Türkiye Bankalar Birliği

Yeşil Dönüşüm ve Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması

Değerlendirme Raporu

2024

YEŞİL DÖNÜŞÜM ve SKDM

Değerlendirme Raporu

2024

İşbu rapor, Escarus'un (TSKB Sürdürülebilirlik Danışmanlığı A.Ş.) uzman kadrosunca güvenilir olarak kabul edilen kaynaklardan elde edilen verilerle münhasıran Türkiye Bankalar Birliği (TBB) için hazırlanmıştır.

Rapor üzerinde, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu kapsamında doğan her türlü fikri mülkiyet hakları ile mali hakları ve manevi hakları kullanma yetkisi münhasıran TBB'ye aittir.

Yayınla ilgili atıflarda raporun tam adı ve hak sahibi TBB belirtilmelidir.

Bu raporda yer alan yazılı ve görsel her türlü içerik, hak sahibi TBB' ye atıf yapılmaksızın tamamen veya kısmen kullanılamaz, kopyalanamaz, çoğaltılamaz, yayımlanamaz, dağıtılamaz veya satılamaz.

TBB'nin işbu rapor veya bu raporda belirtilen sonuçlar, öneriler veya öneriler sonucunda gerçekleştirilen bir eylem veya alınan bir karar ile ilgili olarak üçüncü şahıslara karşı herhangi bir sorumluluğu yoktur.

Her hakkı saklıdır.

Rapora Katkı Sunanlar

Dr. Kubilay Kavak
Hurşit Dora Üreten
Levent Pekuysal
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD)
Yasin Yiğit
GTE Karbon Sürdürülebilir Enerji Eğitim Danışmanlık ve Ticaret A.Ş.
Esra Koç Erdal
İlke Duman
İpek Özen

İÇİNDEKİLER

Şekiller Listesi 6
Tablolar Listesi 9
Kısaltmalar 10
Rapor Hakkında 14
Yönetici Özeti 16

1. Kavramsal Çerçeve 28

1.1. Yeşil Dönüşüm Nedir? 31
1.2. Yeşil Dönüşümü Destekleyen Küresel Trendler 37
1.3. Avrupa Yeşil Mutabakatı 43
1.3.1. AYM ve 55'e Uyum Paketi'nin İlişkisi 46
1.4. Avrupa Yeşil Mutabakatı Kapsamındaki Düzenlemeler 48
1.4.1. Avrupa'daki Mevcut Düzenlemeler 48
1.4.2. Türkiye'deki Mevcut Düzenlemeler 55

2. Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması 60

2.1. Yenilikçi Bir Karbon ve Ticaret Aracı Olarak AB ETS 62
2.2. AB ETS'nin Dış Ticaret Yansıması: SKDM 66
2.3. SKDM Çerçeve Mevzuatı 68
2.4. SKDM Uygulama Yönetmeliği 71

3. SKDM ve Türkiye Etkileşimi 78

3.1. SKDM'nin Türkiye İçin Önemi 80
3.1.1. SKDM'nin İlk Etapta Kapsadığı Sektörler 82
3.1.2. Orta Vadede SKDM Kapsamına Girmesi Beklenen Sektörler 82
3.2. Türkiye'de SKDM Özelinde Yürütülen Hazırlık Çalışmaları 83

4. Yeşil Dönüşümün Tematik Yansımaları 90

4.1. Döngüsel Ekonomi ve Etkin Atık Yönetimi 92
4.2. Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji 99
4.3. Kapsayıcı ve Sürdürülebilir Değer Zinciri Yönetimi 104
4.4. Tüketici Odaklı Yeşil Uygulamalar 108

5. SKDM Kapsamındaki Sektörlerde Alınabilecek Önlemler 112

5.1. SKDM Kapsamındaki Sektörlerin Emisyon Analizi 114
5.1.1. Çelik Sektörü 114
5.1.2. Çimento Sektörü 131
5.1.3. Alüminyum Sektörü 138
5.1.4. Elektrik Sektörü 151
5.1.5. Gübre Sektörü 168
5.2. SKDM Kapsamındaki Sektörlerde Emisyon Azaltıcı Önlemler 188
5.2.1. Çelik Sektöründe Emisyon Azaltıcı Önlemler 188
5.2.2. Çimento Sektöründe Emisyon Azaltıcı Önlemler 206
5.2.3. Alüminyum Sektöründe Emisyon Azaltıcı Önlemler 215
5.2.4. Elektrik Üretiminde Emisyon Azaltıcı Önlemler 226
5.2.5. Gübre Sektöründe Emisyon Azaltıcı Önlemler 231
5.3. SKDM Kapsamındaki Sektörlerin Dönüşüm İhtiyaçlarının Genel Değerlendirilmesi 243

6. SKDM Sektörlerinde Yeşil Mutabakat'a Uyum Çalışmaları 246

6.1. Emisyon Azaltım Projeleri 248
6.2. İnovasyon Artırıcı Projeler ve Dijital Dönüşüm Projeleri 250
6.3. Tedarik Zinciri Yönetimine Yönelik Projeler 253

7. Yeşil Dönüşümde Finans Sektörünün Rolü 256

7.1. Sektörel Bakış ve Önemli Düzenlemeler 258
7.1.1. Taksonomi Çalışmaları 263
7.1.2. Yeşil Varlık Oran 266
7.2. Yeşil Dönüşüm İçin Sektörler İtibarıyla Olası Yatırım İhtiyaçları 268
7.3. Yeşil Dönüşüm İçin Sektör Bağımsız Yatırım İhtiyaçları 274

Sonuç ve Değerlendirme 276

Ekler 284

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Yeşil Dönüşümün Bileşenleri 32
Şekil 2: Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları 40
Şekil 3: AYM'nin Temel Bileşenleri 43
Şekil 4: Dünya Genelinde ETS Uygulamalarına Dair Genel Görünüm 63
Şekil 5: SKDM Kapsamı 67
Şekil 6: SKDM Sertifikası Miktarının ve Maddi Yükümlülüğün Belirlenmesi 68
Şekil 7: SKDM İşleyişinde Görev Sorumluluklara Genel Bakış 69
Şekil 8: SKDM Raporlamasına Yönelik Temel Terimler 73
Şekil 9: SKDM Geçiş Döneminde Emisyonların Kapsamlara Göre Dağılımı 74
Şekil 10: Spesifik Gömülü Emisyonların Belirlenmesinde Takip Edilen Adımlar 74
Şekil 11: En Çok İhracat Yapılan Ülkeler 2013 -2023 (Bin ABD Doları) 80
Şekil 12: AB ve AB Dışı Avrupa Ülkelerine İhracat Oranları (%) 81
Şekil 13: Geleneksel Doğrusal Ekonomi Modeli "Yap, Al, Kullan, At" 94
Şekil 14: Yenilikçi Döngüsel Ekonomi Modeli "Yap, Al, Kullan, Dönüştür" 95
Şekil 15: Atık Yönetimi Hiyerarşisi 96
Şekil 16: Sektörel Döngüsel Ekonomi Uygulamalarına Örnekler 98
Şekil 17: 2020-2050 (IRENA 1,5°C Senaryosu) Elektrik Üretimi 100
Şekil 18: Temiz Enerji Teknolojilerine Geçiş İle Mineral Talebi Artışı 102
Şekil 19: Temiz Enerji ve Fosil Yakıt Sektörlerinde İstihdam Oranlarının Dağılımı 103
Şekil 20: BOF – EAF Üretim Süreçleri 115
Şekil 21: Dünya Genelinde Üretim Teknolojisine Göre Çelik Üretimi (2010-2022) (%) 118
Şekil 22: Sektörel Çelik Tüketimi (%) (2022) 119
Şekil 23: Dünya Genelinde Demir Cevheri İhracat Verileri (2023) 120
Şekil 24: 2050 Yılına Kadar Çelik Üretim Teknolojilerinin Toplam Üretim İçindeki Pay Değişimi Beklentisi 121
Şekil 25: Türkiye'de Ham Çelik Üretim Tesisleri 122
Şekil 26: Türkiye'de Üretim Teknolojilerine Göre Ham Çelik Üretimi (2000-2023) 123
Şekil 27: Türkiye'de Nihai Mamul Çelik Üretim ve Tüketimi (2000-2023) 124
Şekil 28: Türkiye Bölgelere Göre Çelik İhracatı (İlk 5 Bölge) (2000-2023) 125
Şekil 29: Çelik Üretim Rotaları 127
Şekil 30: Çelik Sektörü Nihai Enerji Tüketimi (Gt/yıl) (1990-2020) 129
Şekil 31: Birincil ve İkincil Çelik İçin Emisyon Yoğunluğu Yörüngesi (2030-2050) 130
Şekil 32: Dünya Çimento Üretimi (Milyon Ton) (2022) 132
Şekil 33: AB'ye Çimento Tedarik Eden İlk 10 Ülke (2022) 133
Şekil 34: Türkiye Çimento İhracatı (2022) 135
Şekil 35: Türkiye Klinker İhracatı (2022) 135
Şekil 36: Dünya Alüminyum Talebi Gelişimi ve Geleceğe Yönelik Öngörüler 141
Şekil 37: Türkiye İşlenmemiş Alüminyum Üretimi 143
Şekil 38: Türkiye Kişi Başına Alüminyum Tüketimi (kg/yıl) 143
Şekil 39: 2022 Yılında Kişi Başı Alüminyum Tüketiminin En Yüksek Olduğu 10 Ülke 144
Şekil 40: Türkiye Alüminyum Sektörü Yıllara Göre İthalat ve İhracat Miktarı (Ton) 145
Şekil 41: Birincil Alüminyum Üretimi Akış Şeması 147
Şekil 42: Birincil Alüminyum Üretiminde Ton Başına CO2 Emisyonu 148
Şekil 43: Türkiye Alüminyum Sektörünün Toplam Emisyonları 150
Şekil 44: Geleneksel ve Modern Güç Sistemleri 152
Şekil 45: Kaynak Bazında Küresel Elektrik Üretimi (TWh) (1985-2024) 153
Şekil 46: 2022-2050 IEA STEPS, APS ve NZE Senaryolarına Göre Küresel Kurulu Güç Kapasitesi Değişimi 154
Şekil 47: Bölgeler Bazında Küresel Elektrik Talebi Değişimi (2022-2026) 155
Şekil 48: Yenilenebilir Kaynaklı Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payının Yılları İtibarıyla Gelişimi (2000-2023) 157
Şekil 49: Türkiye Kaynak Bazında Kurulu Güç (MW) (2023) 157
Şekil 50: Türkiye Kaynak Bazında Toplam Elektrik Üretim (MWh) (2023) 158
Şekil 51: Türkiye Brüt Elektrik Talebi Gelişimi (TWh) (2016-2023) 159
Şekil 52: Türkiye Elektrik Tüketiminin Sektörel Dağılımı (2021) 159
Şekil 53: Türkiye Ulusal Enerji Planı'nda Kaynaklar Bazında Kurulu Güç (GW) 160
Şekil 54: Türkiye Ulusal Enerji Planı'nda Kaynaklar Bazında Elektrik Üretimi (TWh) 160
Şekil 55: Elektrik Üretim, İletim ve Dağıtımı 162
Şekil 56: Gaz Türbin Diyagramı 163
Şekil 57: Elektrik Santralinden Alt Gerilim Tüketicilerine Elektrik Enerjisinin İletimi ve Dağıtımı 164
Şekil 58: Dünya Genelinde Sektörel CO2 Emisyonları (2020) 165
Şekil 59: Santral Tipine Göre Ortalama Yaşam Döngüsü CO2e Emisyonları 167
Şekil 60: ABD Termik Santral Tiplerine Göre Verimlilik Değişimi (1990-2023) 168
Şekil 61: Temel Gübrelerin Üretim Süreçleri 169
Şekil 62: Gübre Besini Türüne Göre Gübre Üretimi 170
Şekil 63: Türkiye'de Gübre Üretim ve Tüketimi (2021-2023) 174
Şekil 64: Türkiye'deki Gübre Üretim Miktarlarının Gübre Tüketim Miktarları İçerisindeki Oranı (2021-2023) 175
Şekil 65: Gübre Üretimi ve Kullanımı Süreçlerinde Ortaya Çıkan Emisyonların Kapsam Bazında Yaklaşık Dağılımı 177

Şekil 66: Temel Hammaddelerin Gübre Türlerinin Üretim Süreçlerinde Kullanımı 179
Şekil 67: Türkiye'de Amonyak Üretimi ve İthalatı 182
Şekil 68: Konvansiyonel Gri Amonyak Üretiminde Kullanılan Hammadde ve Enerji Kaynakları 185
Şekil 69: Kok Bataryası 190
Şekil 70: Sinter Üretim Süreci 191
Şekil 71: Yüksek Fırın Üretim Süreci 192
Şekil 72: Rotary Kiln DRI ve Midrex DRI Üretim Süreçleri 194
Şekil 73: BOF Üretim Süreci 196
Şekil 74: EAF Kesit ve Plan Görünümü 198
Şekil 75: Sürekli Döküm ve İngot Döküm 200
Şekil 76: Haddeleme Süreci 201
Şekil 77: Gri, Mavi ve Yeşil Hidrojen 203
Şekil 78: Bölgelere Göre Çelik Üretiminde Mevcut ve Planlanan Düşük Emisyonlu Hidrojen Üretim Kapasiteleri 204
Şekil 79: Yıllara Göre Emisyon Azaltım Tahminleri 215
Şekil 80: Yurt İçi Üretim Süreçlerinde Kategori Etkileri (İthal Edilen Alüminyumdaki Gömülü Emisyon Hariç) 216
Şekil 81: B2D2 Senaryosu İçin Öngörülen Karbon Emisyonu 218
Şekil 82: Nitrik Asit Üretim Sürecinde Birincil, İkincil ve Üçüncül Katalizör Teknolojilerinin Tasarım Dahilindeki Konumları 232
Şekil 83: Enerji ve Yakıt Kaynağına Göre Amonyak Türleri 234
Şekil 84: Üretim Patikasındaki Farklılıklar Bazında Amonyak Türleri 234
Şekil 85: Isı Pompası Teknolojisinin Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Kombine Şekilde İklim Değişilkiği İle Mücadele Çerçevesinde Sağlayabileceği Katkılar 236
Şekil 86: Gübre Kullanım Verimliliğinin Kapsam 3 Emisyonlarının Azaltımına Potansiyel Etkisi 238
Şekil 87: Finansal Kuruluşlar ve Reel Sektör Arasındaki Çevresel ve İklim Temelli İlişki Dinamiği 260
Şekil 88: GAR Hesaplamasına İlişkin Adımlar 267
Şekil 89: 2050 Yılında Çelik Üretimi (Milyon Ton/Yıl) 268
Şekil 90: 2050 Yılı Doğrudan İndirgeme Yoluyla Demir Üretim Beklentisi 269

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: 55'e Uyum Paketinde Sunulan Hedefler 47
Tablo 2: 55'e Uyum Paketi Kapsamında Sunulan AB Komisyonu Teklifleri 47
Tablo 3: SKDM Fazlarının Karşılaştırması 70
Tablo 4: Tedarikçilere Yönelik Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Performans Göstergeleri 106
Tablo 5: Dünya Çelik Üretimi (2022-2023 - Milyon Ton) 117
Tablo 6: Türkiye Nihai Mamul Üretimi ve Tüketimi (2000-2023) 125
Tablo 7: Türkiye'nin AB'ye Yönelik Çimento İhracatı (Bin ABD Doları) 133
Tablo 8: Dünyada Alüminyum Ürünleri Kullanımının Sektör Bazında Yüzdelik Dağılımı 138
Tablo 9: Türkiye Alüminyum İhracatının Ülke Bazında Miktar (Ton) ve Değer (ABD Doları) Olarak Dağılımı 145
Tablo 10: Türkiye Alüminyum İthalatının Ülke Bazında Yüzdelik Dağılımı 146
Tablo 11: AB'de Alüminyum Üretimine Yönelik Emisyon Değerleri 149
Tablo 12: 2021-2022-2023 Döneminde Elektrik Ticaret Verileri (MWh) 161
Tablo 13: AB Üyesi Ülkelerin Kendi Aralarında ve Dünyanın Geri Kalan Ülkeleri İle 2021 Yılı Gübre İthalatı 171
Tablo 14: Gübre Üretim ve Tüketim Verileri (2021-2023) 174
Tablo 15: Türkiye'de En Çok Üretilen Kimyevi Gübreler (2021-2023) 176
Tablo 16: Türkiye'de En Çok Tüketilen Kimyevi Gübreler (2021-2023) 176
Tablo 17: Ulusal Enerji Denge Tablolarına Göre Gübre Sektörünün 2020, 2021 ve 2022 Yıllarındaki Enerji Kullanımının Kaynak Bazında Dağılımı (Tesislerdeki Atık Isı Geri Kazanımı ve Kullanımı Hariç) 178
Tablo 18: Gübre Sektörünün 2020 Yılındaki Kapıdan Kapıya Emisyonları 178
Tablo 19: Gübre Sektöründe Yer Alan Ana Hammaddelerin İthalat Oranı 182
Tablo 20: Gübre Üretiminde Kullanılan Temel Hammaddelerin ve Enerji Kaynaklarının Emisyon Faktörleri 183
Tablo 21: Nitrik Asit Üretim Tesisleri Emisyon Faktörleri 186
Tablo 22: Türkiye ve EU 27 Ülkelerinin Gübre Üretiminde Emisyon Yoğunluklarının Karşılaştırması 187
Tablo 23: Demir-Çelik Üretim Prosesi 188
Tablo 24: Yakıt Türlerine Göre Emisyon Faktörleri 206
Tablo 25: Alüminyum Değer Zincirinde Yer Alan Süreçler İçin Karbonsuzlaştırma Kümeleri 219
Tablo 26: Her Karbonsuzlaştırma Kümesi İçin Emisyon Azaltım Teknolojileri 220
Tablo 27: Birincil Alüminyum Üretimi Teknolojilerinin Mevcut Emisyon Değerleri 221
Tablo 28: Fırın Tiplerine Göre Emisyon Değerleri ve Fırınların Senaryolar Bazında Dağılımı 222
Tablo 29: Emisyon Azaltıcı Önlemlerin/Teknolojilerin Nominal Değer İle Yatırım İhtiyacı 272
Tablo 30: Emisyon Azaltıcı Önlemlerin/Teknolojilerin Ton CO_2 Başına Yatırım İhtiyacı 272

KISALTMALAR

2°C'nin Ötesinde Senaryosu (Beyond 2°C Scenario – B2DS)
AB Ecolabel (AB Eko-Etiket)
AB İnovasyon Fonu (EU Innovation Fund)
AB Mevcut En İyi Teknikler (MET)
ABD Çevre Koruma Dairesi (Environmental Protection Agency – EPA)
ABD Enerji Bakanlığı (Department of Energy – DOE)
Adil Geçiş Mekanizması (Just Transition Mechanism – JTM)
Alternatif Yakıtlar Altyapı Yönetmeliği (Alternative Fuels Infrastructure Regulation – AFIR)
Alüminyum Hidroksit ($Al(OH)_3$)
Alüminyum Oksit (Al_2O_3)
Amerika Birleşik Devletleri (ABD)
Amonyum Fosfat (DAP/MAP)
Amonyum Nitrat (AN)
Amonyum Sülfat (AS)
Anahtar Performans Göstergesi (APG)
Açıklanan Taahhütler Senaryosu (Announced Pledges Scenario – APS)
Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Değişikliği ve Ormancılık (Land Use, Land-Use Change and Forestry – LULUCF)
Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY)
Avrupa Alüminyum Birliği (European Aluminium – EA)
Avrupa Bankacılık Otoritesi (European Banking Authority – EBA)
Avrupa Birliği (AB)
Avrupa Ekonomik Alanı (AEA)
Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşleticileri Ağı (European Network of Transmission System Operators for Electricity – ENTSO-E)
Avrupa Enerji Borsası (The European Energy Exchange – EEX)
Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (European Bank for Reconstruction and Development – EBRD)
Avrupa Savunma Birliği (ASTB)
Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM)
Avrupa Yeşil Mutabakatı Yatırım Planı (European Green Deal Investment Plan– EGDIP)
Azot Dioksit (NO_2)
Azot Monoksit (NO)
Bandırma Gübre Fabrikaları A.Ş. (BAGFAŞ)
Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK)
Bankacılık Hesapları Taksonomi Uyum Oranı (Banking Book Taxonomy Alignment Ratio – BTAR)
Bazik Oksijen Fırın (Basic Oxygen Furnace – BOF)
Benzen, Toluen, Ksilen (BTX)
Bilgi Teknolojileri (BT)
Bilim Temelli Hedefler Girişimi (Science-based Target Initiative – SBTi)
Birleşik Krallık (BK)
Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environmental Programme – UNEP)
Birleşmiş Milletler Çevre Programı Finans Girişimi (United Nations Environment Programme Finance Initiative – UNEP FI)
Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC)
Bitki Besin Maddesi (BBM)
Bölgesel Sera Gazı Girişimi (Regional Greenhouse Gas Initiative – RGGI)
Çevresel, Sosyal ve Yönetişimsel (ÇSY)
Çölleşmeyle Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı (ÇMUSEP)
Değişken Frekanslı Sürücü (Variable Frequency– VVF)
Değişken Yenilenebilir Enerji (Variable Renewable Energy – VRE)
Deniz Koruma Konseyi (Marine Stewardship Council – MSC)
Diamonyum Fosfat (DAP)
Doğru Akım (Direct Current – DC)
Doğrudan İndirgenmiş Demir (Direct Reduced Iron – DRI)
Döner Tabanlı Fırın (Rotary Hearth Furnace – RHF)
Döngüsel Ekonomi Eylem Planı (Circular Econonomy Action Plan – CEAP)
Dünya Çelik Birliği (World Steel Organisation – WSO)
Dünya Ekonomik Forumu (World Economic Forum – WEF)
Düşük Basınç (Low Pressure – LP)
Düşük Karbon Yolları (Low Carbon Pathways – LCP)
Düşük Sıcaklık (Low Temperature – LT)
Elektrik Ark Ocağı (Electric Arc Furnace – EAF)
Elektrikli Araçlar (Electrical Vehicles – EV)
Emisyon Ticaret Sistemi (Emission Trading System – ETS)
Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ)
Enerji Satın Alma Sözleşmesi (Power Purchase Agreement – PPA)
Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED)
Entegre Çelik Tesisleri (Integrated Steel Plant – ISP)
Finansal İstikrar Kurulu (Financial Stability Board – FSB)
Finansal Olmayan Raporlama Direktifi (Non–Financial Reporting Directive – NFRD)
Finansal Sistemi Yeşillendirme Ağı (Network for Greening the Financial System – NGFS)
Fosfor Pentoksit (P_2O_5)
Fotovoltaik (Photovoltaic – PV)
Fransız Kalkınma Ajansı (Agence Française de Développement – AFD)
Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYİH)
Gaz Türbini Kombine Çevrimi (Gas Turbine Combined Cycle – GTCC)
Gigaton (Gt)
Gübre Fabrikaları Türk A.Ş. (Gübretaş)
Gübre Takip Sistemi (GTS)
Gümrük Tarifeleri ve Ticaret Genel Anlaşması (General Agreement on Tariffs and Trade – GATT)
Güneş Enerjisi Santrali (GES)
Hidrojen (H_2)
Hindistan İhracat-İthalat Bankası (India EXIM Bank)
Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC)
İklimle Bağlantılı Finansal Beyan Görev Gücü (The Task Force on Climate–Related Financial Disclosures – TCFD)
İnce Slab Döküm (Thin Slab Casting – TSC)
İndüksiyon Ocağı (Induction Furnace – IF)
İstanbul Gübre Sanayii A.Ş. (İGSAŞ)
İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG)
Kaliforniya Emisyon Üst Sınırı ve Ticareti (California Cap–and–Trade)
Kalsiyum Amonyum Nitrat (CAN)
Kalsiyum Karbonat ($CaCO_3$)
Kalsiyum Oksit (CaO)
Kamu Gözetimi Kurumu (KGK)
Karbon Monoksit (CO)
Karbon Saydamlık Projesi (Carbon Disclosure Project – CDP)
Karbon Yakalama (Carbon Capture – CC)
Karbon Yakalama ve Depolama (Carbon Capture and Storage – CCS)

