



**Malzeme Ayak İzi ve Ticaret Arasındaki İlişki: AB Ülkeleri
ve AB Ticaret Ortakları İçin Bir Araştırma**

Betül MERT

Yüksek Lisans Tezi

Eskişehir, 2024

**MALZEME AYAK İZİ VE TİCARET ARASINDAKİ
İLİŞKİ: AB ÜLKELERİ VE AB TİCARET ORTAKLARI
İÇİN BİR ARAŞTIRMA**

Betül MERT

T.C.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İktisat Anabilim Dalı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eskişehir, 2024

T.C.
ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Betül MERT tarafından hazırlanan “Malzeme Ayak İzi ve Ticaret Arasındaki İlişki: AB Ülkeleri ve AB Ticaret Ortakları İçin Bir Araştırma” baŐlıklı bu alıŐma 23 Ocak 2024 tarihinde Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili maddesi uyarınca yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından İktisat Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

BaŐkan Prof. Dr. Selami Sezgin	
Üye (Danışman) Prof. Dr. Etem Karakaya	
Üye Prof. Dr. Özcan Dağdemir	

ONAY
.../... /202..
Prof. Dr. Oytun MEİK
Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi hükümlerine göre hazırlandığını; bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmanın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Osmangazi Üniversitesi tarafından kullanılan bilimsel intihal tespit programıyla taranmasını kabul ettiğimi ve hiçbir şekilde intihal içermediğini beyan ederim. Yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Betül MERT

ÖZ

MALZEME AYAK İZİ VE TİCARET ARASINDAKİ İLİŞKİ: AB ÜLKELERİ VE AB TİCARET ORTAKLARI İÇİN BİR ARAŞTIRMA

MERT, Betül

Yüksek Lisans/2024

İktisat Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Etem KARAKAYA

Son dönemlerde küresel ısınma ve iklim değişikliği probleminin etkileri tüm dünyada güçlü bir şekilde hissedilmeye başlanmıştır. Ülkeler bunu engellemek için çeşitli strateji ve politikalar geliştirmektedir. Enerji tüketimini azaltma, yenilenebilir enerjiye geçiş gibi uygulamalar ile hem enerji verimliliği sağlanmaya hem de karbon emisyonlarını azaltılmaya odaklanılmışlardır. Fakat emisyonlardaki artan payına rağmen malzeme tüketimi konusu göz ardı ediliyor. Malzeme tüketimini azaltmak ve malzeme verimliliği sağlamak ülkelerin sürdürülebilirlik hedefleri açısından önemlidir ve son dönemlerde yeni yeni değinilmeye başlanmıştır. Dahası, ülkeler malzeme tüketimini dış ticaret yoluyla ülke sınırları dışına taşıyabilmektedir. Malzeme ayak izi ticaret de dahil olmak üzere bir ülkenin toplam malzeme tüketimini göstermekte ve malzeme kaçağının yakalanmasında kritik rol oynamaktadır. Çalışmanın temel motivasyonu “Dış ticaret ile malzeme ayak izi arasındaki ilişki nasıl şekillenmektedir?” sorusunu cevaplamaktır. Bu çalışma 1995-2019 yılları arasında Avrupa Birliği (AB) ülkeleri ve AB ülkelerinin ticaret partnerlerini detaylı bir analize tabi tutmaktadır. Malzeme ayak izinin belirleyiciler Ayrıştırma (Decomposition) Yöntemi ile belirlenmektedir ve devamında Panel Veri Analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin yönü incelenmektedir. Sonuçlar şu şekildedir: i) ekonomik büyüme ve nüfus malzeme ayak izinin hızlandırıcı güçleridir. ii) ticaret yoğunluğu ve malzeme ayak izinin ticaretteki yoğunluğu malzeme ayak izinin engelleyici güçleridir. iii) Ülkeler arasında yatay kesit bağımlılığı vardır. Yani ülkeler birbirlerini etkilemektedir. iv) Malzeme fiyatı hariç diğer bağımsız değişkenler ile malzeme ayak izi arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmuştur. Ülkeler döngüsel ekonomi stratejilerini benimsemeli, atık yönetimini sağlamalı ve yenilenebilir malzeme kullanımı, geri dönüşüm, onarım, ikame gibi uygulamaları teşvik edecek politikalar geliştirmelidir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme Ayak İzi, Ticaret, Malzeme Kaçağı, Decomposition (Ayrıştırma) Analizi, Panel Veri Analizi

ABSTRACT

THE RELATIONSHIP BETWEEN MATERIAL FOOTPRINT AND TRADE: A STUDY FOR EU COUNTRIES AND THE EU'S TRADE PARTNERS

MERT, Betül

Master's Degree, 2024

Department of Economics

Supervisor: Prof. Dr. Etem KARAKAYA

In recent times, the impacts of climate change have been strongly felt worldwide. Countries are developing various strategies and policies to address this issue. Policies such as reducing energy consumption and deploying renewable energy, focusing on improving energy efficiency have been prime goals to reduce carbon emissions. Despite its growing share in emissions, the issue of material consumption is overlooked. Reducing material consumption and ensuring material efficiency are crucial for countries sustainability targets and have only recently started to receive attention. Countries can extend their material consumption beyond their borders through foreign trade. Material footprint (MF), including trade, illustrates a country's total material consumption and plays a critical role in detecting material leakage. The primary motivation of this study is to elucidate the nature of the relationship between trade and MF. Analyzing data from 1995 to 2019 for European Union countries and their trading partners, this research identifies the determinants of MF using the Decomposition Method and then conducts Panel Data Analysis to examine the direction of the relationship between variables. The results are as follows: i) economic growth and population are the main driving forces of MF. ii) trade intensity and the intensity of MF in trade act as inhibiting forces. iii) There is cross-sectional dependence among countries, meaning that countries influence each other. iv) Except for material price, positive relationships were found between all variables and MF. Countries should adopt circular economy strategies and develop policies promoting practices such as the use of renewable materials, recycling, repair, and substitution.

Keywords: Material Footprint, Trade, Material Leakage, Decomposition Analysis, Panel Data Analysis

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığını üstlenen kıymetli hocam, Prof. Dr. Etem Karakaya, süreç boyunca benden ilgi ve desteğini esirgemeyerek, paylaştığı değerli bilgiler ve yönlendirmeler ile bu tezi zenginleştirerek önemli bir değer katmıştır. Mesleğine olan sevgisiyle bana örnek olan sayın hocama en içten dileklerle teşekkür ederim. Bu çalıma, Prof. Dr. Etem Karakaya yürütücülüğündeki, TÜBİTAK-1001 Projesi kapsamında ve 221K082 proje numarasına sahip olan “Malzeme Talebi ve Malzeme Verimliliğinin Sürdürülebilirlik Açısından Analizi: Ülkeler Arası Karşılaştırmalı Bir Analiz ve Türkiye İçin Değerlendirmeler” adlı proje kapsamında desteklenmiştir.

Yüksek lisans sürecimde ve hayatımın her anında, maddi ve manevi olarak beni destekleyen, her türlü fedakarlıkta bulunan, sabır göstererek başarıma büyük katkıları olan başta sevgili annem olmak üzere, sevgili ablam ve sevgili abime teşekkür etmeyi borç bilirim. Sizlerin sağladığı anlayış ve sevgiyle birlikte, süreci rahat bir şekilde tamamlamış bulunmaktayım.

Ayrıca, rahmetli babamın anısını yaşatmak ve minnettarlığımı ifade etmek istiyorum. O, sadece bir baba değil, aynı zamanda en iyi arkadaşım. Onun sevgisi ve öğretileri, hayatımı şekillendirdi. Sonsuz teşekkürler, babacığım, seni özlüyorum.

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM	4
MALZEME TÜKETİMİNDEN MALZEME AYAK İZİNE	4
1.1. Malzeme Tüketimi Kavramı	4
1.1.1. Sürdürülebilirlik Açısından Malzeme Tüketiminin Önemi	6
1.1.2. Sürdürülebilir Malzeme Tüketiminde Döngüsel Ekonomi Modelinin Önemi	8
1.2. Malzeme Ayak İzi Kavramı	11
1.2.1. SDG’de Malzeme Ayak İzinin Önemi	13
1.2.2. Uluslararası Anlaşmalar ve Malzeme Ayak İzi	14
1.2.2.1. Rio Anlaşması (1992)	15
1.2.2.2. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (1992)	16
1.2.2.3. Kyoto Protokolü (1997)	17
1.2.2.4. Paris İklim Anlaşması (2015)	19
1.2.2.5. Avrupa Yeşil Mutabakatı (2019)	20
1.3. Çevre ve Dış Ticaret Arasındaki İlişki	21
1.3.1. Malzeme Ayak İzi ve Dış Ticaret	23
1.3.2. Malzeme Kaçağı	26
İKİNCİ BÖLÜM	28
MALZEME AYAK İZİ VE TİCARET ARASINDAKİ İLİŞKİ AMPİRİK ANALİZ 28	
2.1. Ampirik Literatür Özeti	28
2.2. Örneklem Grubu ve Veri Seti	33
2.3. Model ve Yöntem	35
2.3.1. Ayrıştırma (Decomposition) Analizi	36
2.3.2. Panel Veri Analizi	38
2.3.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenite Testleri	39
2.3.2.2. Panel Birim Kök Testleri	41
2.3.2.3. Westerlund Panel Eş bütünleşme Testi	43

2.3.2.4. Ortak İlişkili Etkiler Ortalama Grup Tahmincisi.....	43
2.3.2.5. Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Testi.....	44
2.4. Ampirik Bulgular.....	45
2.4.1. Ayırıştırma Analizi Bulguları	45
2.4.2. Panel Veri Analiz Bulguları.....	50
SONUÇ	56
KAYNAKÇA	59



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Malzeme Ayak İzi ve Ticaret Arasındaki İlişkiyi İnceleyen Çalışmalar	32
Tablo 2. Analize Dahil Edilen Ülkeler	34
Tablo 3. Analize Dahil Edilen Değişkenler	35
Tablo 4. Ayrıştırma Analizi Sonuçlarının Özeti-1	47
Tablo 5. Ayrıştırma Analizi Sonuçlarının Özeti-2	48
Tablo 6. Malzeme Ayak İzindeki Değişimler	49
Tablo 7. Betimsel İstatistikler	50
Tablo 8. Model İstatistikleri	51
Tablo 9. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenlik Testi Sonuçları	52
Tablo 10. PANIC Birim Kök Testi Sonuçları	52
Tablo 11. Westerlund Eş Bütünleşme Testi Sonucu	53
Tablo 12. CCE Tahmin Sonuçları	53
Tablo 13. Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi Sonuçları	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Kelebek Diyagramı	9
Şekil 2. Malzeme Ayak İzi, Yerel Malzeme Tüketimi ve Ticari Açıklığın AB ve AB Ticaret Ortakları İçin Yıllara Göre Seyri	25
Şekil 3. Ülkeler Bazında Malzeme Ayak İzinin Durumu	45



KISALTMALAR LİSTESİ

- ΔACT:** Ekonomik Büyüme Etkisi
- ΔMF:** Malzeme Ayak İzindeki Değişim
- ΔMFT:** Ticarete Malzeme Ayak İzinin Yoğunluğu
- ΔPOP:** Nüfus Etkisi
- ΔTI:** Ticaret Yoğunluğu
- AB:** Avrupa Birliği
- ABD:** Amerika Birleşik Devletleri
- AMDI:** Aritmetik Ortalama Divisia Endeks
- B&R:** Belt and Road
- BRICS:** Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika Cumhuriyeti
- CBAM:** Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması
- CCE:** Ortak İlişkili Etkiler Ortalama Grup Tahmincisi
- CO₂:** Karbondioksit
- COI:** Karbondioksit Yoğunluğu
- COP:** Taraflar Konferansı
- DE:** Malzeme Çıkartımı
- DMC:** Yerel Malzeme Tüketimi
- DMI:** Doğrudan Malzeme Girdisi
- EC:** Enerji Tüketimi
- EGD:** Avrupa Yeşil Mutabakatı
- EK:** Ekonomik Karmaşıklık İndeksi
- EKC:** Çevresel Kuznets Eğrisi
- EX:** İhracat
- GDP:** Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
- GDP-PPP:** Kişi Başı Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
- GLB:** Küreselleşme
- HC:** Beşerî Sermaye
- IDA:** İndeks Ayrıştırma Analizi
- IM:** İthalat
- IMF:** Uluslararası Para Fonu

IPCC: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
LMDI: Logaritmik Ortalama Divisia İndeks
LN: Logaritmik Fonksiyon
MC: Malzeme Tüketimi
MF: Malzeme Ayak İzi
MP: Malzeme Fiyatı
MV: Malzeme Verimliliği
NR: Doğal Kaynaklar
OECD: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
PANIC: Kendine Özgü ve Ortak Bileşenlerdeki Durağan Olmamanın Panel Analizi
POP: Nüfus
REN: Yenilenebilir Enerji
RMC: Küresel Hammadde Tüketimi
RME: Hammadde Eşdeğeri
RTB: Hammadde Ticaret Dengesi
SDA: Yapısal Ayrıştırma Analizi
SDG: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
TO: Ticari Açıklık
TP: Ticaret Ortakları
TR: Ticaret
UN: Birleşmiş Milletler
UNEP: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNFCCC: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
URB: Kentleşme
WTO: Dünya Ticaret Örgütü

GİRİŞ

Sanayi Devrimi'nin başladığı 19. yüzyıl, dünya genelinde ekonomik ve sosyal dönüşümleri beraberinde getirerek birçok ülkenin zenginleşmesine ve üretim-tüketim dengesinde önemli değişimlere yol açmıştır. Sanayi Devrimi'nin üretim ve tüketim üzerindeki etkisi, endüstriyel toplumun temellerini atmış ve günümüz ekonomik sistemlerinin şekillenmesine öncülük etmiştir. Bu dönemdeki değişimler, modern ekonomilerde hâlâ hissedilmekte olup, üretim ve tüketimdeki artış trendleri, günümüz küresel ekonomisini şekillendirmeye devam etmektedir. Son dönemlere kadar üretim ve tüketimdeki artış trendlerinin olumsuz yönleri fark edilmemiş fakat günümüzde küresel problemler olan iklim değişikliği ve küresel ısınma problemi baş göstermiştir. Sebebi ise üretim ve tüketim esnasında fosil yakıtların yakılmasında kaynaklanan başta CO₂ (karbondioksit) emisyonlarıdır.

Küreselleşen dünya, dış ticaretin artışına bağlı olarak malzeme tüketimini hızlandırmıştır. Ancak, bu artışın bir sonucu olarak enerji tüketimi ve emisyonlar da paralel olarak artmıştır. Bu ilişki, malzeme kullanımı ve enerji tüketimi konularında önemli sorunlara işaret etmektedir. Malzeme üretimi ve enerji dönüşümü süreçleri, çevresel etkileriyle birlikte küresel düzeyde çeşitli zorlukları beraberinde getirmektedir. Dış ticaretin genişlemesi, malzeme üretimini ve taşımacılığı artırarak enerji tüketimini de artırmaktadır. İthalat yapan ülkeler, malzemenin üretildiği yerlerdeki enerji yoğun endüstrilere dolaylı olarak katkıda bulunmaktadır. Bu durum, ithalatçı ve ihracatçı ülkeler arasındaki enerji profillerinin farklılaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, emisyonlardaki tüketim bazlı ölçüm (consumption-based accounting), malzemelerin tüketildiği yerdeki emisyonları dikkate alırken, üretim bazlı ölçüm (production-based accounting) sadece üretildiği yerdeki emisyonları hesaba katar. Bu iki yaklaşım arasındaki fark, ithalatçı ülkelerin sorumluluklarını belirlemede zorluk yaratır ve emisyon azaltma çabalarını etkiler. Bir başka sorun olarak karşımıza kaçak (leakage) ve dış kaynak kullanımı (outsourcing) çıkmaktadır. Kaçak, bir yerden başka bir yere taşınan emisyonları ifade ederken, dış kaynak kullanımı, bir organizasyonun dışarıda bir projeye yatırım yaparak karbon azaltım avantajları elde etmesini ifade eder. Her iki durum da çevresel politikaların etkilerini ve emisyon azaltma çabalarını karmaşıktırabilir. Bir ülkedeki sıkı çevresel düzenlemeler, üretimin başka bir ülkeye kaymasına ve emisyonların artmasına neden

olabilir. Bu durum, küresel emisyon azaltma hedeflerinin gerçekleştirilmesini engelleyebilir.

Yapılan uluslararası anlaşmalar veya çevresel yaptırımlar gibi bazı uygulamalar sayesinde enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonlar yenilenebilir enerjiye geçiş ve enerji sistemlerinin iyileştirilmesiyle kısmen gelişme göstermiş fakat malzeme konusu göz ardı edilmiştir. Karbonsuz bir geleceği temsil eden büyük enerji dönüşümünün ancak malzeme kullanımının denklemin bir parçası olması durumunda sürdürülebilir olabilecektir (Karakaya, 2023). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)), (2022) sadece enerji sistemlerde bir iyileştirmenin iklim değişikliği ile mücadele yeterli olmadığını öne sürmüştür. Ellen MacArthur Foundation, (2019)'a göre, mevcut enerji odaklı iyileştirmeler ile emisyonların %55'i azaltılırken, net-sıfır hedefine ulaşmak için kalan %45'i ise malzeme kullanımında yapılacak olan dönüşüm ile başarılabilecek olduğunu söylemektedir. Dolayısıyla, malzeme tüketiminin azaltılması ve malzeme verimliliğinin sağlanması emisyonların azaltılmasında oldukça önemlidir.

Ülkelerin malzeme tüketimindeki değişiklikler, çeşitli faktörlere bağlı olarak ortaya çıkabilir. Bu faktörler arasında ekonomik büyüme, endüstriyel yapı, nüfus dinamikleri, ticaret politikaları, teknolojik gelişmeler ve çevresel bilinçlilik gibi etkenler bulunabilir. Ayrıca, dış ticaretin de malzeme tüketimi üzerinde dolaylı olarak bir etkisi bulunmaktadır. Dış ticaret aracılığıyla ülkelerin malzeme tüketim değerlerinde yanıltıcı bir değişim söz konusu olmaktadır. Bu çalışma da bunu malzeme kaçağı (material leakage) olarak isimlendiriyoruz. Malzeme kaçağı kısaca, bir ülkenin dış ticaret yoluyla toplam malzeme tüketimini yanıltması durumu olarak ifade edilebilir. Wiedmann vd. (2015), bu durumun farkına varmış ve malzeme tüketimini ölçmek için kullanılan Yerel Malzeme Tüketimi (Domestic Material Consumption (DMC)) göstergesinin yerine Malzeme Ayak İzi (Material Footprint (MF)) göstergesinin, daha doğru sonuçlar vereceğini öne sürmüştür. Sebebi ise MF'nin dış ticaret yoluyla tüketilen malzemeleri de hesaba katması ve bir ülkenin toplam malzeme tüketimini göstermesidir. Bunun anlamı, eğer bir ülke dış ticaret yoluyla malzeme tüketiminde bir değişikliğe neden oluyorsa bunu MF yakalamaktadır.

Dış ticaret ve malzeme ayak izi arasındaki ilişki karmaşıktır. Bu çalışma, Avrupa Birliği (AB) ülkeleri ve ticaret ortakları arasındaki malzeme ayak izi ve ticaret ilişkisini daha iyi anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. AB, küresel ticaretin

önemli bir aktörü konumunda olması ülke sepetinin seçilmesinde etkili olmuştur. AB, dünyanın en büyük ithalatçısı ve ihracatçısıdır. AB'nin ticaret ortakları arasında, Çin, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Rusya ve Türkiye gibi ülkeler bulunmaktadır. AB'nin ticaret ortakları, AB'nin malzeme ayak izini önemli ölçüde etkilemektedir. AB'nin hammadde ithalatının yaklaşık %60'ı, AB'nin ticaret ortaklarından sağlanmaktadır. Bu hammaddeler, AB'nin malzeme ayak izinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Ticaret ortakları arasında gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerin bulunmasının analizi zenginleştirecektir. Böyle bir çalışmanın yapılması değerlidir, çünkü literatürde malzeme ve sürdürülebilirlik ilişkisi ile ilgili sınırlı çalışma bulunmaktadır. Bu konunun altının çizilmesi önemlidir. Bir diğeri ise MF'nin hangi faktörlerdeki değişimler neticesinde ne tür bir tepki verdiğini bilmektir. Bu çalışmanın amacı MF'nin belirleyicilerini saptamak ve ticaret ile arasındaki ilişkiyi araştırmaktır. “Malzeme ayak izi ve ticaret arasındaki ilişki nedir?” sorusu bu çalışmanın temel motivasyonudur. Bu sorunun cevaplanmasıyla birlikte ülkeler buna uygun politikalar geliştirebilir ve malzeme ayak izindeki artışın önüne geçebilirler.

Bu doğrultuda çalışmanın ilk bölümünde malzeme ayak izi ve ticaret hakkında alt başlıklar ile detaylı bilgiler sunulacaktır. Malzeme verimliliğinin sağlanması açısından kritik bir sistem olan döngüsel ekonomi sistemine değinilecek ve bazı uluslararası anlaşmalar malzeme perspektifinden incelenecektir. Dış ticaret ve malzeme ayak izi arasındaki ilişkinin sebepleri tartışılacak ve malzeme kaçağı kavramından da bahsedildikten sonra ikinci bölüme geçilecektir. İkinci bölümde çalışmaya ilişkin yapılan çalışmalar literatür özeti başlığı altında verilecek ve uygulanacak Ayrıştırma (Decomposition) ve Panel Veri Analizi hakkında detaylı olarak aşamalar sunulacaktır. Ampirik analiz sonrasında elde edilen bulgular da bu bölümde paylaşılacaktır. Sonuç bölümünde ise yapılan analizlerin bulgularına ilişkin değerlendirmeler ve politika önerileri ele alınarak çalışma tamamlanacaktır.

BİRİNCİ BÖLÜM

MALZEME TÜKETİMİNDEN MALZEME AYAK İZİNE

1.1. Malzeme Tüketimi Kavramı

Malzemeler, günlük hayatımızda insan ihtiyaçları için üretilir ve her alanda kullanılır. Malzeme tüketimi, bir ekonomide kullanılan malzeme miktarını (ağırlık cinsinden), yani ülkede çıkarılan veya imal edilen malzemeler artı ithal edilen malzeme ve ürünler, eksi malzeme ve ihraç edilen ürünler anlamına gelir (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)), (2023). Endüstriyel üretim, inşaat, imalat ve benzeri faaliyetlerde kullanılan hammaddelerin, enerjinin ve diğer kaynakların miktarı ve çeşitliliği anlamında temel bir kavramdır. Bu bağlamda, malzeme tüketimi bir faaliyetin gerçekleştirilmesi için kullanılan fiziksel varlıkların niceliksel ifadesini sağlar. Malzeme tüketimi ekonomide doğal kaynak kullanımının sürdürülebilirliğinin önemli bir göstergesidir (OECD, 2019). Malzeme tüketimi, bir ekonominin çevresel etkisini izlemenin yanı sıra maliyet avantajı, verimlilik ve sürdürülebilirlik fırsatlarını belirlemek için kullanılabilir.

Malzeme tüketimi ekonomik, sosyal, çevresel ve teknolojik faktörlerden etkilenebilir. Ekonomik büyüme, enerji tüketimi, nüfus, ekonomi içerisinde sanayi veya hizmet sektörünün payı, malzeme fiyatı ve ticari açıklık gibi faktörlerin etkileşimi, toplam malzeme tüketimini belirlemede rol oynayabilir.¹

Malzeme tüketiminin ölçülmesi için çeşitli göstergeler bulunmaktadır. Literatürde malzeme tüketimini ölçmek için kullanılan öne çıkan iki gösterge DMC ve MF bir ülkenin veya bölgenin kaynak kullanımını ve malzeme tüketimi ile ilgili çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılan kavramlar olup, tüketimin farklı yönlerine odaklanırlar. European Data Portal, (2023) tanımlamasına göre DMC'nin nasıl hesaplandığı Eşitlik 1'de sunulmuştur.²

$$DMC = DMI - EXP \quad (1)$$

DMC göstergesi, bir ülke ekonomisinin içinde kullanılan malzeme miktarının (biyokütle, fosil yakıtlar, metaller, mineraller, vb.) toplamını ölçer. Bu, yerel olarak

¹ İlgili çalışmalar için bkz.: Telega ve Telega, (2019); Wu vd., (2019); Karakaya vd., (2021); Meng ve Lin, (2022); Karakaya vd., (2023); Alataş vd., (2023).

² DMI (Direct Material Input), doğrudan malzeme girdisini ve EXP (Export), ihracatı temsil etmektedir.

çıkarılan kaynaklar ve ithal edilen kaynaklar dahil olmak üzere, ihraç edilen kaynakların çıkarılmasıyla hesaplanır. Temel olarak, bir ülkenin ekonomik faaliyetlerini desteklemek için gereken toplam malzeme girdisini yakalar. DMC, bu malzemelerin çıkarılması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi ile ilişkili çevresel etkileri dikkate almaz.

