245-256, 2024.
- Pichlak, M., The drivers of technological eco-innovation-Dynamic capabilities and leadership, *Sustainability*, 13 (10), 5354, 2021.
- Özgül, B., KOBİ'lerde yeşil süreç inovasyonunu teşvik etmek için yeşil dönüşümcü liderliğin ve yeşil temel yeteneklerin etkilerinin incelenmesi, *Business & Management Studies: An International Journal*, 11 (1), 48-65, 2023.
- Akman, G., Boyacı, A.I., Evaluating the Challenges Encountered in the White Goods Industry in the Adaptation Process to Industry 4.0 via a Hybrid MCDM Model, *Politeknik Dergisi*, 27 (3), 1197-1212, 2024.
- Wu, W.W., Lan, L.W., Lee, Y.T., Exploring decisive factors affecting an organization's SaaS adoption: A case study, *International Journal of Information Management*, 31 (6), 556-563, 2011.
- Braga, I.F., Ferreira, F.A., Ferreira, J.J., Correia, R.J., Pereira, L.F., Falcão, P.F., A DEMATEL analysis of smart city determinants, *Technology in Society*, 66, 101687, 2021.
- Akman, G., Yörür, B., Boyacı, A.I., Chiu, M.C., Assessing innovation capabilities of manufacturing companies by combination of unsupervised and supervised machine learning approaches, *Applied Soft Computing*, 147, 110735, 2023.
- Del Río, P., Peñasco, C., Romero-Jordán, D., What drives eco-innovators? A critical review of the empirical literature based on econometric methods, *Journal of Cleaner Production*, 112, 2158-2170, 2016.
- Hojnik, J., Ruzzier, M., What drives eco-innovation? A review of an emerging literature, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 19, 31-41, 2016.
- Zhang, Y., Sun, J., Yang, Z., Li, S., Organizational Learning and Green Innovation: Does Environmental Proactivity Matter?, *Sustainability*, 10 (10), 3737, 2018.
- Sadiq, I.Z., Usman, A., Muhammad, A., Ahmad, K.H., Sample Size Calculation in Biomedical, Clinical and Biological Sciences Research. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 2024.
- Şanlı, S., Sampling Methods and Appropriate Sample Size Determination: A Concise Overview, *Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute*, 56, 357-375, 2023.
- Singh, A.S., Masuku, M.B., Sampling Techniques & Determination of Sample Size in Applied Statistics Research: An Overview, *International Journal of Economics, Commerce, and Management*, 2 (11), 1-22, 2014.
- Datlıca, M.T., Çakıt, E., Estimation of clustering parameters and anomaly detection in tracking devices with changeable position time, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (1), 373-394, 2021.

41. Boyacı, A.İ., Baynal, K., Optimisation of elastomeric bearings' vulcanisation process using response surface methodology and desirability function approach, *Journal of Rubber Research*, 22 (4), 187-193, 2019.
42. Göğen, E., Güney, S., Machine learning-based weather prediction with radiosonde observations, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39 (4), 2317-2328, 2024.
43. Akyüz, B., Karatay, S., Erken, F., Comparison of the Performance of the Regression Models in GPS-Total Electron Content Prediction, *Politeknik Dergisi*, 26 (1), 321-328, 2023.
44. Yurtcu, Ş., Özocak, A., Prediction of compression index of fine-grained soils using statistical and artificial intelligence methods, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (3), 597-608, 2016.
45. Adıyaman, O., Regression Modeling of the effect of chip slenderness ratio and cutting parameters on vibration, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 9 (4), 661-678, 2021.
46. Cardoso, R.A., Oliveira, G.A.B., Almeida, G.M.J., Araújo, J.A., A simple linear regression strategy for fretting fatigue life estimates, *Tribology International*, 109852, 2024.
47. Maulud, D., Abdulazeez, A.M., A review on linear regression comprehensive in machine learning, *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 1 (2), 140-147, 2020.
48. Yardımcı, R., Boğar, E., A trend-residual decomposition-based modeling approach for Türkiye's total healthcare expenditure forecasting, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39 (4), 2539-2550, 2024.
49. Akbulut, U., Çifçi, M.A., İşler, B., Aslan, Z., Comparison of different machine learning techniques in river flow prediction, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 40 (1), 467-486, 2024.
50. Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining, G.G., *Introduction to Linear Regression Analysis*, John Wiley & Sons, New York, A.B.D., 2012.
51. Prodanova, H., Nedkov, S., Petrov, G., GIS-based modeling of landscape patterns in mountain areas using climate indices and regression analysis, *Environmental Modelling & Software*, 180, 106160, 2024.
52. Yılmaz, A., Prediction of base and subbase resilient modulus (Mr) using regression methodology, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (1), 507-517, 2020.
53. Akman, G., Boyacı, A.İ., Kurnaz, S., Selecting the suitable e-commerce marketplace with neutrosophic Fuzzy AHP and EDAS methods from seller's perspective in the context of Covid-19, *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 14 (3), 2022.
54. Kumar, R., Singh, R.K., Dwivedi, Y.K., Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges, *Journal of Cleaner Production*, 275, 124063, 2020.
55. Si, S.L., You, X.Y., Liu, H.C., Zhang, P., DEMATEL technique: a systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications, *Mathematical Problems in Engineering*, 1, 3696457, 2018.
56. Klewitz, J., Hansen, E.G., Sustainability-oriented innovation of SMEs: A systematic review, *Journal of Cleaner Production*, 65, 57-75, 2014.
57. Dangelico, R.M., Pujari, D., Mainstreaming green product innovation: Why and how companies integrate environmental sustainability, *Journal of Business Ethics*, 95 (3), 471-486, 2010.
58. Zheng, L., Iatridis, K., Friends or foes? A systematic literature review and meta-analysis of the relationship between eco-innovation and firm performance, *Business Strategy and the Environment*, 31 (4), 1838-1855, 2022.