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama (Carbon Capture, Utilization and Storage – CCUS)
Karbondioksit (CO_2)
Kıta Avrupası Senkron Bölgesi (Continental Europe Synchronous Area – CESA)
Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, Yetkilendirilmesi ve Kısıtlanması (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals – REACH)
Kok Kuru Söndürme (Coke Dry Quenching – CDQ)
Kombine Isı ve Güç (Combined Heat and Power – CHP)
Kompoze Gübre (NPK)
Konsantre Güneş Termal (Concentrated Solar Thermal – CST)
Kömür Nem Kontrolü (Coal Moisture Control – CMC)
Kriyolit (Na_3AlF_6)
Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlaması Direktifi (Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD)
Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ)
Küresel Biyoçeşitlilik Çerçevesi (Global Biodiversity Framework – GBF)
Küresel Raporlama Girişimi (Global Reporting Initiative – GRI)
Lastik Sanayicileri Derneği (LASDER)
Mekanik Biyolojik Arıtma (Mechanical Biologic Treatment – MBT)
Mekanik Buhar Sıkıştırma (Mechanical Vapour Compression – MVR)
Metan (CH_4)
Neodimyum-Demir-Bor (NdFeB)
Nesnelerin İnterneti (Internet of Things – IoT)
Net Sıfır Enerji (Net Zero Energy – NZE)
Net-Sıfır Sanayi Yasası (Net Zero Industrial Act – NZIA)
Nitrik Asit (HNO_3)
Nitröz Oksit (N_2O)
Orman Koruma Konseyi (Forest Stewardship Council – FSC)
Orta Sıcaklık (Middle Temperature – MT)
Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Center – JRC)
Ortak Tarım Politikası (Common Agriculture Policy – CAP)
Ortak Uygulama (Joint Implementation – JI)
Ömrünü Tamamlamış Lastik (ÖTL)
Perflorokarbon (PFC)
Performans Katsayısı (Coefficient of Performance – COP)
Pirit (FeS_2)
Piyasa İstikrar Rezervi (Market Stability Reserve – MSR)
Piyasa Uygulama Ortaklığı (Partnership for Market Implementation – PMI)
Polimer Enjeksiyon Teknolojisi (Polymer Injection Technology – PIT)
Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon – PAH)
Pompaj Depolamalı Hidroelektrik (PDH)
Pota Ocağı (Ladle Furnace – LF)
Potasyum Oksit (K_2O)
Rüzgar Enerjisi Santrali (RES)
Sıcak Briketlenmiş Demir (Hot Briquetted Iron – HBI)
Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas – LNG)
Sorumlu Bankacılık Prensipleri (Principles for Responsible Banking – PRB)
Belirtilen Politikalar Senaryosu (Stated Policies Scenario – STEPS)
Sürdürülebilir Avrupa Yatırım Planı (Sustainable Europe Investment Plan– SEIP)
Sürdürülebilir Finans Bilgilendirme Tüzüğü (Sustainable Finance Disclosure Regulation – SFDR)
Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA)
Sürdürülebilirlik Muhasebesi Standartları Kurulu (Sustainability Accounting Standards Board – SASB)
Sürekli Döküm Makinesi (Continuous Casting Machine – CCM)
Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemleri (Continuous Emission Monitoring Systems – CEMS)
Taraflar Konferansı (Conference of the Parties – COP)
Tasarruf Mevduatı Sigorta Fonu (TSMF)
Tek Süper Fosfat (SSP)
Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism – CDM)
Toplam Organik Karbon (TOK)
Trisodyum Fosfat (TSP)
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD)
Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (TÇÜD)
Türkiye Demir ve Çelik İşletmeler (TDÇİ)
Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ)
Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)
Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları (TSRS)
Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compounds – VOC)
Ulusal Katkı Beyanı (Nationally Determined Contribution – NDC)
Ulusal Tahsis Planı (National Allocation Plan – NAP)
Uluslararası Alüminyum Enstitüsü (International Aluminium Institute – IAI)
Uluslararası Emisyon Ticareti (International Emission Trading – IET)
Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency – IEA)
Uluslararası Finans Kurumu (International Finance Corporation – IFC)
Uluslararası Finansal Raporlama Standartları (International Financial Reporting Standards – IFRS)
Uluslararası Gübre Sanayi Birliği (International Fertilizer Association – IFA
Uluslararası Kaynak Paneli (International Resource Panel – IRP)
Uluslararası Sermaye Piyasaları Birliği (International Capital Market Association – ICMA)
Uluslararası Standartlar Örgütü (International Organization for Standardization – ISO)
Uluslararası Sürdürülebilirlik Standartları Kurulu (International Sustainability Standards Board – ISSB)
Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (International Renewable Energy Agency – IRENA)
Uluslararası Finans Kuruluşları (International Finance Institutions – IFIs)
Vakum Gaz Giderme (Vacuum Degassing – VD)
Yapay Zeka (Artificial Intelligence – AI)
Yeni Girenler Rezervi (New Entrants' Reserve – NER)
Yeşil Varlık Oranı (Green Asset Ratio – GAR)
Yıllık Bileşik Büyüme Oranı (Compound Annual Growth Rate – CAGR)
Yüksek Fırın (Blast Furnace – BF)

RAPOR HAKKINDA

Faaliyetlerinde dikkate aldığı çevresel, sosyal ve yönetişimsel bileşenleri içeren kurumsal stratejisiyle Türkiye Bankalar Birliği (TBB), paydaşlarını sürdürülebilir bir geleceğe hazırlamayı stratejik amaçları arasında görmektedir. Ekonomik büyüme ve kapsayıcı kalkınmayı birlikte ele alan ve sağladığı katma değeri mümkün olan en geniş kitleye ulaştırma hedefiyle çalışan TBB, yürüttüğü faaliyetlerle finans başta olmak üzere tüm sektörlerin gelişimini ve farkındalığını artırmaya devam etmektedir.

> **İşbu Yeşil Dönüşüm ve SKDM Değerlendirme Raporu ile TBB, önemi giderek artan yeşil dönüşüm kavramını bütüncül bir bakış açısıyla ele alarak gerek bankaların gerekse reel sektör paydaşlarının faaliyetleri açısından iş dünyasına rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.**

Raporun "Kavramsal Çerçeve" başlıklı birinci bölümünde yeşil dönüşüm ve yeşil dönüşümü destekleyen küresel trendlerin yanında Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) ve, AYM kapsamında hem Avrupa hem de Türkiye'de geliştirilen düzenlemeler ele alınmaktadır. "Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM)" ve "SKDM ve Türkiye Etkileşimi" başlıklı ikinci ve üçüncü bölümlerde, yenilikçi bir karbon ve ticaret mekanizması olan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS) ile AB ETS'nin dış ticaret yansıması olan Sınırda Karbon Düzenlemesi Mekanizması (SKDM) ayrıntılı olarak açıklanmakta, Türkiye'de yürütülen ve SKDM ile ilişkili olan hazırlık çalışmaları incelenmektedir. "Yeşil Dönüşümün Tematik Yansımaları" başlıklı dördüncü bölümde, ETS ve SKDM'nin ötesine geçilerek yeşil dönüşümde önemli bir yere sahip olan döngüsel ekonomi, etkin atık yönetimi, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, kapsayıcı ve sürdürülebilir değer zinciri yönetimi ile tüketici odaklı yeşil uygulamalara değinilmektedir. Bu temalar, iyi uygulama örnekleriyle de pekiştirilmektedir. "SKDM Kapsamındaki Sektörlerde Alınabilecek Önlemler" başlıklı beşinci bölümde, SKDM kapsamında yer alan demir-çelik, çimento, alüminyum, gübre ve elektrik sektörleri hem sektörel görünüm hem de emisyonlar ve azaltım seçenekleri açısından ayrıntılı olarak analiz edilmektedir. Bu bölümde sektörlerin genel üretim proseslerinin ve üretim-ticaret eğilimlerinin yanı sıra emisyon rotalarına ve her bir sektöre özgü emisyon azaltım seçeneklerine yer verilmektedir. "SKDM Sektörlerinde Yeşil Mutabakat'a Uyum Çalışmaları" başlıklı altıncı bölümde, SKDM sektörlerinde yeşil dönüşümü destekleyecek diğer çalışmalar arasında yer alan emisyon azaltım, inovasyon ve dijital dönüşüm ile tedarik zinciri yönetimine yönelik olası projeler, tedbirler ve uygulamalar açıklanmaktadır. Raporun "Yeşil Dönüşümde Finans Sektörünün Rolü" başlıklı son bölümünde ise bugüne kadar finans sektöründe yürütülen başlıca yeşil dönüşüm odaklı çalışmalara değinilmekte, dönüşümün mümkün kılınabilmesi için gereken yatırım ihtiyaçları ortaya konulmaktadır.

> **Yeşil dönüşüm uygulamalarının genel bir değerlendirmesini ve aynı zamanda sektörel önlemleri içeren bu rapor ile Birlik; bankaların, diğer finansal kuruluşların, imalat ve enerji sektörlerinde yer alanlar başta olmak üzere üretim şirketlerinin ve ilgili diğer tüm paydaşların faaliyetlerine rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.**

YÖNETİCİ ÖZETİ

Günümüz dünyasının en büyük çevresel ve ekonomik tehditlerinden biri olarak öne çıkan antropojenik iklim değişikliği, bir kısmı kestirilebilir ve bir kısmı ise tahmin edilemez çeşitli sorunlara yol açmakta ve bu sorunlar tüm sektörlerin iş modellerini değiştirmesini gerekli kılmaktadır. Buradan hareketle tüm uluslar ve şirketler somut adımlar atmaya devam etmektedir.

Ürün ve hizmetlere yönelik tüm süreçlerin daha temiz ve çevre dostu kılınması anlamını taşıyan yeşil dönüşüm; küresel ekonominin sürdürülebilirlik, çevresel yönetim ilkeleri ve kapsayıcılık doğrultusunda yapılandırılmasına çağrı yapan bir kavramdır. Yeşil dönüşümün gerçekleşebilmesi, ancak ekonomik büyümenin ve toplumsal refahın, gezegenin doğal sınırları içinde kalacak biçimde yeniden şekillendirilmesiyle mümkün olacaktır. Özünde iklim değişikliğiyle mücadelenin yer aldığı yeşil dönüşüm; enerji ve kaynak verimliliğinin artırılması, fosil yakıtlardan uzaklaşılması ve sürdürülebilir üretim uygulamalarına geçilmesi yoluyla sera gazı emisyonlarını azaltmayı, kirlilikle mücadele etmeyi ve doğal yaşam alanlarını korumayı amaçlamaktadır. Çok boyutlu ve kapsamlı olan bu değişim, insanların yaşama ve çalışma şekillerinin sosyo-teknolojik yapısını da değiştirmeyi hedefleyerek toplumun her alanında inovasyonu teşvik etmektedir. Yeşil dönüşüm stratejilerinin başarılı bir şekilde uygulanması için kapsamlı yönetişim çerçeveleri, yenilikçi politikalar ve toplumun tüm kesimlerinin aktif katılımı gerekmektedir.

Ülkeleri sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve iklim değişikliğine uyum için stratejiler geliştirmeye davet eden küresel bir eylem çağrısı niteliğindeki Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ile esasen yeşil dönüşüm yolunda somut adımlar atılmaya başlanmış, bu yöndeki çabalar yıllar içerisinde artırılmıştır. 2015 yılında COP21'de imzalanıp bir yıl sonra yürürlüğe giren ve yeşil dönüşümün önemli itici güçlerinden birisi olarak kabul edilen, 2020 yılı sonrası için iklim değişikliğiyle mücadele hareketinin çerçevesini oluşturan ve 197 taraf ülke tarafından imzalanan Paris Anlaşması, yeşil bir geleceğe yönelik uluslararası ve kolektif çabaya ilham vermiştir. Yeşil dönüşüm kavramının kabul görmesinde önemli bir kilometre taşı kabul edilebilecek Paris Anlaşması'nın temelleri de UNFCCC'ye dayanmaktadır. 2020 yılı sonrası için iklim değişikliğiyle mücadele hareketinin çerçevesini oluşturan ve küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi döneme kıyasla 2°C'nin altında tutmayı ve mümkünse 1,5°C ile sınırlandırmayı hedefleyen anlaşma, yeşil bir geleceğe yönelik uluslararası ve kolektif çabaya ilham vermektedir.

Yeşil dönüşüm kavramının hükümetler ve toplumlar düzeyinde karşılık bulması, 2019 yılında hayata geçirilen Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) ile gerçekleşmiştir. AYM, bilinen diğer bir deyişle Avrupa Birliği'nin (AB) yeşil dönüşüm stratejisi, iklim ve çevre sorunlarını tüm politika alanlarında fırsatlara dönüştüren ve AB'nin yeşil dönüşümdeki yol haritasını gösteren kritik bir külliyattır. Yeşil dönüşümde stratejik bir aşamayı temsil eden AYM sadece AB için değil, bu yolda adım atması gereken diğer uluslar ve bölgeler açısından da bir örnek teşkil etmektedir. AYM ile AB'nin 2050 yılında karbon nötr bir kıta olması, kaynak kullanımından büyük ölçüde bağımsız modern ve rekabetçi bir ekonomiye sahip adil ve refah seviyesi yüksek bir topluma dönüştürebilmesi hedeflenmektedir.

Emisyon azaltımını kolaylaştırırken ekonomik verimliliğe de doğrudan katkıda bulunan karbon fiyatlandırma mekanizmalarından emisyon ticaret sisteminin (ETS) ilk örneği, 2005'te faaliyete geçen ve "emisyon üst sınır ve ticaret" prensibiyle yürütülen AB ETS'dir.

> **"AYM'nin ardından güçlendirilen iklim değişikliği hedefleri çerçevesinde AB ETS'nin genişletilmesi, enerji verimliliğinin güçlendirilmesi, yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ve karbon kaçağının önlenmesi gibi yeşil dönüşüme yönelik önemli adımlar atılmakta ve ilave düzenlemeler hayata geçirilmektedir. Bu düzenlemeler arasında öne çıkan konulardan biri özel sektörü ve AB ithalatçılarını oldukça yakından ilgilendiren Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) olmuştur."**

SKDM, AB'ye ithal edilen ürünlerden kaynaklanan emisyonların azaltılması ve çevre düzenlemeleri daha zayıf olan ülkelere karşı rekabet dezavantajlarının önlenmesi amacıyla geliştirilmiş bir uygulama olup aşağıdaki hedeflere sahiptir.

- AB ile ticari ortakları arasında fırsat eşitliğini teşvik etmek
- Şirketlerin çevre düzenlemelerinin daha zayıf olduğu ülkelere taşınmasını engelleyerek karbon kaçağını önlemek
- Yeşil teknolojilere yatırım yapan AB şirketlerini korumak
- AB üyesi olmayan ülkelerde karbon piyasası politikalarının uygulanmasını teşvik etmek (gelirlerin üretici ülkeler dahilinde tutulması için)
- Diğer ülkelerde iklim hedefinin artırılmasını teşvik etmek
- AB'de veya diğer ülkelerde iklim politikalarını desteklemek için kullanılabilecek gelir elde etmek
- AB ETS kapsamındaki ücretsiz tahsisatların yerine geçecek bir yapı tasarlamak

AB ETS'yi tamamlayacak bir sistem olarak kurgulanan SKDM; üreticilerin rekabette öne geçmek için emisyon yoğunlukları azaltmalarını, enerji verimliliğine ve yenilenebilir enerjiye yönelik yatırımları artırmalarını ve nihayetinde yeşil dönüşüm sürecinin bir parçası olmalarını gerektirecektir. SKDM ayrıca, Türkiye gibi ekonomisi üretim süreçlerinde yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyulan ve hammadde kaynaklı karbon emisyonlarının yoğun olduğu ürün gruplarının ihracatına dayalı ülkelerin dış ticaret dengesini etkileyebilecek kritik bir gelişmedir. Bu durum, başta AB olmak üzere SKDM benzeri mekanizmaların uygulandığı ülkelere/bölgelere ihraç edilen Türk menşeli ürünlerin maliyetlerinin artması ve rekabet gücünün azalması gibi riskleri beraberinde getirmektedir.

Dolayısıyla, Türkiye'nin AB ile dış ticaretini sürdürülebilir bir şekilde yönetebilmesi için SKDM ve bağlantılı diğer yasal düzenlemeleri sıkı bir şekilde takip ederek kendi iç mevzuatını oluşturması, yeşil ekonomiye geçişe ve emisyonlarını azaltmaya yönelik iklim politikalarını SKDM ile uyumlu bir şekilde belirlemesi oldukça önemlidir. Türk şirketlerinin iş süreçlerini gözden geçirmeleri, kısa vadede ulaşabilecekleri hedefleri de içeren karbonsuzlaşma yol haritalarını hazırlamaları gerekmektedir.

SKDM kapsamındaki sektörlere yönelik emisyon azaltım önlemleri olabilecek en özet haliyle sonraki sayfalardaki gibidir. Sektörel analizler ile emisyon azaltım seçeneklerinin detayları Bölüm 5'te sunulmaktadır.