Bu noktada MF alternatif bir gösterge olarak kullanılmaya ve tercih edilmeye başlamıştır. Eşitlik 2’de MF’nin formülü verilmiştir (Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme) (UNEP, 2022)).³ Denklem 1 ile karşılaştırıldığında MF’nin DMC’den daha kapsamlı bir gösterge olduğunu söyleyebiliriz.

$$MF = DE + RME_{IM} + RME_{EX} \quad (2)$$

MF daha geniş bir kavramdır ve bir ülke ekonomisinin içinde kullanılan malzemelerin fiziksel miktarının yanı sıra, bu malzemelerin tüm yaşam döngüsü boyunca küresel ölçekte çevresel etkilerini de göz önünde bulundurur. Bu, sadece DMC’yi değil aynı zamanda malzemelerin üretimi ve taşınmasıyla ilişkilendirilen çevresel baskıları da içerir, ayrıca malzemelerin tüm yaşam döngüsü boyunca üretilen atıkları ve emisyonları da hesaba katar. MF, nihai tüketimde yer alan toplam hammaddeyi ölçer ve bir ekonominin nihai talebini karşılamak için çıkarılan kullanılmış hammaddenin küresel tahsisini ifade eder (Wiedmann vd., 2015).

DMC ile MF arasındaki temel fark, DMC’nin sadece bir ülke ekonomisinin içinde kullanılan malzemelerin fiziksel miktarına odaklanırken, MF’nin bu malzeme akışlarının daha geniş çevresel etkilerini, çıkarılma aşamasından bertaraf aşamasına kadar olan tüm yaşam döngüsünü içeren bir bakış açısı sunduğudur. MF, kaynak tüketiminin çevresel sonuçlarını daha bütünsel bir perspektifle değerlendirmeyi amaçlar ve daha doğru sonuçlar verdiği öne sürülmektedir.

Malzemeler neredeyse tüm sektörlerde kullanılmaktadır. Metaller (çelik, demir, bakır, alüminyum vb.), metal olmayanlar (karbon (elmas, grafit formunda), azot, kükürt vs.) ve mineraller (kuvars, zirkon, klorit vb.) olarak üç kategoride sınıflandırılır. Bu malzemeler, endüstriyel, inşaat, elektronik, enerji ve birçok diğer sektörde çeşitli amaçlar için kullanılır. Örneğin, inşaat sektöründe çimento, demir,

³ DE (Domestic Extraction of Materials), yurtiçi malzeme çıkarımını; RME_{IM} (Raw Material Equivalent of Imports), ithalatın hammadde eşdeğerini ve RME_{EX} (Raw Material Equivalent of Exports), ihracatın hammadde eşdeğerini temsil etmektedir.

ahşap; tekstil sektöründe yün, pamuk, naylon; otomotiv sektöründe çelik, alüminyum, kauçuk; elektronik sektöründe plastik, bakır; gıda sektöründe plastik, cam, çelik ve enerji sektöründe çelik, polimer, alüminyum yoğun olarak kullanılan malzemelerdir.

Malzemelerin üretimi enerji, su ve doğal kaynakların kullanılmasını gerektirir. Örneğin çelik veya alüminyumun üretilmesi yoğun enerji gerektiren bir süreçtir ve bu enerji fosil yakıtlardan elde edilir. Aynı şekilde plastiğin üretimi de fosil yakıtlardan elde edilen ham petrole dayanmaktadır. Fosil yakıtlar, genellikle kömür, petrol ve doğalgaz gibi kaynaklardan elde edilen enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtların yanması, başta CO₂ olmak üzere büyük miktarda sera gazlarının atmosfere salınmasına neden olur. Özellikle CO₂, iklim değişikliği ile ilişkilendirilen bir sera gazıdır. Bu gazlar, atmosferdeki sera etkisini artırarak küresel ısınmaya katkıda bulunurlar.

Birbirine bir zincirin halkaları şeklinde bağlı olan malzeme-enerji-emisyon üçlüsünde ilk halka olarak görülen malzeme, tüketimi azaltıldığında zincirin diğer halkalarına da etki edeceği düşünülmektedir.

1.1.1. Sürdürülebilirlik Açısından Malzeme Tüketiminin Önemi

Sürdürülebilirlik, kaynakları mevcut ve gelecek nesillerin gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde kullanma ilkesini ifade eder. Bu kavram, çevresel, ekonomik ve sosyal alanlarda dengeyi sağlayarak, gezegenimizin ve insanlığın uzun vadeli refahını korumayı hedefler. Sürdürülebilirlik, ekosistemlerin sağlığını sürdürmeyi, doğal kaynakları verimli kullanmayı, atıkları azaltmayı, çevresel etkileri en aza indirmeyi, sosyal eşitsizlikleri azaltmayı ve ekonomik kalkınmayı sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirmeyi amaçlar. Bu doğrultuda sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme kabiliyetinden ödün vermeden, bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma olarak tanımlanmaktadır (Birleşmiş Milletler (United Nations (UN)), 2023).

UN üyesi ülkeler tarafından 2015 yılında kabul edilen ve dünya genelinde 2030'a kadar sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeyi amaçlayan 17 hedef belirlenmiştir. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goals (SDG)) adını alan bu hedefler 17 amaca yönelik 169 alt hedeften oluşur. Yoksulluğun sona erdirilmesi, açlığın sona erdirilmesi, eşitsizliklerin azaltılması, temiz su ve sanitasyonun sağlanması, iklim eylemi, barış ve adaletin güçlendirilmesi, sürdürülebilir enerji, ekonomik büyüme, eğitim gibi pek çok konuda kapsamlı hedefler

içerir. Temel amaç, insanların yaşam standartlarını artırmak, gezegeni korumak ve gelecek nesiller için sürdürülebilir bir dünya sağlamaktır (UN, 2015).

Ekonomik ve çevresel hedeflerin uyumlu hale getirilmesi, SDG'nin temel amacıdır ve en iyi şekilde, sürdürülebilir tüketim ve üretimi teşvik eden SDG 12. (Sorumlu üretim ve Tüketim) hedefinde ifade edilmektedir. Ekonomi ile doğal kaynak kullanımı arasındaki yakın ilişki ve ekonomik kalkınma ile yaşam kalitesini kaynak kullanımından ayırma gerekliliği, ülkelerin üretim ve tüketimde kaynak verimliliğini artırma ihtiyacını vurgulayan SDG 8. (İnsana Yakıyır İş ve Ekonomik Büyüme) hedefinde de ifade edilmektedir. İstatistik topluluğu, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşma ilerlemesini izlemek için geniş bir gösterge seti üzerinde anlaşmış ve malzeme ayak izini SDG 8.4 (2030 yılına kadar tüketim ve üretimde küresel kaynak verimliliğinin kademeli olarak iyileştirilmesi ve gelişmiş ülkelerin öncülüğünde sürdürülebilir tüketim ve üretime ilişkin 10 yıllık program çerçevesi uyarınca ekonomik büyümeyi çevresel bozulmadan ayırmaya çalışmak) ve 12.2 (2030'a kadar doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimini ve verimli kullanımını sağlamak) için temel bir gösterge olarak kabul etmiştir.

Sürdürülebilirlik ve malzeme tüketimi arasındaki ilişki, doğal kaynakların korunması, çevresel etkilerin azaltılması ve gelecek nesillerin gereksinimlerinin karşılanması amacıyla oldukça önemlidir. 2015 sonrası yeni SDG'ler, genel kalkınma hedeflerine ulaşmada doğal kaynak kullanımının sürdürülebilirliğinin hayati önem taşıdığı vurgulanmaktadır (Schandl vd., 2018). Malzeme tüketimi, sürdürülebilirlik ilkelerine uygun olarak yönetilmediğinde çevresel sorunlar ve sosyal dengesizlikler ortaya çıkabilir. Sürdürülebilir malzeme tüketimi, bu kaynakların gelecek nesillerin gereksinimlerini de karşılayacak şekilde kullanılmasını sağlar. Ayrıca, malzeme tüketimi arttıkça atık üretimi de artar. Atıkların doğru şekilde yönetilmemesi çevresel kirliliğe yol açabilir. Sürdürülebilir malzeme tüketimi, atık üretimini azaltmaya ve geri dönüşümü teşvik etmeye yönelik çabalara destek sağlar. Bu nedenle, sürdürülebilir malzeme tüketimi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için vazgeçilmez bir unsur olarak kabul edilir.

1.1.2. Sürdürülebilir Malzeme Tüketiminde Döngüsel Ekonomi Modelinin Önemi

Döngüsel ekonomi, doğal kaynakların ve malzemelerin verimli bir şekilde kullanılmasını, atıkların azaltılmasını ve kaynakların sonsuz bir döngü içinde ekonomik sisteme geri dönmesini amaçlayan bir ekonomik modeldir. UNEP, (2023) atıkları ortadan kaldırmaya odaklanan bir ekonomik model; malzemelerin yeniden kullanımını, geri dönüşümünü ve geri kazanımını artırmak; sınırlı kaynakların kullanımının azaltılması ve yenilenebilir alternatiflere geçiş ve kirlilik gibi olumsuz unsurların azaltılması olarak tanımlanmaktadır.

Geleneksel lineer ekonomik modelden farklı olarak, döngüsel ekonomi modeli ürünlerin yaşam döngüsünün sonunda atık olarak değil, yeni ürünlerin üretimi için kullanılacak kaynaklar olarak görülmesini savunur. Döngüsel ekonominin en önemli amaçlarından birisi, birincil hammadde kullanımının azaltılmasıdır. Yani topraktan yeni madenlerin çıkartılması yerine, hâlihazırda kullandığımız malzeme veya ürünlerin kendilerini sürekli yeniledikleri bir sistem içerisinde en etkili ve olabildiğince en uzun ömürlü kullanım senaryolarını savunmaktadır (Mert, 2023a).

Sanayi sektörü döngüsel ekonomiden en çok fayda sağlayabilecek sektördür, çünkü yenilenebilir enerji kullanımının en az mümkün olduğu dolayısıyla çok fazla fosil yakıt kullanımıyla en çok CO₂ emisyonuna sebep olan sektördür. Bunun yanında sanayi sektöründe kullanılan bazı malzemeler geri dönüştürmeye pek elverişli olmadığından, döngüsel ekonomi modeli bu malzemeler için de yeniden kullanım olanağı sağlar (Fragkos, 2022). Bu yüzden literatürde bazı çalışmalarda döngüsel ekonomi veya malzeme etkinliği stratejileri başlığı altında ele alınan; malzeme ve enerji verimliliğini amaçlayan 4 temel aşamadan bahsetmektedir. Bunlar; tasarım aşaması, üretim aşaması, kullanım aşaması ve kullanım ömrü sonu aşaması (Hiçyılmaz vd., 2022).

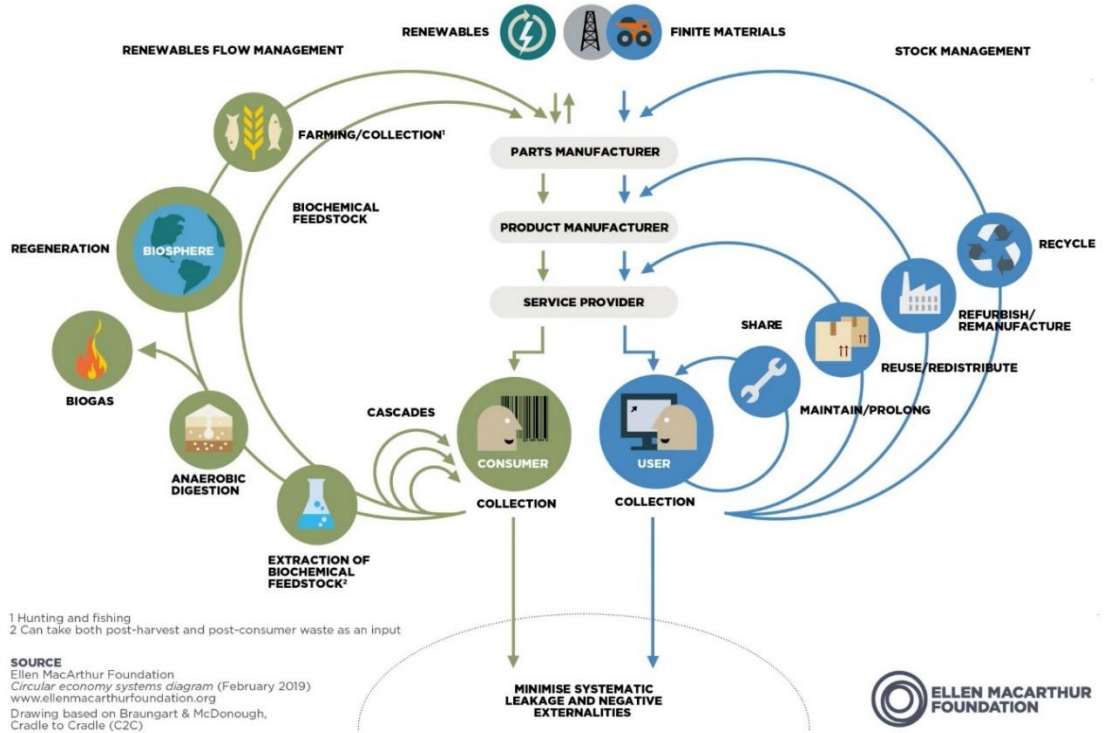
Ürün tasarımı aşamasında ürünler, dayanıklı, onarılabilir ve geri dönüştürülebilir şekilde tasarlanır. Üretim aşamasında, atık üretimi en aza indirilerek malzeme kaynakları daha verimli bir şekilde kullanılır. Kullanım aşamasında ürünler mümkün olduğunca uzun süre kullanılır ve bakımı yapılır. Dayanıklı ürünlerin tercih edilmesi ve paylaşım ekonomisinin teşvik edilmesi bu aşamada önemlidir. Son aşama ise ürünlerin ömrü sona erdiğinde veya kullanılamaz hale geldiğinde, malzemeler geri

dönüştürülür veya yeniden kullanılır. Bu aşamada, malzemelerin en yüksek değerle geri kazanılması amaçlanır. Ürünün bu şekilde sürekli sistemin içinde tutulması hem malzemenin hem de üretim esnasında kullanılacak olan enerjiden tasarruf edilmesiyle birlikte, ortaya çıkacak olan atık ve emisyon miktarında da azaltım sağlayacaktır.

Döngüsel ekonomiyi destekleyen kâr amacı gütmeyen bir kuruluş olan Ellen MacArthur Vakfı tarafından kelebek diyagramı isimli bir şekil oluşturulmuştur (MacArthur, 2013). Diyagram, malzemelerin mümkün olduğu kadar uzun süre kullanımda nasıl tutulabileceğini ve atıkların nasıl en aza indirilebileceğini göstermektedir (Önder, 2018). İki ana döngüye ayrılır: teknik döngü ve biyolojik döngü. Şekil 1'de mavi okların bulunduğu sağ taraf kelebek diyagramının teknik döngüsünü gösterirken, yeşil okların bulunduğu sol taraf ise biyolojik döngüsünü göstermektedir.

Şekil 1

Kelebek Diyagramı



Kaynak: Ellen MacArthur Foundation, (2019).

Teknik döngü tarafında malzemelerin ve ürünlerin paylaşımı, bakımı, yeniden kullanımı, yeniden üretimi ve geri dönüşümü yoluyla kapalı bir döngü sisteminde kullanılan sonlu malzemelerdir. Biyolojik döngü bölümündeki malzemeler ise

yenilenebilir ve biyo-bazlı malzemelerin üretimi, enerji geri kazanımı ve bir sonraki birincil ürün döngüsünü beslemek için besinleri biyosfere geri döndürme adımlarından geçen açık döngülü bir kaynak sisteminde organize edilir (Mert, 2023b).

Teknik döngü, biyolojik olarak parçalanamayan malzemelere odaklanır. Bu malzemeler yeni ürünler oluşturmak için yeniden kullanılabilir, onarılabilir veya geri dönüştürülebilir. Teknik döngü dört aşamaya ayrılmıştır. Hammadde çıkartma, üretim, yeniden kullanım, onarım ve geri dönüşüm. Döngüsel ekonomide, mümkün olduğunca az hammadde çıkarmak ve bunları mümkün olduğunca verimli kullanılması istenir. Dayanıklı, onarımı kolay ve geri dönüşümü kolay ürünler tasarlamak hedeflenir. Yeniden kullanım aşaması ise ürünlerin tekrar tekrar kullanıldığı aşamadır. Döngüsel ekonomide, mümkün olduğunda ürünlerin yeniden kullanımı teşvik edilir. Ürünleri kiralarak veya ödünç vererek veya ikinci el ürünler satın alarak yapılabilir. Onarım aşaması, ürünlerin bozulduğu zaman tamir edildiği aşamadır. Döngüsel ekonomide, ürünlerin onarımını kolay ve uygun maliyetli hale getirilmesi amaçlanır. Bu, onarım hizmetleri sağlayarak veya tüketicilerin ürünleri kendilerinin onarmasını kolaylaştırarak yapılabilir. Son olarak ürün kullanım ömrünü tamamladığında geri dönüşüm aşamasında hammaddelerine ayrılır. Hammaddeler daha sonra yeni ürünler oluşturmak için kullanılabilir. Döngüsel ekonomide mümkün olduğu kadar çok malzemeyi geri dönüştürmek önemlidir. Geri dönüşüm programları oluşturularak veya tüketicilerin ürünleri geri dönüştürmesini kolaylaştırarak yapılabilir.

Biyolojik döngü, biyolojik olarak parçalanabilen malzemelere odaklanır. Bu malzemeler, besin açısından zengin toprak oluşturmak için kompostlanabilir. Biyolojik döngü üç aşamaya ayrılır: tüketim aşaması, kompostlama aşaması ve bertaraf etme aşaması. Tüketim aşaması, tüketicilerin biyolojik olarak parçalanabilen ürünleri kullanması beklenir çünkü bu, ürünlerden gelen besin maddelerinin toprağa geri döndürülmesini sağlamaya yardımcı olacaktır. Kompostlama aşaması, biyolojik olarak parçalanabilen ürünlerin besin maddelerine ayrıldığı aşamadır. Besinler daha sonra besin açısından zengin toprak oluşturmak için kullanılabilir. Bertaraf etme aşamasında ise biyo-bozunur ürünlerin bertaraf edildiği aşamadır. Döngüsel ekonomi, mümkün olduğunda biyolojik olarak parçalanabilen ürünleri kompost haline getirmektedir. Bu, besin maddelerinin toprağa geri dönmesine yardımcı olacak ve bunların çöplüklere veya yakma fırınlarına gitmesini önleyecektir.

Teknik döngü ve biyolojik döngü, döngüsel ekonominin iki önemli parçasıdır. Döngüsel ekonomi kelebek diyagramı, döngüsel ekonomiyi görselleştirmek için güçlü bir araçtır. Malzemelerin nasıl mümkün olduğu kadar uzun süre kullanımda tutulabileceğini ve atıkların nasıl en aza indirilebileceğini anlamamıza yardımcı olabilir. Döngüsel ekonomi ilkelerini uygulayarak kendimiz ve gelecek nesiller için daha sürdürülebilir bir gelecek yaratabiliriz. Malzeme veya ürünlerin kapalı bir sistem içinde sürekli olarak kullanılmasına olanak sağlamasıyla kaynakların tükenmesinin önüne geçer. Ürünün bu şekilde sürekli sistemin içinde tutulması hem malzemeden hem de üretim esnasında kullanılacak olan enerjiden tasarruf edilmesiyle birlikte, ortaya çıkacak olan atık ve emisyon miktarında da azaltım sağlayacaktır (Mert, 2023a). Kısacası malzemelerin en verimli hali ile kullanılması, malzemelerin sürdürülebilir tüketimine önemli bir katkıda bulunur. Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma yolunda döngüsel ekonomi kritik bir stratejidir.

1.2. Malzeme Ayak İzi Kavramı

Malzeme ayak izi, küresel malzeme çıkarımının bir ülkenin yurt içi nihai talebine atfedilmesidir. Malzeme ayak izi terimi, ekolojik ayak izinin bir türevi olarak kabul edilir. Toplam malzeme ayak izi, biyokütle, fosil yakıtlar, metal cevherleri ve metalik olmayan minerallerin malzeme ayak izinin toplamıdır (UNEP, 2022). Malzeme ayak izi, bir ülkenin tüketiminin tüm küresel tedarik zinciri boyunca birincil malzemelerin çıkarılması ve kullanımına katkısını ölçer. Biyokütlenin toplanması ve kaynakların çıkarılması (mineraller, metal cevherleri ve fosil yakıtlar) ile nihayetinde başka yerlerde tüketilen nihai mal ve hizmetler arasında doğrudan bir bağlantı sağlar. Wiedmann (2015), kullanılmış ham madde çıkarımının bir ekonominin nihai talebine küresel tahsisi olarak tanımlamıştır.

Gittikçe karmaşık hale gelen küresel ekonomide tedarik zinciri ağlarının anlaşılması, kaynak verimliliğine yönelik etkili politikalar tasarlarlarken kritik önem taşır (Lenzen vd. 2021). Malzeme ayak izi kavramı, 2000'li yılların başlarından itibaren çeşitli araştırmacılar ve kuruluşlar tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Bu kavramın yaygınlaşması, kaynak tüketimi, çevresel etkiler ve sürdürülebilirlik gibi konuların daha fazla önem kazandığı bir döneme denk gelir. Malzeme ayak izi kavramı, ürünlerin veya hizmetlerin yaşam döngüsü boyunca kullanılan malzemelerin miktarını ve bu malzemelerin çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılan bir ölçüdür (Steinberger et al., 2010). Bu ölçüm, ürünün hammadde çıkarımından başlayarak

Üretim, taşıma, kullanım ve atık yönetimi gibi aşamalaradaki malzeme tüketimini içerir. Bu tüketim, enerji kullanımı, su kullanımı ve doğal kaynak tüketimi gibi çeşitli çevresel etkileri içerebilir.

Malzeme ayak izi, kaynak kullanımına ilişkin bir tüketim perspektifi ve ulusların gerçek kaynak üretkenliğine ilişkin yeni içgörüler sağlamaktadır (Wiedmann, 2015). Malzeme ayak izi, tüketimin çevresel etkilerini anlamak için de yararlı bir araçtır. Kaynak kullanımının zaman içindeki eğilimlerini takip etmek ve sektörlerin veya ülkelerin evre üzerindeki etkilerini belirlemek için kullanılabilir. Küresel ölçekteki doğal kaynak tüketimi, enerji kullanımı, CO₂ emisyonları, tedarik zinciri etkileri gibi önemli çevresel faktörleri anlamak ve değerlendirmek için etkili bir araçtır. Bu analizler, sürdürülebilirlik stratejilerinin oluşturulmasında, ürün karşılaştırmalarında, politika ve düzenlemelerin belirlenmesinde ve çevresel farkındalığın artırılmasında önemli bir rol oynar.

Malzeme tüketimi, malzeme ayak izini belirleyen en temel faktördür, çünkü daha fazla tüketim genellikle daha büyük bir malzeme ayak izine yol açar. Malzeme verimliliği, üretim süreçlerinin ve tüketim alişkanlıklarının ne kadar verimli olduğunu belirler ve daha verimli üretim ve kullanım yöntemleri, malzeme ayak izini azaltabilir. Nüfus büyüklüğü, enerji tüketimi, ekonomik büyüme, ticaret, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, kentleşme ve insan kaynakları gibi diğer faktörler de malzeme ayak izini etkileyen önemli etkenlerdir.⁴

Malzeme ayak izi hesaplamaları, ürünlerin veya hizmetlerin çevresel sürdürülebilirlik performansını değerlendirmek ve çevresel etkileri azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek amacıyla kullanılır (Tukker vd., 2016). Bu hesaplamalar, özellikle şirketlerin, endüstrilerin ve hatta ülkelerin evre dostu üretim ve tüketim uygulamalarını değerlendirmelerine yardımcı olur. Kaynakların daha verimli kullanılmasını teşvik ederek atık miktarını azaltmaya da katkı sağlar (Owen vd., 2010). Bu durum hem işletmelerin maliyetlerini düşürmelerine hem de doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur. Aynı zamanda, ürün tasarımında malzeme seçimine ve tedarik zinciri yönetimine rehberlik eder. Bu şekilde, ürünlerin çevresel etkilerini azaltmaya odaklanarak sürdürülebilir üretim süreçleri oluşturulabilir. Aynı zamanda tüketicilere, ürünlerin çevresel etkileri hakkında bilgi sağlayarak daha bilinçli tercihler

⁴ örnek çalışmalar için bkz.: Karakaya vd., (2021); Sahoo vd., (2021); Turgut ve Gökten, (2023).

yapmalarına yardımcı olur. Bu da tüketicilerin çevresel sürdürülebilirliği desteklemelerine ve ürünlerin çevre üzerindeki etkilerini azaltan ürünleri tercih etmelerine olanak tanır. Böylece, tüketicilerin talepleri doğrultusunda daha sürdürülebilir üretim ve tüketim eğilimleri teşvik edilebilir (Weidemann vd., 2008). Tüm bu nedenlerle, malzeme ayak izi çevresel sürdürülebilirlik, kaynak verimliliği, ürün tasarımı ve tüketicilerin farkındalığı gibi konularda önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar sıklıkla MF göstergesini analizlerine dahil etmektedir.⁵ MF göstergesinin avantajları önceki bölümlerde sunulmuştu. Kaynak kullanımının gerçek etkisini daha iyi temsil etmek için, küresel malzeme çıkarımının bir ülkenin yurt içi nihai talebine atfedilmesini dikkate alan tüketime dayalı MF göstergesi önerilmektedir. MF yalnızca bölgesel etkileri değil, aynı zamanda ticaretteki (hem ithalat hem de ihracat) somut etkileri de kapsamaktadır (Karakaya vd., 2021). Bundan dolayı bu çalışmada ülkelerin malzeme tüketimlerinin incelenmesinde MF göstergesi kullanılacaktır.