Çelik Sektörü:

- Kok üretimine yönelik azaltım teknolojileri (kok kuru söndürme, kömür nem kontrolü, süper kok fırını, yüksek basınçlı amonyak likör aspirasyon sistemi, hidrojen üretimi vb.)
- Kok üretimine yönelik azaltım teknolojileri (peletlerdeki hammaddelerin ayrıştırılması, granülasyonu güçlendiren ekipman, biyokütle, ısı geri kazanımı, yüksek verimli (COG) çok yarıklı brülörlü ateşleme fırını, atık gaz arıtma, egzoz gazı arıtımı vb.)
- Yüksek fırınlarda pik üretimine yönelik azaltım teknolojileri (üst basınç geri kazanımlı türbin, yüksek fırın şarj dağılımını iyileştirme, PCI sistemi, yakıt enjeksiyonu, ısı geri kazanımı, biyokömür kullanımı vb.)
- DRI sürecine yönelik azaltım teknolojileri (doğrudan indirgeme prosesleri MIDREX®, FASTMET®, Aumelt Ausiron®, HIsmelt®, CCF, DIOS ve COREX, FINEX, HyREX prosesleri, Tmk3 demir üretim prosesi vb.)
- BOF'lara yönelik azaltım teknolojieri (egzoz gazının yakıt olarak kullanılması, BOF egzoz gazından ısı geri kazanımı, otomasyon çalışmaları, BOF tabandan karıştırma, HBI/DRI tüketimi vb.)
- EAF'ye yönelik azaltım teknolojileri (yüksek sıcaklıkta sürekli hurda ön ısıtma EAF, orta sıcaklıkta toplu hurda ön ısıtma EAF, yüksek verimli oksi-yakıt brülörü/ lansler, EBT, cüruf optimizasyonu, tabandan gaz enjeksiyonu ile karıştırma, polimer enjeksiyon teknolojisi, ısı geri kazanımı, pota ön ısıtması için düşük NOx rejeneratif brülör sistemi vb.)
- Döküm sürecine yönelik azaltım teknolojileri (Castrip teknolojisi, ince slab döküm-net şekle yakın döküm vb.)
- Hadde tav fırınlarına yönelik azaltım teknolojileri (proses kontrolü, düşük NOx rejeneratif brülör sistemi, yüksek sıcaklık reküperatörleri, yalıtım için fiber blok, oksijen zenginleştirme vb.)
- Haddeleme ve tamamlamaya yönelik azaltım teknolojileri (döküm ve haddehane entegrasyonu, sıcak şarj vb.)
- Diğer teknolojiler (Inverter (VVF) elektrik motorları için sürücü kullanımı, enerji izleme ve yönetim sistemleri, kojenerasyon, basınçlı hava dağıtım basıncı optimizasyonu yönetimi, buhar basıncı düşürme hattına buhar türbini montajı ile güç geri kazanımı vb.)
- CC-CCUS teknolojileri
- Hidrojen bazlı DRI teknolojisi

Çimento sektörü:

- Alternatif yakıt kaynaklarına geçiş (Atık yakılmasına uygun proses şartlarının sağlanması, ATY kullanımı, biyokütle ve ÖTL için atık kırma ve atıktan yakıt hazırlama tesisi, MBT tesisleri, evsel ETY üretimi, çamur kurutma tesisleri vb.)
- Endüstriyel simbiyoz gereklerini de dikkate alarak alternatif hammadde kullanımı
- Çimento içerisinde kullanılacak klinker oranının düşürülmesi
- Kalsine kil de dahil olmak üzere klinkere alternatif ürünlerin üretilmesi
- Yardımcı tesislerde ve farin öğütme değirmenleri, fırınlar, kırıcılar, soğutma sistemleri dahil tüm üretim süreçlerinde enerji verimliliğinin artırılması
- Yeni teknolojilere geçiş
- CCUS teknolojileri
- Elektrifikasyon ve hidrojen kullanımı

Alüminyum sektörü:

- Ergitme fırınlarında enerji verimliliği uygulamaları (Yakıcı seçimi ve konumlandırılması, hava/yakıt oranının kontrolü, fırın iç basıncının kontrolü ve hava kaçaklarının önlenmesi, atık ısının değerlendirilmesi, proses kontrol sistemleri vb.)
- Alümina üretiminde enerji verimliliğinin artırılması, iyileştirilmiş hammaddelerin ve proseslerin kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi
- Birincil alüminyum üretiminde öğütme süreçlerinde elektrik kazanı, hidrojen kazanı ve güneş enerjisi kazanına geçilmesi
- Hidrojen ve elektrik kalsinatörlerinin geliştirilmesi
- Ergitmede geleneksel karbon anotlara CCUS teknolojilerinin entegre edilmesi veya inert anot kullanılması
- İkincil alüminyum süreçlerinde farklı fırın tiplerine geçilmesi
- Alüminyum üretiminde yenilikçi proseslerin geliştirilmesi ve entegrasyonu
- İkincil alüminyum üretiminde hurda ayıklama, verimlilik artışı
- Yarı mamul işlemede enerji verimliliği
- Alüminyum parça dökümünde verimlilik artışı
- Optimizasyon, enerji girdisi, verimlilik ve atık yönetimi

Elektrik üretimi:

- Yenilenebilir enerji
- Dijitalleşme
- Enerji depolama
- Elektrifikasyon

Gübre sektörü:

- Optimize edilmiş oksidasyon reaktörü ile yüksek verimli birincil katalizörlerin kombinasyonu (birincil teknolojiler)
- Birincil katalizörlere ilave olarak tasarıma ikinci katalizör eklenmesi (ikincil teknolojiler)
- Artık gazın üretim prosesinden çıkmadan önce arıtılmasını mümkün kılan ayrı bir reaktörün kurulması (üçüncül teknolojiler)
- Alternatif hammadde ve yakıtlar kullanılması
- Yeşil amonyak üretimi
- Belirli ünite ve ekipmanlarda ısı enerjisi ihtiyacının doğal gaz yerine ısı pompası/ elektrifikasyon teknolojisiyle karşılanması
- Gübre kullanım verimliliğinin artırılması ile organik ve organomineral gübre kullanımının artması
- Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve elektrifikasyon

Yeşil dönüşüm ve SKDM kapsamında göz ardı edilmemesi gereken hususlardan biri de KOBİ'lerin değer zincirindeki yeri ve önemidir. Halihazırda sınırlı sayıda sektöre ve firmaya odaklanılan SKDM'nin raporlama yükümlülükleri ve yeşil dönüşüm kapsamında gösterilen emisyon azaltımı çabaları açısından bakıldığında, değer zincirinde önemli yere sahip KOBİ'lerin de dolaylı etkilere maruz kalması söz konusudur. Bu nedenle, SKDM sektörleri başta olmak üzere emisyon yoğun sektörlerle yakın tedarik ilişkileri içerisinde bulunan veya ihracata sahip olan KOBİ'lerin de süreçlere dahil edilmesi, farkındalık ve kapasite artışı çalışmalarının KOBİ'leri de kapsayacak şekilde yaygınlaştırılması arz etmektedir.

Yeşil dönüşüm, birçok fırsatı içermekle birlikte bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. SKDM sektörlerinde yer alan kurum ve kuruluşların güçlü yönleri ve potansiyel fırsatlara ek olarak ETS ve SKDM ile ilgili uygulamalarda karşı karşıya kalabileceği zorluklar ve riskler aşağıda özetlenmektedir.

Çelik Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• Mühendislik-teknoloji firmalarının nicelik ve nitelik bakımından gelişime açık olması • Üniversitelerde modern üretim teknolojileri üzerine eğitim ve araştırma eksiklikleri, artan sanayi-üniversite iş birlikleri ihtiyacı. • Katma değeri yüksek çelik ürünlerin üretiminin artırılmasına duyulan ihtiyaç. • Dış kaynağa bağlı yükselen enerji maliyetleri • Hammaddelerde (demir cevheri, hurda, ferro alyajlar, vb.) dış kaynağa büyük bağımlılık • Yerli hurda kaynaklarına yönelik ana girdilerin (gemi söküm ile pres ve parçalama tesisleri) artırılması ihtiyacı • Üretici sayısının fazla olması, birleşmeler, satın almalar yoluyla büyüyememe • Deniz kıyısında bulunmayan tesisler için lojistik maliyetlerin yüksekliği • Demiryolu altyapısının yetersizliği • KOBİ'lerin büyüme zorunluluğu • Üretimin otomotiv ve inşaat sektörlerinde yoğunlaşması • Uygulanan ek vergi ve kotalar nedeniyle olumsuz dış talep koşulları • Enflasyon yüksekliği, döviz kurlarındaki istikrarsızlık, daha fazla finansman ihtiyacı. • Yabancı yatırımcı çekememe riski • Rakip ülkelerin üreticilerine çok yönlü devlet desteği sağlanması	• Ülkenin coğrafi konumunun getirdiği lojistik ve stratejik avantajlar, Avrupa'ya yakınlık • Geniş dış pazara sahip olmak. • İnşaat sektörünün ve imalat sanayiinin güçlü varlığı • Deprem bilinci ile inşaatlarda çelik yoğunluğunun artış eğilimi göstermesi, dönüşüm projeleri • Türkiye'de çelik yapıların ve yapısal çelik kullanımının hızla yaygınlaşıyor olması • Modern teknolojiye uygun rekabet gücü yüksek yeni tesisler ve toplam üretim içinde EAF bazlı üretimin ağırlıklı olması • Dünya standartlarında, markalaşmış üretim kabiliyeti • Kalite sistem sertifikasyonuna sahip tesis sayısının fazlalığı, ihracat isteği ve bilgisi. • Ekonomik kriz dönemlerinde ayakta kalabilme gücü ve deneyimi • Çelik sektörünün tümüyle özel sektör hüviyeti kazanması • Genç nüfus yapısı ve yetiştirilebilecek insan gücü • Gelişmiş ülkelere kıyasla düşük maliyetli iş gücü • Bölgesel otomotiv üretim üssü haline gelme eğilimi • Çok hızlı üretime dönüştürülebilecek mevcut kurulu kapasite

Çimento Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• Düşük emisyonlu teknolojilere geçişte yüksek yatırım maliyeti • Yüksek karbon emisyonları nedeniyle karbonun ücretlendirilmesi ile birlikte yüksek karbon maliyetlerine maruz kalma riski • Yeşil dönüşüm için yeterli finansman kaynaklarına erişememe • Emisyon azaltımı için kullanılan katkı ve alternatif hammaddelerde kaynakların kısıtlı olması ve yeşil hammadde diye nitelendirilen kaynaklara ulaşamama • Emisyon azaltımı için kullanılan düşük karbonlu yakıtların ve biyokütle kaynaklarının kısıtlı olması ve yeşil yakıt diye nitelendirilen kaynaklara ulaşamama • Yeni ürün geliştirme konusunda AR-GE yatırımları için finans ve insan kaynağı riski • Rakip firmaların karbon emisyonundan yüksek kalınması durumunda pazar kaybı ve finansal zorluk yaşanması • Yeni ürünler ve düşük karbon beklentisine geçecek olan pazara uyum riski • Karbon fiyatlarının çok sık değişkenlik göstermesi nedeniyle karbon finansmanının yönetim riski • Karbon depolamanın yetersiz olması nedeniyle yakalanan karbonların yeni ürünlere çevrimi için tesis ve yatırımların yüksek maliyeti • Yakalanan karbonların depolanacağı alanların Türkiye'de kısıtlı ve genelde Güneydoğu Anadolu bölgesinde olması nedeniyle karbon depolama alanının yetersizliği	• Düşük emisyon teknolojisine yapılan yatırımın getirisi • İklim değişikliği ile mücadele kapsamında finansal varlıkların çeşitlerinin artırılması (yeşil tahviller, devlet teşvikleri, düşük krediler) • Yeşil hammadde kaynaklarını kullanarak yeni ürünler geliştirmek ve düşük karbonlu ürünlerle yeni pazarlara ulaşmak • Yeşil yakıt kaynaklarını kullanarak düşük karbonlu ürünler üretmek ve rakiplere karşı maaliyet avantajı oluşturmak • Düşük karbonlu ürünler geliştirerek yeni pazarlara erişim fırsatı • Düşük karbonlu ürünlere olan talep sayesinde gelir artışı • Ürün satışları dışında karbon ticareti ile gelir sağlanması fırsatı • Yeşil dönüşümün erken sağlanması ile karbon piyasalarına hızlı uyum ve finansal avantaj oluşturulması

Alüminyum Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• İkincil alüminyum üretiminde hurdada dışa bağımlılık • Elektrik bazlı üretim/ergitme teknolojilerinin uygulamasının düşük olması • Ulusal bir emisyon ticaret sisteminin bulunmaması • Türkiye alüminyum sektöründe KOBİ'lerin fazlalığı, yetişmiş eleman eksikliği ve yetkinlik sorunu • Birincil alüminyumda dışa bağımlılık • Uyum çalışmaları için finansmana erişim zorluğu • Ticaret savaşları – dış ticarete getirilen kısıtlama ve engeller • SKDM sonucu oluşabilecek ilave yüksek karbon fiyatının KOBİ'ler için rekabet kaybı yaratması • Eski teknolojiye sahip tesislerin dönüşümünün yeni tesislere göre daha zorlu olması • Alternatif hammadde teknolojileri konusunda Ar-Ge çalışmalarına duyulan ihtiyaç	• Birincil alüminyum üretiminin düşük olması nedeni ile tedarik planını düşük karbonlu ürünlere çevirebilme yeteneği • Gelişmiş ekonomilerle ticarete ve üretime yatkınlık • Yarı mamul üretiminde Doğrudan emisyonların genel AB ortlamasından düşük olması • Jeopolitik konum nedeni ile esnek ulaşım, tedarik ve erişim imkanları • Geri dönüşüm sektörünün güçlenmesi, kapasite ve yetkinlik artışı • AB mevzuatlarına yatkınlık ve SKDM üzerinde yoğun eğitim desteği • Yüksek kurulu kapasite ve yeni yatırımlar

Elektrik Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• Elektrik üretiminin yeşil dönüşümü için gerekli finansman ihtiyacı • Yenilenebilir enerji santralleri ve dağıtık sistemlerde kullanılan makine ve ekipmanlarda dışa olan bağımlılık • Mevcut santral portföyü içerisinde yer alan fosil yakıtlı santrallerin görece uzun bir süre daha işletmede kalacak olması ve bunun Türkiye şebeke emisyon faktörü üzerinde yukarı yönlü etki yapması • SKDM kapsamında yer alan sektörlerin elektrik tüketimi kaynaklı emisyonlarını raporlama zorunluğu • Nüfus artışı ve gelişen sanayi sonucu elektrik talebindeki artış	• Türkiye'nin AB'ye elektrik ihracatının düşük seviyede olması • Türkiye'nin yüksek yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeline sahip olması • Mevzuat ve düzenlemede yıllar içerisinde yaşanan gelişmeler ile AB mevzuatına uyumlanma çalışmaları • Mevcut kurulu güç içerisindeki yenilenebilir kaynakların payındaki artış • Türkiye'nin yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine yönelik belirlediği hedeflerin iklim değişikliği ile mücadele ve sera gazı emisyonlarının azaltımına doğrudan etkisi • Yenilenebilir enerji santrallerinin düşük işletim maliyetleri • Sektördeki bilgi birikimi ve deneyim

Gübre Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• Amonyak, doğal gaz gibi kritik girdilerde/ hammaddelerde yüksek oranda dışa bağımlılık • Hammadde fiyatlarındaki artışın Türkiye'deki gübre üretim tesislerinin kapasite kullanımını olumsuz yönde etkilemesi • Mevcut tesislerin büyük ölçüde eski ve düşük verimli olması • Uluslararası piyasada, büyük doğal gaz ihracatçısı ve gübre üreticisi ülkelerle rekabet dezavantajı • Gübre ihracatına getirilen dönemsel kısıtlamalar • Yeni teknolojilere yönelik yatırımların yavaş ilerlemesi • Uluslararası rekabet • Tarım arazilerinde azalma • Döviz kuru ve uluslararası emtia fiyatlarındaki dalgalanmalar • İklim/çevre konularında ulusal/uluslararası mevzuatta beklenen gelişmeler • Emisyon değerlerine yönelik müşteri talepleri	• Hammadde ve pazarlara olan coğrafi yakınlık • Gübre üreticisi olan firmaların, güçlü finansal, teknik ve kurumsal altyapısı • Yetkin insan kaynakları kapasitesi • Piyasa eğilimlerinin yakından takip edilmesi ve hızlı adaptasyon yeteneği • Türkiye ve yurt dışında artan gübre talebi • Azalan yenilenebilir enerji yatırım maliyetleri • Organik hammadde kaynaklarına erişim imkanı • Düşük karbonlu teknolojiler konusundaki gelişmeler • Yeşil dönüşüm konusunda finans/teşvik olanaklarının artması

SKDM sektörlerinde emisyonların azaltılması ve AYM'ye uyum çerçevesinde gerçekleştirilebilecek ilave faaliyetler arasında ayrıca inovasyon artırıcı projeler ve dijital dönüşüm projeleri ile tedarik zinciri yönetimine yönelik projeler yer almaktadır. SKDM sektörlerinde yeşil dönüşüm ve AYM'ye uyum kapsamında gerçekleştirilebilecek çalışmaların ayrıntılarına Bölüm 6'da yer verilmektedir.

"Yeşil dönüşüm elbette yalnızca SKDM anlamına gelmemektedir. Söz konusu dönüşüm; döngüsel ekonomi, etkin atık yönetimi, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, kapsayıcı ve sürdürülebilir değer zinciri yönetimi ve tüketici odaklı yeşil uygulamalar gibi kavramların hayata geçirilmesini de gerekli kılmaktadır."

İşbu raporda yeşil dönüşümün çeşitli tematik yansımaları da ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

İklim krizinin olumsuz etkilerinin azaltılması ve yeşil dönüşümün ivmelenmesi için çevresel açıdan sürdürülebilir ekonomik modellere geçişin zorunluluk haline gelmesiyle birlikte, yeşil dönüşümün hem katalizörü hem de destekleyicisi olarak finans sektörü de kilit bir role sahiptir. Nitekim, özellikle SKDM sektörlerinde yeşil dönüşüm için olası yatırım ihtiyaçlarına bakıldığında, sektörlerin oldukça büyük bir finansmana ihtiyaç duyacağı görülmektedir.

"Özetlemek gerekirse, işbu raporda, yeşil dönüşümün kavramsal çerçevesi, AYM'nin ana hatları ve ilgili düzenlemeler, bir karbon ve ticaret aracı olarak Sınırda Karbon Düzenlemesi Mekanizması (SKDM), SKDM'nin Türkiye için önemi ve sektörel genişleme potansiyeli, yeşil dönüşümün tematik yansımaları, SKDM kapsamı içinde yer alan sektörlerdeki üretim-ticaret dengeleri/eğilimleri, emisyonların genel görünümü ve azaltım seçeneklerine yer verilmek suretiyle şirketlere yol gösterilmesi amaçlanmaktadır."

Esas olarak SKDM sektörlerine yönelik etraflı değerlendirmeler içeren raporda, SKDM kapsamı içinde yer almayan, ancak AYM külliyatı içindeki diğer düzenlemelerden etkilenmesi muhtemel sektörlere yönelik çeşitli ipuçları ve yeşil dönüşüm odaklı genel uygulama adımlar da ana hatlarıyla analiz edilmektedir. Rapor ile aynı zamanda düşük karbonlu üretime geçişe yönelik yatırım ihtiyaçları ele alınmakta ve ilgili tüm paydaşlar için yeşil dönüşüm adımları hakkında genel bir çerçeve sunulmaktadır.

1. Kavramsal Çerçeve

Yeşil Dönüşüm Nedir?

Yeşil Dönüşümü Destekleyen Küresel Trendler

Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı

Yeşil Mutabakatı Kapsamındaki Düzenlemeler

1. Kavramsal Çerçeve

Küresel istikrara ve insanların geçim kaynaklarına yönelik en önemli tehditlerden biri olarak kabul edilen iklim değişikliği, yeşil dönüşümün merkezinde yer almakta ve acil eylem gerektirmektedir. Dünya Ekonomik Forumu (WEF) tarafından yaklaşık yirmi yıldır gerçekleştirilen Küresel Riskler Algı Anketi, geçmiş yıllarda olduğu gibi bu sene de anket paydaşlarının iklim değişikliğiyle ilgili endişelerini gözler önüne sermiştir. 2024 yılında küresel ölçekte önemli bir krize yol açması en muhtemel risk olarak aşırı hava koşulları görülmektedir.[1]

> **Küresel ortalama sıcaklığın yükselmesi, dünyadaki dengeyi bozmakta ve aşırı hava koşullarının yaşanma sıklığını artırmaktadır. 2023 yılında ortalama kara ve okyanus yüzeyi sıcaklığının 20. yüzyıldaki seviyelerin 1,18°C üzerinde seyretmesiyle, iklim kayıtlarındaki tüm yıllar arasında en yüksek küresel sıcaklığa ulaşılmıştır.[2]**

Türkiye'nin de taraf olduğu Paris Anlaşması, küresel ısınmayı sanayi devrimi öncesi döneme kıyasla 1,5°C ile sınırlandırmayı amaçlamaktadır. Anlaşmaya taraf ülkelerin Ulusal Katkı Beyanlarını (Nationally Determined Contribution – NDC) ilan ederek emisyon azaltım hedeflerini açıklamaları beklenmektedir.[3] Ancak, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından hazırlanan 1,5°C Küresel Isınma Özel Raporu'ndaki bulgulara göre mevcut NDC'ler, küresel sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlamak için yetersiz kalmaktadır. Sera gazı emisyonları bu şekilde devam ederse, 2030 ile 2052 yılları arasında küresel ısınmanın 1,5°C eşiğini aşacağı öngörülmektedir.[4]

1. World Economic Forum. (2024). The Global Risks Report 2024. Erişim adresi: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf
2. National Oceanic and Atmospheric Administration. (2023). 2023 was world's warmest year on record by far. NOAA. Erişim adresi: https://www.noaa.gov/news/2023-was-worlds-warmest-year-on-record-by-far
3. United Nations Framework Convention on Climate Change. (t.y.). The Paris Agreement. UNFCCC. Erişim adresi: https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement
4. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report. IPCC. Erişim adresi: https://www.ipcc.ch/sr15/

1.1. Yeşil Dönüşüm Nedir?

Yeşil dönüşümün kökleri, sanayileşmenin çevresel yansımalarına ilişkin farkındalığı önemli ölçüde artıran 1960'lı ve 1970'li yıllardaki çevre hareketlerine kadar uzanmaktadır. Sanayi devriminin ardından, çevresel tahribata kayıtsız kalan ve doğal kaynaklar sınırsızmış gibi işleyen üretim ve tüketim uygulamaları, kara, hava ve deniz kirliliğinin giderek artmasına yol açmıştır. Bu kirlilik kamuoyunun dikkatini çekmeye başlamış ve 2000'li yılların yaklaşmasıyla, ekonomik büyümeyi sosyal ve çevresel hedeflerle uyumlu hale getirmeyi amaçlayan önemli uluslararası anlaşmalar ve politikalar geliştirilmiştir. Yeşil dönüşüm kavramının ayrı bir terim olarak tanımlanması ve bugün anlaşılan haliyle ifade edilip netleşmesi ise Avrupa Birliği (AB) tarafından duyurulan Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) ile gerçekleştirilmiştir. Günümüzde yeşil dönüşüm, ekonomik büyümenin şimdiki ve gelecek nesillere yüksek bir yaşam standardı sağlayacak şekilde çevre bilinciyle birleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır.[5] Bir diğer deyişle yeşil dönüşüm, ürün ve hizmetlere yönelik tüm süreçlerin daha temiz ve çevre dostu kılınması anlamı taşımaktadır.

> **Küresel ekonominin sürdürülebilirlik, çevresel yönetim ilkeleri ve toplumsal katılım doğrultusunda yapılandırılması gerektiğinin altını çizen bu yaklaşımın gerçekleşebilmesi, ekonomik büyümenin ve toplumsal refahın, gezegenin doğal sınırları içinde kalacak biçimde yeniden şekillendirilmesiyle mümkün olacaktır. İklim krizinin giderek tırmandığı ve göz ardı edilemeyecek bir noktaya ulaştığı 21. yüzyılda, yeşil dönüşüm yalnızca bir kavram olmanın ötesine geçmekte ve gerçekleşmesi zorunlu stratejik bir hedef haline gelmektedir.**

Özünde iklim değişikliğiyle mücadelenin yer aldığı yeşil dönüşüm; enerji ve kaynak verimliliğinin artırılması, fosil yakıtlardan uzaklaşılması ve sürdürülebilir üretim uygulamalarına geçilmesi yoluyla sera gazı emisyonlarını azaltmayı, kirlilikle mücadele etmeyi ve doğal yaşam alanlarını korumayı amaçlamaktadır. Çok boyutlu ve kapsamlı olan bu değişim, insanların yaşama ve çalışma şekillerinin sosyo-teknolojik yapısını da değiştirmeyi hedefleyerek toplumun her alanında inovasyonu teşvik etmektedir. Yeşil dönüşümün temelinde sadece küresel ısınmayı ve çevresel bozulmayı durdurmak değil, aynı zamanda istihdam yaratarak ekonomik büyümeyi teşvik etmek, mevcut sistemleri iklim değişikliğiyle mücadele ekseninde hizalamak ve toplumları daha dirençli hale getirmek de bulunmaktadır.