1.2.1. SDG’de Malzeme Ayak İzinin Önemi

Malzeme ayak izi stratejilerinin uygulanması ve malzeme ayak izi politikalarının, net sıfır emisyon hedeflerine ve SDG’lere ulaşmak için stratejik bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koyulmuştur (Sofuoğlu ve Kırıkkaleli, 2023). Hedef 12 (Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim), hedef 13 (İklim Eylemi), hedef 14 (Deniz ve Deniz Kaynaklarının Korunması ve Sürdürülebilir Kullanımı), hedef 15 (Karasal Ekosistemlerin Korunması, Sürdürülebilir Kullanımı, Ormanların Sürdürülebilir Yönetimi, Çölleşmeyle Mücadele ve Biyolojik Çeşitliliğin Kaybını Durdurma) ve hedef 17 (Küresel Ortaklık) doğrudan malzeme ayak izi ilişkilendirilebilir. Hedef 12, kaynakların daha verimli kullanılmasını, atık üretiminin azaltılmasını ve çevresel etkilerin minimize edilmesini hedefler. Malzeme ayak izi, ürünlerin üretim, tüketim ve atık aşamalarındaki malzeme ve enerji kullanımını değerlendirerek bu hedefe katkı sağlayabilir. Malzeme ayak izi verileri, daha sürdürülebilir üretim ve tüketim pratiklerini belirlemek ve uygulamak için kullanılabilir.

⁵ İlgili çalışmalar için bkz.: Li vd., (2023); Razzaq vd., (2022); Karakaya vd., (2021); Ansari vd., (2020); Buhl vd., (2019).

Hedef 13, iklim değişikliği ile mücadele etmeyi amaçlar. Malzeme ayak izi, ürünlerin üretim ve kullanım aşamalarındaki karbondioksit emisyonlarını ve enerji kullanımını değerlendirerek iklim değişikliği üzerindeki etkileri belirlemeye yardımcı olabilir. Bu veriler, sürdürülebilir enerji kullanımı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde stratejilerin oluşturulmasında kullanılabilir. Ayrıca, ürünlerin hammaddelerinin tedarik zinciri boyunca nasıl toplandığını ve kullanıldığını değerlendirerek doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimine katkıda bulunabilir. Bu, biyolojik çeşitliliğin korunması, su ve toprak kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı gibi hedeflerle de uyumludur.

Sürdürülebilir üretim ve tüketim modellerinin teşvik edilmesiyle ekonomik büyümenin ve istihdamın desteklenmesine katkı sağlayabilir. Bu şekilde, malzeme ayak izi hesaplamaları, SDG'nin birçok farklı hedefini desteklemek için kullanılabilir. Çevresel sürdürülebilirlik, kaynak verimliliği ve çevresel etkilerin azaltılması gibi alanlarda malzeme ayak izi analizleri, SDG'ye ulaşma çabalarında önemli bir araç olarak hizmet edebilir.

1.2.2. Uluslararası Anlaşmalar ve Malzeme Ayak İzi

Uluslararası anlaşmalar, ülkelerin iş birliği yaparak ortak sorunlara çözüm bulmasını, küresel hedeflere ulaşmayı, çevre korumasını sağlamayı, barışı ve güvenliği desteklemeyi, normlar ve standartlar belirlemeyi, uluslararası ilişkilerde düzeni kurmayı, çevre sürdürülebilirliği ve ekonomik iş birliğini teşvik etmeyi amaçlayan belgelerdir. Bu anlaşmalar, uluslararası alanda ülkelerin itibarını artırırken, küresel sorunların çözümüne ve dünya barışına katkıda bulunur. Uluslararası anlaşmaların sürdürülebilirlik hedeflerini gerçekleştirmek için malzeme ayak izi gibi çevresel ölçümler ve yönetim araçlarına ihtiyaç duyulur.

Uluslararası anlaşmalar, ülkelerin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için iş birliği yapmalarını sağlar. Bu anlaşmalar, çevre koruma, iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik gibi konularda uluslararası taahhütleri ve standartları belirler. Genellikle çevre koruma ve sürdürülebilirlik alanında hedeflere ulaşmak için malzeme ayak izi kullanılan bir ölçüm aracıdır. Anlaşmaların öngördüğü hedeflere ulaşmak için, ülkeler malzeme ayak izini azaltmaya yönelik adımlar atmaları gerekebilir. Bu adımlar, kaynak kullanımını daha etkili hale getirmek, enerji tüketimini azaltmak ve atık üretimini minimize etmek gibi önlemleri içerebilir. Örneğin, bir

uluslararası anlaşma iklim değişikliğiyle mücadele hedefleri belirlediyse, ülkeler bu hedeflere ulaşmak için malzeme ayak izini azaltmaya yönelik politikalar geliştirebilir. Daha az kaynak tüketimi, enerji verimliliği ve atık azaltma stratejileri hem anlaşmaların hedeflerine ulaşmayı destekler hem de çevresel sürdürülebilirliği artırır. Malzeme ayak izi ve yapılan uluslararası anlaşmalar arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Fakat çevrenin korunmasına yönelik olan uluslararası anlaşmaların hedefleri dolaylı olarak malzeme ayak izi ile ilişkilendirilebilir.

1.2.2.1. Rio Anlaşması (1992)

Rio de Janeiro'da 1992 yılında düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda, 178 ülkenin onayladığı ve yasal bağlayıcılığı olmayan bir belge olan Rio Çevre ve Kalkınma Bildirgesi olarak da bilinen Rio Anlaşması, geniş bir yelpazede çevresel ve kalkınma odaklı meseleleri ele alır (Rio Declaration, 1992). Bu belge, 27 temel ilke üzerine kurulmuştur. Bu ilkeler arasında kalkınma hakkı, ortak fakat farklılaşmış sorumluluklar ilkesi, ihtiyat ilkesi, kirleten öder ilkesi, nesiller arası eşitlik ilkesi, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ilkesi ve katılım ilkesi gibi unsurlar yer almaktadır. Ayrıca, bilgiye erişim ilkesi ve kamuoyunun bilinçlendirilmesi ve eğitimi ilkesi de bu temel ilkeler arasında bulunur.

Rio Anlaşması aynı zamanda iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı ve çölleşme gibi spesifik çevresel konulara yönelik taahhütleri de içerir. Bu taahhütler arasında, sürdürülebilir kalkınma için ulusal stratejilerin geliştirilmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılması, biyolojik çeşitliliğin korunması, çölleşme ile mücadele, sürdürülebilir tarımın desteklenmesi, su yönetiminin geliştirilmesi, okyanusların korunması ve gelişmekte olan ülkelerin özel gereksinimlerinin karşılanması gibi hedefler bulunmaktadır. Rio Anlaşması, geniş kapsamlı ve ileriye dönük bir yaklaşım sergilediği için sürdürülebilir kalkınma alanında takdir toplamıştır. Ancak belgenin aynı zamanda belirsiz ifadeler içermesi ve uygulama mekanizmalarının eksikliği eleştirilmiştir. Bu eleştirilere rağmen, Rio Anlaşması uluslararası çevre politikasının yönlendirilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Bu çerçevede, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için dünya genelinde hükümetler, işletmeler ve sivil toplum örgütleri tarafından referans alınmıştır (Grubb vd., 2019).

Rio ilkeleri, malzeme ayak izinin azaltılmasına katkı sağlayabilir. Öncelikle, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ilkesi, bugünkü ihtiyaçları karşılamak için

doğal kaynakların verimli kullanımını teşvik ederken gelecek nesillerin gereksinimlerini gözemesi anlamına gelebilir. Bu ilke, kaynakların israfını önleyerek malzeme ayak izini azaltmaya yardımcı olabilir. İhtiyatlı yaklaşım ilkesi, çevresel riskleri minimize ederken, malzeme ayak izini azaltmada etkin rol oynayabilir. Aynı şekilde, nesiller arası eşitlik ilkesi de malzeme ayak izini azaltma açısından önemlidir. Bu ilkeye göre, çevreyi koruma ve gelecek nesillere sağlıklı bir çevre bırakma sorumluluğu taşıyan günümüz nesilleri, kaynakları gelecek kuşakların ihtiyaçlarını gözeterek kullanılmalıdır. Bu yaklaşım da malzeme ayak izini azaltma hedefine katkı sağlayabilir. Bu ilkeler doğrultusunda, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı teşvik edilir; geri dönüşüm, onarım ve yeniden kullanım gibi yöntemlerle malzeme ayak izi azaltılabilir ve ülkeler çevrenin gelecek nesiller için korunmasına destek olabilirler.

1.2.2.2. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (1992)

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention On Climate Change (UNFCCC)), 1992 yılında imzaya açılan ve 1994 yılında yürürlüğe giren uluslararası bir anlaşmadır. UNFCCC'nin 1994 yılında yürürlüğe girmesinden sonra, UNFCCC'nin tüm taraflarından oluşan ve kararların ve yeni anlaşmaların kabul edildiği yetkili organ olan ilk Taraflar Konferansı (Conference of Parties (COP)) ilk kez 1995 yılında toplandı. İlk karar olan Berlin Mandası'nda COP'un tarafları, sera gazlarının azaltılmasında ilk adımı Ek I ülkelerinin (sanayileşmiş-gelişmiş ülkeler) atması gerektiği, Ek II dışı (gelişmekte olan) ülkelerin ise daha sonraki bir aşamada aynı şeyi yapması gerektiği konusunda anlaşmışlardır. (Kuyper vs., 2018). Ayrıca, iklim değişikliğinin şimdi ve gelecekte etkilerini ele alacak etkili bir 'kayıp ve hasar' mekanizmasını ele alınmıştır (Morgan ve Waskow, 2013).

UNFCCC, 26 maddeden oluşur. Sözleşmenin temel maddeleri, iklim sisteminin istikrarını sürdürmek, farklı sorumluluk ve gelişim seviyeleri ilkesine göre hareket etmek, sera gazı emisyonlarını izlemek, ilerlemeyi takip etmek ve değerlendirmek, araştırma ve gözlem yapmak, iletişim ve eğitimi teşvik etmek, çevre koruma ve yenilikçiliği desteklemek, finansman ve teknoloji transferi sağlamak, kapasite geliştirmek ve iyi niyetli eylemleri teşvik etmek şeklinde sıralanabilir (UNFCCC, 1992). Bu maddeler, UNFCCC'nin ana amaçlarını ve ilkelerini yansıtmaktadır. Bu sözleşme, iklim değişikliği ile mücadele etmek ve olumsuz

etkilerine karşı korunmak amacıyla dünya genelinde ülkeler arasında işbirliği ve eylemi teşvik etmek üzere tasarlanmıştır.

UNFCCC'nin temel amacı, iklim değişikliğinin insan faaliyetlerinden kaynaklandığını kabul ederek, sera gazı emisyonlarını azaltmak, iklim değişikliği etkileriyle başa çıkmak ve dünya genelinde sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için uluslararası işbirliğini teşvik etmektir. Sözleşme, tarafları (katılımcı ülkeleri) belirli yükümlülükler altına sokmamakla birlikte, ülkeleri emisyon azaltımı ve uyum gibi konularda çeşitli eylemler almaya teşvik etmektedir. UNFCCC, yıllık toplantılar ve görüşmeler aracılığıyla ülkeler arasında işbirliğini ve hedeflere ulaşmayı desteklemeyi amaçlamaktadır.

UNFCCC'nin odak noktası, sera gazı emisyonlarını azaltmaktır ve malzeme üretimi ile kullanımı bu emisyonlara doğrudan ve dolaylı olarak etki edebilir. Malzeme üretiminin yarattığı enerji kullanımı ve atık miktarı, sera gazı salımlarını artırabilir. Bu bağlamda, UNFCCC'nin hedeflerine ulaşmak için malzeme üretimini ve tüketimini sürdürülebilir hale getirme çabaları, emisyon azaltımında önemli bir rol oynayabilir. Aynı şekilde, malzeme üretimi genellikle yüksek enerji tüketimine dayanır ve fosil yakıtların kullanımına bağlıdır. Bu nedenle, enerji verimliliğini artırarak emisyonları azaltmayı amaçlar. Malzeme tasarımı ve üretiminde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı, UNFCCC hedeflerine uyum sağlamayı destekler. UNFCCC'nin hedefleri doğrultusunda malzeme kullanımında dögüsel ekonomi prensiplerine odaklanmak da önemlidir. Atık miktarının azaltılması, geri dönüşüm, yeniden kullanım ve malzemelerin ömrünün uzatılması gibi yaklaşımlar, doğal kaynakların daha etkili kullanılmasını ve çevresel etkilerin azaltılmasını amaçlamaktadır.

UNFCCC, küresel düzeyde iklim değişikliğiyle mücadele ve uyum için önemli bir çerçeve sağlamaktadır. Ülkeler arasında işbirliği ve koordinasyonu teşvik ederek, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi büyük sorunları ele almayı hedeflemektedir. UNFCCC'nin en önemli sonuçlarından biri, Kyoto Protokolü'dür.

1.2.2.3. Kyoto Protokolü (1997)

Kyoto Protokolü, 1992'de UNFCCC'nin bir parçası olarak kabul edilmiştir. 1997 yılında, Japonya'nın Kyoto şehrinde kabul edilen ve 2005 yılında yürürlüğe giren önemli bir uluslararası anlaşmadır (Kyoto Protocol, 1997). Protokol, ülkeler arasındaki işbirliğini kolaylaştırmak amacıyla, ülkelerin hedeflerine ortak veya ayrı ayrı

ulaşabilecekleri Uluslararası Emisyon Ticareti, Ortak Uygulama ve Temiz Kalkınma Mekanizmaları gibi mekanizmalar sunmaktadır (Böhringer, 2003). Bu protokol, küresel iklim değişikliği ile mücadeledeki uluslararası çabaların bir öncüsüdür ve bir dönüm noktası olarak kabul edilir. Protokol, endişe verici bir şekilde artan sera gazı emisyonlarını kontrol etmeyi amaçlamaktadır. Gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltma taahhütleri belirler.

Katılımcı ülkeler, protokolün ilk taahhüt dönemi 2008-2012 arasında emisyonlarını %5,2 azaltmayı kabul etmişlerdir (Maamoun, 2019). Bu taahhütler, 1990 yılına göre emisyonlarının ne kadar azaltılacağını belirler. Katılımcı ülkelerin emisyonlarını düzenli olarak izlemelerini ve rapor vermelerini gerektirir. Emisyon azaltma taahhütlerine uyulup uyulmadığını değerlendirmek için bir denetim sürecini içerir. Ayrıca, emisyon azaltma hedeflerine ulaşmak için esneklik sağlar. Katılımcı ülkeler, emisyon azaltma çabalarını yerine getirmek için karbon kredilerini ticaret edebilirler. Aynı zamanda, gelişmekte olan ülkelerin bu sürece uyum sağlamalarına yardımcı olmak için finansal destek sağlama taahhüdünde bulunur. Fakat ilk taahhüt dönemi sona erdikten ve küresel ısınma sorunu hala artmaya devam ettikten sonra, ikinci bir taahhüt dönemi için müzakerelere yol açmıştır. Protokol, uluslararası topluluğun iklim değişikliği ile mücadelede uzun vadeli taahhütlerde bulunma konusundaki kararlılığını vurgular.

Kyoto Protokolü, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını amaçlayan bir uluslararası anlaşma olup, bu hedef doğrultusunda malzeme tüketimi ile sıkı bir ilişkiye sahiptir. Protokol, sera gazı emisyonlarının kontrol edilmesini hedeflerken, malzeme üretimi, kullanımı, taşınması ve atık yönetimi gibi süreçler sera gazı salınımına etki eder. Fosil yakıt kullanımının yoğun olduğu malzeme üretimi ve taşıma işlemleri, sera gazlarının atmosfere salınımına neden olurken, sürdürülebilir malzeme kullanımı ve geri dönüşüm gibi uygulamalar emisyonları azaltabilir.

Kyoto Protokolü döneminde, sadece gelişmiş ülkelerin hedef alındığı ve bu ülkelerin düşük emisyon hedefleri koymasından dolayı malzeme odaklı politikalara yeterince önem verilmemiştir. Eğer bu ülkeler malzemeye daha fazla odaklanmış olsalardı, çevresel etkiyi azaltmada daha etkili olabilirdi. Fakat Protokol, küresel iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir adım olarak kabul edilir. Ancak, protokolün sınırlamaları ve yeni iklim değişikliği tehditleri, uluslararası topluluğu daha kapsamlı ve etkili çözümler arayışına yönlendirmiştir. Bu bağlamda, Paris

Anlaşması gibi sonraki anlaşmalar küresel iklim eylemini teşvik etmeye devam etmektedir.

1.2.2.4. Paris İklim Anlaşması (2015)

Paris İklim Anlaşması, küresel iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir dönüm noktası olan uluslararası bir anlaşmadır. Bu anlaşma, iklim değişikliğini sınırlamak ve küresel sıcaklık artışını kontrol altına almak amacıyla dünya liderleri tarafından 12 Aralık 2015 tarihinde Paris'te kabul edilmiştir. Paris İklim Anlaşması'nın temel amacı, küresel sıcaklık artışını sanayileşmiş öncü ülkelerin öncülüğünde 2 C° derecenin altında tutmak ve mümkünse 1.5 C° sınırlarında tutmaktır (UN, 2015). Bu, gezegenimizin karşı karşıya olduğu tehlikeli iklim değişikliği etkilerini sınırlamayı hedefler. Anlaşma, UN üyesi ülkeler arasında kabul edilir. 197 ülke ve Avrupa Birliği, Paris İklim Anlaşması'nı imzalamış ve onaylamıştır. Kyoto Protokolü'nde sera gazı azaltım yükümlülüğünü sadece gelişmiş ülkelere verirken, 2015 Paris İklim Anlaşması UN çatısı altında 197 ülkenin tamamına farklı ölçü ve düzeylerde sorumluluklar yüklemiştir. Her ülkenin kendi Niyet Edilen Ulusal Katkılarını sunmasını ve sera gazı emisyonlarını azaltma taahhüdünde bulunmasını öngörür. Bu taahhütler ülkeden ülkeye farklılık gösterir ve her ülkenin ekonomik ve çevresel koşullarına uygun olmalıdır. Ülkelerin emisyon azaltma taahhütlerini ve politikalarını belirli aralıklarla gözden geçirmelerini gerektirir. Bu, daha fazla eylem için bir fırsat sağlar. Paris İklim Anlaşması bağlayıcı, küresel, uzun vadeli, kurumsal, şeffaf ve hesap verilebilir ve evrenseldir (Karakaya, 2016; Bodansky, 2017).

Paris İklim Anlaşması, 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarını sıfıra indirme hedefi bulunur. Gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliği ile mücadele için finansman ve teknoloji transferi sağlanmasını öngörür. Zengin ülkeler, bu ülkeleri desteklemeyi taahhüt ederler. İklim değişikliğine uyum sağlama önlemlerini teşvik eder. Ülkeler, iklim değişikliğinin etkilerine karşı koruma önlemleri almalı ve toplumlarını bu değişikliklere karşı hazırlamalıdır. Düşük karbonlu ekonomilere geçişin teşvik edilmesini ve fosil yakıt kullanımını azaltılarak yenilenebilir enerjiye yönelmesi benimsenmiştir (Kaya, 2020).

Paris İklim Anlaşması, sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedeflerken, malzeme tüketimi doğrudan çevresel kaynakların kullanımıyla ilgilidir. Malzeme üretimi enerji yoğun bir süreç olduğundan, sera gazı emisyonlarını etkileyebilir. Ancak

sürdürülebilir malzeme tüketimi ve atık yönetimi uygulamaları, çevresel kaynakların daha verimli kullanılmasını teşvik ederek Paris Anlaşması'nın hedeflerine katkıda bulunabilir. Bu nedenle, iklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilir malzeme yönetimi arasında önemli bir bağlantı vardır.

Paris İklim Anlaşması, küresel iklim değişikliği ile mücadelede uluslararası işbirliğini teşvik etmek ve dünya genelinde sürdürülebilir bir gelecek için adımlar atmak için önemli bir adımı temsil eder. Ancak anlaşmanın başarısı, ülkelerin kendi taahhütlerini yerine getirme ve daha fazla eylem için işbirliği yapma yeteneğine bağlıdır.

1.2.2.5. Avrupa Yeşil Mutabakatı (2019)

Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal (EGD)), 2019 yılında Avrupa Birliği tarafından resmi olarak açıklanmıştır. Yeşil Mutabakat, AB'nin sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ile mücadele ve çevresel sorunlara odaklanan kapsamlı bir stratejisi olarak tanıtılmıştır (Fetting, 2020). Bu inisiyatif, AB'nin 2019'dan itibaren sürdürülebilirlik alanında daha fazla çaba gösterme taahhüdünü yansıtıyor. EGD, 2050 yılına kadar net-sıfır nihai hedefiyle AB'yi yeni bir kalkınma yoluna sokmayı amaçlayan bir dizi politika ve stratejiler paketidir (Karakaya, 2023).

EGD, AB üyesi ülkeler için bir inisiyatif olarak başlamıştır. Ancak bu mutabakat aynı zamanda AB ile işbirliği yapan ve bu hedeflere katkıda bulunan diğer ülkeler ve paydaşlar için de bir ilham kaynağıdır. AB dışındaki ülkeler ve uluslararası toplum da sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadele konularında benzer yaklaşımlar benimseyerek EGD'nin hedeflerine katkı sağlayabilirler. Bu nedenle EGD, sadece AB üyesi ülkeler için değil, aynı zamanda küresel bir etki yaratmayı amaçlayan bir girişim olarak görülebilir.

EGD, AB'nin sürdürülebilirlik hedeflerini ve iklim değişikliği ile mücadele amacını taşıdığı için malzeme kullanımı, kaynak yönetimi ve sürdürülebilir üretim ve tüketim konuları bu inisiyatifin merkezinde yer almaktadır. Malzeme tüketiminin azaltılmasını hedefler. Daha az malzeme kullanımı, doğal kaynakların korunmasına ve karbon ayak izinin azaltılmasına katkıda bulunur. Bu, sürdürülebilir üretim ve tüketim anlayışının temelini oluşturur. Aynı zamanda, malzeme verimliliğini artırmayı ve kaynakların daha etkili bir şekilde kullanılmasını teşvik eder. Üretim süreçlerinin daha

az malzeme kullanarak daha fazla ürün üretmesi, kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar.

Sürdürülebilir malzeme ve ürün seçimi, EGD'nin önemli bir bileşenidir. Çevre dostu malzemelerin ve ürünlerin tercih edilmesi, sürdürülebilir tüketimi teşvik eder. Daha fazla dögüsel ekonomi ve geri dönüşüm uygulamaları da EGD tarafından teşvik edilir. Bu, atık miktarını azaltırken malzemelerin tekrar kullanımını ve geri dönüşümünü artırır. Bunlarla birlikte, tedarik zincirlerini sürdürülebilir hale getirme hedeflerini içerir. Malzemelerin kaynağından tüketicilere kadar olan süreçte çevresel ve sosyal sorumluluklar dikkate alınır. İklim değışikliğı ile mücadele ve sürdürülebilirlik, üretim süreçlerinin yenilenebilir enerji kullanımı, enerji verimliliğı ve çevre dostu uygulamaları içerecek şekilde yeniden düzenlenmesini teşvik eder.

EGD, malzeme kullanımının azaltılması, daha sürdürülebilir üretim ve tüketim uygulamalarının teşviki ve kaynakların verimli kullanımını hedefleyen kapsamlı bir yaklaşım sunar. Bu, AB'nin sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerlemesine ve küresel ölçekte sürdürülebilirlik çabalarına liderlik etmesine katkıda bulunur.