5. Cheba, K., Bąk, I., Szopik-Depczyńska, K., & Ioppolo, G. (2022). Directions of green transformation of the European Union countries. Ecological Indicators, 136, 108601. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108601

"Multidisipliner bir yaklaşım içeren kavram, birbiriyle bağlantılı bileşenleriyle daimi bir döngü içerisindedir. Bileşenlerin kapsayıcı bir şekilde ele alınması, sürdürülebilir bir gelecek vizyonunun günlük yaşamda karşılık bulabilmesi için önem arz etmektedir. Karbonsuzlaşma, temiz enerji, akıllı ulaşım, düşük karbonlu üretim, çevrenin korunması ve döngüsel ekonomi, inovasyon, adil geçiş, yeşil politikalar ve yeşil finansman bileşenleri, yeşil dönüşüm konseptinin çatısını oluşturmaktadır."

Şekil 1'de verilen bileşenlerin her biri, sürdürülebilirlik yolculuğunda önemli roller üstlenmektedir.

YEŞİL DÖNÜŞÜM

TEMEL AMAÇ: İklim Değişikliği ile Mücadele

Şekil 1: Yeşil Dönüşümün Bileşenleri

Yeşil dönüşüm bileşenlerinden iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir adım olan **karbonsuzlaşma**, fosil yakıtların kullanımını azaltarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik geçişi teşvik ederek, enerji verimliliğini artırarak, ormanlandırma ve ağaçlandırma projelerini destekleyerek ve karbonsuz üretim tekniklerine yoğunlaşarak sera gazı emisyonlarının düşürülmesine odaklanmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency – IEA) 2022 Yılı Karbondioksit (CO_2) Emisyonları Raporu'na göre küresel düzeyde enerji sektörü 14,65 $GtCO_2$, sanayi sektörü 9,15 $GtCO_2$ ve ulaştırma sektörü ise 7,98 $GtCO_2$ emisyonuna sebep olmuştur.[6] Özellikle bu sektörlerle dirsek teması bulunan karbonsuzlaşma bileşeni, hızlı ve geniş kapsamlı sektörel dönüşümlerin hayata geçirilmesi ile başarılı olacaktır.

Dünya genelinde enerji üretimi ve tüketiminin büyük bir kısmı hala kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Yeşil dönüşüm çerçevesinde temiz enerji bileşeninin öncelikli adımı, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin hızlandırılmasıdır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyokütle gibi **temiz enerji** kaynaklarının kullanımının artırılması, fosil yakıtlara olan bağlılığın azaltılmasının temel yoludur.[7] Enerji kaynaklarının çeşitlenmesi arz güvenliğinin artırılmasının yanı sıra fiyat dalgalanmaları ve kesintilerle ilgili risklerin azaltılmasında da önemli rol oynayarak ekonomik istikrarı teşvik etmektedir. Ayrıca, enerji verimliliği önlemleri ve aynı miktar çıktı için gereken enerji tüketiminin azaltılması, enerji depolama teknolojilerine yatırım yapılması, akıllı şebeke sistemlerinin geliştirilmesi, karbon yakalama ve depolama teknolojilerinin kullanımının teşvik edilmesi gibi konular enerjide yeşil dönüşüm için önem arz etmektedir.

Gelişen küresel ekonomi, ulaştırmaya olan talebi artırmaktadır. Büyüyen talep, daha fazla fosil yakıt kullanılmasına, emisyonların ve çevre kirliliğinin sürekli olarak artmasına yol açmaktadır. **Akıllı ulaşım**, insanların mobilite ihtiyaçlarının daha yeşil bir hale getirilmesi için sürdürülebilir ulaşım türlerinin artırılmasını, elektrikli taşıtların teşvik edilmesini, paylaşımlı araç uygulamalarının yaygınlaşmasını, alternatif yakıt türlerinin araştırılmasını ve altyapı yatırımlarının gerçekleştirilmesini gerektirmektedir. Ulaşım ve mobilitenin yeşil dönüşümüne odaklanırken topluma uygun fiyatlı, erişilebilir, sağlıklı ve temiz ulaşım alternatifleri sunmak hem çevresel sürdürülebilirliği hem de sosyal kapsayıcılığı teşvik etmektedir.[8]

Düşük karbonlu üretim, yol açacağı etkiler sebebiyle yeşil dönüşümde kritik bir role sahiptir. Paris Anlaşması kapsamındaki taahhütlerin yerine getirilebilmesi ve Avrupa Birliği'nin (AB) 2050 yılında karbon nötr olma hedefine ulaşabilmesi için sanayinin yeşil dönüşüme dahil edilmesi ve düşük karbonlu üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması kaçınılmazdır. Özellikle sınırda karbon düzenlemesi

6. International Energy Agency. (2019). Global CO_2 emissions by sector, 2019-2020. IEA. Erişim adresi: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-by-sector-2019-2022
7. National Geographic Society. (t.y.). Renewable energy explained. National Geographic. Erişim adresi: https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-energy-explained/
8. European Commission. (t.y.). Green transition. Reform Support. Erişim adresi: https://reform-support.ec.europa.eu/what-we-do/green-transition_en

açısından üretimleri yoğun karbon içeren ve karbon kaçağı riski yüksek olan çimento, demir-çelik, alüminyum, gübre, elektrik ve hidrojen gibi belirli sektörlerdeki üreticilerin yeşil dönüşüme girmesi büyük önem arz etmektedir. Sürdürülebilir kalkınmaya hizmet eden inovatif teknolojiler, çevresel ayak izini ve emisyonu azaltmaya yönelik iyi uygulamalar, üretim süreçlerinde sürdürülebilir yenilikler, akıllı üretim teknikleri ve süreç optimizasyonları, yeşil lojistik yaklaşımları, enerji verimliliği ve arz çeşitliliği konusundaki dönüşüm çalışmaları sanayi uygulamalarını düşük karbonlu bir üretim modeline geçirerek yeşil hareketi desteklemektedir.

Aşırıya kaçan üretim ve tüketim pratikleri, yüksek sera gazı emisyonlarına ek olarak çevresel tahribata ve doğal kaynakların hızla tükenmesine yol açmaktadır. Geleneksel üretim uygulamaları ile son kullanım sonucu oluşan yüksek miktarlardaki tehlikeli/tehlikesiz atıklar ile endüstriyel atık sular, **çevre** kirliliğine sebep olarak insan ve hayvan sağlığı üzerinde de önemli olumsuz etki yaratmaktadır. **Ekosistemlerin korunması** ve biyoçeşitliliğin sürdürülmesi, sağlıklı bir gezegen ve sürdürülebilir bir yeşil dönüşüm için zorunludur. Çevre politikaları ve stratejilerinin reforma dönüşmesindeki aksaklıklar, küresel ekonomiyi olumsuz etkilemektedir. Malzemelerin ve kaynakların maksimum değerini koruyarak ürünlerin yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü teşvik eden **döngüsel ekonomi** odaklı yeşil dönüşüm, çevre kirliliğini önlemekle kalmayıp aynı zamanda ekonomik faydalar da sağlamaktadır.[9]

Çeşitli sektörlerdeki karbonsuzlaşma çabaları, artan çevre hassasiyeti ve döngüsel ekonomi çalışmaları hem toplumsal hem de sektörel seviyede **inovasyon**u tetikleyerek kurumların iş yapış biçimlerini sürdürülebilirlik odaklı olarak yeniden şekillendirmesine olanak tanımaktadır. Emisyonları azaltan, atık yönetimini geliştiren ve su kullanımı verimliliğini artıran teknolojik inovasyonlar ön plana çıkmaktadır. Günümüzde giderek dijitalleşen toplumlarda, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine ağırlık veren ve değişikliklere açık olan kurumlar, yeni iş modelleri geliştirerek rekabet avantajı elde etmektedir. İnovasyon hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliğe katkıda bulunarak geleceğe yönelik pozitif bir etki yaratmaktadır.

Yeşil dönüşüm sürecinin devamlılığı sağlanırken bir yandan bu geçişte adalet ve eşitliğin toplumun tüm kesimleri için garanti altına alınması da gerekmektedir. **Adil geçiş**, küresel ısınma ve çevresel bozulma gibi çağın en büyük sorunlarıyla mücadele ederken ekonomik ve sosyal adaleti de göz önünde bulundurmanın zorunluluğunu vurgulamaktadır. Adil geçiş herkes için eşit fırsatlar yaratılmasını, özellikle gelir ve erişim imkanları bakımından dezavantajlı grupların yeşil dönüşüm sürecinden adil bir şekilde faydalanmalarını ve bu dönüşümün olası olumsuz etkilerinden korunmalarını amaçlamaktadır. İş gücünün yeniden eğitilmesi, yeni istihdam fırsatlarının yaratılması ve geçiş sürecinde oluşabilecek gelir kaybının telafi edilmesi gibi önlemleri içeren bu bileşen, aynı zamanda yeşil dönüşüm sürecinde yerel toplulukların ve dezavantajlı grupların karar alma süreçlerine aktif olarak katılımını da sağlamaktadır. Yeşil dönüşüm ancak bu şekilde toplumun tüm kesimleri için daha güvenli ve kapsayıcı bir gelecek vaat etmektedir.[10]

Yukarıda bahsedilen yeşil dönüşüm bileşenlerinin başarılı bir şekilde uygulanması ve reel sektörde karşılık görmesi için **yeşil finansman**a ve **yeşil politikalar**a ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük ölçekli yenilenebilir enerji yatırımları, sanayi sektörünün elektrifikasyonu, döngüsellik, yeşil hidrojen kullanımı ve enerji verimliliği iyileştirmeleri gibi yeşil dönüşüm çözümleri yüksek başlangıç sermayeleri sebebiyle önemli miktarda yatırım gerektirmektedir. Özel sektörün dönüşüm kapsamındaki en büyük beklentisi uygun finansman kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve gerekli teşviklerin sağlanmasıdır. Yeşil ekonomiye doğru istikrarlı bir geçiş hem özel sektör hem de finans kuruluşları için temiz ve ucuz enerjiden, teknolojik gelişmelerden ve yeni iş alanlarından yararlanma fırsatı yaratacaktır.

Avrupa Merkez Bankası'nın gerçekleştirdiği iklim stres testlerinin sonuçları erken harekete geçilmesi halinde karbon-nötr bir ekonomiye geçişin maliyetinin, eylemsizlik durumunda ortaya çıkacak maliyetten çok daha düşük olacağını göstermektedir.[11] Yeşil varlık oranlarının, sürdürülebilirlik konulu tahvillerin, taksonomi çalışmalarının ve sürdürülebilir yatırım kriterlerinin teşvik edilmesi, finansal akışları daha sürdürülebilir ve dirençli bir gelecekle uyumlu hale getirmeye yönelik önemli adımlardır.

> **"Bankalar, yatırım fonları ve diğer finans kuruluşları; yeşil dönüşüm için finansman sağlayarak ekonomik kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik arasında kritik bir köprü işlevi görmektedir. Hükümetler de doğru fiyat sinyalleri göndererek ve kamu harcamalarını sürdürülebilir politikalar doğrultusunda yeniden şekillendirerek geçişin finansmanında önemli bir rol üstlenmektedir."**

Yeşil dönüşüm stratejilerinin başarılı bir şekilde uygulanması için kapsamlı yönetişim çerçeveleri, yenilikçi politikalar ve toplumun tüm kesimlerinin aktif katılımı gerekmektedir. Yeşil dönüşümü yönlendirmek ve desteklemek konusunda birincil sorumluluk devletlere ve kanun koyucu/politika yapıcı otoritelere aittir. Sağlam bir yönetişim çerçevesi, karar alıcıların gelecek nesillere karşı hesap verebilir olmasını sağlamaktadır. Hükümetler ve uluslararası kuruluşlar tarafından geliştirilen ve uygulanan yeşil politikalar; çevresel standartların yükseltilmesi, karbon vergilendirmesi, yeşil teşvikler ve sürdürülebilir kalkınma için gerekli altyapı yatırımlarının finanse edilmesi gibi önlemleri içermektedir. Uluslararası anlaşmalar ve düzenlemeler, ülkelerin ve sektörlerin emisyon azaltım hedeflerine ulaşmaları için bir çerçeve sunmaktadır.

9. European Parliament. (2023). Circular economy: Definition, importance and benefits. Erişim adresi: https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits

10. United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2022). A just green transition: concepts and practice so far. Erişim adresi: https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/publication/PB_141.pdf

11.European Central Bank. (t.y.). Supporting the green transition. Erişim adresi: https://www.ecb.europa.eu/ecb/climate/green_transition/html/index.en.html

Doğru kurgulanan yeşil politikalar, sürdürülebilir bir geleceğe geçişte bütüncül bir yaklaşımı teşvik ederek ekolojik koruma ve restorasyon çalışmalarını desteklerken aynı zamanda sosyal ve ekonomik adaleti de gözetmektedir.

Yeşil dönüşüm, tüm bileşenleriyle sürdürülebilir kalkınmayı desteklemektedir. . Sürdürülebilir kalkınma, bugünün ihtiyaçlarını gelecek nesillerin ihtiyaçlarını göz ardı etmeden karşılama yaklaşımı sunarken yeşil dönüşüm, bu vizyonu pratikte uygulamaya koyan temel bir mekanizma olarak ön plana çıkmaktadır. Yeşil dönüşüm olmadan çevresel bozulmanın önüne geçilmesi, iklim değişikliğiyle mücadele edilmesi ve doğal kaynakların korunması mümkün değildir. Ancak yeşil dönüşüm yalnızca çevresel hedeflere değil, aynı zamanda Birleşmiş Milletler'in 2030 ajandasında belirtilen, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar inşa etme, yoksulluğa ve açlığa son verme, nitelikli eğitim sağlama ve güçlü kurumlar yaratma gibi sosyal hedeflere de hizmet etmektedir.

Nitelikli yeşil dönüşüm, sürdürülebilir ve istikrarlı bir küresel kalkınma için vazgeçilmez bir unsurdur. Teknolojik inovasyonun teşvik edilmesi ve çevresel yönetişimin geliştirilmesi, küresel ekonomide büyümeye ve koordineli kalkınmaya katkıda bulunmaktadır.[12]

12. Xu, S., Liu, Q., & Yang, J. (2024). Sustainable and coordinated development: Green transition as a new driving force of regional economy. Sustainable Development, 32(1), 1013-1036. Erişim adresi: http://dx.doi.org/10.1002/sd.2717

1.2. Yeşil Dönüşümü Destekleyen Küresel Trendler

1960 ve 1970'lerde kavramsal temelleri atılan yeşil dönüşüme yönelik ihtiyaç yıllar içerisinde ivme kazanırken 1987 yılında Birleşmiş Milletler tarafından yayımlanan ve sürdürülebilir kalkınma kavramını gündeme getiren **Ortak Geleceğimiz Raporu**[13] önemli bir dönüm noktası olmuştur. Brundtland Raporu olarak da bilinen rapor, yeşil dönüşüm çağrısının ve sürdürülebilirlik kavramının akademik ve politik önemini artırmış, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için ihtiyaç duyulan çözüm önerileri ve politika tavsiyelerine değinmiştir.[14]

Sürdürülebilir kalkınmanın sadece ekonomik değerlerle sağlanamayacağı, çevresel ve sosyal boyutları da eşit derecede içeren ve ele alan kapsamlı bir yaklaşım gerektirdiği fikri ilk kez bu raporla vurgulanmıştır.

Ardından 1992 yılında **Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi**'nin (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC)[15] imzalanması, küresel düzeyde yankı uyandırmıştır. Sözleşme, ülkeleri sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve iklim değişikliğine uyum için stratejiler geliştirmeye davet eden küresel bir eylem çağrısı olmuştur. UNFCCC, taraf ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre iklim değişikliğiyle mücadelede daha fazla sorumluluk almaları gerektiği anlayışıyla kurgulanmış ve tarafları üç gruba ayırmıştır. Ek-I ülkelerinin sera gazı emisyonlarını sınırlandırmaları ve envanterlerini paylaşmaları gerekirken Ek-II ülkeleri bu sorumluluklara ek olarak gelişmekte olan ülkeleri desteklemek ve finanse etmekle yükümlü kılınmıştır. Ek dışı kalan ülkeler mücadeleye teşvik edilse de herhangi bir bağlayıcı sorumluluğa tabi tutulmamışlardır. Sözleşmeye taraf ülkelerin ulusal bildirimlerinin, emisyon envanterlerinin, ilerlemelerinin gözden geçirilmesi ve kararların etkin bir şekilde uygulanması için taraf ülke temsilcilerinin katılım gösterdiği ilk **Taraflar Konferansı** (Conference of the Parties – COP)[16] 1995 yılında gerçekleştirilmiştir. UNFCCC'nin en yüksek karar alma organı olan COP'ta toplantılar ağırlıklı olarak müzakereler ve tartışmalar etrafında dönmektedir.

13. Brundtland, G. H. (1985). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations. Erişim adresi: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf
14. Florida International University, College of Arts, Sciences & Education (2023). Our Common Future Lecture Series. Erişim adresi: https://case.fiu.edu/opportunities/annual-events/our-common-future/
15. United Nations. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. Erişim adresi: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf
16. United Nations Framework Convention on Climate Change. (t.y.). Conference of the Parties (COP). UNFCCC. Erişim adresi: https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop

UNFCCC'nin ilk uygulama anlaşması niteliğindeki **Kyoto Protokolü**[17] 1997 yılında kabul edilmiş ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Sera gazı emisyonlarının iki aşamada azaltılmasına yönelik bağlayıcı hedefler koyan bu ilk uluslararası anlaşmanın iki dönemi bulunmaktadır. 2008-2012 yıllarını kapsayan ilk taahhüt döneminde karbon emisyonlarının 1990 baz yılına göre %5 oranında azaltılması hedeflenmiş, Ek-I listesinde yer alan ülkeler için çeşitli emisyon azaltım yükümlülükleri tanımlanmıştır. 2012-2020 yıllarını kapsayan ikinci taahhüt döneminde ise Ek-B listesinde yer alan ülkelerden aynı baz yıla göre %18'lik bir azaltım beklenmiştir. Protokol kapsamında tanıtılan Uluslararası Emisyon Ticareti (International Emission Trading – IET), Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism – CDM) ve Ortak Uygulama (Joint Implementation – JI) gibi piyasa temelli mekanizmalar, ülkelerin emisyon azaltım taahhütlerini yerine getirirken maliyetleri düşürmelerine olanak tanıyan yenilikçi araçlar olarak ön plana çıkmıştır. "Emisyonlar en ucuz nerede azaltılabilirse orada azalt"[18] prensibi çerçevesinde çalışan bu girişimler, sürdürülebilir kalkınma patikasının ve yeşil dönüşüm arayışlarının ekonomik temellerini güçlendirmiştir. 2015 yılında Paris Anlaşması'nın devreye girmesiyle ikinci taahhüt dönemi prosedürel bir formaliteye dönüşmüş ve Kyoto Protokolü iklim değişikliğiyle mücadeledeki rolünü tamamlamıştır.

Kyoto Protokolü'nün IET mekanizmasından esinlenerek oluşturulan ilk uluslararası **Emisyon Ticaret Sistemi** (Emission Trading System – ETS)[19], AB tarafından 2005 yılında hayata geçirilmiştir. 27 AB üyesi ülkenin ve bu ülkelerde bulunan işletmelerin katılımı ile başlayan uygulamanın halihazırda 4. Fazı (2021-2030) yürürlüktedir.

> **Dünyanın en büyük karbon piyasası olan AB ETS, "kirleten öder" prensibine dayanmaktadır. Belirli sektörlerde faaliyet gösteren işletmelere, ürettikleri karbon miktarına göre alınıp satılabilir emisyon izinleri tahsis edilmekte ve bu izinlerin işletmeler arası ticareti sayesinde, emisyon azaltımının maliyeti optimize edilmektedir.**

AB ETS, yeşil ve sürdürülebilir uygulamaları özel sektör için ekonomik olarak cazip hale getirerek yeşil dönüşüm sürecini kolaylaştırmaktadır. AB ETS'ye ilişkin detaylı bilgi Bölüm 2.1'de sunulmaktadır.

İklimle bağlantılı gelişmelerin yanı sıra, ekosistemlerin korunması da yeşil dönüşümün temel hedeflerinden birisidir. 2000'li yıllarda hızla artan biyoçeşitlilik kaybı insan refahı ve gezegen sağlığı için ciddi riskler oluşturmuş, bu duruma yanıt olarak 2010'da Japonya'da gerçekleştirilen COP10'da **Aichi Biyoçeşitlilik Hedefleri**[20] kabul edilmiştir. Bu hedefler, biyolojik çeşitlilik kaybının yol açtığı ciddi sorunları ele almak, ekosistemleri, türleri ve genetik çeşitliliği korumak için bir eylem çerçevesi sağlamak ve ekosistemlerin insanlığa temel hizmetler sunmaya devam etmesini temin etmek üzere tasarlanmıştır. Aichi Biyoçeşitlilik Hedefleri'nin iddialı içeriğine rağmen, 2011-2020 döneminin sonunda yapılan küresel değerlendirme, hedeflerin hiçbirinin tam olarak karşılanmadığını ve sadece altısının kısmen karşılandığını göstermiştir. Bu sonuç, 2020 sonrası küresel biyoçeşitlilik çabalarına rehberlik edecek şekilde yenilenmiş ve daha iddialı bir çerçeveye duyulan ihtiyacın altını çizen Kunming-Montreal Küresel Biyoçeşitlilik Çerçevesi'nin geliştirilmesine yol açmıştır.