1.3. Çevre ve Dış Ticaret Arasındaki İlişki

Dış ticaret, ülkeler arasında veya bölgeler arasında mal, diğer somut mülkiyet, soyut varlıklar, mülkiyet hakları veya hizmetlerin hareketini içeren her türlü ticaret, ekonomik faaliyet, ticaret, sözleşme, işlem ve diğer faaliyetleri ifade eder (Dünya Ticaret Örgütü (World Trade Organization (WTO)), 2009). Bu süreç çevresel etkilere yol açabilen ve iklim değışikliğı açısından önemli olan birçok faktörü içermektedir. Bu etkiler, doğrudan iklim değışikliğı nedeniyle oluşmasa da sera gazı emisyonları, doğal kaynakların tahribatı ve enerji tüketimi gibi yollarla dolaylı olarak iklim değışikliğine katkıda bulunabilir. Ticaretin hızlandırılması ve serbestleştirilmesi, kirlilik yoğun faaliyetleri, ticarete yer alan fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan karbon emisyonlarını, doğal kaynakların bozulmasını ve üretim artışını kolaylaştırabilir (Balogh ve Jámbor, 2020).

Dış ticaretin iklim üzerindeki en belirgin etkilerinden biri karbon emisyonlarıdır. Dış ticaret, ürünlerin üretimi, ambalajlanması ve taşınması için enerji tüketimini gerektirir ki bu süreçler aynı zamanda enerji tüketimini artırabilir. Ürün üretimi, enerji ve malzeme yoğun bir süreçtir. Bu süreçte kullanılan malzemelerin çıkarılması, işlenmesi, ürüne dönüştürülmesi ve montaj sırasında enerji tüketimi ve emisyonlar

ortaya çıkar. Emisyon transferi, bazı ülkelerin üretim süreçlerini daha az sıkı çevresel standartlara sahip bölgelere taşıyarak, tüketicinin ürünü kullandığı yerdeki emisyonları azaltmış gibi görünmesine neden olabilir. Üretilen malzemelerin taşınması sırasındaki ulaşım araçlarından kaynaklanan karbon emisyonları da emisyon transferine işaret eder.

Ambalaj ve atık yönetimi, ürünlerin ambalajlanması ve tüketiciye ulaştırılması sürecinde çeşitli malzemelerin kullanılmasına ve çevresel etkilere neden olabilir. Enerji yoğun endüstrilerin dış ticaret yoluyla faaliyet göstermesi, karbon salınımını artırabilir, çünkü bu endüstriler genellikle fosil yakıtları kullanır. Ürünlerin üretimi için gerekli enerjinin çoğu genellikle fosil yakıtlardan elde edilir, bu da sera gazı emisyonlarına katkıda bulunur.

Dış ticaret sürecinde kullanılan taşıma araçları, özellikle havayolu taşımacılığı ve uzun mesafeli kara taşımacılığı, yüksek karbon emisyonlarına yol açan taşıma yöntemleridir. Bu, dış ticaretin karbon ayak izini artırabilir. Atık ve kirleticilerin oluşumu da çevresel etkilere yol açar ve iklim değişikliği üzerinde dolaylı etkiler bırakabilir. Ambalaj malzemeleri ve taşıma işlemleri sırasında oluşan atıkların yönetimi, su kaynaklarını ve ekosistemleri etkileyebilir, bu da iklim değişikliği üzerinde etkilere yol açabilir. Bu nedenle, ürün yaşam döngüsü boyunca emisyonları değerlendirmek için tüm süreçlere dikkat etmek önemlidir.

Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)), karbon emisyonlarının ülkeler arası transferini önleyerek azaltmayı hedefleyen bir mekanizmadır. Bu mekanizma, AB'nin iklim hedeflerini ve karbon azaltım taahhütlerini koruma amacı güder. CBAM, ithal edilen ürünlerin çevresel maliyetini düşürmek ve böylece AB'nin iç pazarında faaliyet gösteren işletmeleri korumak için tasarlanmıştır. Ancak, bu mekanizmanın etkilerinden korunmak isteyen ülkeler ve ticaret ortakları, ithal ettikleri ürünlerin çevresel etkilerini azaltmak için çeşitli tedbirler almak zorundadır.

Dış ticaretin iklim değişikliği üzerindeki etkileri yalnızca karbon emisyonları ile sınırlı değildir. Özellikle doğal kaynakların dış ticaret yoluyla hareketi, ormansızlaşma, toprak erozyonu ve biyoçeşitlilik kaybına neden olabilir. Tropikal ormanların kesilmesi, karbon depolama kapasitesinin kaybına ve sera gazı

emisyonlarının artmasına sebep olabilir. Bu durum, sadece karbon dengesini değil, aynı zamanda ekosistem sağlığını ve biyoçeşitliliği de etkiler.

CBAM'ın dünya ticaretini nasıl etkileyeceği, temiz üretimin dış ticaret üzerindeki rolünü, karşılaştırmalı üstünlükleri ve fırsatları yeniden şekillendireceği konuları önemlidir. Bu mekanizma, sürdürülebilir üretim ve tüketim modellerine geçişin bir parçası olarak görülebilir ve küresel ticaretin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirmede bir kilometre taşı olabilir.

Dış ticaretin iklim değişikliği üzerindeki etkileri, ülkelerin dış ticaret politikaları, endüstriyel yapıları ve kaynaklarına bağlı olarak farklılık gösterir. Bazı ülkeler, çevre dostu ürünlerin üretimine odaklanarak dış ticaret yoluyla iklim değişikliği ile uyumlu hale gelirken, diğerleri doğal kaynakları ihracat temelinde kullanarak bu konuda olumsuz etkiler yaratabilir. Bu nedenle, dış ticaret politikalarının iklim değişikliği ile uyumlu hale getirilmesi ve sürdürülebilir üretim yöntemlerinin teşvik edilmesi önemlidir. Bunların aksine, dış ticaret aynı zamanda teknoloji transferini, iklim dostu ürünlerin ticaretini ve iklimle uyumlu ticaret politikalarını teşvik edebilir. Bu sayede, iklim değişikliği ile mücadelede de olumlu katkılarda bulunabilir.

1.3.1. Malzeme Ayak İzi ve Dış Ticaret

Dış ticaret, mal ticaretiyle birlikte malların taşınması sırasında ortaya çıkan emisyonları ve aynı zamanda bu malların üretim sürecindeki gömülü emisyonları da içermektedir. Bir ülkeden diğerine yapılan satışlarda, ürünlerin içeriğindeki gömülü emisyonlar da beraberinde taşınmakta ve bu emisyonlar, ithalat veya ihracat yoluyla kontrolsüz bir şekilde transfer edilmektedir. Dış ticaret politikaları, bu malzeme kaynaklı emisyonların yönetimi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Eğer dış ticaret kurallarında çevresel kısıtlamalar bulunmuyorsa, bu durum emisyonların kontrolsüz bir şekilde yayılmasına neden olabilir. Bu bağlamda, DMC ölçümü yetersiz kalabilir, ancak MF kavramı, ürünlerin üretiminden tüketime kadar olan yaşam döngüsünü gözleterek, bu emisyon ayrımını dikkate alarak bize daha kapsamlı bir bilgi sağlar. Bu nedenle, dış ticaret politikalarının sadece taşıma emisyonlarıyla sınırlı olmadığını, aynı zamanda ürünlerin üretim süreçlerindeki etkileri de göz önüne alarak çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir faktör olduğunu söyleyebiliriz.

Dış ticaret, malzeme ayak izini etkileyen önemli bir faktördür. İthalat ve ihracat, bir ülkenin malzeme ayak izini doğrudan etkiler; ithal edilen kaynak yoğun

ürünler malzeme ayak izini artırabilirken, daha sürdürülebilir ihracat ürünleri bu izi azaltabilir. Malzemelerin taşınması ve lojistik operasyonları, enerji tüketimine ve karbon emisyonlarına yol açabilir, uzun mesafelerdeki taşıma işlemleri malzeme ayak izini artırır. Küresel tedarik zincirleri, farklı ülkelerden gelen hammaddelerin kullanımını artırır (Bruckner, 2012). Teknoloji ve inovasyon, dış ticaret yoluyla farklı ülkelerden gelen ürünlerin ve teknolojilerin gelişimini teşvik ederek malzeme ayak izini etkiler. Ayrıca, dış ticaret politikaları ve düzenlemeler, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemek veya engellemek bakımından önemlidir. Kısacası, dış ticaret malzeme tüketimini birçok farklı yolla etkileyebilir. İthalat ve ihracat, malzeme tüketimini doğrudan etkilerken, malzemelerin taşıma, tedarik zincirleri, teknoloji ve düzenlemeler gibi faktörler de bu etkiyi şekillendirebilir. Bu nedenle, dış ticaret politikalarının ve uygulamalarının çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olması önemlidir.

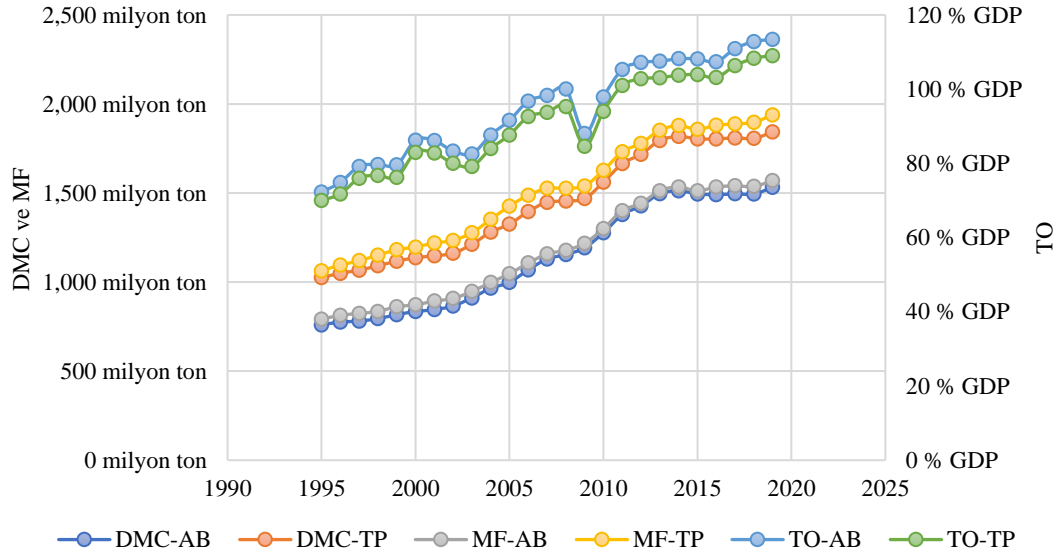
Dış ticaretin ölçülmesinde kullanılan Ticari Açıklık (Trade Openness (TO)) göstergesi, Ticaret/Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (Gross Domestic Product (GDP)) oranı ile bulunur ve uluslararası işlemlerin yerel işlemlere göre önemini ölçmek için sıklıkla kullanılır. Bu gösterge, her ülke için GDP'ye göre toplam ticaretin (yani mal ve hizmet ihracatı ve ithalatının toplamı) basit ortalaması (yani ortalaması) olarak hesaplanır (OECD, 2011). Ticari açıklık, dış ticaret hacminin arttığı bir durumu ifade eder ve bu durum malzeme ayak izini azaltabilir. Dış ticaret, daha fazla sürdürülebilir ve çeşitli malzemelere ve ürünlere erişimi kolaylaştırarak yerel kaynaklara olan bağımlılığı azaltabilir. Aynı zamanda daha verimli üretim süreçleri ve küresel tedarik zincirleri aracılığıyla malzeme verimliliğini artırabilir. Dış ticaret sayesinde yerel kaynakların korunması ve uluslararası işbirliği ile daha sıkı çevresel standartların benimsenmesi mümkün olabilir. Teknoloji transferi ve inovasyon, sürdürülebilir üretim yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

MF ile dış ticaret arasındaki bahsettiğimiz bu ilişkiyi daha iyi anlatabilmek için Şekil 2 ile, çalışmamız için seçilen ülkelerin MF, DMC ve TO verilerinin yıllık ortalamasını alınarak çizdiriyoruz. Şekle hem MF hem DMC'nin dahil edilmesinin sebebi bunların birlikte ele alınması gerektiğinden kaynaklanmaktadır. Çünkü bunlar ekonominin iki yönünü, yani üretim ve tüketimi kapsar. DMC, bir ekonomideki gerçek malzeme miktarını, MF ise nihai talebi karşılamak için tüm tedarik zincirinde gerekli olan sanal miktarı bildirir. Örneğin bir ülke, ihracata yönelik büyük bir birincil üretim

sektörüne sahip olduğu için çok yüksek bir DMC'ye sahip olabilir veya malzeme yoğun endüstriyel süreçlerin çoğunu diğer ülkelere yaptırdığı için çok düşük bir DMC'ye sahip olabilir. Malzeme ayak izi her iki olguyu da düzeltir.

Şekil 2

Malzeme Ayak İzi, Yerel Malzeme Tüketimi ve Ticari Açıklığın AB ve AB Ticaret Ortakları İçin Yıllara Göre Seyri



Ülkeler AB üyesi ülkeler ve ticaret partnerleri (TP) olarak iki gruba ayrılmıştır.⁶ Bu grafiğin çizilmesinin sebebi ilk olarak MF ve DMC arasındaki farkı görebilmek; ikincisi ise eğer ülke grubunun MF ile TO'daki durumu görmektir. Grafikte ilk olarak AB'nin MF ve DMC eğrilerinin neredeyse aynı eğime sahip olduğunu görürüz. Bu iyi bir şeydir, çünkü TO eğrisi TP'den daha yüksek olmasına rağmen MF'si DMC'den yüksek değildir. TP için MF ve DMC eğrilerini incelediğimizde ise aradaki fark AB'den daha fazladır. Bu farka rağmen TO eğrisi AB'den daha düşüktür. Yani, AB daha fazla ticaret yapıyor fakat MF'sine dayanarak malzeme tüketimini ülke sınırları dışına taşımamaktadır. Öte yandan TP daha az ticaret yapıyor fakat MF'si DMC'den daha yüksektir. Burada malzeme kaçığının söz konusu olduğunu söyleyebiliriz.

⁶ 27 AB Ülkəsi (Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, Birleşik Krallık) ve 9 ticaret partneri (Çin, Hindistan, Japonya, Norveç, Rusya, Güney Kore, İsviçre, Türkiye, US).

Malzeme ayak izi bir ülkenin toplam malzeme tüketimini göstermesi, ülkenin dış ticaret sürecinde de kullandığı malzemeleri yakalamaktadır. Dolayısıyla bir ülkenin dış ticaretinde malzeme kaçağı durumu olup olmadığının görülmesi açısından malzeme ayak izi en doğru sonuçları verebilecek olan göstergedir. Malzeme kaçağı kavramı bir sonraki başlıkta açıklanmaktadır.

1.3.2. Malzeme Kaçağı

Bilindiği üzere, emisyon kaçağı kavramı çevresel politika değişikliklerinin tek taraflı olarak uygulandığı bir bölgede, daha az sıkı çevresel düzenlemelere sahip ülkelerin kirlilik yoğun ürün üretimini artırması sonucu meydana gelen emisyon artışını tanımlar (Holladay vd., 2018). Emisyon kaçağı kavramına benzer bir şekilde, malzeme kaçağı kavramını kullanmayı uygun görüyoruz. Bunun sebebi, MF, DMC ve dış ticaret konularında farkındalık yaratmak ve bu bağlamda yeni bir perspektif sunmaktır. Malzeme kaçağı, bir ülkenin dış ticaret yoluyla malzemelerin ve ürünlerin tüketimini artırarak yerel kaynak kullanımını yanıltıcı bir şekilde azaltan bir durumu ifade eder.

Ülkeler arası malzeme kaçağı, bir ülkenin malzeme ve doğal kaynak tüketiminin, sınırları dışındaki ülkelerde gerçekleşen üretim ve ithalat yoluyla artması durumunu ifade eder. Bu, bir ülkenin kendi topraklarında malzeme çıkarmak veya işlemek yerine dışarıdan ithal edilen malzemeleri kullanması nedeniyle gerçekleşir. Özellikle, bu ithal edilen malzemelerin üretimi çevresel olarak yüksek bir maliyete veya kaynak yoğunluğuna sahipse, malzeme kaçağı çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir sorun olabilir.

Ülkeler arası malzeme kaçağı, bir ülkenin kendi sınırları içindeki malzeme tüketimini gösteren verilerin, gerçekte ithal edilen malzemeleri hesaba katmadığı bir durumu ifade eder. Bu, ülkenin malzeme tüketimini yanıltıcı hale getirebilir ve çevresel etkileri tam olarak hesaplayamayacağı anlamına gelir. Malzeme kaçağı, bir ülkenin kaynak kullanımının ve çevresel etkilerinin sadece ulusal sınırları içinde değil, küresel düzeyde de değerlendirilmesi gerektiğini vurgular.

Özellikle bazı ülkelerde, tüketimin büyük bir kısmı dışarıdan ithal edilen malzemelere ve ürünlere dayandığı durumlarda, bu olgu daha belirgin hale gelir. Buradan hareketle, ülkelerin malzeme tüketimini hesaplamada malzeme ayak izinin kullanılması ülkeler arasındaki malzeme kaçağının saptanması açısından çok

önemlidir. Önceden de belirtildiği gibi malzeme ayak izi sadece ülke içindeki malzeme tüketimini değil, aynı zamanda dış ticaret yoluyla gerçekleştirilen malzeme tüketimini de ortaya koymaktadır. Malzeme kaçağı, tüketim ve üretim paternlerini değerlendirmek ve sürdürülebilirlik hedeflerini gerçekleştirmek için önemli bir konsepttir. Bu nedenle, malzeme kaçağı olgusunun anlaşılması, uluslararası ticaretin ve kaynak kullanımının etkilerini değerlendirmek için önemlidir.

Malzeme kaçağına örnek olarak düşünülebilecek bir durum şu şekildedir: Bir ülkenin demir-çelik sektörü, kendi sınırları içindeki malzeme tüketimini kaydediyor gibi görünse de gerçekte bu malzemelerin büyük bir kısmı başka ülkelere ithal edilmektedir. Bu durumda, ülkenin malzeme tüketimi üzerinden çevresel etkileri değerlendirmek, sadece ulusal sınırları içindeki verilere dayanarak yanıltıcı olabilir. Özellikle, demir-çelik veya otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin büyük bir kısmının ithal edilmesi, ulusal malzeme tüketimini ve çevresel etkilerini gerçekçi bir şekilde değerlendirmeyi zorlaştırabilir.

Malzeme kaçağı kavramı, bu örnekte olduğu gibi, bir ülkenin kaynak kullanımının ve çevresel etkilerinin sadece ulusal sınırlar içinde değil, aynı zamanda küresel düzeyde de değerlendirilmesi gerektiğini vurgular. Bu nedenle, malzeme kaçağını anlamak ve saptamak için malzeme ayak izi gibi kapsamlı araçların kullanılması önemlidir. Malzeme ayak izi, ülkelerin sadece kendi sınırları içindeki değil, aynı zamanda dış ticaret yoluyla gerçekleşen malzeme tüketimini de ortaya koymaktadır. Bu sayede, malzeme kaçağının etkileri daha bütünlükçü bir şekilde değerlendirilebilir ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için uygun stratejiler geliştirilebilir.

İKİNCİ BÖLÜM

MALZEME AYAK İZİ VE TİCARET ARASINDAKİ İLİŞKİ AMPİRİK ANALİZ

2.1. Ampirik Literatür Özeti

Mevcut literatürde malzemeyi sürdürülebilirlikle ilişkilendiren çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bunun nedeni malzeme konusunun göz ardı edilmesidir. Fakat son dönemlerde öneminin anlaşılmasına, çalışmalarda yerini almaya başlamıştır. Malzemeyi çalışmalara dahil ederken kullanılan çeşitli yöntemler ve göstergeler vardır. Bunlardan ilki DMC göstergesidir. Çalışmalar DMC ile ekonomik büyüme, nüfus, CO₂ emisyonları, enerji tüketimi ve küreselleşme gibi değişkenler arasındaki ilişkiye değinmiştir.⁷

İkinci olarak, malzeme ayak izi olarak da bilinen Küresel Hammadde Tüketimi (Raw Material Consumption (RMC))⁸ göstergesidir (Giljum vd., 2015; Wiedmann vd., 2015). Plank vd., (2018) girdi çıktı analizi kullanarak, 1990'dan 2010'a kadar RMC'deki değişiklikleri gözlemek için Yapısal Ayırıştırma Analizi (Structural Decomposition Analysis (SDA)) uygulamışlar ve uluslararası ticaret kalıplarındaki değişikliklerin RMC artışına önemli ölçüde katkıda bulunduğunu bulmuşlardır.

Bruckner vd., (2012), RMC ve DMC arasında bir karşılaştırma yapmış ve DMC'nin çoğu OECD ülkesi için iç tüketimi karşılamak için gereken gerçek malzeme miktarlarını önemli ölçüde eksik tahmin ettiğini, kaynak ihracatçılarının malzeme tüketimini ise olduğundan fazla tahmin ettiğini göstermişlerdir. Buna ek olarak, sanayileşmiş bir çok ülkenin, dünyanın diğer bölgelerinden gelen doğrudan ve dolaylı malzeme tedarikine büyük ölçüde bağımlı olduğu sonucuna varırlar.

Schaffartzik vd., (2014) ise Hammadde Eşdeğerlerini (Raw Material Equivalents (RME))⁹ hesaba katarak 1995–2007 yılları arasında Avusturya için girdi çıktı analizini uygulamışlardır. Avusturya'nın ithalat ve ihracatının RME'sini, ticaret akışlarından yaklaşık üç kat daha büyük olduğunu ve 2007 yılında Avusturya'nın RME'si 30 milyon ton ve DMC'den %15 daha fazla olduğunu bulmuşlardır.

⁷ Örnek çalışmalar için bkz.: Telega ve Telega, (2019); Ansari vd., (2019); Ulucak vd., (2020); Kassouri vd., (2021); Razzaq vd., (2021); Wang vd., (2022); Akdoğan vd., (2023); Karakaya vd., (2023); Alataş vd., (2023).

⁸ RMC, ekonominin kullandığı malları üretmek için gerekli olan toplam hammadde miktarını ölçer (Eurostat, 2023).

⁹ RME, ekonomiye ithal edilen malları üretmek için gereken hammadde miktarıdır (Eurostat, 2023).

Fernández-Herrero ve Duro (2019), 1990-2010 yılları arasında regresyon analizi ile 94 seçilmiş ülkenin malzeme üretkenliğini incelerler. Ticari açıklığın malzeme üretkenliği üzerinde düşük bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Bunların haricinde DMI¹⁰ ve malzeme yoğunluğu¹¹ da çalışmalara dahil edilebilmektedir (Canas vd., 2003; Steger ve Bleischwitz, 2011).

MF, ithalatı da içeren tüketime dayalı bir gösterge olarak uluslararası malzeme akışı muhasebesine dahil edilmiştir (Wiedmann vd., 2015). Daha doğru sonuçlar verdiği için, son dönemlerde, malzeme ayak izi göstergesi analizlere dahil edilmeye başlamıştır. Literatürde önemli yeri olan bazı çalışmalar vardır. Wiedmann, (2015) çalışması bunlardan biridir. Wiedmann, (2015) farklı ülkelerin malzeme ayak izini belirlemeyi amaçlayan önemli bir araştırmadır. Bu çalışma, ulusal ve küresel ölçekte malzeme tüketimini ve kaynak kullanımını analiz etmek için kullanılan bir yöntem geliştirmeyi hedeflemiştir. Araştırmanın sonuçları, farklı ülkelerin malzeme ayak izinde büyük farklılıklar olduğunu ve yüksek gelirli ülkelerin genellikle daha büyük bir malzeme ayak izine sahip olduğunu göstermektedir. İnşaat malzemeleri, metaller, yakıtlar ve gıda gibi ana malzeme kategorileri, malzeme ayak izinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu çalışma, malzeme tüketiminin çevresel etkilerini anlamak ve sürdürülebilirlik politikaları geliştirmek için önemli veriler sunmaktadır.

Giljum vd. (2016), 1995-2001 yılları arasında AB'nin malzeme ayak izine katkıda bulunan ana ürün gruplarını belirlemek için Çok Bölgeli Girdi-Çıktı Modelini kullanırlar. AB'nin malzeme ayak izine katkıda bulunan ana ürün grupları, inşaat malzemeleri, metaller, yakıtlar, kâğıt ve kâğıt hamuru ve gıda olarak bulurlar.

Küçükvar vd. (2017), Türkiye ve Birleşik Krallık'ta elektrik üretiminin malzeme ayak izi için bir senaryo analizi gerçekleştirmiştir. 2050 yılına kadar, Türkiye'de elektrik üretiminin malzeme ayak izinin normal senaryoya göre %25 artması beklenirken, Birleşik Krallık'ta, elektrik üretiminin malzeme ayak izinin yeşil dönüşüm senaryosuna göre %25 oranında azalması beklenmektedir.