2015 yılında COP21'de imzalanıp bir yıl sonra yürürlüğe giren ve yeşil dönüşümün önemli itici güçlerinden birisi olarak kabul edilen **Paris Anlaşması**[21], temellerini UNFCCC'den almaktadır. 2020 yılı sonrası için iklim değişikliğiyle mücadele hareketinin çerçevesini oluşturan ve 197 taraf ülke tarafından imzalanan anlaşma, yeşil bir geleceğe yönelik uluslararası ve kolektif çabaya ilham vermiştir. Temel hedef küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi döneme kıyasla 2°C'nin altında tutmak ve mümkünse 1,5°C ile sınırlandırmaktır. Kyoto Protokolü'nden farklı olarak Paris Anlaşması, gelişmiş ülkelerin yanı sıra NDC'ler aracılığıyla tüm taraf ülkelerin iklim değişikliğiyle mücadeledeki rollerinin belirlenmesine olanak tanımaktadır. NDC'ler taraf ülkelerin siyasi olarak destekledikleri taahhütleri temsil etmektedir. Kısa ve orta vadeli emisyon azaltım planlarını içeren NDC'lerin her beş yılda bir güncellenmesi ve önceki versiyonuna göre daha yüksek bir taahhüdü yansıtması beklenmektedir.

> **Türkiye Cumhuriyeti 2021 yılında Paris Anlaşması'nı onaylamasının ardından COP27'de daha önce "niyet edilmiş" (intended) statüsünde bulunan NDC'sini güncellemiş, 2030 yılına kadar baz senaryoya göre öngörülen artıştan %41 oranında azaltım hedefini açıklamıştır.**

Paris Anlaşması'na paralel olarak 2015 yılında Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen **Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA)**[22], ekonomik, politik, çevresel ve sosyal dönüşüm ihtiyacını bütünleşik bir çerçevede ele almaktadır. 17 evrensel hedeften oluşan eylem çağrısı; iklim değişikliğiyle mücade etmek, doğal ekosistemleri korumak, adil bir ekonomik büyüme sağlamak, yoksulluğu sona erdirmek ve kalkınmayı kapsayıcı kılmak için rehber görevi görmektedir. SKA'lar eşitsizlikten iklim değişikliğine kadar tüm toplumu ilgilendiren geniş bir alanı kapsamaktadır. Ülkelerin ve iş dünyasının SKA'ları benimsemeleri, kısa vadeli ekonomik kazancın ötesinde uzun vadeli çevresel ve sosyal faydaları göz önünde bulundurarak harekete geçmelerine yardımcı olmaktadır.

17. United Nations Framework Convention on Climate Change. (t.y.). Kyoto Protocol. UNFCCC. Erişim adresi https://unfccc.int/kyoto_protocol
18. Center on Budget and Policy Priorities. (2015). Policy basics: Policies to reduce greenhouse gas emissions. Erişim adresi: https://www.cbpp.org/research/policy-basics-policies-to-reduce-greenhouse-gas-emissions
19. European Commission. (t.y.). Development of the EU ETS 2005-2020. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020_en

20. Convention on Biological Diversity. (2020). Aichi Biodiversity Targets. Erişim adresi: https://www.cbd.int/sp/targets
21. United Nations Framework Convention on Climate Change. (t.y.a). a.g.e.
22. United Nations. (2023). Sustainable Developement Goals. Erişim adresi: https://sdgs.un.org/goals

Şekil 2'de listelenen SKA'lar arasında yer alan eşitsizliklerin azaltılması, sağlıklı ve kaliteli yaşam, erişilebilir ve temiz enerji, sürdürülebilir üretim ve tüketim, su ve hava kalitesinin iyileştirilmesi ve biyoçeşitliliğin korunması gibi hedefler; kalkınma perspektifinin, salt ekonomik büyümeyle sınırlı olmadığına ve onun ötesine taşan bir derinleşmeye evrilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Şekil 2: Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları[23]

2019 yılına kadar küresel çapta atılan adımlar bir kavram olarak yeşil dönüşümün öncülü sayılabilirse de müstakil bir terim olarak yeşil dönüşüm ifadesinin ortaya çıkışı AB tarafından **Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın (AYM)**[24] duyurulmasıyla gerçekleşmiştir. AYM, bilinen diğer bir deyişle AB'nin yeşil dönüşüm stratejisi, iklim ve çevre sorunlarını tüm politika alanlarında fırsatlara dönüştüren ve AB'nin yeşil dönüşümdeki yol haritasını gösteren kritik bir belgedir. Geçişte bir dönüm noktası olan AYM sadece AB için değil, temsil ettiği model ile diğer ulusların ve bölgelerin de yeşil dönüşüm yolundaki adımları açısından bir örnek teşkil etmektedir. AB'nin kendi ekonomisinde gerçekleştirdiği reformlar, ticari ilişkide bulunduğu ülkelerin ekonomik çeşitliliğini de etkilemektedir. AYM'nin açıklanmasının ardından Türkiye Cumhuriyeti, ekonomisinin ve sanayisinin yeşil dönüşümü için kapsayıcı ve sürdürülebilir bir büyüme sağlamak amacıyla çalışmalara başlamış ve **2021** yılında **Yeşil Mutabakat Eylem Planı**[25] yayımlanmıştır. AYM'ye ilişkin detaylı bilgi Bölüm 1.3'te açıklanmaktadır.

AYM'nin bir çıktısı olarak AB, **2021** yılında, mevcut politika ve mevzuatların 2030'a yönelik %55 azaltım hedefiyle uyumlu hale getirilmesi amacıyla **"Fit for 55" (55'e Uyum)**[26] paketini ilan etmiştir. Önerilen düzenleyici çerçeve AB ETS'nin genişletilmesi, enerji verimliliğinin güçlendirilmesi, yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ve karbon kaçağının önlenmesi gibi yeşil dönüşüme yönelik önemli hedefler içermektedir. Paketin dikkat çeken tekliflerinden birisi, özel sektörü ve AB ithalatçılarını oldukça yakından ilgilendiren **Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM)**[27] olmuştur. AB ETS'yi tamamlayacak bir sistem olarak kurgulanan SKDM; AB sınırları içinde üretilen ürünler için söz konusu karbon maliyetine eşdeğer bir maliyetin, ithal edilen ürünlere de uygulanmasını sağlayacaktır. SKDM sonucunda AB ithalatçılarının, maliyetlerini düşürmek için, gömülü emisyonlarını hesaplayan ve düşük karbon emisyonuna sahip ürünler üreten ihracatçılara yönelmesi beklenmektedir. Bu durum üreticilerin rekabette öne geçmek için emisyon yoğunlukları azaltmalarını, enerji verimliliğine ve yenilenebilir enerjiye yönelik yatırımları artırmalarını ve nihayetinde yeşil dönüşüm sürecinin bir parçası olmalarını gerektirecektir. SKDM'ye ilişkin detaylı bilgi Bölüm 2.2'de açıklanmaktadır.

Aichi Biyoçeşitlilik Hedeflerinin yerini alan **Kunming-Montreal Küresel Biyoçeşitlilik Çerçevesi** (Global Biodiversity Framework – GBF)[28], **2022**'de Çin'in Kunming kentinde ve ardından Kanada'nın Montreal kentinde gerçekleştirilen COP15'te iki bölüm halinde kabul edilmiştir. Biyoçeşitliliğin azaldığı ve bu eğilimi durdurmak/tersine çevirmek için daha etkili eylemlere duyulan acil ihtiyacın kabul edildiği bir zeminde geliştirilen GBF, bu kaybın ele alınmasının aciliyeti konusunda küresel bir fikir birliğini temsil etmektedir. GBF, 2030 yılına kadar ulaşılması gereken dört ana amaç ve 23 hedeften oluşan kapsamlı bir plan ortaya koyarak biyoçeşitliliği dünyadaki tüm yaşamın yararına olacak şekilde iyileşme yoluna sokmayı amaçlamaktadır. Yeşil dönüşümle ilgili temel ilkeleri içinde barından GBF; biyoçeşitlilik, iklim değişikliği ve sürdürülebilir kalkınma arasındaki karşılıklı ilişkilerin tanınmasıyla, çevresel ve toplumsal zorluklara karşı tutarlı ve entegre bir yaklaşımı mümkün kılmaktadır.

23. United Nations. (2023). a.g.e
24. European Commission. (2022a). European Green Deal. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
25. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2021). Yeşil Mutabakat Eylem Planı. Erişim adresi: https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf
26. Council of the European Union. (2024). Fit for 55: The EU plan for a green transition. Erişim adresi: https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/
27. European Commission. (t.y.a). Carbon border adjustment mechanism. Erişim adresi: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
28. Convention on Biological Diversity. (2022). Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity: Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Erişim adresi: https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf

Yeşil dönüşüme dair eylemlerin ve ilerlemenin daha somut biçimde ele alınmasına olanak sağlayan sürdürülebilirlik ve iklim temelli raporlamalar, özellikle son beş yılda özel sektör için önemli bir araç haline gelmiştir. Küresel Raporlama Girişimi (Global Reporting Initiative – GRI), İklimle Bağlantılı Finansal Beyan Görev Gücü (The Task Force on Climate-related Financial Disclosures – TCFD) ve Karbon Saydamlık Projesi (Carbon Disclosure Project – CDP) gibi çeşitli çerçeve ve standartlarda yer alan raporlama yöntemleri, şirketlerin yeşil dönüşüm çabalarını belgelemelerine yardımcı olmaktadır. Bu kapsamda, Uluslararası Finansal Raporlama Standartları (International Financial Reporting Standards – IFRS) Vakfı tarafından kurulan Uluslararası Sürdürülebilirlik Standartları Kurulu (International Sustainability Standards Board – ISSB), **2023** yılında sürdürülebilirlik ve iklim temelli raporlamayı standardize eden **IFRS S1**[29] ve **IFRS S2**[30] standartlarını yayımlayarak önemli bir adım atmıştır. İşletmelerin sürdürülebilirlik ve iklimle ilgili risk ve fırsatları ile bunların finansal performanslarına olan etkilerini detaylı olarak raporlamalarını bekleyen bu standartlar, yatırımcıların bilinçli kararlar almasını kolaylaştırarak yeşil dönüşümü destekleyecek ve sürdürülebilir ekonomik büyüme yolunda kritik bir adım olacaktır.

Günümüzde doğal kaynakların kullanımı; iklim değişikliği, doğa ve biyolojik çeşitlilik kaybı, kirlilik ve atık konulu üçlü bir gezegensel krizi tetikleyecek şekilde gerçekleşmektedir. Mart 2024'te Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environmental Programme – UNEP) ve Uluslararası Kaynak Paneli'nin (International Resource Panel – IRP) ortak çalışması olarak yayımlanan **"Küresel Kaynaklara Bakış 2024"**[31] raporu yeşil dönüşümün bir diğer boyutuna, sürdürülebilir kaynak kullanımı için küresel bir dönüşümün zorunluluğuna dikkat çekmektedir. Belge, gezegenin sağlığı ve insan refahı için ciddi bir tehdit oluşturan küresel kaynak tüketimindeki devam eden veya hızlanan eğilimleri vurgulayarak kaynakların nasıl kullanıldığı ve yönetildiği konusunda sistemik değişikliklere duyulan acil ihtiyacın altını çizmektedir.

> **"Daha sürdürülebilir ve adil bir kaynak yönetimine geçilmediği ve yeşil dönüşüm tüm bileşenleriyle var olmadığı sürece, dünyadaki çevresel bozulma ve sosyal eşitsizliklerin daha da şiddetlenmesi riski söz konusudur."**

29. International Financial Reporting Standards. (2023). IFRS S1: General requirements for disclosure of sustainability-related financial information. Erişim adresi: https://www.ifrs.org/issued-standards/ifrs-sustainability-standards-navigator/ifrs-s1-general-requirements.html/content/dam/ifrs/publications/html-standards-issb/english/2023/issued/issbs1/

30. International Financial Reporting Standards. (2023). IFRS S2: Climate-related disclosures. Erişim adresi: https://www.ifrs.org/issued-standards/ifrs-sustainability-standards-navigator/ifrs-s2-climate-related-disclosures.html/content/dam/ifrs/publications/html-standards-issb/english/2023/issued/issbs2/

31. United Nations Environment Programme. (2024). Global Resource Outlook 2024. Erişim adresi: https://www.unep.org/resources/Global-Resource-Outlook-2024

1.3. Avrupa Yeşil Mutabakatı

İklim değişikliği ve çevresel bozulmanın artan etkilerinin tüm dünya için büyük bir varoluşsal tehdit haline geldiği bilinciyle, bu tehditlerin beraberinde getirdiği zorluklarla mücadele edebilmek için bölgesel, ulusal ve uluslararası ölçekte stratejiler ve politika alanları tasarlanmaktadır. Bu kapsamda, 2019 yılında, Avrupa'nın yeni büyüme stratejisi olarak AYM hayata geçirilmiştir. AYM ile AB'nin 2050 yılında net sera gazı emisyonunun sıfırlandığı ve ekonomik büyümenin kaynak kullanımından büyük ölçüde bağımsız olduğu modern, kaynak verimli ve rekabetçi bir ekonomiye sahip adil ve müreffeh bir topluma dönüştürebilmesi hedeflenmektedir.[32]

AYM, Birleşmiş Milletler'in 2030 Gündemi'nin ve SKA uygulama stratejisinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu stratejiyi kapsayıcı bir şekilde desteklemek için belirlenen AYM'nin temel bileşenleri Şekil 3'te özetlenmektedir.[33]

Şekil 3: AYM'nin Temel Bileşenleri

32. European Commission. (2022a). a.g.e.

33. European Commission. (2019). The European Green Deal (COM (2019) 640 final). Erişim adresi: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640

AYM kapsamında **2030 ve 2050 için iklim hedeflerinin yükseltilmesi politikası**, Şubat 2021'de kabul edilen AB İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi etrafında şekillenmektedir. Bu stratejiyle, tüm politika ve eylemlerin, Avrupa'nın iklim değişikliğinin etkilerine karşı direncini artırması, AB'nin mevcut uyum ve azaltım durumunu bir adım daha ileriye taşıyacak şekilde planlanması hedeflenmektedir.[34]

AB'nin sera gazı emisyonlarının %75'inden fazlası enerji üretimi ve tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, AB'nin enerji sisteminin karbondan arındırılması, 2030 iklim hedeflerine ulaşılabilmesi ve 2050 yılına kadar iklim nötr kıta olma yolculuğu için kritik önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, AYM'nin önemli bir bileşeni olarak **temiz, uygun fiyatlı ve güvenli enerji temin edilmesi politikası**, AB içinde güvenli ve uygun fiyatlı enerji arzının sağlanması; tamamen entegre, birbirine bağlı ve dijitalleştirilmiş bir AB enerji piyasasının geliştirilmesi; enerji verimliliğine öncelik verilmesi, binaların enerji performansının iyileştirilmesi ve büyük ölçüde yenilenebilir kaynaklara dayalı bir enerji sektörünün geliştirilmesi olmak üzere 3 temel ilkeye odaklanmaktadır. AB'nin 2030 enerji ve iklim hedeflerine ulaşabilmek için 2021-2030 döneminde, her yıl minimum 275 milyar Euro değerinde ek yatırım yapması gerektiği tahmin edilmektedir. Bu kapsamda, Avrupa Komisyonu, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımları teşvik etmek amacıyla yeni bir AB Finansman Mekanizması oluşturmuştur.[35]

AB'de tüketilen enerjinin %40'ından ve enerjiyle ilgili sera gazı emisyonlarının %36'sından binaların sorumlu olduğu göz önünde bulundurulduğunda, AYM içinde tanımlanan **inşaat ve renovasyon faaliyetlerinin enerji ve kaynak verimli şekilde gerçekleştirilmesi politikası**, iklim hedeflerine ulaşılması açısından son derece önemlidir. Avrupa Komisyonu, binaların enerji performansına ilişkin kuralları AYM ile uyumlu hale getirmeyi ve 2050 yılına kadar AB'nin bina stokunu karbonsuzlaştırmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda, Enerji Verimliliği Direktifi ile Binalarda Enerji Performansı Direktifi'nin revizyonu, Komisyon'un AYM ve Avrupa İklim Yasası'nı hayata geçirmeye yönelik "55'e Uyum Paketi" önerilerinin bir parçasıdır. Revizyonlar, Temmuz 2021'de kabul edilen ve 2050 yılına kadar sıfır emisyonlu bir bina stokuna ulaşma vizyonunu belirleyen paketin diğer bileşenlerini tamamlamaktadır. Bu revizyon çalışması ayrıca, Komisyon'un Yenileme Dalgası Stratejisi'ni somut bir yasama faaliyetine dönüştürmektedir. [36]

AYM kapsamındaki **temiz ve döngüsel bir ekonomi için sanayinin harekete geçirilmesi politikası** doğrultusunda sanayide inovasyon ve yeşil dönüşüm çalışmalarına AYM Sanayi Planı, REPowerEU, Düşük Karbonlu Teknolojiler İçin İnovasyon Fonu, Ufuk 2020, Ufuk Avrupa, InvestEU Programı, Adil Geçiş Fonu gibi politika araçlarıyla finansal ve teknik destek sağlanmaktadır. Bu destek mekanizmalarının teşviki ile yeşil endüstriler hızla büyümekte olup yıllık cirolar, AB gayrisafi yurt içi hasılasının (GSYİH) yaklaşık %2,5'ine karşılık gelmektedir. Yeşil endüstri alanı yılda yaklaşık %8'lik bir büyüme oranıyla gelişmektedir. Bu alandaki başlıca alt sektörler atık yönetimi (%30), su temini (%21), atık su yönetimi (%13) ve geri dönüştürülmüş malzemelerdir (%13). Yeşil endüstriler, Avrupa'da 3,4 milyon kişiye doğrudan istihdam sağlamaktadır.[37]

AYM, **adil, sağlıklı ve çevre dostu bir gıda sistemine geçiş sağlamak amacıyla belirlerdiği tarladan sofraya tarım stratejisiyle** sürdürülebilir ve yenilikçi üretim yöntemlerini desteklemektedir. Avrupa tarım ve gıda sistemi, Ortak Tarım Politikası (Common Agriculture Policy – CAP) ilkeleriyle uyumlu olarak güvenlik, arz güvenliği, beslenme ve kalite açısından küresel bir standart haline gelmiştir. AYM içinde belirlenen bu politika alanı ile mevcut sistemin sürdürülebilirlik açısından da küresel standart haline gelmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda AB, sürdürülebilir gıda sistemine geçişi hızlandırmak için nötr veya pozitif çevresel etki yaratmak, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve etkilere uyum sağlamak, biyoçeşitlilik kaybını önlemek, herkesin yeterli, güvenli, besleyici ve sürdürülebilir gıdaya erişimini sağlayarak gıda güvenliği, beslenme ve halk sağlığını güvence altına almak, daha adil ekonomik getiriler üretirken AB tedarik sektörünün rekabet gücünü artırmak ve adil ticareti teşvik ederken gıdanın satın alınabilirliğini korumak üzerine temel hedeflerini belirlemiştir.[38]

Avrupa Komisyonu, AYM'de tanımlanan **temiz çevre için sıfır kirlilik hedefi** doğrultusunda kirliliğin daha iyi izlenmesi, raporlanması, önlenmesi ve giderilmesi yoluyla insanların ve ekosistemlerin korunması için Mayıs 2021 tarihinde Hava, Su ve Toprak İçin Sıfır Kirliliğe Doğru Eylem Planı'nı kabul etmiştir. Söz konusu Plan, 2050 yılına kadar kirliliğin artık insan sağlığı ve doğal ekosistemlere zararlı olarak kabul edilmeyen seviyelere indirilmesi yönündeki genel vizyonu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkilerinin (erken ölümler) gibi %55'ten fazla azaltılması; ulaşım kaynaklı gürültüden kronik biçimde rahatsız olan insanların oranının %30 azaltılması; hava kirliliğinin biyoçeşitliliği tehdit ettiği AB ekosistemlerinin %25 azaltılması; besin kayıplarının, kimyasal pestisitlerin kullanımının ve riskinin, daha tehlikeli pestisit kullanımının ve çiftlik hayvanları ve su ürünleri yetiştiriciliği için antimikrobiyallerin satışının %50 azaltılması; denizdeki plastik çöplerin %50 ve çevreye salınan mikroplastiklerin %30 azaltılması; toplam atık üretiminin önemli ölçüde ve belediye atıklarının %50 azaltılması gibi 2030 yılı için bir dizi sıfır kirlilik hedefi tanımlanmıştır.[39]

34. European Commission. (2021). EU adaptation strategy. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/adaptation-climate-change/eu-adaptation-strategy_en
35. European Commission. (t.y.). Energy and the Green Deal. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_en
36. European Commission. (2021). Commission proposes new EU framework to decarbonise gas markets, promote hydrogen and reduce methane emissions. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_6683
37. European Commission. (2023a). Green Deal Industrial Plan. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan_en
38. European Commission. (2022). Farm to Fork Strategy. Erişim adresi: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
39. European Commission. (2023b). Zero Pollution Action Plan. Erişim adresi: https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en

AYM'nin bir diğer önemli bileşeni olan **ekosistemlerin ve biyolojik çeşitliliğin korunması ve onarılması politikası** doğrultusunda oluşturulan 2030 Biyoçeşitlilik Stratejisi ise doğayı korumak ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri tersine çevirmek için kapsamlı, iddialı ve uzun vadeli bir plan sunmaktadır. Bu strateji, iklim değişikliği, orman yangınları, gıda güvensizliği ile mücadele etmek, yaban hayatını korumak ve yasadışı yaban hayatı ticaretini engellemek de dahil olmak üzere hastalık salgınları gibi olası tehditlere karşı toplum direncinin artırılmasını amaçlamaktadır.[40]

AB-28 ülkelerinin toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık üçte biri ulaşım faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. 2016 yılında AB Komisyonu tarafından kabul edilen Düşük Emisyonlu Mobilite Stratejisi ile herkes için daha temiz ve ucuz ulaşım sağlanması, bu alanda yapılacak yenilikçi yatırımlarla düşük karbon ekonomisine geçişin desteklenmesi hedeflenmiştir. AYM kapsamındaki **sürdürülebilir ve akıllı ulaşıma geçişin hızlandırılması politikası** doğrultusunda, 2050 yılına kadar ulaşım kaynaklı emisyonlarda %90 oranında bir azaltım sağlanması hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşmak için sıfır emisyonlu araçların kullanımının artırılması, daha düşük emisyonlu ulaşım modellerine geçiş sağlanması ve ulaşımda alternatif enerji kaynaklarının kullanımının hızlandırılması öne çıkan gelişim alanları olarak görülmektedir.[41]

1.3.1. AYM ve 55'e Uyum Paketi'nin İlişkisi

> **AYM'nin 2050 yılına kadar iklim nötr kıta olma hedefinin yerine getirilmesi için 2021 yılının Temmuz ayında Avrupa İklim Yasası yayımlanmıştır. Yasa ile net sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar en az %55 oranında azaltılması taahhüt edilmektedir. Tüm sektörlerin bu hedef ile uyumlu hale getirilmesi amacıyla 55'e Uyum Paketi adı altında bir dizi yasal düzenleme hayata geçirilmiştir.**

AYM, iklim değişikliğinin etkileriyle başa çıkmak için genel bir eylem planı sunmakta iken 55'e Uyum Paketi, belirlenen eylemlerin gerçekleştirilmesi amacıyla Tablo 1'de özetlenen konulara odaklanan bir yol haritası sağlamaktadır.

55'e Uyum Paketi'nde kapsanan başlıkların yasal düzenlemeler ile takibi ve yönetimi amacıyla AB Komisyonu'nun sunmuş olduğu teklifler, bu raporun yazıldığı tarih itibarıyla Tablo 2'deki gibidir.

Kabul Edilen AB Komisyonu Teklifleri ve Ortak Kanun Koyucular Tarafından Geçici Anlaşma Sağlanan Teklifler'e dair daha detaylı bilgi Bölüm 1.4.1'de açıklanmaktadır.

40. European Commission. (2023). EU Biodiversity Strategy for 2030. Erişim adresi: https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en
41. European Commission. (2021). Transport and the Green Deal. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/transport-and-green-deal_en

Tablo 1: 55'e Uyum Paketinde Sunulan Hedefler[42]

55'e Uyum
• Binaların daha çevre dostu hale getirilmesi • AB ETS'nin kapsamının genişletilmesi • Fosil gazlardan yenilenebilir ve düşük karbonlu gazlara geçiş yapılması • Ulaşım, binalar, tarım ve atık kaynaklı emisyonların azaltılması • Arazi kullanımı ve ormancılık alanlarında iklim hedeflerine ulaşılması • SKDM'nin devreye alınması • Geçişten etkilenen vatandaş ve işletmeleri desteklemek için fon oluşturulması • Havacılık ve denizcilik sektörlerinde yeşil yakıtların kullanımının artırılması • Enerji verimliliğinin sağlanması • Enerji vergilendirmelerinde düzenlemeler yapılması • Daha sürdürülebilir bir taşımacılık için altyapı ve alternatif yakıt çalışmaları gerçekleştirilmesi • Metan (CH_4) emisyonlarının azaltılmasına ilişkin mevzuat düzenlemesi • Yenilenebilir enerji kullanımının artırılması • Kara taşıtlarında CO_2 emisyonu standartlarının sıklaştırılması

Tablo 2: 55'e Uyum Paketi Kapsamında Sunulan AB Komisyonu Teklifleri[43]

Kabul Edilen AB Komisyonu Teklifleri
• AB ETS Reformu • Bina ve Karayolu Taşımacılığı Yakıtları İçin Yeni AB ETS (ETS II) • Sosyal İklim Fonu • Çaba Paylaşımı Yönetmeliği • Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Değişimi ve Ormancılık Yönetmeliği (Regulation on Land Use, Land-use Change and Forestry – LULUCF) • Otomobil ve Kamyonetler İçin CO_2 Emisyon Standartları • SKDM • Yenilenebilir Enerji Direktifi • Enerji Verimliliği Direktifi • Binalarda Enerji Performansı Direktifi • Alternatif Yakıtlar Altyapı Yönetmeliği (Alternative Fuels Infrastructure Regulation – AFIR) • ReFuel AB Havacılık Yönetmeliği • Deniz Taşımacılığında Yenilenebilir ve Düşük Karbonlu Yakıtların Kullanılması Yönetmeliği
Ortak Yasa Koyucular Tarafından Geçici Anlaşma Sağlanan Teklifler
• Enerji Sektörü İçin AB Metan Yönetmeliği • Gaz piyasalarını karbonsuzlaştırmak ve hidrojeni teşvik etmek için güncellenmiş AB kuralları

42. Council of the European Union. (2024). a.g.e.
43. European Commission. (t.y.). Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en

1.4. Avrupa Yeşil Mutabakatı Kapsamındaki Düzenlemeler

1.4.1. Avrupa'daki Mevcut Düzenlemeler

AYM, Avrupa'nın sürdürülebilir geleceğe uzanan yolculuğu için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Bu doğrultuda, AB üye ülkelerinde ve uluslararası arenada çeşitli yasal düzenlemeler oluşturulmuş ve bu düzenlemelerin önemli bir kısmı uygulamaya alınmıştır. Bu bölümde paylaşılan düzenlemelerin yakından takip edilmesi ve bunlara uyum sağlanması, iklim değişikliği ile mücadelenin ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için önem arz etmektedir.

Avrupa İklim Yasası

Avrupa İklim Yasası, AYM ile açıklanan 2050 net-sıfır hedefini yasalaştırmaktadır. Yasa aynı zamanda net sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar 1990 seviyelerine kıyasla en az %55 oranında azaltılmasına yönelik bir ara hedef ortaya koymaktadır. İklim Yasası, tüm AB politikalarının bu hedefe katkıda bulunmasını, ekonominin ve toplumun tüm sektörlerinin bu doğrultuda kendi payına düşeni yapmasını sağlamayı amaçlamaktadır.[44]

AB SKDM Yönetmeliği

SKDM, AB'ye ithalatı gerçekleşen karbon yoğun ürünlerin emisyon yükleri için için adil bir fiyat belirlemek ve AB üyesi olmayan ülkelerde üretim faaliyetlerinin karbonsuzlaşmasını teşvik etmek için AB'nin kullandığı bir araçtır. 1 Ekim 2023'te, AB'ye ithal edilen belirli ürünlere karbon fiyatlandırmasının uygulanacağı SKDM'nin geçiş dönemi uygulamaya alınmıştır. 1 Ocak 2026'ya kadar sürecek geçiş döneminde, ana uygulama öncesinde paydaşların kapasitesinin de artırılması hedeflenmektedir. 2026 yılından itibaren, ithal edilen ürünlere mali yükümlülük doğacaktır.[45] SKDM'ye ilişkin daha kapsamlı bilgiler Bölüm 2'de yer almaktadır.

Adil Geçiş Mekanizması

Adil Geçiş Mekanizması (Just Transition Mechanism – JTM), iklim-nötr bir ekonomiye geçişin adil bir şekilde ve kimseyi geride bırakmadan gerçekleşmesini sağlamak için geliştirilen, AYM'yi destekleyici anlamda öne çıkan politika araçlarındandır. Bu mekanizma ile AYM'nin yaratabileceği geçiş risklerinin bölgeler ve topluluklar üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması, adil ve hakkaniyetli bir yeşil geçiş sağlanması hedeflenmektedir. Adil Geçiş Mekanizması, geçişten en çok etkilenen Avrupa Bölgesi çalışanlarını ve vatandaşlarını desteklemek için 2021-2027 yılları arasında Adil Geçiş Fonu üzerinden en az 100 milyar Euro tutarında fon sağlamayı hedeflemektedir.[46]

AB ETS Reformu

AB ETS Reformu, Temmuz 2021'de Avrupa Komisyonu tarafından "55'e Uyum Paketi" kapsamında kabul edilen ve AYM'nin sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar en az %55 oranında azaltma ve 2050 yılına kadar "net sıfır" emisyona ulaşma hedefini gerçekleştirmeye yönelik öneriler içermektedir:

- 2030 yılı için %43 olarak belirlenen emisyon azaltım hedefinin %62'ye çıkarılması,
- 2024-2030 dönemi için yıllık %2,2 olarak belirlenen tahsisat azaltım hedefinin, emisyon üst sınırının daha hızlı azaltılabilmesi için 2024-2027 dönemi için yıllık %4,3, 2028-2030 dönemi için yıllık %4,4 olacak şekilde güncellenmesi,
- Deniz yolu ulaşımının 2024 ve 2026 yılları arasında kademeli olarak ETS kapsamına dahil edilmesi,
- Yeni binalar, karayolu ulaşımı ve ek sektörlere yönelik yakıtlar için ETS 2 adlı yeni bir sistem kurulması,
- SKDM'nin hayata geçirilmesine paralel olarak belirli sektörler için serbest tahsisatların kademeli olarak kaldırılması,
- ETS sektörlerinin karbonsuzlaştırılması için sağlanan fon miktarlarının artırılması,
- ETS 2'den elde edilecek gelirlerin 65 milyar Euro'ya kadar olmak üzere Sosyal İklim Fonu'na aktarılması.

Bu hedefler, Paris Anlaşması'nın küresel sıcaklık artışını 2°C'nin oldukça altında ve mümkünse 1,5°C'de tutma çabalarını sürdürme hedefiyle uyumludur.[47]

Gaz Piyasalarını Karbonsuzlaştırmak ve Hidrojeni Teşvik Etmek İçin Güncellenmiş AB Kuralları

2009/73/EC sayılı Gaz Direktifi ve (EC) 715/2009 sayılı Gaz Tüzüğü'nün gözden geçirilmesi ve revizyonu, Aralık 2021'de yayınlanan Hidrojen ve Gaz Piyasaları Karbonsuzlaştırma Paketi olarak anılmaktadır. Bu Paket, piyasanın gaz tüketiminin karbonsuzlaştırılması, optimum ve özel altyapının yanı sıra verimli piyasaların oluşturulmasını desteklemek için gerekli politika önlemlerini ortaya koymaktadır. Paket ile karbonsuzlaştırmanın önündeki engellerin kaldırılması ve daha uygun maliyetli bir geçiş için gerekli koşulların yaratılması hedeflenmektedir. AB yetkilileri, 28 Mart 2023 tarihli Enerji Konseyi'nde her iki teklif üzerinde de genel bir mutabakata varmıştır. Avrupa Parlamentosu ile bir anlaşmaya varıldığında yasal düzenlemeler resmen kabul edilebilecektir.[48]

44. European Commission. (2021). European Climate Law. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en
45. European Commission. (t.y.a). a.g.e.
46. European Commission. (t.y.). Just transition mechanism. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism_en
47. Council of the European Union. (2024). a.g.e.
48. European Commission. (2023). Hydrogen and decarbonised gas market package. Erişim adresi: https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/market-legislation/hydrogen-and-decarbonised-gas-market-package_en

InvestEU Programı

2021 yılında hayata geçirilen InvestEU Programı ile 2021-2027 yılları arasında uluslararası ve ulusal kalkınma bankalarına sağlanan AB bütçe garantisi kullanılarak Avrupa'da sürdürülebilir yatırım, yenilikçilik ve istihdam yaratılması gibi öncelikli politika alanlarında yeşil ve dijital dönüşümü destekleyici, 372 milyar Euro'nun üzerinde özel yatırımın gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.[49]

Avrupa Yeşil Mutakabatı Yatırım Planı

Sürdürülebilir Avrupa Yatırım Planı (Sustainable Europe Investment Plan – SEIP) olarak da adlandırılan Avrupa Yeşil Mutabakatı Yatırım Planı (European Green Deal Investment Plan – EGDIP), AYM'nin yatırım konularını kapsayacak şekilde 2020 yılında yayımlanmıştır. AYM çerçevesinde belirlenen hedeflere ulaşmak için gelecek on yıl içinde en az 1 trilyon Euro değerinde sürdürülebilir yatırımın hayata geçirilmesi planlanmaktadır. AYM Yatırım Planı'nın üç temel hedefi şu şekilde ifade edilmektedir:

- Düşük karbonlu ekonomiye geçiş için finansman sağlamak ve gelecek on yıl içinde AB bütçesi ve özellikle InvestEU olmak üzere ilgili araçlar yoluyla sürdürülebilir yatırımları desteklemek için en az 1 trilyon Euro ayrılacaktır.
- Sürdürülebilir yatırımları kolaylaştırmak üzere özel sektör yatırımcıları ve kamu kuruluşları için elverişli bir çerçeve oluşturulacaktır.
- Sürdürülebilir projelerin belirlenmesi, yapılandırılması ve yürütülmesinde kamu kuruluşlarına ve proje sahiplerine destek sağlanacaktır.[50]

Döngüsel Ekonomi Eylem Planı

Avrupa Komisyonu, Mart 2020'de AYM'nin yapıtaşlarından biri olan Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'nı (Circular Econonomy Action Plan – CEAP) kabul etmiştir. AB'nin döngüsel ekonomiye geçişi, doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltacak ve sürdürülebilir büyüme ve istihdam yaratacaktır. Bu plan, kaynak kullanımının ve döngüsellik potansiyelinin yüksek olduğu elektronik, bilgi ve iletişim teknolojileri, piller ve araçlar, ambalaj, plastik, tekstil, inşaat ve binalar, gıda, su ve besin maddeleri gibi sektörlere odaklanmaktadır. Bu plan, aynı zamanda AB'nin 2050 iklim nötr kıta hedefine ulaşması ve biyoçeşitlilik kaybının durdurulması için önemli görülmektedir.[51]

AYM Sanayi Planı

Net sıfır emisyonlu üretime geçiş sürecinde düşük emisyonlu teknolojiler ve ürünler ile üretim kapasitesinin artırılarak rekabet gücünün iyileştirilmesi, ayrıca iklim hedeflerini karşılamaya yönelik faaliyetler için daha destekleyici bir ortam yaratılması temel stratejileriyle AYM Sanayi Planı'nın, Avrupa'nın iklim nötr kıta olma yolculuğuna hizmet etmesi hedeflenmektedir.[52]

49. European Commission. (t.y.). InvestEU Programme. Erişim adresi: https://investeu.europa.eu/investeu-programme_en
50. European Commission. (2020). Questions and Answers: The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_24
51. European Commission. (2020). Circular Economy Action Plan. Erişim adresi: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en
52. European Commission. (2023a). a.g.e.

Sıfır Kirlilik Eylem Planı

Avrupa Komisyonu, Mayıs 2021 tarihinde AYM'nin önemli bir çıktısı olarak AB Sıfır Kirlilik Eylem Planı'nı kabul etmiştir. Bu plan ile hava, su ve toprak için kirliliğinin önlenmesine, giderilmesine, izlenmesine ve raporlanmasına yönelik süreçlerin iyileştirilmesi hedeflenmektedir.[53]

REPowerEU Planı

Avrupa Komisyonu, Rusya-Ukrayna krizinin yol açtığı zorluklar ve küresel enerji piyasasındaki bozulmaya yanıt olarak Mayıs 2022'de REPowerEU Planını uygulamaya almıştır. Bu plan dahilinde, enerji verimliliğinin artırılması, daha çok temiz enerji üretilmesi ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi hedeflenmektedir.[54]

Avrupa İçin Yeni Bir Sanayi Stratejisi

Avrupa'nın sanayi sektöründeki öncü konumunu güçlendirmeyi amaçlayan yeni Sanayi Stratejisi, Avrupa endüstrisinin küresel rekabet gücünü ve hem ülke içinde hem de küresel düzeydeki oyun alanını korumak, 2050 yılına kadar Avrupa'yı iklim açısından nötr hale getirmek ve Avrupa'nın dijital geleceğini şekillendirmek olmak üzere üç temel önceliğin yerine getirilmesi hedefi çerçevesinde tasarlanmıştır.[55]

Sürdürülebilir ve Dijital Bir Avrupa İçin Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ) Stratejisi

Avrupa Komisyonu, KOBİ Stratejisi ile, yenilikçi teknoloji girişimlerinden geleneksel el sanatlarına kadar her ölçekte ve sektörde yer alan KOBİ'leri desteklemeyi ve güçlendirmeyi hedeflemektedir. KOBİ'lerin sürdürülebilir ve dijital üretim yöntemlerine geçişleri için kapasite gelişimlerinin sağlanması ve desteklenmesi, yasal düzenlemelerden kaynaklı yüklerinin azaltılması ve pazara erişimlerinin iyileştirilmesi, finansman kaynaklarının artırılarak erişilebilir kılınması bu stratejinin temel bileşenleridir.[56]

AB Enerji Verimliliği Direktifi

AB Enerji Verimliliği Direktifi, "önce enerji verimliliği" ilkesini AB enerji politikasının temel bir bileşeni haline getirerek enerji verimliliğine güçlü bir yasal dayanak oluşturmaktadır. Bu durum, AB ülkeleri tarafından enerji ve enerji dışı sektörlerde alınan tüm ilgili politika ve büyük yatırım kararlarında enerji verimliliğinin dikkate alınması gerektiği anlamına gelmektedir. Direktifin 2023 revizyonu, AYM'nin bir parçası olarak Temmuz 2021'de Komisyon tarafından ortaya konan enerji verimliliğine

53. European Commission. (2023b). a.g.e.
54. European Commission. (2022). REPowerEU: Affordable, secure and sustainable energy for Europe. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en
55. European Commission. (2020). The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism explained. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_416
56. European Commission. (t.y.). SME Strategy. Erişim adresi: https://single-market-economy.ec.europa.eu/smes/sme-strategy_en

ilişkin yeniden düzenlenmiş bir Direktif önerisini takip etmektedir. 2021 önerisi, Komisyon tarafından Mayıs 2022'de sunulan ve AB'nin Rusya'dan fosil yakıt ithalatına bağımlılığını azaltmayı amaçlayan REPowerEU planının bir parçası olarak daha da geliştirilmiştir.[57]

Yenilenebilir Enerji Direktifi

Yenilenebilir Enerji Direktifi, AB ekonomisinin tüm sektörlerinde temiz enerjinin geliştirilmesine yönelik yasal çerçeveyi oluşturmakta ve bu hedef doğrultusunda AB ülkeleri arasındaki iş birliğini desteklemektedir. Yenilenebilir enerji ve temiz enerji dönüşümü AYM'nin öncelikli politika alanlarından biridir. Düşük maliyetli ve yerel olarak üretilen temiz enerji ile Avrupa'nın dış tedarikçilere olan bağımlılığının azaltılması için AB'nin enerji sepetinde yenilenebilir enerjinin payını artırma konusundaki isteklilik düzeyi ve bunu başarmak için gereken tedbirler düzenli olarak gözden geçirilmektedir.[58]

Binalarda Enerji Performansı Direktifi

Avrupa'daki enerji tüketimi içerisindeki en büyük pay binalara aittir. Bu nedenle, bina sektörü AB'nin enerji ve iklim hedeflerine ulaşılmasında hayati önem taşımaktadır. Binaların enerji performansını artırmak için AB, Binalarda Enerji Performansı Direktifi ve Enerji Verimliliği Direktifi'ni içeren bir yasal çerçeve oluşturmuştur. Bu direktiflerle, 2050'ye kadar enerji verimliliği yüksek ve karbondan arındırılmış bir bina stokuna ulaşılması, yatırım kararları için istikrarlı bir ortam yaratılması, tüketicilerin ve işletmelerin enerji ve para tasarrufları açısından daha bilinçli seçimler yapmasının sağlanması hedeflenmektedir.[59]

Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, Yetkilendirilmesi ve Kısıtlanması Yönetmeliği

Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, Yetkilendirilmesi ve Kısıtlanması (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals – REACH) Yönetmeliği, 2007 yılında yürürlüğe girmiştir. Kimyasal maddelerin tehlike arz eden özelliklerinin daha iyi ve daha erken tanımlanması, bu maddelerin aşamalı olarak kaldırılması veya kısıtlanması gibi önlemlere yer verilmektedir. Ayrıca, bu yönetmelik ile AB kimya endüstrisinin yenilikçilik ve rekabet gücünün artırılması hedeflenmektedir.[60] REACH Yönetmeliğinin kapsamının genişletilmesi ile ilgili tartışmalar AYM'nin ilanı sonrasında yoğunlaşmış olmakla beraber, şimdilik bu konudaki girişimler yeni kimyasalların aday listesinde tutulması seviyesinde seyretmektedir ve içerik revizyonu ile ilgili takvim ertelenmiştir.