Jin vd. (2021), çalışması Çin'deki mega kentlerin malzeme ayak izlerini tahmin etmek için bir malzeme akış analizini 2001-2015 yıllarını baz alarak uygularlar. Sonuçlar, şehirlerin malzeme ayak izlerinin çok yüksek olduğunu ve artmaya devam

¹⁰ DMI, bir ekonomide kullanılacak malzemelerin, diğer bir ifadeyle ekonomik değeri olan, üretim ve tüketim faaliyetlerinde kullanılabilen tüm malzemelerin girdisidir (Eurostat, 2023).

¹¹ Malzeme yoğunluğu, toplam malzeme tüketiminin GDP'ye bölünmesi ile elde edilir.

ettiğini gösteriyor. Bulgular, malzeme ayak izlerinin dağılımının nüfus genelinde eşit olarak dağılmadığını da ortaya koymaktadır. Daha yüksek gelirli haneler, daha düşük gelirli hanelere göre daha büyük malzeme ayak izine sahiptir.

Ansari vd. (2020), ekolojik ve malzeme ayak izini Çevresel Kuznets Eğrisi (Environmental Kuznets Curve (EKC)) hipotezini ile test etmek için 1991-2017 dönemi boyunca 37 Asya ülkesi ve beş Asya alt bölgesine göre oluşan bir panel veri seti kullanıyor. Orta Asya hariç malzeme ayak izi göstergesinden elde edilen sonuçlar EKC'yi desteklemektedir. Ayrıca enerji tüketimi, küreselleşme ve kentleşme ekolojik ve malzeme ayak izini artırmaktadır.

Razzaq vd. (2021), tarafından gerçekleştirilen çalışma, yüksek miktarda malzeme tüketen ilk 11 ülkede altyapı geliştirme, yeşil inovasyon ve tüketime dayalı malzeme ayak izi arasındaki ilişkileri ele almıştır. 1990-2017 dönemi için Momentler Kantil Regresyon Yöntemi kullanarak panel veri analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları, ekonomik büyüme, küreselleşme ve nüfusun MF'yi artırdığını göstermektedir. Ayrıca, altyapı geliştirmenin MF'yi orta ve yüksek düzeylerde önemli ölçüde artırdığı sonucuna da ulaşılmıştır.

Sahoo vd. (2021), Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika Cumhuriyeti (BRICS) ülkelerinde malzeme ayak izinin belirleyicilerini incelemektedir. Ekonomik büyüme, doğal kaynaklar, yenilenebilir enerji tüketimi, kentleşme, beşerî sermaye ve ticari açıklığın MF üzerindeki etkisini tahmin etmek için 1990'dan 2016'ya kadar BRICS ülkeleri için bir panel veri setini kullanıyor. Ekonomik büyüme, doğal kaynaklar ve kentleşmenin MF üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu, yenilenebilir enerji tüketimi, beşerî sermaye ve ticari açıklığın ise olumsuz bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Bu, ekonomik büyümeyi, kaynak çıkarımını ve kentleşmeyi teşvik eden politikaların MF'de bir artışa yol açacağını, yenilenebilir enerji kullanımını, beşerî sermaye gelişimini ve ticaretin serbestleştirilmesini teşvik eden politikaların MF'de bir azalmaya yol açacağını göstermektedir. Ayrıca, bu faktörlerin MF üzerindeki etkisinin ülkeler arasında değiştiğini de bulmuşlardır.

Karakaya vd. (2021), AB'de malzeme kullanımının arkasındaki ana itici güçleri incelemektedir. Yazarlar, benzer malzeme kullanım modellerine sahip ülke gruplarını belirlemek için bir kulüp yakınsama yaklaşımı kullanıyor. Daha sonra, zaman içinde malzeme kullanımındaki değişikliklere katkıda bulunan belirli faktörleri

belirlemek için bir ayrıştırma analizi kullanırlar. AB’de farklı malzeme kullanım modellerine sahip üç ana ülke kulübü olduğunu ve malzeme kullanımının ana etkenlerinin gelir etkisi, nüfus etkisi, yapısal etki ve malzeme yoğunluğu etkisi olduğunu bulurlar.

Wang vd. (2022), Belt and Road (B&R) ülkelerinde malzeme ayak izi ile ekonomik büyüme arasındaki bağlantıyı tahmin etmek için 2005’ten 2018’e kadar 65 B&R ülkesinden oluşan bir panel veri seti kullanıyor. Sonuçları, B&R ülkelerinde malzeme ayak izi ile ekonomik büyüme arasında pozitif bir bağlantı olduğunu göstermektedir.

Mert vd. (2023), 1973-2019 yılları arasında Türkiye ve Birleşik Krallık için Malzeme Kuznets Hipotezi’ni test etmişlerdir. Ekonomik büyüme ve DMC arasındaki ilişki ARDL Eş Bütünleşme Testi ile sınanmıştır ve sonuçlarına göre her iki ülke için de “N” şeklinde bir eğri elde edilmiştir. Bu bulgular, ekonomik büyüme ve malzeme tüketimi arasında pozitif yönlü bir ilişkinin varlığını gösterir. Ekonomik büyüme malzeme tüketimini artırmaktadır.

Bu çalışma, malzeme ayak izinin belirleyicilerini ayrıştırma analizi ile ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu hedef doğrultusunda, Karakaya vd., (2021) çalışması önemli bir örnek teşkil etmektedir. Araştırmanın ikinci ana hedefi ise panel veri yöntemini kullanarak malzeme ayak izi ile ticaret arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Bu noktada, Sahoo vd., (2021) çalışmasından yararlanılacaktır.

Tablo 1, malzeme ayak izi ile ticaret arasındaki ilişkiyi açıkça ele alan çeşitli çalışmalara dikkat çekmektedir. Bu çalışma, benzerlikleri nedeniyle bu çalışmalara özel bir vurgu yapmayı tercih etmektedir. Bu bağlamda, literatürdeki bu önemli çalışmaların sonuçlarına dayanarak MF’nin belirleyicilerini belirlemek, daha önceki araştırmalarla uyum içinde olup olmadığını değerlendirmek ve MF ile ticaret arasındaki ilişkiyi daha ayrıntılı bir şekilde anlamak için panel veri yöntemini kullanmak önemli bir bilimsel katkı sağlayacaktır. Bu şekilde, malzeme ayak izi konusundaki literatüre yeni bir bakış açısı getirerek, bu alandaki araştırmalara yeni bir perspektif kazandırmayı hedeflemektedir.

Tablo 1*Malzeme Ayak İzi ve Ticaret Arasındaki İlişkiyi İnceleyen Çalışmalar*

Yazar	Yıl	Ülke	Yöntem	Değişkenler	Bulguları
Giljum ve Martinez (2015)	1997-2007	208 ülke ve dünya bölgeleri	Girdi-Çıktı Analizi	MF, DMC, RMC, IM, EX, DE, RTB	Uluslararası ticaretle ilgili malzeme akışları 1997 ile 2007 arasında yaklaşık olarak %60 artmıştır. Zenginlik arttıkça, ülkeler uluslararası ticaret yoluyla elde edilen malzemelerin kendi içlerine düşen kısmını azaltma eğilimindeyken, genel malzeme tüketimi kütleli artmaktadır.
Wiedmann vd. (2015)	1990-2008	186 ülke	Girdi-Çıktı Analizi	MF, DMC, RME, DE, GDP, GDP-PPP, POP	Artan zenginlik ve tüketim ile hızlanan ticaret, malzeme çıkarımında küresel artışa sebep olmuştur.
Schandl vd. (2018)	1970-2010	Dünya bölgeleri ve ülkeleri	Malzeme Akış Analizi	MF, DMC, MI, RMC, DE, IM, EX	Ticaret ve malzeme ayak izi arasında negatif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur.
Sahoo vd. (2021)	1990-2016	BRICS	Panel Veri Analizi	MF, GDP, HC, NR, TR, REN, URB	Ticari açıklık ile malzeme ayak izi arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmuştur.
Koçak ve Gökten (2022)	1992-2016	G20 ülkeleri	Panel Veri Analizi	MF, CO ₂ , GDP, EC, URB, TO, EK	Ticaret ile malzeme ayak izi arasında negatif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur.
Turgut ve Gökten (2023)	1990-2016	Çin, ABD, Hindistan, Brezilya, Japonya	Panel Veri Analizi	MF, MC, MV, POP, EC, GDP, TR, GLB	Ticaret ile malzeme ayak izi arasında negatif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Not: IM (İthalat), RTB (Hammadde Ticaret Dengesi), GDP-PPP (Kişi Başına GDP), POP (Nüfus), HD (Beşeri Sermaye), NR (Doğal Kaynaklar), TR (Ticaret), REN (Yenilenebilir Enerji), URB (Kentleşme), EC (Enerji Tüketimi), EK (Ekonomik Karmaşıklık Endeksi), MC (Malzeme Tüketimi), MV (Malzeme Verimliliği), GLB (Küreselleşme).

Malzeme konusu, tarih boyunca önemini korumuş olmasına rağmen, günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan tüm dünya ülkelerinin karşı karşıya olduğu

ortak bir sorun olan iklim değişikliği ve küresel ısınma problemleri ile, küreselleşen dünya düzeni içinde yeni bir boyut kazanmıştır. Ülkelerin, yurt içi malzeme tüketimini azaltma çabalarının ötesinde, malzeme ayak izlerini de azaltma gerekliliği, uluslararası arenada kritik bir öneme sahiptir. Özellikle dış ticaret, ülkeler arasındaki malzeme alışverişini artırarak malzeme tüketimini sınırların ötesine taşıyabilmektedir. Bu bağlamda, çalışmamızın temel amacı, “Dış ticaret ile malzeme ayak izi arasındaki ilişki nasıl şekillenmektedir?” sorusuna daha kapsamlı bir bakış sunarak, malzeme ayak izi göstergesinin kullanımının ülkelerin gerçek malzeme tüketimlerini daha doğru bir şekilde yansıtabileceğini test etmektir. Bu kapsamda, ticari açıklığı denkleme dahil ederek malzeme kaçığının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Özellikle AB ülkeleri ve bu ülkelerle ticaret yapan diğer ülkelerden oluşturulan bir ülke sepeti üzerinden yapılan analiz sonucunda etkin çıktılar elde edileceği beklenmektedir. Bu sepetin seçimi, dış ticaretin malzeme ayak izi üzerindeki etkilerini temsil etme potansiyeline sahip bir örnekleme içermeyi hedeflemektedir.

Çalışma, malzeme ayak izi göstergesini kullanarak dış ticaretin, ülkeler arasında malzeme akışları ve tüketim desenleri üzerindeki etkilerini anlamayı amaçlamaktadır. Türkiye için olan mevcut literatürde malzeme ayak izi ve dış ticaret ilişkisini ele alan çalışmalar oldukça sınırlıdır.¹² Malzeme ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiyi dikkate alarak mevcut literatüre katkı sağlayacaktır. Ayrıca, malzeme kaçığı gibi önemli konuları ele alarak, dış ticaretin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki potansiyel etkilerini belirlemeye odaklanmaktadır. Bu çerçevede, çalışmanın metodolojisi ve veri analizi, dış ticaretin malzeme ayak izi üzerindeki etkilerini sağlam bir temelde değerlendirmeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Elde edilecek sonuçlar, dış ticaretin malzeme tüketimi üzerindeki etkilerini anlamak ve sürdürülebilir politika önerileri geliştirmek için önemli bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2.2. Örneklem Grubu ve Veri Seti

Ampirik analiz bölümünde, malzeme ayak izini ticaret perspektifinden incelemek üzere AB ülkeleri ile AB'nin ticaret ortakları olmak üzere toplam 36 ülke analize dahil edilecektir. Bu seçim, çalışmanın kapsamlılığını artırmak adına anlamlıdır, çünkü hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeleri içermekte ve AB'nin

¹² İlgili çalışmalar için bkz.: Koçak ve Gökten (2022); Karakaya vd., (2023); Alataş vd., (2023); Turgut ve Gökten, (2023).

geniş bir ticaret ortakları yelpazesini temsil etmektedir. Analizimiz, 1995-2019 yıllarını kapsayan bir zaman aralığını ele almaktadır. Seçilen ülkelerin ve kullanılan değişkenlerin ayrıntıları, sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Seçilen geniş örneklem grubu ve zaman aralığı, çalışmanın genel geçerliliğini ve uzun vadeli eğilimleri değerlendirme yeteneğini artıracaktır. Ayrıca hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerin dahil edilmesi, malzeme ayak izi ile ticaret arasındaki ilişkinin farklı ekonomik bağlamlarda nasıl değişebileceğini anlamamıza yardımcı olacaktır. Bu nedenle, seçilen analiz çerçevesi, çalışmanın malzeme ayak izi ve ticaret arasındaki ilişkiyi kapsamlı bir şekilde değerlendirmesine olanak tanıyacak bir temel oluşturacaktır.

Tablo 2

Analize Dahil Edilen Ülkeler

AB ÜLKELERİ			TİCARET ORTAKLARI		
1	Almanya	15	İsveç	28	Çin
2	Avusturya	16	İtalya	29	Güney Kore
3	Belçika	17	Kıbrıs	30	Hindistan
4	Birleşik Krallık ¹³	18	Letonya	31	İsviçre
5	Bulgaristan	19	Litvanya	32	Japonya
6	Çekya	20	Lüksemburg	33	Norveç
7	Danimarka	21	Macaristan	34	Rusya
8	Estonya	22	Polonya	35	Türkiye
9	Finlandiya	23	Portekiz	36	ABD
10	Fransa	24	Romanya		
11	Hırvatistan	25	Slovakya		
12	Hollanda	26	Slovenya		
13	İrlanda	27	Yunanistan		
14	İspanya				

Malzeme ayak izi bağımlı değişken olup, analizin anlam gücünün artması için toplam 6 tane bağımsız değişken modele dahil edilecektir. Malzeme Fiyatı'na (Material Price (MP)) ilişkin ülkeye özgü veri seti halihazırda mevcut olmadığından, Sun vd., (2020), Alataş vd., (2023) ve Karakaya vd. (2023)'ü takip ederek MP verisini oluşturulmuştur. Bunu yapmak için öncelikle bir küresel malzeme fiyat endeksi (on

¹³ 31 Ocak 2020'de AB'den ayrılmıştır.

farklı küresel metal fiyatına dayalı) ve bir enerji fiyatı endeksi (üç farklı ham petrol spot fiyatına dayalı) ¹⁴ elde edilmektedir. Malzemeye ilişkin bu küresel fiyat endeksi verilerini Uluslararası Para Fonu (International Monetary Fund (IMF)) Birincil Emtia Fiyatlarından alınmıştır (IMF, 2022).

Tablo 3

Analize Dahil Edilen Değişkenler

DEĞİŞKEN	KISALTMA	BİRİM	VERİ TABANI
Malzeme Ayak İzi	MF	t/cap	GMF, (2023)
Kişi Başı Reel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	GDP	2015 Sabit Fiyatlarla, ABD \$	WB, (2023)
Nüfus	POP	toplam	WB, (2023)
Ticari Açıklık	TO	% GDP	WB, (2023)
Karbondiyoksit Yoğunluğu	COI	CO ₂ / GDP	IEA, (2023)
Yerli Malzeme Tüketimi	DMC	ton	GMF, (2023)
Malzeme Fiyatı	MP	Metal indeksi/ Tüketici Fiyat İndeksi*100	IMF, (2023)

Not: Küresel Malzeme Akışı (Global Material Flow (GMF)), Dünya Bankası (World Bank (WB)), Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency (IEA)).

2.3. Model ve Yöntem

Analizin ilk aşamasında, ülkeler bazında malzeme ayak izinin itici güçleri, Ayrıştırma (Decomposition) Analizi kullanılarak incelenecektir. Daha sonra malzeme ayak izi ile dış ticaret arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek amacıyla panel veri analizi yapılacaktır.

Ayrıştırma analizi için Excel, Panel Veri Analizi için ise E-Views 12 ve Stata 17 lisanslı paket programları kullanılacaktır. Çalışmamızda iki farklı yöntem kullanılacağı için iki farklı model oluşturulacaktır. Bu bölümde öncelikle yöntemler

¹⁴ On farklı metal alüminyum, kobalt, bakır, demir cevheri, kurşun, molibden, nikel, kalay, uranyum ve çinkodur. Üç spot fiyat şu şekildedir: Dated Brent, West Texas Intermediate ve The Dubai Fateh (IMF, 2022).

ve yapılması gerekli testler hakkında bilgi verilecek ve ilgili yöntemin başlığı altında modeller oluşturulacaktır.

2.3.1. Ayırıştırma (Decomposition) Analizi

Ayırıştırma analizi, ilgili değişkendeki değişiklikleri farklı etkilere ayırmayı amaçlar ve iki farklı yaklaşımı içerir. SDA ve İndeks Ayırıştırma Analizi (Index Decomposition Analysis (IDA)). SDA yaklaşımı, girdi-çıktı tablolarına dayandığı için daha fazla veri gerektirirken, IDA yaklaşımı daha basit ve esnek olduğundan son enerji ve emisyon analizlerinde tercih edilmektedir (Akdoğan vd., 2023). IDA analizi Divisia Index ve Laspeyres Index metodu olarak ikiye ayrılmaktadır (Granel, 2003). Laspeyres endeksine bağlı metotların yapı bloğu, bilinen yüzde değişim kavramını temel alırken, Divisia endeksine bağlı metotların yapı bloğu logaritmik değişim kavramını temel almaktadır (Ang, 2004). Divisia endeks tekniği ilk olarak Boyd vd., (1987) tarafından tanıtılmıştır. Daha sonra diğer akademisyenler tarafından genişletilmiştir.¹⁵ Geleneksel Laspeyres endeksi, artık terim nedeniyle tüm faktörleri tam olarak ayırıştırılmaz, bu nedenle genellikle yaygın olarak tercih edilmez (Ang, 2004).

V 'nin n faktörden (x_1, \dots, x_n) oluşan bir toplam olduğu varsayalım.

$$V = \sum_i V_i \quad (3)$$

$$V_i = x_{1,i}, x_{2,i}, \dots, x_{n,i} \quad (4)$$

şeklinde. Ayrıca, periyot 0'dan T 'ye kadar, toplamın V_0 'dan V_T 'ye değiştiği varsayımı yapılsın. Amaç, n faktörlerin, aşağıdaki gibi ifade edilebilen toplamdaki değişime olan katkılarını elde etmektir (Ang, 2015):

Toplamsal Form

$$\Delta V_{tot} = V_T - V_0 = \Delta V_{x1} + \Delta V_{x2} + \dots + \Delta V_{xn} \quad (5)$$

Çarpımsal Form

$$D_{tot} = V_T/V_0 = D_{x1}D_{x2} \dots D_{xn} \quad (6)$$

şeklinde ve IDA yönelik Logaritmik Ortalama Divisia Endeks (Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI)) ve Aritmetik Ortalama Divisia Endeks (Arithmetic Average

¹⁵ İlgili çalışmalar için bkz.: Ang, (2005, 2015); Ang ve Choi, (1997); Ang ve Lee, (1994); Ang ve Zhang, (2000).

Divisia Index (AMDI)) olmak üzere yöntemler geliştirilmiştir. Ancak, AMDI yöntemi iki eksikliğe sahiptir. Birincisi, faktör tersine çevirme testini sağlamamaktadır. İkinci eksikliği ise, veri seti sıfır değerler içerdiğinde başarısız olmalarıdır (Ang ve Zhang, 2000). LMDI metodunda değişkenler yıllar itibariyle ölçülür ve artık değer oluşmaz. Ang (2004, 2005) tarafından geliştirilmiş olup toplamda tutarlılık, sıfır değerlerin işlenmesi ve açıklanamayan artık terimler olmadan mükemmel ayrıştırma gibi avantajlara sahiptir. Bu çalışmada Kaya Eşitliği kullanılarak LMDI yöntemi uygulanacaktır.

Kaya kimliğini ilk defa IPCC seminerinde Profesör Yoichi Kaya tarafından önerilmiştir. Kaya kimliği ekonomik politikalar, nüfus faktörleri ve CO₂ arasında bir bağlantı kurmak için kullanılmıştır (Kaya, 1989). Böylece, mevcut ayrıştırma modellerinden elde edilen fikirler kullanılarak, malzeme ayak izini aşağıdaki faktörlere ayırmak için genişletilmiş Kaya kimliği ve LMDI ayrıştırma yöntemi kullanılarak oluşturduğumuz model:

$$MF = \sum_i MF_i = \times \frac{MF_i}{TO_i} \times \frac{TO_i}{GDP_i} \times \frac{GDP_i}{POP_i} \times POP_i \quad (7)$$

Burada; MF kişi başına malzeme ayak izini, TO ticaretin GDP 'ye yüzdesini, GDP kişi başına düşen geliri ve POP (population) toplam nüfusu ifade etmektedir.

$$\Delta MF = \Delta MFT + \Delta TI + \Delta ACT + \Delta POP \quad (8)$$

Denklem 8'de ifade edilen ΔMF malzeme ayak izindeki değişimi, ΔMFT ticarete malzeme ayak izinin yoğunluğunu, ΔTI ticaret yoğunluğunu, ΔACT ekonomik büyüme etkisini ve ΔPOP nüfus etkisini göstermektedir.

Ayrıştırma analizi, literatürde genellikle CO₂ emisyonlarında veya diğer çevresel göstergelerde değişikliğe yol açan çeşitli belirleyici faktörlerin etkisini ortaya çıkarmak için sık kullanılan tekniklerden biridir.¹⁶ Bu çalışmaların ana sonuçları, ekonomik büyüme ve nüfusun emisyonların artmasına neden olurken, enerji yoğunluğu veya enerji kullanımındaki karbon yoğunluğu gibi enerjiyle ilgili faktörlerin etkisinin ülkelere veya ülkelere bağlı olarak karışık sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır (Akdoğan vd., 2023). Çalışmamızın modeli Eşitlik (7) ve (8)'de görüldüğü gibi mevcut literatürden farklı bir şekilde ilerleyecektir. Çalışmaların genel

¹⁶ Detaylı literatür için bkz.: Mardani vd., (2019); Wiedenhofer vd., (2020); Haberl vd., (2020) ve Lamb vd., (2021).

olarak modele bağımlı veya bağımsız değişken olarak CO₂ emisyonlarını dahil etmiş ve ilgili çevresel göstergenin itici güçlerini araştırmıştır. Karakaya vd., (2021), tıpkı bu çalışmada yapılacağı gibi CO₂ emisyonları hariç farklı göstergeleri analizlerine dahil etmişler ve literatüre farklı bir bakış açısı kazandırmıştır. Bu çalışma da yapılanlardan farklı olarak literatüre yeni bir fikir olacağı umulmaktadır.

2.3.2. Panel Veri Analizi

Panel veri, farklı zaman dilimlerinde aynı birimlerle ilgili serileri tek bir çatı altında birleştirerek, zaman serileri ve yatay kesit verilerini entegre eden bir veri analiz yöntemidir. Bu yaklaşım, zaman ve birimleri aynı anda dikkate alarak veri kalitesini ve miktarını artırır, analize daha fazla boyut ekler (Baltagi, 2005). Zaman ile birimlerin birlikte analiz edilmesine izin vermesi, veri kalitesi ve miktarını arttırmaktadır ve analize boyut kazandırmaktadır (Gujarati, 2004).

Analizlerde yatay kesit birimi 'N', dönem sayısı 'T' olarak gösterilmektedir. Eşitlik (9)'de panel verinin genel tahmin modeli sunulmuştur.

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_{it}X_{it} + u_{it} \quad i = 1,2, \dots, N ; \quad t = 1,2, \dots, T \quad (9)$$

Yukarıdaki modelde, Y bağımlı değişkenini, X bağımsız değişkenini, α sabit katsayısını, β eğim katsayısını ve u hata terimini ifade eder. Alt indeks, modelin panel veri yöntemine uygunluğunu gösterir, çünkü i yatay kesiti ve t zamanı bir araya getirir. Panel veri analizi, birden fazla zaman kesiti içerdiği için diğer zaman ve kesit modellerine göre bazı avantajlara sahiptir:

- i. Panel veri analizi, daha geniş bir veri seti ile çalışma fırsatı sunar, bu da araştırmacılara daha kapsamlı bir bakış açısı sunar.
- ii. Birden fazla birim ve zaman dilimini içeren serilerde, güvenilir parametre tahminleri yapma ve daha fazla serbestlik derecesine ulaşma imkânı sağlar.
- iii. Zaman serisi ve yatay kesit veri analizi yöntemlerinde bağımsız değişkenler tarafından gözlenemeyen birimlere ait birçok özellik hata teriminde yer alır. Panel veri analizi, bu özellikleri her birim için farklı bir sabit ile modelleyerek hata teriminden ayırır.

Sonuç olarak, panel veri analizi, daha etkili ekonometrik analizler elde etmeyi mümkün kılar ve bu nedenle araştırmacılara daha fazla içgörü sunar (Yerdelen, 2013).

Eşitlik (9)'den yola çıkarak bu çalışmada panel veri analizi için oluşturulan model yapısı Eşitlik (10) sunulmuştur.

$$LNMF_{it} = \alpha + \beta_1 LNGDP_{it} + \beta_2 LNPOP_{it} + \beta_3 LNT0_{it} + \beta_4 LNCO_{it} + \beta_5 LNDMC_{it} + \beta_6 LNMP_{it} + \beta_7 UMDT + U_{it} \quad (10)$$

Çalışmanın ampirik analizi için kullanılan modelde yer alan tüm değişkenler, doğal logaritmaları alınarak analiz edilmişlerdir. Temel malzeme talebinin zaman içerisindeki eğilimi (Underlying Material Demand Trend (UMDT)), temel malzeme talebinin zaman içerisindeki eğiliminin saptanması için modele dahil edilmiştir.

2.3.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenite Testleri

Yatay kesit bağımlılığı (cross-sectional dependence), panel veri analizi veya çapraz kesit veri analizi sırasında karşılaşılan bir fenomendir. Bu bağımlılık türü, aynı dönemde farklı birimler arasında gözlemlenen verilerin birbirine bağımlı olduğu bir durumu ifade eder. Yani, birimler arasında çapraz etkileşim veya bağımlılık olduğunda yatay kesit bağımlılığı söz konusudur. Yatay kesit bağımlılığı, özellikle panel veri analizi yapılırken dikkate alınması gereken bir husustur. Panel veri setlerinde aynı dönemde farklı birimlerin gözlemlenmesi, bu birimler arasında ekonomik, coğrafi veya başka türden etkileşimlerin olabileceği anlamına gelir. Bu etkileşimler, birimler arasındaki veriler arasında bağımlılığa neden olabilir ve bu bağımlılık ihmal edildiğinde yanlış sonuçlara yol açabilir.

Yatay kesit bağımlılık testi analizde hangi birim kök testinin uygun olacağına karar verebilmek için gereklidir. Seriler arasındaki korelasyon ilişkisi araştırılarak yatay kesit bağımlılığın varlığı incelenmelidir (Pesaran, 2004). Yatay kesit bağımlılığını test etmek için kullanılan bazı testler mevcuttur, örneğin Breusch-Pagan (1980) LM testi ve Pesaran (2004) CD testi. Pesaran (2004) CD testi, özellikle yatay kesit boyutu zaman boyutundan büyük olduğu veya zaman boyutu yatay kesit boyutundan büyük olduğu ($N > T$ veya $T > N$) durumlarda kullanılabilir ve Berush-Pagan testine göre daha avantajlıdır. Kesit bağımsızlığının sıfır hipotezi, tüm istatistikler için kesit bağımlılığının alternatif hipotezi karşısında test edilir (Pesaran, 2004; Pesaran, 2021; Pan vd., 2015). CD testi, yapısal kırılmaları göz önünde bulundurarak güçlü bir testtir. Bu testin ampirik uygulamaları, özellikle farklı bölgelerdeki ülkeler arasındaki kişi başına çıktı inovasyonlarındaki bağımlılığı incelemek amacıyla kullanılarak gösterilmiştir (Pesaran, 2021). CD testi her bir

birimin diğer birimler ile korelasyonunu araştırmaktadır. Panelin dengeli oluşu dikkate alınarak aşağıdaki eşitlik sağlanmıştır. CD testinin denklemi şu şekildedir:

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (\hat{P}_{ij})} \quad (11)$$

Burada; \hat{P}_{ij} kalıntı korelasyon katsayısını göstermektedir. $CD \sim N(0,1)$ ve χ^2 dağılımına uymaktadır.

Sıfır hipotezi hakkında bir karar vermek için P değeri hesaplanmaktadır. Bu değer %5'ten küçük olduğunda H_0 hipotezi reddedilmektedir. Buna karşılık H_0 hipotezi reddedilemeyecektir (Pesaran vd., 2008). Yatay kesit bağımlılık testi için kullanılan sıfır hipotezi aşağıdaki gibidir:

H_0 : Yatay kesit bağımlılığı yoktur.

Temel hipotezin reddine karar verilmesi ile reddedilememesi durumunda dengeli panel birim kök testleri için iki durum ortaya çıkacaktır. Birinci durum; Temel hipotezinin reddedilememesi halinde birimler arası korelasyonun var olmadığına karar verilmiş olacaktır. Bu bağlamda dengeli panele sahip olan panel veri seti için 1. Kuşak panel birim kök testleri güçlü sonuçlar verecektir. İkinci durum; şayet temel hipotez reddedilir ve yatay kesitler arasındaki korelasyonun kuvvetli olduğuna karar verilir ise 2. kuşak dengeli panel birim kök testleri doğru ve etkin sonuçlar verecektir (Hurlin ve Mignon, 2006).

Panel veri analizinde dikkate alınması gereken bir diğer önemli konu, eğim parametrelerinin homojenliğini test etmektir. Homojenlik tespiti için Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından önerilen bir test kullanılmaktadır. Bu test, $\tilde{\Delta}$ ve $\tilde{\Delta}_{adj}$ istatistiklerini hesaplayarak eğim homojenliğinin sıfır hipotezini, eğim heterojenliğinin alternatif hipotezi karşısında test etmektedir.

$$\tilde{\Delta} = \sqrt{N} \frac{N^{-1}\tilde{\xi} - k}{\sqrt{2k}} \quad (12)$$

$$\tilde{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \frac{N^{-1}\tilde{\xi} - E(\tilde{Z}_{it})}{\sqrt{\text{Var}(\tilde{Z}_{it})}} \quad (13)$$

Burada, k dışsal regresörlerin sayısını, S Swamy'nin test istatistiğini ve N kesit boyutunu göstermektedir.

Homojenliğin hipotezi ise şu şekildedir:

H_0 : Eğim homojenliği vardır.

2.3.2.2. Panel Birim Kök Testleri

Tüm zaman serileri analizlerinde dikkate alınması gereken en kritik husus, serilerin birim kök içerip içermediğini tespit etmektir. Birim kök testleri, yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik durumlarına göre Birinci Nesil Birim Kök Testleri¹⁷ ve İkinci Nesil Birim Kök Testleri¹⁸ olarak iki ana kategoriye ayrılır. Başlangıçta yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik koşulları göz önüne alındıktan sonra, uygun bir birim kök testinin seçilmesi amaçlanır. Bir zaman serisinin durağanlığını istatistiksel olarak değerlendirmenin en yaygın yöntemleri, birim kök testleridir (Baltagi vd., 2007). Serilerin homojen dağıldığı ve yatay kesit bağımlılığının olmadığı durumlarda 1. Nesil birim kök testleri kullanılırken tam tersi durumda 2. Nesil birim kök testleri kullanılmaktadır.

Bai ve Ng (2004) birim kök testleri ve yapısal kırılma analizi üzerine çalışmaları ile tanınan iki ekonomisttir. Özellikle panel birim kök testleri ve yapısal kırılma analizi alanlarında yaptıkları çalışmalarla bilinirler. Bai ve Ng (2004) tarafından geliştirilen Kendine Özgü ve Ortak Bileşenlerdeki Durağan Olmamanın Panel Analizi (Panel Analysis of Nonstationarity in the Idiosyncratic and Common Components (PANIC)) testi, panel veri analizinde serilerin durağanlık özelliklerini incelemek için kullanılan önemli bir testtir. PANIC testi, serilerin idiosenkretik (birim özel) ve ortak bileşenlerini ayırmak için tasarlanmıştır. Bu test, serileri iki ana bileşen olarak ayırır: birincil bileşen, tüm birimler için ortak olan değişkenleri ifade ederken, ikincil bileşen, birimlere özgü olan değişkenleri temsil eder.

PANIC testi, her iki bileşenin durağanlık özelliklerini ayrı ayrı inceleyerek serilerin durağanlık durumunu belirler. Bu yöntem, panel veri analizi literatüründe yaygın olarak kullanılır ve birimler arasındaki farklı durağanlık koşullarını tanımlamak için büyük bir öneme sahiptir (Westerlund, 2015).

PANIC analizi, panel veri setlerinde serilerin durağanlık özelliklerini incelemek için kullanılan bir güçlü bir yöntemdir. Bu analizin avantajları şunlardır: Çapraz kesit bağımlılığını dikkate alarak seriler arasındaki bağımlılığı tespit eder; serileri ortak ve idiosenkretik bileşenlere ayırarak kaynakları ve durağanlık

¹⁷ Levin Lin Chu (2002), Im Pasaran Shin (2003), Maddala ve Wu (1999), Harris ve Tzavalis (1999), Choi (2001) ve Hadri (2000).

¹⁸ (Paseran (2007), Hadri ve Kurozumi (2012) ve Bai ve Ng (2004;2010).

özelliklerini incelememize olanak tanır; farklı bütünleşme düzeylerini değerlendirebilir ve stokastik özellikleri belirlememize yardımcı olur; farklı panel veri yapılarına uyarlanabilir ve ekonomik ve finansal analizlerde durağanlık özelliklerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır. Bu avantajlar, PANIC analizini panel veri analizi için güçlü bir araç haline getirir ve çeşitli uygulama alanlarında kullanımını destekler (Garcia-Cintado vd., 2015). PANIC için oluşturulan model ise şu şekildedir:

$$y_{it} = D_{it} + \lambda'_i F_t + e_{it} \quad (14)$$

D_{it} polinom zaman fonksiyonunu, F_t genel faktörlerin vektörünü ve λ'_i faktör yüklenimi vektörünü ifade etmektedir. Eğer F_t vektörünün en az bir genel vektörü veya ε_{it} durağan bir süreç içermiyorsa, o zaman y_{it} durağan olmadığını ifade edebilir; ancak, bu iki terimin benzer özellikleri yoktur ve bu nedenle birisi durağan bir süreç izlerken diğeri izlemeyebilir, bu da y_{it} 'nin dinamik özelliklere sahip olduğu anlamına gelir ve bu nedenle eğer seri geniş bir durağanlık içeriyorsa, y_{it} 'nin durağan olup olmadığını test etmek zor olabilir (Yıldırım, 2019).

D_{it} deterministik öğeleri düzeyi trend içermediği durumda, y_{it} serisinin durağan olmadığına ise:

$$F_{mt} = t_m F_{mt-1} + v_{mt} + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

$$\varepsilon_{it} = p_i e_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

Eğer, $t_m < 1$ ise, m^{th} genel faktör durağandır.

Eğer, $p_i < 1$ ise bireysel özellikte öge $e_{it} i^{th}$ birey için durağandır.

Bu nedenle, PANIC yöntemi, e_{it} kalıntılarının durağanlık durumu göz ardı edilse bile F_{mt} ve e_{it} faktörlerinin güvenilir tahminlerini sağlayabilir. Verilerin birinci farklarının alınması, faktörlerin tahmin edilmesi ve tahmin sonuçlarından elde edilen verilerin birleştirilmesi ile bu modelin kullanılması önerilmektedir.

Bai ve Ng (2004) test istatistiği:

$$P_e^C = \frac{-2 \sum_{i=1}^N P_e^C(i) - 2N}{\sqrt{4N}} \quad N(0,1) \quad (17)$$

P_e^C tahmin edilen artık şokların ADF testlerinin p-değerleridir.

2.3.2.3. Westerlund Panel Eş bütünleşme Testi

Eş bütünleşme testleri, özellikle durağanlık özelliklerine sahip olan serilerin eş bütünleşip bütünleşmediğini belirlemek amacıyla kullanılır. Eş bütünleşme, farklı serilerin uzun vadeli ilişkiler içinde olduğunu gösterir. Bu, seriler arasında uzun vadeli denge ilişkileri olduğu ve bu serilerin bir arada hareket ettiği anlamına gelir.

Bu çalışma 2. nesil eş bütünleşme testleri ile analize devam edeceği için bu bölümde sadece Westerlund (2007) eş bütünleşme testi hakkında bilgi verilecektir. Westerlund (2007) tarafından geliştirilen panel eş bütünleşme testi, panel veri analizi bağlamında veri serilerinin eş bütünleşip bütünleşmediğini değerlendirmek için kullanılan bir istatistiksel testtir. Test, panel veri yapısını dikkate alarak farklı birimler ve dönemler arasındaki ilişkiyi değerlendirir.

Panel veri setlerindeki serilerin eş bütünleşip bütünleşmediğini belirlemek için kullanılan bu test, panel veri analizlerinde önemli bir rol oynar. Westerlund (2007), hem yatay kesit bağımlılığını hem de veri setlerindeki heterojenliği dikkate alan bir panel eş bütünleşme testi geliştirmiştir. Bu test, iki panel istatistiği ve iki grup istatistiği içeren bir hata düzeltme modeline dayanmaktadır. Testlerin temel amacı, her bir birimin kendi hata düzeltmesine sahip olup olmadığını değerlendirerek eş bütünleşmenin varlığını sınamaktır. Her iki test grubundaki H_0 hipotezinin reddedilmesi, eş bütünleşme ilişkisinin olmadığını gösterir (Westerlund, 2007).

$$\Delta y_{it} = \delta'_i d_i + \alpha_i y_{i,t-1} + \lambda'_i x_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{P_i} \alpha_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{P_i} \gamma_{ij} \Delta x_{i,t-j} + \varepsilon_{it} \quad (18)$$

Bu bağlamda, $t=1, \dots, T$ zaman serilerini ve $i=1, \dots, N$ kesit birimlerini temsil eden denklem, d_t deterministik bileşenlerin üç durumunu ve ilişkili δ_t parametrelerini içermektedir. α_i , hata düzeltme parametresidir ve bu parametreler en küçük kareler yöntemiyle tahmin edilmektedir. Kurulan hipotezler ise aşağıdaki gibidir:

H_0 : Seriler arasında Eş bütünleşme ilişkisi bulunmamaktadır.

2.3.2.4. Ortak İlişkili Etkiler Ortalama Grup Tahmincisi

Değişkenler arasında eş bütünleşme görülmesi ile uzun dönemli ilişkinin katsayıları tespit edilmesi amacı ile yatay kesit bağımlılığı olan modelde ikinci nesil genişletilmiş ortalama grup tahmincileri kullanılmıştır. Uzun dönem eş bütünleşme katsayıları, Pesaran (2006) tarafından geliştirilen ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Ortak İlişkili Etkiler Ortalama Grup Tahmincisi (Common Correlated Effects

Mean Group Estimator (CCE)) ile tahmin edilmesi planlanmaktadır. CCE tahmin yöntemi, hem yatay kesit boyutunun zaman boyutundan büyük olduğu ($N>T$) durumlar için hem de zaman boyutunun yatay kesit boyutundan büyük olduğu ($N<T$) durumlar için uygulanabilir. Her bir yatay kesit için uzun dönem denge değerlerini ayrı ayrı hesaplanmasında kullanılabilen bir tahmincidir.

CCE yaklaşımı, bağımsız değişkenlerin ve ekonometrik modele dahil edilmeyen ortak etkilerin durağan ve dışsal olduğunu varsayar. Ayrıca, bağımsız değişkenlerin ve gözlenemeyen ortak etkilerin durağan olduğu, birinci dereceden bütünleşik ve/veya eş bütünleşik olduğu durumlarda da tahminlerin tutarlı olduğunu öne sürer (Nazlıoğlu, 2010). Yönteme ait model (Pesaran, 2006; Pesaran ve Yamagata, 2008):

$$y_{it} = \alpha_i' dt + \beta_i' x_{it} + e_{it} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (19)$$

Gözlemlenebilir ortak etkiler dt 'nin $n \times 1$ boyutunda olduğu bir eşitlikte, x_{it} ise $k \times 1$ boyutundaki bireysel spesifik regresör vektörünü temsil etmektedir. CCE Tahminci modeli, bağımlı değişkenlerin üzerindeki etkilerin yönünü ve katsayı değerini belirleyerek analiz etme imkânı sunmaktadır.

2.3.2.5. Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Testi

Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini araştırmak için kullanılan nedensellik analizi, Granger (1969) tarafından geliştirilmiştir ve bir değişkenin gelecekteki değerini tahmin etmede, diğer değişkenlerin sağladığı faydalı bilgiyi değerlendiren bir önemli araçtır. Dumitrescu ve Hurlin (2012) ise heterojen panel veri setleri için Granger testini geliştirmişlerdir ve bu test, farklı ülkelerde geçerli olan nedensellik ilişkilerini araştırmak için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar, panel veri analizlerinde daha fazla gözlem sayısına sahip veri setlerinde daha etkin sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu nedenle, nedensellik analizi, ekonometrik araştırmalarda önemli bir rol oynamaktadır ve panel veri setlerindeki nedensellik ilişkilerini incelemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Testin önemli bir avantajı, zaman boyutunun kesit boyutundan küçük ya da büyük olması etkin sonuçlar almayı engellememektir (Çelik ve Ünsür, 2020). Başka bir önemli avantaj ise, temel hipotez olarak Granger nedensellik ilişkisinin eksikliğini kabul ederken, panel içindeki ülkeler arasında yatay kesit bağımlılığını dikkate alan alternatif hipotezi test etme olanağıdır (Kılıç vd., 2015). Dumitrescu ve Hurlin (2012),

T dönem boyunca ve N birim için gözlenen iki durağan süreç olarak tanımlanan y ile x arasındaki nedensellik ilişkisini aşağıdaki doğrusal heterojen model yardımıyla incelemiştir (Doğdu, 2019; Çelik ve Ünsür, 2020).

$$y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_i^{(k)} y_{it-k} + \sum_{k=1}^K \beta_i^{(k)} x_{it-k} + \varepsilon_{it} \quad (20)$$

Bu denklemde; y_{it} ve x_{it} test edilen değişkenlerdir. α_i ;i kesitleri arasındaki etkileri, $\gamma_i^{(k)}$ gecikmeli parametreleri, K bütün yatay kesitler için aynı gecikme uzunluğunu göstermektedir. Regresyonun eğim katsayısı ise $\beta_i^{(k)}$ ile ifade edilir (Doğdu, 2019). Denklemden yararlanılarak oluşturulan temel hipotez:

H_0 : Seriler arasında nedensellik ilişkisi yoktur.

2.4. Ampirik Bulgular

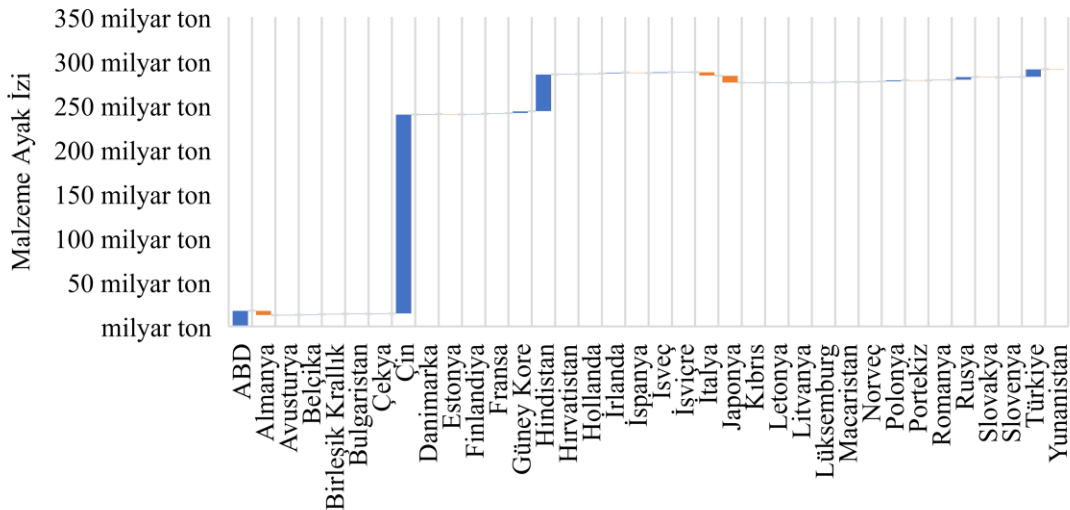
Bu bölümde yapılan ampirik analizler sonucu elde edilen bulgular paylaşılacaktır. Ayrıştırma analizi ile belirleyicileri sunulduktan sonra panel veri analizinin çıktılarının ışığında malzeme ayak izi ve ticaret arasındaki ilişkinin yönü belirlenecektir.

2.4.1. Ayrıştırma Analizi Bulguları

İlk olarak ayrıştırma analizinden edilen bulgular değerlendirilecektir. Şekil 3'te tüm periyot için MF'de yaşanan değişime (artma veya azalma) dair gelişmeler toplam değerler ile ülkeler bazında sunulmuştur. Mavi barlar MF'si artan ülkeleri gösterirken, turuncu barlar MF'si azalan ülkeleri göstermektedir.

Şekil 3

Ülkeler Bazında Malzeme Ayak İzinin Durumu



ABD, Çin, Hindistan ve Türkiye malzeme ayak izinde belirgin bir artış yaşadığı gözlemlenirken, Almanya, Estonya, İspanya, İtalya, Japonya, Portekiz, Slovakya ve Yunanistan malzeme ayak izini azaltan ülkeler olduğu görülmektedir. Genel olarak AB ticaret ortaklarının MF'si artmıştır diyebiliriz. Geri kalan ülkelerde küçük değişimler gözlenmesine rağmen tüm barların mavi renk olduğu görülmektedir. Özellikle, AB ülkelerinin ticaret ortakları arasında malzeme ayak izindeki artışın gözle görülür bir şekilde olduğunu belirtmek önemlidir. Diğer taraftan, belirli ülkelerde malzeme ayak izinin azalması, sürdürülebilirlik çabalarının olumlu sonuçlarını yansıtabilir.

Tablo 4 ve 5'te ayrıştırma analizinden elde edilen sonuçlar özet olarak verilmiştir. Tablo 4, ΔACT (ekonomik büyüme etkisi) ve ΔPOP (nüfus etkisi); Tablo 5, ΔTI (ticaret yoğunluğu etkisi) ve ΔMFT (ticaretteki malzeme ayak izi yoğunluğunun etkisi) sonuçlarını göstermektedir. Ülkelerin karşılarında kırmızı olarak boyanan kutular ilgili değişkenin ilgili dönemde malzeme ayak izinin artışına yol açan hızlandırıcı gücü olduğu anlamına gelirken, yeşil ile boyanan kutular ise malzeme ayak izini azaltıcı yani engelleyici gücü olduğunu ifade etmektedir. Yani, değişken eğer malzeme ayak izini artırıcı bir etkiye sahipse hızlandırıcı güç, malzeme ayak izini azaltan bir etkiye sahipse engelleyici güç adını veriyoruz.

Tablo 4'te dikkat çeken ilk önemli nokta, ΔACT bütün ülkelerde malzeme ayak izinin hızlandırıcı gücüdür. Neredeyse tüm ülkelerde bazı dönemler hariç kırmızı olduğu görülmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü ülkelerin ekonomileri geliştiği zaman mal ve hizmet üretimi ve tüketimi artmaktadır. Dolayısıyla hem üretim süreçlerinde hem tüketim esnasında kullanılan malzemeler artacaktır.

Diğer yandan ΔPOP için de neredeyse aynı çıkarımı yapabiliriz. Bulgaristan, Hindistan, Letonya, Litvanya, Macaristan, Polonya ve Romanya tüm dönemlerde ve Estonya ile Rusya'nın çoğu dönemlerinde ve genel durumunda nüfus etkisi engelleyici güç olmuştur. Bunun sebebi olarak malzemenin verimli kullanılmasının gösterilmesi yanlış olabilir, çünkü bu ülkelerde nüfus azalması yaşanmaktadır. Yunanistan ve Japonya son iki dönemde yeşile dönmesi gelecek dönemler için umut vadetmektedir. Çekya ise ilk iki dönemde iyi durumdayken sonraki dönemlerde kırmızıya dönmüştür. Diğer ülkelerde ise bazı dönemlerde yeşil iken çoğu dönemde kırmızı renk olmasıyla birlikte nüfus etkisi malzeme ayak izinin bir diğer hızlandırıcı gücüdür yorumunu yapabiliriz.