57. European Commission. (2023). Energy Efficiency Directive. Erişim adresi: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en
58. European Commission. (2018). Renewable Energy Directive. Erişim adresi: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en
59. European Commission. (2024). Energy Performance of Buildings Directive. Erişim adresi: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
60. European Commission. (2007). REACH Regulation. Erişim adresi: https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation_en

Enerji Sektörü İçin AB Metan Yönetmeliği

AB, Kasım 2023'te enerji sektöründe CH_4 emisyonlarının azaltılmasına ilişkin AB Metan Yönetmeliği üzerinde geçici bir anlaşmaya varmıştır. Yönetmelik ilk olarak 2020 yılında AB Metan Stratejisi'nin kabul edilmesinin ardından Aralık 2021'de "55'e Uyum" paketinin bir parçası olarak önerilmiştir. Söz konusu Yönetmelik; petrol, gaz ve kömür sektörlerine CH_4 emisyonlarını ölçme, raporlama ve doğrulamanın yanı sıra CH_4 sızıntılarını tespit etme, onarma, havalandırma ve alevlenmeyi sınırlama dahil olmak üzere bu tür emisyonları önlemeye yönelik hafifletme tedbirlerini uygulamaya alma konusunda yeni zorunluluklar getirmektedir. Ayrıca, AB'ye petrol, gaz ve kömür ithalatından kaynaklanan CH_4 emisyonları konusunda şeffaflığı sağlamak için küresel izleme araçları ortaya koymaktadır.[61]

Modernizasyon Fonu

2018 yılında kurulan Modernizasyon Fonu ile 2021-2030 dönemi içerisinde 13 düşük gelirli AB üyesi devletin enerji sistemlerinin modernizasyonuna ve enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar desteklenmektedir. Bu devletlerin AYM kapsamındaki iklim hedeflerine ulaşmalarına destek sağlanması bakımından Modernizasyon Fonu, Adil Geçiş Mekanizması'na direkt olarak hizmet etmektedir.[62]

İnovasyon Fonu

İnovasyon Fonu, AB'nin Paris Anlaşması taahhütlerine ek olarak REPowerEU Planı, Hidrojen Bankası, AYM Sanayi Planı ve Net-Sıfır Sanayi Yasası'nda ortaya konulan iklim ve enerji hedeflerini yerine getirmek için kullanılan kilit bir finansman aracıdır. İnovasyon Fonu'nun toplam finansmanı karbon fiyatına bağlıdır ve 75 Euro/tCO_2 karbon fiyatı kullanılarak hesaplandığında 2020'den 2030'a kadar parasal büyüklüğün yaklaşık 40 milyar Euro'ya ulaşması mümkün görülmektedir. Uygulamada, AB ETS'den sağlanan İnovasyon Fonu tahsisatları, üzerinde anlaşmaya varılan takvime göre açık artırmaya çıkarılmakta ve elde edilen gelirler yenilikçi projelere destek sağlamak için kullanılmaktadır. İnovasyon Fonu, Avrupa'da önemli emisyon azaltımları sağlayabilecek son model yenilikçi teknolojilere ve amiral gemisi projelere odaklanmaktadır. Riski proje destekçileriyle paylaşarak türünün ilk örneği olan bu fon ile yenilikçi projelere finansman sağlanmaktadır.[63]

61. European Commission. (2022). Methane emissions. Erişim adresi: https://energy.ec.europa.eu/topics/oil-gas-and-coal/methane-emissions_en
62. European Commission. (2018). Modernisation Fund. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/modernisation-fund_en
63. European Commission. (2020a). What is the Innovation Fund?. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/what-innovation-fund_en#:~:text=The%20Innovation%20Fund%20focuses%20on,%2Dkind%2C%20highly%20innovative%20projects

Sosyal İklim Fonu (SİF)

SİF, enerji veya ulaşım yoksulluğu içindeki hane halkları gibi iklim değişikliğinden en çok etkilenen hassas grupların doğrudan desteklenmesi ve yeşil geçiş sürecinde geride bırakılmaması için AB üyesi ülekelere özel finansman sağlayacaktır. SİF'in finanse edilmesi için, ETS 2'deki tahsisatların açık artırma yoluyla satışından elde edilen gelirlerin yanı sıra mevcut AB ETS'den elde edilecek 50 milyon Euro tahsisatı bir havuzda toplanacaktır.[64]

Net-Sıfır Sanayi Yasası

Mart 2023 tarihinde Avrupa Komisyonu tarafından teklif edilen Net-Sıfır Sanayi Yasası (Net Zero Industrial Act – NZIA) ile net-sıfır iklim teknolojilerinin Avrupa'daki üretim kapasitesinin güçlendirilmesinin önündeki engellerin aşılması ve rekabet gücünün artırılması hedeflenmektedir. Yasa tasarısı Avrupa'nın net-sıfır iklim teknolojilerine geçiş sürecinde öncü bir rol oynama, 55'e Uyum Paketi ve REPowerEU hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olma konusundaki kararlılığını göstermektedir.[65]

Kritik Hammaddeler Yasası

Kritik Hammaddeler Yasası, yenilenebilir enerji, dijitalleşme, uzay ve savunma gibi stratejik teknoloji alanlarında kullanılan kritik hammaddelerin güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde tedarikini sağlamak ve Avrupa'nın 2030 iklim, dijitalleşme hedeflerine ulaşmasını mümkün kılmak için 2023 yılında yayımlanmıştır.[66] Yasa kapsamında tanımlanmış çeşitli stratejik hammadde ve elementlerin çıkarma, işleme ve geri dönüşüm süreçlerinde kaynak çeşitliliğini sağlamak için nümerik hedefler belirlenmiş ve tedarik zincirindeki kırılganlıkların azaltılması ilkesi benimsenmiştir.

AYM ile bağlantılı diğer yasal düzenlemelere ilişkin bilgi Ek-1'de sunulmaktadır.

64. European Commission. (2023). Social Climate Fund. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/social-climate-fund_en
65. European Commission. (2023). Net Zero Industry Act. Erişim adresi: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act_en
66. European Commission. (2024). Critical Raw Materials Act. Erişim adresi: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en

1.4.2. Türkiye'deki Mevcut Düzenlemeler

Yeşil Mutabakat Eylem Planı

Türkiye'nin düşük emisyonlu ve kaynakları verimli kullanan bir ekonomik modele geçişinin desteklenmesi için AYM politikalarına paralel olarak oluşturulan Yeşil Mutabakat Eylem Planı'nda; sınırda karbon düzenlemeleri; yeşil ve döngüsel bir ekonomi; yeşil finansman; temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı; sürdürülebilir tarım; sürdürülebilir akıllı ulaşım; iklim değişikliği ile mücadele; diplomasi; AYM bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleri başlıkları altında belirlenen hedeflere ulaşılması amacıyla hayata geçirilecek eylemlere yer verilmektedir.[67]

Türkiye Cumhuriyeti Güncellenmiş Birinci Ulusal Katkı Beyanı

Türkiye Cumhuriyeti, 26. Taraflar Konferansı sırasında UNFCCC ve Paris Anlaşması Taraflarınca kabul edilen Glasgow İklim Paktı bağlamında güncellenen ilk NDC'sini (daha önce bildirdiği gönüllü NDC'den [INDC] sonra) ilan etmiştir. Bu bildirim ile Türkiye, 2012 yılını baz yıl (referans yıl) olarak kabul ederek sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar (2030 yılında 695 $MtCO_2e$), Olağan Durum (Business as Usual – BAU) senaryosuna kıyasla %41 oranında azaltacağını taahhüt etmektedir. Ayrıca, emisyonların en geç 2038 yılında zirveye ulaşması planlanmaktadır. Yeni azaltım hedefi bilimsel temellere dayalı olarak, adalet ilkesi çerçevesinde verilmiş olup 2053 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşma yönünde önemli bir adım olarak görülmektedir. Güncellenmiş bu NDC, Türkiye'nin Paris Anlaşması'nı uygulama kararlılığını göstermekte olup Anlaşma ve UNFCCC'de belirtilen "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve görece kabiliyetler" ilkesine uygun şekilde hayata geçirilmek istenmektedir.[68]

Türkiye İklim Şurası Komisyon Tavsiye Kararları

Şubat 2022'de Konya'da düzenlenen İklim Şurası'nın ana teması "2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi: Türkiye'nin Yeşil Kalkınma Devrimi" olarak belirlenmiştir. Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadele etmek için öne çıkan yeni strateji ve politikaları yeşil dönüşüm odağında katılımcılarla birlikte tartışılmıştır. Şura'nın tamamlanmasını takiben 7 farklı komisyon (Sera Gazı Azaltım-1 Komisyonu, Sera Gazı Azaltım-2 Komisyonu, Bilim ve Teknoloji Komisyonu, Yeşil Finansman ve Karbon Fiyatlama Komisyonu, İklim Değişikliğine Uyum Komisyonu, Yerel Yönetimler Komisyonu, Göç, Adil Geçiş ve Diğer Sosyal Politikalar Komisyonu) tarafından iklim uyumlu şehirler, iklim dostu tarım, kuraklık eylem planı, çevreci ve temiz ulaşım ağı, yeşil enerji, yeşil ekonomi, iklim eğitimi ve benzeri önemli konularda alınan tavsiye niteliğindeki kararlar, yayımlanan Komisyon Tavsiye Kararları bildirgesiyle kamuoyu ile paylaşılmıştır.[69]

67. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2021). a.g.e.
68. Türkiye Cumhuriyeti. (2023). Türkiye Cumhuriyeti Güncellenmiş Birinci Ulusal Katkı Beyanı. Erişim adresi: https://netsifirturkiye.org/wp-content/uploads/2023/07/Turkiye-Cumhuriyeti-Guncellenmis-Birinci-Ulusal-Katki-Beyani.pdf
69. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). İklim Şurası Komisyon Tasviye Kararları. Erişim adresi: https://www.csgb.gov.tr/media/92447/iklim-surasi-sonuc-bildirgesi.pdf

12. Kalkınma Planı

2024-2028 dönemi için yeşil dönüşüm, sürdürülebilir tarım ve ulaşım, döngüsel ekonomi, yeşil altyapı ve şehir planlaması, enerji arz güvenliğinin sağlanmasına yönelik çalışmalar, küresel gelişmelerin Türkiye'ye yansıması gibi birçok başlığa dair Türkiye'nin stratejisinin ortaya konulduğu 12.Kalkınma Planı, TBMM tarafından onaylanarak Kasım 2023 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlanmıştır.[70]

Orta Vadeli Program (2024-2026)

Eylül 2023 tarihinde yayımlanan Orta Vadeli Program'da, iklim değişikliğinin küresel ve bölgesel ölçekteki yıkıcı etkilerinin azaltılması, enerji arz-talep dengesinin sağlanması, sürdürülebilirlik odaklı politika ve uygulamaların yaygınlaştırılması konularına yer verilmiştir. AYM kapsamında firmalara yönelik yeşil dönüşüm ve karbonsuzlaşma konularında sektörel yol haritalarının hazırlanacağı ve farkındalık artırma çalışmalarının yürütüleceği de belgede yer verilen hususlar arasındadır.[71]

Katılım Öncesi Ekonomik Reform Programı (2023-2025)

Programın içerisinde yeşil dönüşüm odaklı çalışmalara yönelik reform alanları arasında "Yeşil Mutabakat Eylem Planı'nın Etkin ve Katılımcı Şekilde Uygulanması" başlığına yer verilmiştir. Bu kapsamda, belirlenen hedef yıllara ait işleyişin takibi için oluşturulan performans göstergeleri nicel ve nitel veriler ışığında değerlendirilmiştir.[72]

2023 Türkiye Sanayi ve Teknoloji Stratejisi

2023 Türkiye Sanayi ve Teknoloji Stratejisi ile sanayi faaliyetlerinin çevresel etkilerini azaltmak amacıyla, özellikle OSB'lerdeki altyapı ve işletmelerin teknoloji yoğunluklu modernizasyonu ve temiz üretime dayalı yeni yatırımları desteklenerek Türkiye'nin yeşil üretim yaklaşımının sanayi politikaları ve uygulamalarında belirleyiciliğine artırılması hedeflenmiştir.[73]

Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi (2010-2023)

Türkiye, iklim değişikliğinin artan etkilerine karşı verilen küresel ölçekteki mücadeleye bir strateji dahilinde katkı sağlamak için "Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi"ni hazırlamıştır. Strateji'de, UNFCCC'nin temel ilkelerinden biri olan "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar" çerçevesinde ulusal azaltım, uyum, teknoloji, finansman ve kapasite oluşturma politikaları kısa, orta ve uzun vadeli hedeflere bağlanarak ortaya konulmaktadır.[74]

70. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023a). On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028). Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028_11122023.pdf
71. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). Orta Vadeli Program (2024-2026). Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/09/Orta-Vadeli-Program_2024-2026.pdf
72. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). Katılım Öncesi Ekonomik Reform Programı (2023-2025). Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/02/Katilim-Oncesi-Ekonomik-Reform-Programi-2023-2025.pdf
73. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2019). 2023 Sanayi ve Teknoloki Stratejisi. Erişim adresi: https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/SanayiStrateji Belgesi2023.pdf
74. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (t.y.). Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023. Erişim adresi: https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/file/strateji%20belgesi/Turkiye%20Iklim%20Degisikligi%20Strateji%20Belgesi_TR.pdf

Ulusal İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2011-2023)

Ulusal İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı'nda su kaynakları yönetimi, tarım ve gıda güvencesi, ekosistem hizmetleri, biyolojik çeşitlilik ve ormancılık, doğal afet risk yönetimi ve insan sağlığı alanlarında iklim değişikliği ile mücadele odağında hedeflenen teknik ve bilimsel çalışmalara yer verilmiştir.[75]

Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı

AYM ve Avrupa İklim Yasası kapsamındaki düzenlemelerde yer alan enerji verimliliği hedefleri ile azami ölçüde uyumlu olacak şekilde hazırlanan Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, bu alandaki diğer ulusal politikaları da gözeterek Türkiye'nin enerji verimliliği başlıklarındaki mevcut durumunu ve iyileştirme alanlarını ortaya koymakta, sektörler ve alanlar itibarıyla iyileşme hedeflerini sıralamakta, hedef ve eylem bazında izleme göstergelerini ve zaman planını tanımlamaktadır.[76]

Türkiye Ulusal Enerji Planı (2023-2035)

Ulusal Enerji Planı ile Türkiye'de, 2035 yılına kadar yenilenebilir enerjinin toplam kurulu elektrik üretim kapasitesi içindeki payının -%38'i güneş ve rüzgâr enerjisine dayalı olmak üzere- yaklaşık %65'e çıkacağı öngörülmektedir.[77]

Çölleşme ile Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı (2019-2030)

Çölleşmeyle Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı (ÇMUSEP), Türkiye'nin taraf olduğu Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi (BMÇMS)'nin ülke çapında bir uygulama aracı olarak hayata geçirilmiştir. Türkiye'deki çölleşme/arazi tahribatıyla mücadele kapsamında 2019-2030 yılları arası için güdülecek stratejik yaklaşım ve yapılması planlanan çalışmalar bu Plan içerisinde özetlenmektedir.[78]

75. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2012). Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı. Erişim adresi: https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/file/eylem%20planlari/uyum_stratejisi_eylem_plani_TR.pdf
76. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023a). Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2023-2030) Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/T%C3%BCrkiyeninEnerjiVerimlili%C4%9Fi2030StratejisiveIIUlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1_202401161407.pdf
77. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Türkiye Ulusal Enerji Planı. Erişim adresi: https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf
78. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (2021). Çölleşmeyle Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı 2019-2030. Erişim adresi: https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/collesme-ile-mucadele-ulusal-stratejisi-ve-eylem-plani_k-20211111075541.pdf

Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik

Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik, iş süreçlerinden kaynaklı emisyon yoğunluğu yüksek sektörlerin ve faaliyetlerin sera gazı emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması ile bu alanda yetkinliği bulunan doğrulayıcı kuruluşların ve işletmelerin mükellefiyetlerinin belirlenmesine dair usul ve esasları içermektedir.[79]

2022 yılında gerçekleştirilen Türkiye'nin ilk İklim Şurası'nda "Karbon Fiyatlandırma ve Emisyon Ticaret Sistemi" ele alınmıştır. Konu ile ilgili tüm kamu ve özel sektör, üniversiteler, sivil toplum kuruluşları temsilcileri ile bir araya gelinerek yapılan değerlendirmeler neticesinde Türkiye'de ETS'nin kurulması ve 2024[80] yılında pilot olarak uygulamaya geçilmesine yönelik tavsiye kararı alınmıştır. Ayrıca, mevcut vergilerin karbon vergisine dönüştürülmesi hususunun da gündeme alınması tavsiye edilen kararlardan biri olmuştur.[81]

İklim Kanunu Taslağı

İklim Kanunu ile Türkiye'nin net sıfır emisyon ve yeşil dönüşüm odaklı iklim değişikliği ile mücadele stratejisinin uygulanabilmesi için emisyonların azaltılması ve iklim değişikliğine uyuma yönelik planlama ve uygulamaların yasal düzenlemeler çerçevesinde hayata geçirilmesi, takibi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması hedeflenmektedir. İklim Kanunu içerisinde, ulusal ETS'nin uygulamaya alınmasına yönelik ifadeler de yer almaktadır.[82]

Taksonomi Çerçeve Dokümanı

Çalışmaları devam eden Taksonomi Çerçeve Dokümanı, Türkiye'nin önceliklerini gözetirken AYM sürecine uyumu da dikkate alacak bir yapıda tasarlanmaktadır. Yeşil dönüşümün hedeflenen düzeyde gerçekleştirilebilmesi için gerekli finansal kaynakların yeşil yatırımlar ile buluşmasının sağlanması, sera gazı emisyonlarının azaltımı ve iklim değişikliğinin etkilerine uyum konusunda yürütülen çabaların desteklenmesi hedeflenmektedir.[83]

79. Resmî Gazete. (2014). Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/05/20140517-3.htm
80.Türkiye'de pilot ETS uygulamasının 2025 yılında hayata geçirilmesi öngörülmektedir.
81. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (t.y.). Emisyon Ticaret Sistemi. Erişim adresi: https://iklim.gov.tr/db/turkce/dokumanlar/emisyon-ticaret--8230-20-20220808234512.docx
82. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). İklim Değişikliği Kanun Taslağı. Erişim adresi: https://www.baib.gov.tr/files/downloads/PageFiles/f345dbce-f055-ed11-a91b-000c29511bae/Files/ek-3.pdf
83. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023a). Taksonomi Çerçeve Dokümanı. Erişim adresi: https://iklim.gov.tr/db/turkce/projeler/files/Taksonomi%20%C3%87er%C3%A7eve%20Dok%C3%BCman%C4%B1(2).pdf

AYM ile bağlantılı diğer başlıca ulusal yasal düzenlemeler aşağıda listelenmiştir:

- Çevre Kanunu
- Enerji Verimliliği Kanunu
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun
- Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu
- Orman Kanunu
- Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun
- Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu
- Organik Tarım Kanunu
- Sular Hakkında Kanun
- Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu
- Atık Yönetimi Yönetmeliği
- Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Ön İşlem ve Geri Kazanım Tesislerinin Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik
- Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği
- Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
- Geri Kazanım Katkı Payı Yönetmeliği
- Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik
- Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
- Maden Atıkları Yönetmeliği
- Sıfır Atık Yönetmeliği
- Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
- Egzoz Gazı Emisyonu Kontrol Yönetmeliği
- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
- Kalıcı Organik Kirleticiler Hakkında Yönetmelik
- Kentsel Atık Su Arıtma Yönetmeliği
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
- Çevre Etiketi Yönetmeliği
- Türkiye Çevre Ajansının Teşkilatı ve Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik
- Zorunlu Depozito Yönetim Sistemi Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar
- Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği
- Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği
- Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği
- Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu
- Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği
- Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik
- Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik
- İklim Değişikliği Başkanlığı Hizmet Birimleri ile Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik
- Enerji ile İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik
- Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği

2. Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM)

Yenilikçi Bir Karbon ve Ticaret Aracı Olarak AB ETS

AB ETS'nin Dış Ticaret Yansıması: SKDM

SKDM Çerçeve Mevzuatı

SKDM Uygulama Rehberi

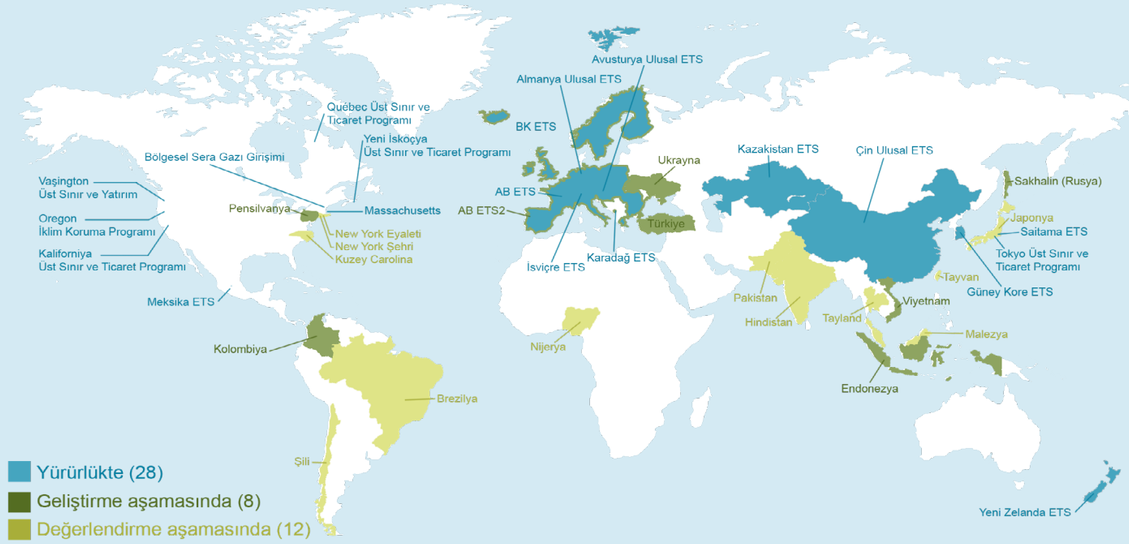
2. Sınırda Karbon Düzenleme Mekaniz-ması

2.1. Yenilikçi Bir Karbon ve Ticaret Aracı Olarak AB ETS

Emisyon ticaret sistemleri, emisyon azaltımını kolaylaştıran bir uygulama olarak ekonomik verimliliğe de doğrudan katkıda bulunmaktadır. 1997 yılında 37 sanayileşmiş ülkeye ilk defa yasal olarak bağlayıcı emisyon azaltım hedefi ve bu hedeflere ulaşabilmek için çeşitli politika araçlarının geliştirilmesi gerekliliğinin getirildiği Kyoto Protokolü'nün ardından Avrupa Komisyonu, Mart 2000'de bir yeşil kitap sunmuştur. Yeni bir karbon fiyatlandırma mekanizması olan AB ETS tasarımına dair ilk fikirleri içeren bu yeşil kitap küresel anlamda önemli bir dönüm noktası olmuş, sistem üzerinde geniş çaplı paydaş tartışmalarını tetikleyerek AB ETS'nin şekillendirilmesine katkıda bulunmuştur. Sürecin ilerleyen aşamasında, 2003 yılında AB ETS Direktifi'nin kabul edilmesiyle sistem resmen oluşturulmuş ve AB ETS 2005'te faaliyete geçirilmiştir.[84] Sistemin işleyişi kapsamında, Kyoto Protokolü çerçevesinde emisyon izinlerine getirilen sınırlar Ulusal Tahsis Planları (National Allocation Plan – NAP) aracılığıyla ulusal düzeyde belirlenmiş, böylece Protokol hedeflerine ulaşma yolunda önemli bir mekanizma devreye alınmıştır. Dünyanın ilk ve en büyük emisyon ticaret sistemi olma özelliğini taşıyan AB ETS, küresel ısınma ile mücadelenin ve gelinen noktada AYM'nin temel taşlarından biri olarak önemli bir role sahiptir.