Tablo 4*Ayrıştırma Analizi Sonuçlarının Özeti-1*

Δ ACT	1995 -	2000 -	2005 -	2010 -	2015 -	TÜ M	Δ POP	1995 -	2000 -	2005 -	2010 -	2015 -	TÜ M
	2000	2005	2010	2015	2019			2000	2005	2010	2015	2019	
ABD							ABD						
Almanya							Almanya						
Avusturya							Avusturya						
Belçika							Belçika						
Birleşik Krallık							Birleşik Krallık						
Bulgaristan							Bulgaristan						
Çekya							Çekya						
Çin							Çin						
Danimarka							Danimarka						
Estonya							Estonya						
Finlandiya							Finlandiya						
Fransa							Fransa						
Güney Kore							Güney Kore						
Hindistan							Hindistan						
Hırvatistan							Hırvatistan						
Hollanda							Hollanda						
İrlanda							İrlanda						
İspanya							İspanya						
İsveç							İsveç						
İsviçre							İsviçre						
İtalya							İtalya						
Japonya							Japonya						
Kıbrıs							Kıbrıs						
Letonya							Letonya						
Litvanya							Litvanya						
Lüksemburg							Lüksemburg						
Macaristan							Macaristan						
Norveç							Norveç						
Polonya							Polonya						
Portekiz							Portekiz						
Romanya							Romanya						
Rusya							Rusya						
Slovakya							Slovakya						
Slovenya							Slovenya						
Türkiye							Türkiye						
Yunanistan							Yunanistan						

Tablo 5*Ayrıştırma Analizi Sonuçlarının Özeti-2*

ΔTI	1995 -	2000 -	2005 -	2010 -	2015 -	TÜ M	ΔMFT	1995 -	2000 -	2005 -	2010 -	2015 -	TÜ M
	2000	2005	2010	2015	2019			2000	2005	2010	2015	2019	
ABD							ABD						
Almanya							Almanya						
Avusturya							Avusturya						
Belçika							Belçika						
Birleşik Krallık							Birleşik Krallık						
Bulgaristan							Bulgaristan						
Çekya							Çekya						
Çin							Çin						
Danimarka							Danimarka						
Estonya							Estonya						
Finlandiya							Finlandiya						
Fransa							Fransa						
Güney Kore							Güney Kore						
Hindistan							Hindistan						
Hırvatistan							Hırvatistan						
Hollanda							Hollanda						
İrlanda							İrlanda						
İspanya							İspanya						
İsveç							İsveç						
İsviçre							İsviçre						
İtalya							İtalya						
Japonya							Japonya						
Kıbrıs							Kıbrıs						
Letonya							Letonya						
Litvanya							Litvanya						
Lüksemburg							Lüksemburg						
Macaristan							Macaristan						
Norveç							Norveç						
Polonya							Polonya						
Portekiz							Portekiz						
Romanya							Romanya						
Rusya							Rusya						
Slovakya							Slovakya						
Slovenya							Slovenya						
Türkiye							Türkiye						
Yunanistan							Yunanistan						

Tablo 5'te ΔTI ve ΔMFT 'nin çoğu ülkede engelleyici güç olduğu gözlemlenmektedir. Bunun anlamı bu etkiler dönemlerin ve ülkelerin büyük çoğunluğunda malzeme ayak izinin azaltılmasına katkıda bulunur. Ticaret yoğunluğu,

Çin için her dönem de engelleyici güç iken, Danimarka, Japonya ve Yunanistan'da ülkeler arasında en çok (4 kutu) kırmızı renge sahip olmasıyla hızlandırıcı gücü olmuştur. Buradan ticaret yoğun ülkelerin malzeme ayak izini artırmaya eğilimi olduğunu söyleyebiliriz. ΔMFT ise Almanya, Avusturya, Japonya'da her dönemde engelleyici güç olmuştur. ΔMFT 'de her dönemde hızlandırıcı güç olduğu gözlemlenen ülke bulunmamaktadır fakat ABD, Çin, Hindistan, Rusya ve Türkiye'nin çoğu dönemleri için MF'nin hızlandırıcı gücü olmuştur.

143 kutusu yeşil olan ΔTI , 131 kutusu yeşil olan ΔMFT 'den daha engelleyici güç konumundadır. Ticaret yoğunluğunun malzeme ayak izini azaltması, bir ülkenin uzmanlaşma, teknoloji transferi, yeşil ticaret politikaları, dış ticaret geliri ve karbon kaçağı önleme gibi faktörlere odaklanmasıyla sağlanabilir. Bu durum, daha etkili kaynak kullanımı, çevre dostu teknoloji benimseme ve sürdürülebilir ticaret uygulamalarıyla birlikte ekonomik büyümeyi destekleyerek malzeme ayak izini azaltabilir. Diğer yandan ΔMFT 'nin, ΔTI 'ya göre daha az engelleyici güce sahip olması ülkelerin ticaretinin malzeme yoğun endüstrilere odaklandığı anlamına gelebilir. Uzun vadede, kaynak tüketimi ve çevresel sürdürülebilirlik konuları, ekonomik geleceği olumsuz etkileyebilir. Bu nedenlerle, bir ülkenin malzeme yoğunluğundaki aşırı odaklanma, çeşitli ekonomik ve çevresel riskleri beraberinde getirebilir.

Tablo 6

Malzeme Ayak İzindeki Değişimler

MF	1995 -	2000 -	2005 -	2010 -	2015 -	TÜ M	MF	1995 -	2000 -	2005 -	2010 -	2015 -	TÜ M
ABD							İsveç						
Almanya							İsviçre						
Avusturya							İtalya						
Belçika							Japonya						
Birleşik Krallık							Kıbrıs						
Bulgaristan							Letonya						
Çekya							Litvanya						
Çin							Lüksemburg						
Danimarka							Macaristan						
Estonya							Norveç						
Finlandiya							Polonya						
Fransa							Portekiz						
Güney Kore							Romanya						
Hindistan							Rusya						
Hırvatistan							Slovakya						
Hollanda							Slovenya						
İrlanda							Türkiye						
İspanya							Yunanistan						

Tablo 6, MF'deki artış ve azalış durumunu dönemler itibariyle göstermektedir. Kırmızı kutular artışı, yeşil kutular azalışı ifade etmektedir. Genel olarak baktığımızda kırmızı kutuların yoğunluğu görebiliriz. Bu artışlarda gelir ve nüfus etkisinin payı oldukça büyüktür. Fakat 1995-2019 arasındaki tüm periyot için gelir ve nüfus etkisine rağmen MF'si azalan ülkeler dikkat çekmektedir. Bunlar Almanya, İspanya, İtalya, Japonya ve Slovakya'dır. Bu ülkelerin ΔTI ve ΔMFT 'si, ΔACT ve ΔPOP etkisinden üstün gelerek MF'nin azalmasını sağlamışlardır. Yine bu ülkeler için Tablo 5'te dönemsel bir inceleme yaparsak MF'nin azalmasında ΔMFT 'nin daha büyük rolü olduğunu görebiliriz. ΔTI daha fazla yeşil kutuya sahip olmasına rağmen ΔMFT 'nin oransal olarak daha fazla etkiye sahip olduğunu söyleyebiliriz. Yani, ticarete kullanılan malzemelerin yoğunluğunun azaltılması malzeme ayak izini azaltacaktır. Portekiz ve Yunanistan da tüm dönem için MF'si azalan ülkeler arasında fakat bunun sebebi nüfus ve gelir etkileri ile ilgilidir.

2.4.2. Panel Veri Analiz Bulguları

Bu bölümde panel veri analizinin bulguları paylaşılacaktır. Yöntem kısmındaki sıralama takip edilecektir. Değişkenlere ait betimsel istatistikler Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7

Betimsel İstatistikler

Değişken	Gözlem	Ortalama	Standart hata	Minimum	Maksimum
LNMF	900	19.682	1.513	16.453	24.173
LNGDP	900	26.498	1.719	23.051	30.623
LNPOP	900	16.590	1.802	12.921	21.065
LNT0	900	4.387	0.538	2.797	5.940
LNCOI	900	-1.263	0.471	-2.580	0.155
LNDMC	900	19.368	1.670	15.467	24.226
LNMP	900	4.764	0.557	3.712	8.846
UMDT	900	221	193.2519	1	625

Tablo 8, bağımsız değişkenlerin regresyon katsayısı, standart hata, t-istatistiği, p-değeri ve güven aralığını göstermektedir. Çıkarımsal analizlerde R-kare değeri, 0 ile 1 arasında bir değer alır. Bu modeldeki %97,66 R-kare değeri, gözlemlenen değişkenliğin büyük bir bölümünün bu model tarafından açıklandığını göstermektedir. Root MSE, model tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar sapma gösterdiğini belirler; bu durumda, ortalama tahmin hatası 0.232 birimdir. Bağımsız değişkenlerin

modeldeki toplam anlamlılığı F-istatistiği ile test edilmiştir ve sonuçlar anlamlıdır (Prob > F = 0.000).

Tablo 8

Model istatistikleri

Anova Tablosu	
Toplam Kareler (Toplam SS)	2057.279
Modelin Açıkladığı Kareler (Model SS)	2009.038
Kalıntı (Residual) Kareler	48.240
F-istatistiği	5306.891
Prob > F (Anlamlılık)	0.000

Model İstatistikleri	
R-kare (R-squared)	0.977
Düzeltilmiş R-kare (Adj R-squared)	0.976
Root Mean Squared Error (Root MSE)	0.232

Çalışmada ilk olarak panel verilerde yatay kesit bağımlılığını test etmek için; Breusch-Pagan (1980), Pesaran CD (2004) ve Pesaran ve Yamagata (2004) LM adj testleri istatistikleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada 36 ülke bulunduğundan dolayı N=36 olacaktır ve 24 yıl olmasından dolayı zaman boyutu T=24 olacaktır. T<N olması sebebiyle Pesaran (2004) CD testi dikkate alınacaktır. Yatay kesit bağımlılığının sonuçları Tablo 9'da sunulmuştur ve yatay kesit bağımlılığı olmadığını gösteren H₀ hipotezi %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Bu seriler arasında yatay kesit bağımlılığı olduğu anlamına gelmektedir. Yani, bir ülkede meydana gelebilecek bir değişikliği diğer ülkeleri de etkileyebileceği anlamına gelir.

Homojenlik testinin sonuçları da Tablo 9'de yer almaktadır ve elde edilen sonuçlara göre %1 anlamlılık düzeyinde eğim katsayılarının homojen olduğu H₀ hipotezi reddedilmiştir. Böylece parametrelerin heterojen olduğuna karar verilmiştir. Ülkelerin sahip olduğu değerler birbirinden farklılaşmaktadır.

Tablo 9*Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenlik Testi Sonuçları*

	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
Yatay Kesit Bağımlılığı		
Breusch-Pagan LM	61135	0.000***
<i>Peseran</i> ve Yamagata LM adj	19.37	0.000***
Paseran CD	4.98	0.000***
Homojenlik Testleri		
Δ	14.39	0.000***
Δ_{adj}	17.99	0.000***

Not: * %10, ** %5, *** %1 anlamlılık düzeylerine göre tek yönlü kritik değerleridir.**Tablo 10***PANIC Birim Kök Testi Sonuçları*

Değişkenler	Sabitli (PANIC)	Sabitli ve Trendli (PANIC)
LNMF	0.615 (0.538)	0.049 (0.960)
Δ LNMF	-13.236 (0.000)***	-11.066 (0.000)***
LNGDP	5.337 (0.000)***	2.676 (0.007)***
LNPOP	12.601 (0.000)***	5.878 (0.000)***
LNT0	-0.342 (0.732)	0.930 (0.352)
Δ LNT0	-15.854 (0.000)***	-12.926 (0.000)***
LNCOI	4.037 (0.000)***	2.507 (0.012)**
LMDMC	-1.852 (0.064)*	3.112 (0.001)***
Δ LMDMC	-12.223 (0.000)***	-
LNMP	9.568 (0.000)***	2.146 (0.031)**

Not: ***, **, * işaretleri sırasıyla %1, %5, %10 anlamlılık düzeyini, Δ simgesi serilerin birinci farkını ifade etmektedir. Gecikme uzunlukları Schwarz bilgi kriterine göre belirlenmiştir.

Serinin yatay kesit bağımlılığına ve heterojen bir dağılıma sahip olması sebebiyle uygulanan 2. Birim kök testlerinden PANIC testine ilişkin bilgiler Tablo

10’de yer almaktadır. LNGDP, LNPOP, LNCOI ve LNMP düzeyde durağandır fakat diğer değişkenler birim kök içerdiği için 1. Dereceden farklı alıp durağan hale getirilmiştir. Bağımlı değişkenin I(1) ve bağımsız değişkenlerin I(0) veya I(1) olması durumunda eş bütünleşme testi uygulanabilir.

Tablo 11

Westerlund Eş Bütünleşme Testi Sonucu

	İstatistik	p-değeri
Varyans Oranı	-3.658	0.000***

Not: * %10, ** %5, *** %1 anlamlılık düzeylerine göre tek yönlü kritik değerleridir.

Tablo 11’de Westerlund eş bütünleşme testinin sonuçları sunulmuştur. Sonuçlarımıza göre, p-değeri 0.01 anlamlılık düzeyinden küçüktür ve bu nedenle H_0 hipotezi reddedilir. Bu sonuca göre, değişkenler arasında uzun vadeli bir ilişki bulunduğu söylenebilir. Bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkene olan etkisini CCE ile tahmin ettiğimizde, Tablo 12’deki sonuçları elde ediyoruz.

Tablo 12

CCE Tahmin Sonuçları

Değişkenler	Katsayı	Standart Hata
LNGDP	0.2755***	0.0134
LNPOP	0.3089***	0.0170
LNT0	0.0502**	0.0251
LNCOI	0.0685***	0.0255
LNDMC	0.3199***	0.0228
LNMP	-0.0714***	0.0152
UMDT	0.0001	0.0001
SABİT	1.2797***	0.2640

Not: * %10, ** %5, *** %1 anlamlılık düzeylerine göre tek yönlü kritik değerleridir.

Tahmin sonuçlarına göre sırasıyla; LNGDP ve LNPOP değişkenlerinin artması beraberinde malzeme ayak izini de artırmaktadır. Ayırıştırma analizinde olduğu gibi panel veri analizinde de aynı sonuçları elde ediyoruz ve ekonomik büyüme ile nüfus,

malzeme ayak izinin hızlandırıcı (veya artırıcı) güçleri arasındadır sonucuna varıyoruz.

Dış ticareti temsil eden LNTO değişkenindeki %1'lik bir artış malzeme ayak izini 0.05 düzeyinde artırmaktadır. Çalışmamızın temel araştırma sorusu bu şekilde cevaplanmaktadır. Malzeme ayak izi ve ticaret arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır.

COI (carbon dioxide intensity) arttığında malzeme ayak izi de artmaktadır. Şöyle ki, üretim sürecinde artış yaşandığı zaman bu beraberinde enerji tüketiminde de artış getirebilmektedir. Özellikle sanayi sektöründe kullanılan enerji fosil yakıt kaynaklıdır ve bu karbon emisyonuna sebep olur. Enerji kullanımı artıyorsa kullanılan veya üretilen malzeme/ürün de artıyor demektir. Benzer bir şekilde bu malzeme/ürünlerin taşınması da yoğun enerji kaynaklıdır. Hava veya kara taşımacılığı çok fazla karbon emisyonuna sebep olmaktadır. Tüm bunlar birbiriyle ilişki halindedir ve herhangi birinin artmasıyla diğeri bu değişimden etkilenmektedir. Dolayısıyla karbon yoğunluğu için bulduğumuz pozitif katsayı mantıklıdır. İncelediğimiz dönem için görüldüğü kadarıyla ülkelerin dış ticaretinde malzeme verimliliği stratejileri, karbon azaltım veya döngüsel ekonomi gibi uygulamalar söz konusu olmamıştır.

Yerel malzeme tüketimi de diğer değişkenler gibi malzeme ayak izini artırmaktadır. Malzeme tüketiminin artmasının malzeme ayak izini artırması beklenen bir sonuçtur. Malzeme tüketiminin artması, genellikle üretim süreçlerinin enerji ve kaynak yoğunluğunu artırarak malzeme ayak izini arttırır. Bu durum, ham madde çıkarımından üretim süreçlerine, ambalajlamadan nakliye kadar bir çok faktörün etkileşiminden kaynaklanmaktadır.

Tahmin sonuçlarında malzeme ayak izini azaltan tek etki malzeme fiyatıdır. Malzeme fiyatındaki %1'lik bir artış malzeme ayak izini 0.07 düzeyinde azaltmaktadır. Talep kanuna göre bu olağan bir durumdur. Malzeme fiyatlarının arttırılması, ülkelerin malzeme ayak izini azaltma hedefine yönelik etkili bir politika aracı olabilir. Bu amaçla, malzeme fiyatlarını belirlerken MF esas alınarak kirlilik derecesine veya emisyon yoğunluğuna göre malzemelere ilave bir ücret eklenmesi gerekebilir. Bu şekilde, karbon fiyatlandırması gibi malzeme fiyatlandırması, çevresel etkileri göz önünde bulundurarak sürdürülebilir kaynak kullanımını teşvik edebilir. UMDT istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır.

Nedensellik testi Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Testi'nin sonuçları Tablo 13'te gösterilmektedir.

Tablo 13

Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi Sonuçları

	İSTATİSTİK	P-DEĞERİ
LNGDP → LNMF	5.375	0.000***
LNMF → LNGDP	4.575	5.000
LNPOP → LNMF	4.366	0.029**
LNMF → LNPOP	7.379	6.000
LNT0 → LNMF	3.931	0.002***
LNMF → LNT0	3.536	8.000
LNCOI → LNMF	4.835	0.000***
LNMF → LNCOI	3.817	0.000***
LNDMC → LNMF	3.177	0.023**
LNMF → LNDMC	2.827	0.174
LNMP → LNMF	5.826	0.000***
LNMF → LNMP	4.212	4.000

Not: * %10, ** %5, *** %1 anlamlılık düzeylerine göre tek yönlü kritik değerleridir.

Sonuçlara göre karbon yoğunluğu hariç diğer değişkenler ile malzeme ayak izi arasında tek yönlü nedensellik bulunmaktadır. Sırasıyla; i) ekonomik büyüme malzeme ayak izinin nedenidir fakat malzeme ayak izi ekonomik büyümenin nedeni değildir. ii) nüfus malzeme ayak izinin nedenidir fakat malzeme ayak izi nüfusun nedeni değildir. iii) ticaret malzeme ayak izine tek yönlü olarak neden olmaktadır. Buradan elde edilen sonuçla kurduğumuz malzeme ayak izi ve ticaret arasında bir ilişkinin olduğu yönündeki hipotezimiz kanıtlanmaktadır. iv) karbon yoğunluğu ile malzeme ayak izi arasında çift yönlü nedensellik bulunmaktadır. Yani, karbon yoğunluğundaki değişimler malzeme ayak izini etkiler iken, aynı zamanda malzeme ayak izindeki değişimler karbon yoğunluğunu etkilemektedir. v) yerli malzeme kullanımı malzeme ayak izinin nedenidir. vi) malzeme fiyatları malzeme ayak izinin nedenidir. Malzeme fiyatında bir değişiklik olursa bu durum malzeme ayak izini etkilemektedir. Nedensellik testinden elde ettiğimiz sonuçlar Tablo 12'de verilen CCE tahmin katsayıları ile uyumlu ve beklenildiği gibidir. Katsayıların MF'yi etkilediği yönünde sonuç veren CCE analizi, nedensellik analizi ile doğrulanmıştır.

SONUÇ

Sanayileşme, ekonomik büyüme ve kalkınma süreçlerinde önemli bir rol oynamış olsa da beraberinde çevresel sorunları da getirmiştir. Ülkeler, endüstrileşme sayesinde ekonomik olarak büyüme kaydetmiş, gelir düzeylerini artırmış ve yaşam standartlarını yükseltmiştir. Ancak, bu büyüme genellikle enerji ve malzeme kullanımının artmasına bağlı olarak çevre tahribatına yol açarak doğal kaynakların aşırı kullanımına, hava ve su kirliliğine, orman kaybına ve iklim değişikliğine neden olmuştur. Enerji kullanımındaki artış iklim değişikliği ve küresel ısınma problemlerinin sebeplerinin başında gelen CO₂ emisyonlarının artmasına sebep olmuştur. Malzeme kullanımındaki artış, özellikle tüketim odaklı bir ekonomi modeli benimseyen ülkelerde, doğal kaynakların aşırı sömürülmesine ve atık oluşumuna neden olmuştur. Endüstriyel üretim süreçlerinde kullanılan malzemelerin yoğunluğu, üretim atıklarının miktarını artırmış ve bu da çevresel dengeyi olumsuz yönde etkilemiştir. Özellikle küreselleşen ekonomilerde artan ticaret eğilimleri malzeme kullanımını farklı bir boyuta taşımıştır. Artan ticaret, ülkeler arasında malzeme akışını hızlandırmış ve bu da doğal kaynakların küresel düzeyde daha hızlı tükenmesine yol açmıştır. Malzeme yoğunluğu yüksek üretim süreçleri ve büyük ölçekli ticaret, çevre üzerindeki baskıyı artırmış ve ekosistemlere zarar vermiştir. Son dönemlerde ülkeler bu zararın farkına varmış ve bu problemlerin küresel bir sorun olduğunu idrak etmişlerdir. Yapılan uluslararası anlaşmalar, yaptırımlar ve politikalar aracılığıyla zararı hafifletmeye çabalamışlardır. Odakları enerji olmuş ve buna bağlı olarak enerji kaynaklı emisyonların azaltılmasında nispeten başarılı olmuşlardır. Fakat net-sıfır hedeflerine ulaşmak için malzeme verimliliğinin de sağlanması şarttır. Göz ardı edilen malzeme konusu son yıllarda dikkatleri çekmeye başlamıştır.

Bu çalışmada malzeme tüketimini ölçmede kullanılan göstergelerden biri olan malzeme ayak izi göstergesi seçilmiştir. Bunun sebebi, malzeme ayak izi, bir ülkenin tüketiminin tüm küresel tedarik zinciri boyunca birincil malzemelerin çıkarılması ve kullanımına katkısını ölçmesidir. Dolayısıyla bir ülkenin toplam malzeme tüketimini göstermediğine ve daha doğru sonuçlar verdiğine inanılmaktadır. Bu doğrultuda AB ülkeleri ve AB ülkelerinin ticaret partnerleri için 1995-2019 yılları arasını kapsayan iki analiz gerçekleştirilmiştir. Ayırıştırma analizi ile malzeme ayak izinin belirleyicileri araştırılmış ve sonrasında panel veri analizi ile malzeme ayak izi ve ticaret arasındaki ilişki incelenmiştir.

Ayrıştırma analizi sonuçlarına bakıldığında; i) Ekonomi etkisi her ülke için malzeme ayak izinin hızlandırıcı gücüdür. ii) Nüfus etkisi Bulgaristan, Estonya, Hindistan, Letonya, Litvanya, Macaristan, Polonya, Rusya ve Romanya hariç diğer ülkelerde tüm veya çoğu dönemlerde hızlandırıcı güç olmuştur. iii) Ticaret yoğunluğu ve ticaretteki malzeme ayak izinin yoğunluğu genel olarak ülkeler için engelleyici güç olmuştur. Fakat Çin, Hindistan, Rusya ve Türkiye’de *MFT* çoğu dönemde hızlandırıcı güç olarak bulunmuştur. Bunun anlamı, dış ticaret yoluyla malzeme kaçağı durumu söz konusudur. Ülkeler malzeme tüketimini sınırları dışına taşımaktadır ve bu durum malzeme ayak izini artırmaktadır. Bu yüzden bu ülkeler, ticaret yoluyla gerçekleşen malzeme tüketimini azaltmalı ve buna uygun politikalar geliştirmelidir.

Panel veri analizi sonuçlarına göre ise; i) Seriler arasında yatay kesit bağımlılığının varlığı saptanmış ve serilerin heterojen olduğu bulunmuştur. Bu ülkelerin birbirinden farklı değerlere sahip olduğunu ve bir ülkede yaşanan değişikliğin diğer ülkeyi etkilediği anlamına gelmektedir. ii) Bağımlı değişkenin $I(1)$ ve bağımsız değişkenlerin $I(0)$ veya $I(1)$ olduğu gözlemlenmesi ile eş bütünleşme testi uygulanmış ve eş bütünleşme için oluşturulan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Seriler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığı ortaya koyulmuştur. Devamında bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkene olan etkisini CCE tahmin yöntemi ile tahmin edilmiştir. Malzeme fiyatı katsayısı hariç diğer tüm bağımsız değişkenlerin katsayısı pozitif bulunmuştur. Burada çalışmamızın ana sorusu cevaplanmaktadır. Malzeme ayak izi ve ticaret arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Ayrıştırma yönteminde ticaret yoğunluğu etkisi engelleyici/azaltan güce sahipken panel veri analizinde ticari açıklığın artırıcı etkiye sahip olması farklı analiz yöntemlerinden ve analizler de uygulanan işlemlerin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Analizin son testi olan nedensellik testinde ise sadece karbon yoğunluğu ve malzeme ayak izi arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi buluyoruz. Malzeme tüketiminin artması bu malzemelerin üretilmesi ve taşınması gibi süreçlerde çok fazla enerji kullanımı anlamına gelmektedir. Dolaylı olarak da olsa, sonucunda CO_2 emisyonlarının artması demektir. Ya da tam tersini düşündüğümüzde, CO_2 emisyonlarının artmasını sebebinde bulunan enerji kullanımının artması daha fazla malzemenin üretilmesi veya tüketilmesi anlamına gelir. Bulunan çift yönlü nedensellik bunu açıklar. Diğer bağımlı değişkenler ile malzeme ayak izi arasında ise malzeme

ayak izine doğru tek yönlü nedensellik bulunmuştur. Tüm analiz sonuçları birbiriyle uyumludur.

Gerçekleştirilen analiz sonuçlarını ülke gruplarına göre ele alındığında, ticaret ortaklarının malzeme ayak izinin ve ticaretteki malzeme ayak izi yoğunluğu AB ülkelerine kıyasla daha fazla olduğunu gözlemledik. Özellikle gelişmekte olan ticaret ortakları için bu kesin olarak söylenebilir. Malzeme tüketim ve malzeme ayak izinin seyrine bakıldığında AB ülkelerinin çevreye olan hassasiyetinin ticaret ortaklarına göre daha fazla olduğunu ve ona göre ilerlediğini söylemek yanlış olmayacaktır. Eğer böyle devam ederse gelecek yıllarda çoğu AB ülkesinde malzeme ayak izinin azalma trendi içine girdiğini daha net gözlemleyebiliriz.

Malzeme ayak izi artış gösteren ülkeler ise malzeme verimliliğini sağlayacak politikalar geliştirmelidir. Aksi takdirde artan malzeme tüketimlerine paralel olarak emisyonları da artacaktır ki bu CBAM'ın yaptırımlarına maruz kalmaları anlamına gelmektedir. CBAM gibi çevre dostu düzenlemeler, çevresel etkileri hesaba katarak dış ticaret dinamiklerini etkileyebilecek ve ülkeler arasındaki ticaret avantajları çevre dostu teknolojilere geçişle değişebilecektir.

Sürdürülebilir kaynak yönetimi ve çevre koruma açısından, malzeme verimliliği sağlanmalıdır. Bu, üretim süreçlerinde kullanılan malzemelerin daha etkin bir şekilde kullanılması, atıkların azaltılması ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin minimize edilmesi anlamına gelir. Malzeme verimliliğini artırmak için ise ülkeler döngüsel ekonomi prensiplerini benimsemeleri ve yenilenebilir malzemeler tercih etmeleri gerekmektedir. Geri dönüşüm, yeniden kullanım ve ikame gibi stratejiler malzeme tüketimini azaltmakla beraber ticaretteki malzeme ayak izi yoğunluğunu da azaltmaya yardımcı olacaktır. Hükümetler bununla ilgili teşvik, politika veya yaptırımlar uygulamalıdır. Malzeme kaçağı ülkelere takip edilmesi ve önüne geçilmesi gereken bir konudur. SDG'lere ulaşmada sürdürülebilir malzeme kullanımı kritik rol oynamaktadır. Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri ve sürdürülebilir bir yaşam için temiz üretim, yeşil dönüşüm ve yenilenebilir kaynak kullanımı sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Akdoğan, T., Erkara, Elif, Mert, B., Burcu Hiçyılmaz,, Alataş, S., & Karakaya, E., (2023). *Understanding material and energy use in the processes of decoupling CO2 emissions from economic growth.* 30, 80863–80883. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28020-y>
- Alataş, S., Hiçyılmaz, B., & Karakaya, E. (2023). Material demand and material efficiency for sustainable development in the European Union countries: A stochastic frontier analysis. *Sustainable Development.* <https://doi.org/10.1002/SD.2648>
- Alataş, S., Karakaya, E., & Hiçyılmaz, B. (2021). Sustainable Production and Consumption What Does Input Substitution Tell Us in Helping Decarbonization and Dematerialization? Industry Level Analysis for South Korea. *Sustainable Production and Consumption,* 27, 411–424. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.015>
- Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy:: which is the preferred method? *Energy Policy,* 32(9), 1131–1139. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4)
- Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy,* 33(7), 867–871. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2003.10.010>
- Ang, B. W. (2015). LMDI decomposition approach: A guide for implementation. *Energy Policy,* 86, 233–238. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2015.07.007>
- Ang, B. W., & Choi, K. H. (1997). Decomposition of Aggregate Energy and Gas Emission Intensities for Industry: A Refined Divisia Index Method. *The Energy Journal,* 18(3), 59–73. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VOL18-NO3-3>
- Ang, B. W., & Lee, S. Y. (1994). Decomposition of industrial energy consumption: Some methodological and application issues. *Energy Economics,* 16(2), 83–92. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0140-9883(94)90001-9)
- Ang, B. W., & Zhang, F. Q. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy,* 25(12), 1149–1176. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(00\)00039-6](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(00)00039-6)
- Ansari, M. A., Haider, S., & Khan, N. A. (2020). Environmental Kuznets curve revisited: An analysis using ecological and material footprint. *Ecological Indicators,* 115, 106416. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.106416>
- Bai, J., & Ng, S. (2004). A PANIC Attack on Unit Roots and Cointegration. *Econometrica,* 72(4), 1127–1177. <https://doi.org/10.1111/J.1468-0262.2004.00528.X>
- Bai, J., & Ng, S. (2010). Panel unit root tests with cross-section dependence: a further investigation. *Econometric Theory,* 26(4), 1088–1114. <https://doi.org/10.1017/S0266466609990478>

- Balogh, J. M., & Jámbor, A. (2020). The Environmental Impacts of Agricultural Trade: A Systematic Literature Review. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 1152, 12(3), 1152. <https://doi.org/10.3390/SU12031152>
- Balogh, J. M., & Mizik, T. (2021). Trade–Climate Nexus: A Systematic Review of the Literature. *Economies* 2021, Vol. 9, Page 99, 9(3), 99. <https://doi.org/10.3390/ECONOMIES9030099>
- Baltagi, B. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Baltagi, B. H., Bresson, G., & Pirotte, A. (2007). Panel unit root tests and spatial dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 339–360. <https://doi.org/10.1002/jae.950>
- Boyd, G., McDonald, J. F., Ross, M., & Hansont, D. A. (1987). Separating the Changing Composition of U.S. Manufacturing Production from Energy Efficiency Improvements: A Divisia Index Approach. *The Energy Journal*, 8(2). <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VOL8-NO2-6>
- Bodansky, D. (2017). The Paris Climate Change Agreement: A New Hope? *American Journal of International Law*, 110(2), 288–319. <https://doi.org/10.5305/AMERJINTELAW.110.2.0288>
- Böhringer, C. (2003). The Kyoto Protocol: A Review and Perspectives. *Oxford Review of Economic Policy*, 19(3), 451–466. <https://doi.org/10.1093/OXREP/19.3.451>
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239–253. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Bruckner, M., Giljum, S., Lutz, C., & Wiebe, K. S. (2012). Materials embodied in international trade – Global material extraction and consumption between 1995 and 2005. *Global Environmental Change*, 22(3), 568–576. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2012.03.011>
- Buhl, J., Liedtke, C., Teubler, J., & Bienge, K. (2019). The Material Footprint of private households in Germany: Linking the natural resource use and socioeconomic characteristics of users from an online footprint calculator in Germany. *Sustainable Production and Consumption*, 20, 74–83. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2019.05.001>
- Canas, Â., Ferrão, P., & Conceição, P. (2003). A new environmental Kuznets curve? Relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialised countries. *Ecological Economics*, 46(2), 217–229. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00123-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00123-X)
- Çelik, M. Y., & Ünsür, Z. (2020). Küreselleşme ve Büyüme İlişkisinin Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Testi ile Belirlenmesi. *İzmir İktisat Dergisi*, 35(1), 201–210. <https://doi.org/10.24988/IJE.202035115>
- Choi, I. (2001). Unit root tests for panel data. *Journal of International Money and Finance*, 20(2), 249–272. [https://doi.org/10.1016/S0261-5606\(00\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0261-5606(00)00048-6)

- Doğdu, A. (2019). *Taylor kuralının gelişmekte olan ülkeler üzerindeki geçerliliğinin Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik analizi ile test edilmesi (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).*
- Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450–1460. <https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2012.02.014>
- European Data Portal. (2023). Domestic material consumption per capita. <https://data.europa.eu/data/datasets/pwzdbpy2plucl8qihmofa?locale=en>
- Eurostat. (2023). Glossary:Material flow indicators - Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Material_flow_indicators
- Fernández-Herrero, L., & Duro, J. A. (2019). What causes inequality in Material Productivity between countries? *Ecological Economics*, 162, 1–16. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2019.04.007>
- Fetting, C. (2020). *The European Green Deal.*
- Fragkos, P. (2022). Analysing the systemic implications of energy efficiency and circular economy strategies in the decarbonisation context. *AIMS Energy*, 10(2), 191–218. <https://doi.org/10.3934/energy.2022011>
- García-Cintado, A. C., Romero-Ávila, D., & Usabiaga, C. (2015). A PANIC analysis on regional and sectoral inflation: the Spanish case. *Applied Economics*, 47(44), 4685–4713. <https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1034838>
- Giljum, S., Bruckner, M., & Martinez, A. (2015). Material Footprint Assessment in a Global Input-Output Framework. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 792–804. <https://doi.org/10.1111/jiec.12214>
- Giljum, S., Wieland, H., Lutter, S., Bruckner, M., Wood, R., Tukker, A., & Stadler, K. (2016). Identifying priority areas for European resource policies: a MRIO-based material footprint assessment. *Journal of Economic Structures*, 5(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/S40008-016-0048-5/FIGURES/6>
- GMF. (2023). United Nations Environment Programme International Resource Panel. *Global Material Flows Database*. <https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database>
- Granel, F. (2003). *A Comparative Analysis Of Index Decomposition Methods.*
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424. <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Grubb, M. ., Koch, M. ., Thomson, K. ., Sullivan, F. ., & Munson, A. . (2019). *The 'Earth Summit' Agreements: A Guide and Assessment: An Analysis of the Rio '92 UN Conference on Environment and Development (Vol. 9).*
- Gujarati, B., Bernier, B., & Bernier, B. (2004). *Économétrie. Brussels: De Boeck.*, 17-5.

- Haberl, H., Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Brockway, P., Fishman, T., Hausknost, D., Krausmann, F., Leon-Gruchalski, B., Mayer, A., Pichler, M., Schaffartzik, A., Sousa, T., Streeck, J., & Creutzig, F. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. *Environmental Research Letters*, 15(6), 065003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AB842A>
- Hadri, K. (2000). Testing for stationarity in heterogeneous panel data. *The Econometrics Journal*, 3(2), 148–161. <https://doi.org/10.1111/1368-423X.00043>
- Hadri, K., & Kurozumi, E. (2012). A simple panel stationarity test in the presence of serial correlation and a common factor. *Economics Letters*, 115(1), 31–34. <https://doi.org/10.1016/J.ECONLET.2011.11.036>
- Harris, R. D. F., & Tzavalis, E. (1999). Inference for unit roots in dynamic panels where the time dimension is fixed. *Journal of Econometrics*, 91(2), 201–226. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00076-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00076-1)
- Hashem Pesaran, M., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50–93. <https://doi.org/10.1016/J.JECONOM.2007.05.010>
- Hiçyılmaz, B., Alataş, S., & Karakaya, E. (2022). Sanayide karbonsuzlaşma: malzeme etkinliği stratejilerinin rolü. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 1(2), 81–118.
- Holladay, J. S., Mohsin, M., & Pradhan, S. (2018). Emissions leakage, environmental policy and trade frictions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 88, 95-113.
- Hurlin, C., & Mignon, V. (2007). *Second Generation Panel Unit Root Tests*. <https://shs.hal.science/halshs-00159842>
- IEA. (2023). <https://www.iea.org/>
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53–74. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)
- IMF. (2022). *Primary Commodity Prices*. <https://www.imf.org/en/Research/commodity-prices>
- IPCC. (2022). *Intergovernmental Panel on Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844> https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Full_Report.pdf
- Jin, Y., Wang, H., Wang, Y., Fry, J., & Lenzen, M. (2021). Material footprints of Chinese megacities. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105758. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105758>
- Karakaya, E. (2023). *Karbonsuzlaşma Sürecinde AB'nin "Malzeme" ile Sinavi - Sürdürülebilirlik Hakkında Her Şey*. EKOIQ. <https://www.ekoIQ.com/karbonsuzlasma-surecinde-abnin-malzeme-ile-sinavi/>

- Karakaya, E., Alatas, S., Erkara, E., Mert, B., Akdoğan, T., & Hiçyılmaz, B. (2023). The Rebound Effect of Material and Energy Efficiency and Their Determinants: Insights from the Stochastic Frontier Analysis for the EU and its Major Trading Partners. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4501943>
- Karakaya, E., Sarı, E., & Alataş, S. (2021). What drives material use in the EU? Evidence from club convergence and decomposition analysis on domestic material consumption and material footprint. *Resources Policy*, 70, 101904. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2020.101904>
- Karakaya, E. (2016). Paris iklim anlaşması: içeriği ve Türkiye üzerine bir değerlendirme. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 1-12.
- Kasman, A., & Duman, Y. S. (2015). CO2 emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: A panel data analysis. *Economic Modelling*, 44, 97–103. <https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2014.10.022>
- Kassouri, Y., Alola, A. A., & Savaş, S. (2021). The dynamics of material consumption in phases of the economic cycle for selected emerging countries. *Resources Policy*, 70, 101918. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2020.101918>
- Kaya, E. H. (2020). Kyoto'dan Paris'e Küresel İklim Politikaları.
- Kaya Y. (1989). Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios. *Intergovernmental Panel on Climate Change/Response Strategies Working Group*, May. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1570291225678384256>
- Kılıç, C., Bayar, Y., & Özekicioğlu, H. (2015). Araştırma Geliştirme Harcamalarının Yüksek Teknoloji Ürün İhracatı Üzerindeki Etkisi: G–8 Ülkeleri İçin Bir Panel Veri Analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 0(44), 115–130. <https://doi.org/10.18070/EUIIBFD.62317>
- Kloepffer, W. (2008). Life cycle sustainability assessment of products (with Comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 89–95. <https://doi.org/10.1065/LCA2008.02.376/METRICS>
- Koçak, E. & Sarıöz Gökten, Y. (2022). Kapitalizmde İktisadi Küçülme Mümkün Mü? Malzeme Ayak İzi ve CO2 İçin Panel Veri Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (2), 20-36. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/oskaiibfd/issue/74482/1190326>
- Küçükvar, M., Haider, M. A., & Onat, N. C. (2017). Exploring the material footprints of national electricity production scenarios until 2050: The case for Turkey and UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 251–263. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2017.06.024>
- Kuyper, J., Schroeder, H., & Linnér, B. O. (2018). The Evolution of the UNFCCC. <https://doi.org/10.1146/Annurev-Environ-102017-030119>, 43, 343–368. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ENVIRON-102017-030119>

- Kyoto Protocol. (1997). *A Major Step in Increasing International Awareness The United Nations Framework Convention on Climate Change The Kyoto Protocol*.
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A. Al, House, J., Pachauri, S., Figueroa, M., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S. K., Khennas, S., De La Rue Du Can, S., ... Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABEE4E>
- Lenzen, M., Geschke, A., West, J., Fry, J., Malik, A., Giljum, S., Milà i Canals, L., Piñero, P., Lutter, S., Wiedmann, T., Li, M., Sevenster, M., Potočník, J., Teixeira, I., Van Voore, M., Nansai, K., & Schandl, H. (2021). Implementing the material footprint to measure progress towards Sustainable Development Goals 8 and 12. *Nature Sustainability* 2021 5:2, 5(2), 157–166. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00811-6>
- Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1–24. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7)
- Li, M., Meng, B., Gao, Y., Guilhoto, J. J. M., Wang, K., & Geng, Y. (2023). Material footprints in global value chains with consideration of multinational enterprises. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106828. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2022.106828>
- Maamoun, N. (2019). The Kyoto protocol: Empirical evidence of a hidden success. *Journal of Environmental Economics and Management*, 95, 227–256. <https://doi.org/10.1016/J.JEEM.2019.04.001>
- Macarthur, E. (2013). *Founding Partners of the TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY Economic and business rationale for an accelerated transition*.
- Macarthur, E. (2019). *The Butterfly Diagram: Visualising the Circular Economy*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>
- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631–652. <https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610S1631>
- Mardani, A., Streimikiene, D., Cavallaro, F., Loganathan, N., & Khoshnoudi, M. (2019). Carbon dioxide (CO₂) emissions and economic growth: A systematic review of two decades of research from 1995 to 2017. *Science of The Total Environment*, 649, 31–49. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.08.229>
- Meng, M., & Li, X. (2022). Evaluating the direct rebound effect of electricity consumption: An empirical analysis of the provincial level in China. *Energy*, 239, 122135. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122135>
- Mert, B. (2023a). *Döngüsel Ekonomi*.
- Mert, B. (2023b). *Döngüsel Ekonomi II: Kelebek Diyagramı*.

- Mert, B., Erkara, E., & Akdoğan, T. (2023). Malzeme Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Çevresel Kuznets Hipotezi Bağlamında Sınanması: Türkiye ve Birleşik Krallık Örneği" çalışma hakkında yapılan sunum. İklim Değişikliği Ekonomisi Çalıştayı.
- Morgan, J., & Waskow, D. (2014). A new look at climate equity in the UNFCCC. *Climate Policy*, 14(1), 17-22.
- Nazlıoğlu, Ş. (2010). Makro iktisat politikalarının tarım sektörü üzerindeki etkileri: Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için bir karşılaştırma. Yayınlanmamış Doktora Tezi,. *TC Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri*.
- OECD. (2011). Competing in the global economy. 176. <https://doi.org/10.1787/888932487818>
- OECD. (2019). Global Material Resources Outlook to 2060: Economic drivers and environmental consequences. *Global Material Resources Outlook to 2060*. <https://doi.org/10.1787/9789264307452-EN>
- OECD. (2023). <https://data.oecd.org/>.
- Önder, H. (2018). *A New Concept in Sustainable Development Approach: Circular Economy*.
- Org, S. U. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda For Sustainable Development United Nations United Nations Transforming Our World: The 2030 Agenda For Sustainable Development*.
- Owen, J. M. (2010). The Clash of Ideas in World Politics. *The Clash of Ideas in World Politics*. <https://doi.org/10.1515/9781400836765/HTML>
- Pan, C. I., Chang, T., & Wolde-Rufael, Y. (2015). Military Spending and Economic Growth in the Middle East Countries: Bootstrap Panel Causality Test. *Defence and Peace Economics*, 26(4), 443–456. <https://doi.org/10.1080/10242694.2014.891356>
- Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.572504>
- Pesaran, M. H. (2006). Estimation and Inference in Large Heterogeneous Panels with a Multifactor Error Structure. *Econometrica*, 74(4), 967–1012. <https://doi.org/10.1111/J.1468-0262.2006.00692.X>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/JAE.951>
- Pesaran, M. H. (2021). General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels. *Empirical Economics*, 60(1), 13–50. <https://doi.org/10.1007/S00181-020-01875-7/TABLES/11>
- Pesaran, M. H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105–127. <https://doi.org/10.1111/J.1368-423X.2007.00227.X>

- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50–93. <https://doi.org/10.1016/J.JECONOM.2007.05.010>
- Plank, B., Eisenmenger, N., Schaffartzik, A., & Wiedenhofer, D. (2018). International Trade Drives Global Resource Use: A Structural Decomposition Analysis of Raw Material Consumption from 1990-2010. *Environmental Science and Technology*, 52(7), 4190–4198. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.7B06133/SUPPL_FILE/ES7B06133_SI_001.PDF
- Razzaq, A., Sharif, A., Ozturk, I., & Skare, M. (2022). Inclusive infrastructure development, green innovation, and sustainable resource management: Evidence from China's trade-adjusted material footprints. *Resources Policy*, 79, 103076. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2022.103076>
- Rio Declaration. (1992). Rio declaration on environment and development.
- Sahoo, M., Saini, S., & Villanthenkodath, M. A. (2021). Determinants of material footprint in BRICS countries: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(28), 37689–37704. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-13309-7/TABLES/9>
- Schaffartzik, A., Eisenmenger, N., Krausmann, F., & Weisz, H. (2014). Consumption-based Material Flow Accounting. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), 102–112. <https://doi.org/10.1111/JIEC.12055>
- Schandl, H., Fischer-Kowalski, M., West, J., Giljum, S., Dittrich, M., Eisenmenger, N., Geschke, A., Lieber, M., Wieland, H., Schaffartzik, A., Krausmann, F., Gierlinger, S., Hosking, K., Lenzen, M., Tanikawa, H., Miatto, A., & Fishman, T. (2018). Global Material Flows and Resource Productivity: Forty Years of Evidence. *Journal of Industrial Ecology*, 22(4), 827–838. <https://doi.org/10.1111/JIEC.12626>
- Sofuoğlu, E., & Kirikkaleli, D. (2023). Towards achieving net zero emission targets and sustainable development goals, can long-term material footprint strategies be a useful tool? *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 26636–26649. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-24078-2/TABLES/8>
- Steger, S., & Bleischwitz, R. (2011). Drivers for the use of materials across countries. *Journal of Cleaner Production*, 19(8), 816–826. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2010.08.016>
- Steinberger, J. K., Krausmann, F., & Eisenmenger, N. (2010). Global patterns of materials use: A socioeconomic and geophysical analysis. *Ecological Economics*, 69(5), 1148–1158. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2009.12.009>
- Sun, H., Edziah, B. K., Song, X., Kporsu, A. K., & Taghizadeh-Hesary, F. (2020). Estimating Persistent and Transient Energy Efficiency in Belt and Road Countries: A Stochastic Frontier Analysis. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 3837, 13(15), 3837. <https://doi.org/10.3390/EN13153837>

- Tarihi, G., Yeliz, D., & Gökten, S. (2022a). *Kapitalizmde İktisadi Küçülme Mümkün Mü? Malzeme Ayak İzi ve CO2 İçin Panel Veri Analizi*. 6(2), 20–36. <https://orcid.org/0000-0002-3362-4149>.
- Telega, I., & Telega, A. (2019). Driving factors of material consumption in European countries – spatial panel data analysis. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 9(3), 269–280. <https://doi.org/10.1080/21606544.2019.1675186>
- Tukker, A., Bulavskaya, T., Giljum, S., de Koning, A., Lutter, S., Simas, M., Stadler, K., & Wood, R. (2016). Environmental and resource footprints in a global context: Europe’s structural deficit in resource endowments. *Global Environmental Change*, 40, 171–181. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2016.07.002>
- Turgut, E., & Sariöz Gökten, Y. (2023). *Çevre Kirliliğinin Bir Göstergesi Olarak Malzeme Ayak İzi İçin Panel Veri Analizi*. <https://doi.org/10.35379/cusosbil.1102966>
- Ulucak, R., Koçak, E., Erdoğan, S., & Kassouri, Y. (2020). Investigating the non-linear effects of globalization on material consumption in the EU countries: Evidence from PSTR estimation. *Resources Policy*, 67, 101667. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2020.101667>
- UN. (2015). The Paris Agreement. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf
- UN. (2023). Sustainable Development. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- UNEP. (2022). *SDG indicator metadata (Harmonized metadata template-format version 1.1)*. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36253/UNRE.pdf?sequence=3&isAllo>
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2023). *The Use of Natural Resources in the Economy: A Global Manual on Economy Wide Material Flow Accounting*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/36253>.
- UNFCCC. (1992). United Nations Framework Convention On Climate Change.
- Wang, H., Wang, X., Zhang, X., Liu, G., Chen, W. Q., Chen, S., Du, T., & Shi, L. (2022). The coupling between material footprint and economic growth in the “Belt and Road” countries. *Journal of Cleaner Production*, 359, 132110. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132110>
- Weidema, B. P., Thrane, M., Christensen, P., Schmidt, J., & Løkke, S. (2008). *Carbon Footprint A Catalyst for Life Cycle Assessment?* <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00005.x>
- Westerlund, J. (2015). The power of PANIC. *Journal of Econometrics*, 185(2), 495–509. <https://doi.org/10.1016/J.JECONOM.2014.03.013>
- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2007). A panel bootstrap cointegration test. *Economics Letters*, 97(3), 185–190. <https://doi.org/10.1016/J.ECONLET.2007.03.003>

- Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Streeck, J., Pichler, M., Mayer, A., Krausmann, F., Brockway, P., Schaffartzik, A., Fishman, T., Hausknost, D., Leon-Gruchalski, B., Sousa, T., Creutzig, F., & Haberl, H. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part I: bibliometric and conceptual mapping. *Environmental Research Letters*, 15(6), 063002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AB8429>
- Wiedmann, T. O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., & Kanemoto, K. (2015). The material footprint of nations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(20), 6271–6276. https://doi.org/10.1073/PNAS.1220362110/SUPPL_FILE/SD01.XLSX
- WB. (2023). *The World Bank Development Indicators Database*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- WTO. (2009). *Foreign Trade Law Section One General Provisions*.
- Wu, W., Wu, W., & Wang, S. (2019). Form-stable and thermally induced flexible composite phase change material for thermal energy storage and thermal management applications. *Applied Energy*, 236, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.071>
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2013). Panel veri ekonometrisi: Stata uygulamalı. . *Baskı, İstanbul, Beta Yayınları*.
- Yıldırım, F. (2019). Panel birim kök testleri ile enerji tüketiminin durağanlarının incelenmesi. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/90101>