> **"Halihazırda AB Üye Devletleri, Avrupa Serbest Ticaret Birliği ülkeleri (İzlanda, Lihtenştayn ve Norveç) ve Kuzey İrlanda'nın da dahil olduğu 48 ülke veya bölge, karbon vergisi veya ETS yoluyla emisyonlarını fiyatlandırmaktadır.[85]"**

84. European Commission. (2020a). a.g.e.
85. International Carbon Action Partnership. (t.y.). Welcome to the ICAP ETS Map. Erişim adresi: https://icapcarbonaction.com/en/ets



Şekil 4: Dünya Genelinde ETS Uygulamalarına Dair Genel Görünüm[86]

AB ETS, sera gazı emisyonlarını sınırlamak ve azaltmak için coğrafi bir alan üzerinde belirli kirleticileri yayma hakkına bir limit (üst sınır) getirilen ve şirketlerin bu alan içinde emisyon haklarının ticaretini yapabilecekleri bir "emisyon üst sınır ve ticaret" programıdır.[87] Mevcut haliyle AB ETS, enerji üretimi ve dağıtımı, demir-çelik, çimento, kâğıt, cam, seramik ve havacılık gibi çeşitli sektörlerde faaliyet gösteren ve AB'nin toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %40'ını oluşturan, yaklaşık 10.000'den fazla tesisi kapsamaktadır.[88] AB ETS'nin uygulamaya konulmasından bu yana, AB'de sera gazı emisyonlarında önemli bir azalma sağlanmıştır. AB toplam emisyonları 2005 yılından bu yana %37 oranında azalırken bu azalmanın önemli bir kısmı AB ETS'ye atfedilmektedir.[89] Bu sistem kapsamında, belirlenen tesislerin atmosfere salabilecekleri sera gazı emisyonu miktarı, bir üst sınır (cap) ile belirlenmektedir. Belirlenen sınır, emisyon izinleri aracılığıyla ifade edilmektedir ve bir emisyon izni, bir tCO_2e sera gazı salım hakkı sunmaktadır. Her yıl, şirketler tarafından üretilen emisyon miktarına denk gelecek sayıda izin teslim edilmesi zorunlu tutulurken bu zorunluluğa uyulmadığı takdirde ağır yaptırımlar uygulanmaktadır.[90]

86. International Carbon Action Partnership (2023). Infographic on ETS Development. Erişim adresi: https://icapcarbonaction.com/system/files/2023-07/230315_Report_Infographics3_1.jpg
87. European Environment Agency. (2023). The EU ETS. Erişim adresi: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1
88. European Environment Agency. (2023).a.g.e.
89. European Commission. (t.y.b). What is the EU ETS? Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en
90. European Commission. (t.y.b). a.g.e.

AB ETS kapsamındaki tesisler, her yıl atmosfere salabilecekleri sera gazı miktarını sınırlayan bir emisyon iznine sahip olmak zorundadır.[91] Emisyon izinleri, ücretsiz tahsisat ve açık artırmalar yoluyla dağıtılmaktadır. Belirli sektörlerdeki tesisler, geçmiş emisyonlarına dayalı olarak ücretsiz tahsisat alırken emisyon izinlerinin bir kısmı ise her yıl düzenli olarak gerçekleşen açık artırmalarda alınıp satılmaktadır. Böylelikle şirketler, ihtiyaç duydukları izinleri birbirleriyle ticaret yoluyla da temin edebilmektedir. Şirketler, gelecekteki ihtiyaçları için emisyon izni biriktirebilmekte veya fazladan izinlerini satabilmektedir. 2013 yılından bu yana AB ETS tarafından 152 milyar Euro'nun üzerinde gelir elde edilmiştir.[92] Açık artırma gelirleri, AB'nin iklim değişikliğiyle mücadele politikalarını finanse etmek için kullanılmaktadır.

AB ETS, kademeli olarak uygulamaya alınmış bir sistemdir. İlk faz, 2005-2007 yılları arasında devam eden 3 yıllık bir pilot dönem olarak uygulanmıştır. Bu aşama, bir öğrenme süreci olarak kabul edilmiş ve tahsisatların büyük bir kısmı ücretsiz olarak dağıtılmıştır. Geçiş döneminin ardından başlayan ikinci faz (2008-2012) bazı önemli değişikliklere sahne olmuştur. Ücretsiz tahsisat oranları %90'a düşürülmüş ve 2005 yılına kıyasla %6,5 daha düşük bir emisyon üst sınırı belirlenmiştir. Ayrıca, emisyon izinlerinin üzerinde kalınması halinde uygulanan ceza miktarı da ton başına 40 Euro'dan 100 Euro'ya yükseltilmiştir. Üçüncü faz (2013-2020) ise AB ETS çerçevesinde önemli reformların hayata geçirildiği bir dönem olmuştur. Emisyonlar için üst sınır AB genelinde belirlenmeye başlamış, sektör ve sera gazı kapsamı genişletilmiştir. Bu çerçevede, enerji sektörüne verilen ücretsiz tahsisatlar sıfırlanmış ve AB'li elektrik üreticileri 2013 yılından itibaren ihtiyaç duydukları tüm tahsisatları satın almak zorunda kalmıştır. Günümüzde içinde bulunulan dördüncü fazda (2021-2030) ise emisyon sınırlarında yıllık %2,2 oranında bir azalma öngörülmektedir. Tahsisatların dağıtımında ilk yıllarda tarihi emisyonlara dayanan *grandfathering (grandparenting)* yöntemi kullanılırken mevcut durumda kullanılan yöntem, ürün ya da süreç bazlı belirlenen ve en yüksek performansa sahip tesislerin emisyon verilerinin kullanımına ve karşılaştırmaya dayalı *benchmarking* yöntemidir.[93] Özellikle yüksek emisyona sahip tesislerin teşvik edilmesi amacıyla tahsisatların bir kısmı ücretsiz olarak dağıtılmaktadır. Ancak, AYM kapsamında önerilen ETS reformu çerçevesinde, ücretsiz (serbest) tahsisatların kademeli olarak devre dışı bırakılması planlanmaktadır.

AB ETS'de tahsisatların bir son kullanma tarihi olmaması nedeniyle 2009 yılından bu yana piyasada önemli miktarda emisyon izni birikmiş ve emisyon fiyatlarının yükselmesiyle, şirketlerin elinde daha önceden düşük fiyatlardan alınmış fazladan tahsisat bulunması durumu ortaya çıkmıştır.[94] Şirketlerin elinde düşük fiyattan alınmış tahsisat fazlalığının bulunması, piyasadaki açık artırma fiyatlarının gerçek emisyon azaltım maliyetini yansıtmamasına ve sistemin etkinliğinin azalmasına yol açmıştır. Fazla tahsisat birikimi sorununun çözülmesi ve büyük şoklara karşı sistemin direncinin artırılması amacıyla, açık artırmada sunulacak tahsisat miktarının düzenlenmesine yönelik bir karar alınmış ve bu noktada Piyasa İstikrar Rezervi (Market Stability Reserve – MSR) oluşturulmuştur. Şu anki durumda, Piyasa İstikrar Rezervi kapsamında, üye devletlerin açık artırmaya sunacağı tahsisat miktarlarından çıkarıldıktan sonra, toplam tahsisat sayısının %12'sine karşılık gelen bir miktarın, ilgili yılın 1 Eylül tarihinde başlayarak 12 ay süreyle rezerve edilmesi gerekmektedir. Rezervde en az 100 milyon tahsisat bulundurulması zorunludur. Rezervi güçlendirmek amacıyla, 31 Aralık 2030 tarihine kadar belirlenen bu yüzde oranı ve 100 milyonluk tahsisat miktarı iki katına çıkartılmıştır ve tahsisatların yıllık alımındaki artış oranı %24 olarak belirlenmiştir.[95]

> **"AB'nin de aralarında bulunduğu ETS kapsamında yer alan ülkelerin katılımıyla, sistemin etkinliği ve kapsamı geniş bir coğrafyaya yayılmaktadır ve karbon emisyonlarının azaltılması konusunda ortak bir çaba ve kararlılık sergilenmektedir. Üye ülkelerin bu sistem içerisindeki rolleri, iklim değişikliğiyle mücadelede bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesine yardımcı olmaktadır. Bu kapsamda ETS'lerin sağladığı faydalar, sadece bir bölgeyle sınırlı kalmayıp küresel ölçekte de etkisini göstermektedir. Dolayısıyla ETS'ler, daha temiz ve daha verimli teknolojilerin geliştirilmesini ve yaygınlaşmasını teşvik etmektedir."**

- Sera gazı emisyon izinlerinin ticareti için bir piyasa oluşturularak, karbona net bir fiyat konulmuştur. Bu sayede, topluma olan maliyetler görünür kılınmış ve insanların mal ve hizmetler için ödedikleri fiyata entegre edilmiştir.[96]
- Kapsanan kurumlar tarafından emisyonların nasıl, ne zaman ve nerede azaltılacağına dair karar verilmiştir.
- ETS'ler, geniş bir ekonomik ve politik bağlam yelpazesine uygun hale getirilmiştir. Her duruma uyan tek bir yaklaşım olmadığından, sistemler şu anda şehirler, eyaletler, iller, ülkeler ve bölgeleri kapsayacak şekilde çeşitli alanlarda işletilmekte ve her sistem, uygulayan bölgedeki ekonomik duruma ve yönetişim profiline uygun olarak hareket etmektedir.[97]
- Emisyon ticaretinin birincil amacı emisyonları azaltmak olsa da ETS'ler temiz hava, kaynak verimliliğinin artırılması, enerji güvenliğinin sağlanması, teknoloji inovasyonunun teşvik edilmesi ve yeni iş olanakları gibi birçok alana fayda sağlamıştır.
- Piyasa tabanlı bir yaklaşım olduğu için, emisyon azaltımının en düşük maliyetle gerçekleşmesini teşvik etmektedir.[98]

91. Bruegel. (2013). You'd better bet on the ETS. Erişim adresi: https://www.bruegel.org/
92. European Commission. (t.y.b). a.g.e.
93. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2023a). AB ETS Bilgi Notu. Erişim adresi: https://ticaret.gov.tr/data/64f-5ba7713b8769d98615d86/AB%20ETS%20Bilgi%20Notu-23.08.2023.pdf
94. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2023a). a.g.e
95. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2023a). a.g.e
96. International Carbon Action Partnership. (2023). ICAP Briefs 2: 7 Reasons for Emission Trading. Erişim adresi: https://icapcarbonaction.com/system/files/document/icap_briefs-en-brief-2.pdf
97. International Carbon Action Partnership. (2023).a.g.e.
98. World Bank Group. (2023). State and Trends of Carbon Pricing 2023. Erişim adresi: https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/58f2a409-9bb7-4ee6-899d-be47835c838f

2.2. AB ETS'nin Dış Ticaret Yansıması: SKDM

AB ETS kapsamında uygulanan karbon fiyatlandırma politikası, yüksek sera gazı emisyonlarına ve enerji yoğunluğuna sahip sektörlerde maliyetlerin artmasına neden olmakta ve bu durum, firmaların üretim faaliyetlerini iklim değişikliği ile mücadele konusunda AB politikalarını benimsememiş ülkelere taşıma riskini (karbon kaçağı riskini) beraberinde getirmektedir.[99] AB ETS'nin giderek sıkılaşan kuralları nedeniyle emisyonlarını azaltamayan firmalar için karbon maliyetleri de artmaktadır. Bu bağlamda SKDM, AB ETS içindeki karbon kaçağı riskini minimize etmek amacıyla oluşturulmuş bir mekanizma olarak öne çıkmaktadır. AB'nin 2021 yılında yayımladığı "55'e Uyum Paketi" kapsamında, üçüncü taraf ülkelerden Avrupa'ya ithal edilen malların ETS'ye eşdeğer bir karbon fiyatlandırmasına tabi tutulması, bu sayede sanayinin karbondan arındırılması ve rekabetçilikte yaşanabilecek adaletsizliklerin önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

"SKDM, AB içinde üretilen ürünler için öngörülen karbon maliyetine eşdeğer bir emisyon maliyetinin, üçüncü taraf ülkelerden ithal edilen ürünlere de uygulanmasını gerektiren bir sistemdir. SKDM'nin amacı, AB'ye ithal edilen ürünlerden kaynaklanan emisyonların azaltılması ve çevre düzenlemeleri daha zayıf olan ülkelere karşı rekabet dezavantajlarının önlenmesidir. Bu kapsamda belirlenen hedefler ise aşağıdaki gibi özetlenmektedir."

SKDM kapsamında belirlenen hedefler

- AB ile ticari ortakları arasında fırsat eşitliğini teşvik etmek,
- Şirketlerin çevre düzenlemelerinin daha zayıf olduğu ülkelere taşınmasını engelleyerek karbon kaçağını önlemek,
- Yeşil teknolojilere yatırım yapan AB şirketlerini korumak,
- Diğer ülkelerde iklim hedefinin artırılmasını teşvik etmek,
- AB üyesi olmayan ülkelerde karbon piyasası politikalarının uygulanmasını teşvik etmek (gelirlerin üretici ülkeler dahilinde tutulması için),
- AB'de veya diğer ülkelerde iklim politikalarını desteklemek için kullanılabilecek gelir elde etmek,
- AB ETS kapsamındaki ücretsiz tahsisatların yerine geçecek bir yapı tasarlamak.

99. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (t.y.). AB SKDM Bilgi Notu. Erişim adresi: https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-sinirda-karbon-duzenleme-mekanizmasi/ab-skdm-bilgi-notu

SKDM ile ilgili ilk teklif 15 Temmuz 2021'de AB Komisyonu'na sunulmuş ve öncelikli olarak demir-çelik, alüminyum, çimento, gübre ve elektrik olmak üzere beş sektör kapsanmıştır. Bu önerinin ardından, Avrupa Konseyi ve Avrupa Parlamentosu da düzenlemeye yönelik farklı görüş ve önerilerde bulunmuştur. 2022 yılında gerçekleştirilen üçlü müzakereler neticesinde, 18 Aralık 2022'de Avrupa Komisyonu, Avrupa Parlamentosu ve AB Konseyi; SKDM üzerinde geçici anlaşmaya varmıştır. Son olarak, 18 Nisan 2023'te Avrupa Parlamentosu ve 25 Nisan 2023'te Konsey tarafından mutabık kalınan tasarılarılar 16 Mayıs 2023 tarihli AB Resmî Gazetesi'nde yayımlanmıştır. Halihazırda kapsanan ürünler, gazlar ve SKDM muafiyetine ilişkin bilgiler Şekil 5'te özetlenmektedir. Yönetmelik, (AB) 952/2013 Sayılı Tüzüğün 256. maddesinde atıfta bulunulan dahilde işleme rejimi sonucu elde edilen malların veya bu mallardan elde edilen işlenmiş ürünlerin üçüncü taraf bir ülke menşeli, Ek I'de listelenen ve AB'ye ithal edilen ürünleri kapsamaktadır. AB ETS'de veya AB ETS ile birebir uyumlu bir ETS ile kapsanan ürünler SKDM'den muaftır.

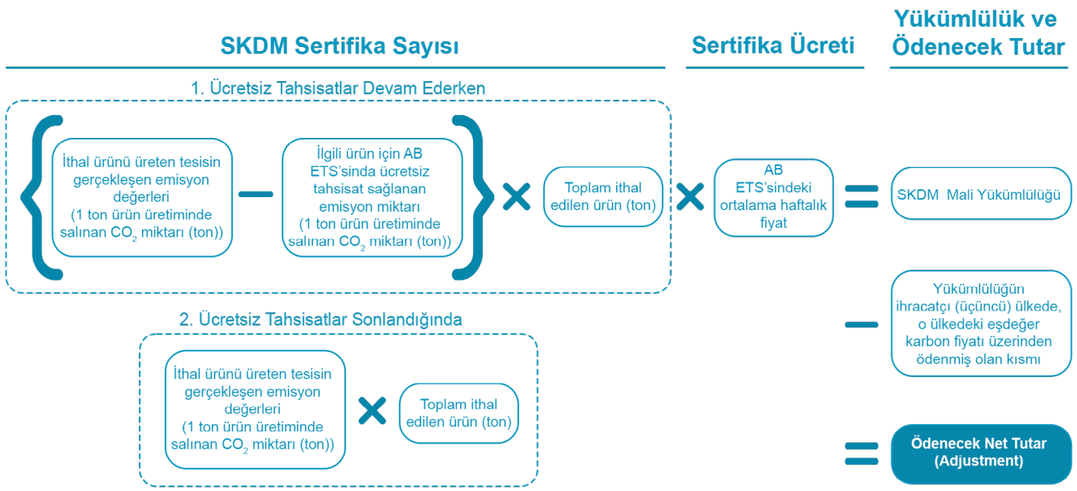
İlerleyen yıllarda, AB ETS'de kapsanan cam, seramik, kâğıt, kimyasal üretimi gibi diğer faaliyetlerin de kademeli olarak SKDM'ye dahil edilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, AB Komisyonu'nun 2030 yılında bir değerlendirme yapması ve SKDM'nin genişletilmesine yönelik bir analiz raporu sunması beklenmektedir.

Şekil 5: SKDM Kapsamı

2.3. SKDM Çerçeve Mevzuatı

1 Ekim 2023 itibarıyla, 16 Mayıs 2023 tarihli Yönetmelik çerçevesinde, SKDM'nin geçiş dönemi uygulaması başlamıştır. 31 Aralık 2025'e kadar sürecek ve sınırlı miktarda ürüne odaklanan geçiş dönemi, yaparak öğrenme hedefiyle tasarlanmış olup herhangi bir mali yükümlülük getirmemektedir. Bu süre zarfında SKDM kapsamında yer alan ürünlerin emisyon verileri toplanacak, ancak SKDM sertifikası beyanı veya emisyon hesaplarının doğrulaması yapılmayacaktır.[100] Geçiş döneminin asıl amacı, SKDM ürünlerine ilişkin düzenli veri toplamaktır ve raporlama yapılmaması durumunda cezai işlem uygulanacaktır.

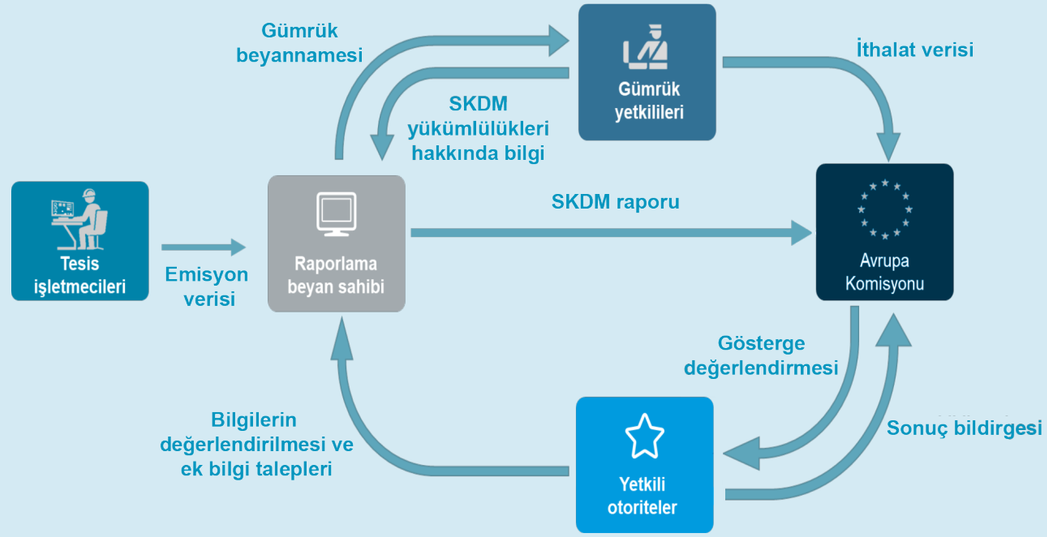
SKDM raporlarının içeriği, ithal edilen ürünlerin menşe ülke ve üretici tesis bilgileri, üretilen ürün miktarı, tesisin emisyonları ve ürüne gömülü emisyonlar için hesaplanmış net karbon ücret tutarı gibi bilgileri içerecektir. 1 Ocak 2026'dan itibaren başlayacak ve mali yükümlülüğün devreye gireceği ana uygulama döneminde ise AB ETS'deki haftalık karbon fiyatlarının ortalaması alınmak suretiyle belirlenecek ücretlerle SKDM sertifikası alınması zorunlu olacaktır. SKDM, AB ETS kapsamında dağıtılan ücretsiz tahsisatların dışında kalan emisyonlara uygulanacaktır. Ancak, 2026 yılından itibaren kademeli olarak devre dışı bırakılacak ücretsiz tahsisatlara paralel olarak, 2034 yılı itibarıyla SKDM tüm emisyonlar için geçerli olacaktır. SKDM sertifikalarının uygulanacağı emisyonlar ve yükümlülüklerin belirlenmesine ilişkin işleyiş Şekil 6'da özetlenmektedir.



Şekil 6: SKDM Sertifikası Miktarının ve Maddi Yükümlülüğün Belirlenmesi[101]

100. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (t.y.). a.g.e.
101. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (t.y.). a.g.e.

Yönetmelik ile SKDM kapsamında yer alan ürünler, yalnızca yetkili bir SKDM beyan sahibi tarafından AB'ye ithal edilebilecektir. Bu nedenle, ana uygulama dönemi başladığında, AB içerisinde yer alan ithalatçıların yetkilendirilmiş beyan sahibi olmak üzere gümrüğe başvurması gerekmektedir. SKDM kapsamında yer alan aktörler ile temel görev ve sorumluluklar Şekil 7'deki gibidir.



Şekil 7: SKDM İşleyişinde Görev Sorumluluklara Genel Bakış [102]

102. European Union Customs&Tax EU Learning Portal'da yer alan "Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) – Introduction" eğitim sunumundaki bilgilerden derlenmiştir.

SKDM'nin geçiş dönemi ile ana uygulama dönemine ait özet karşılaştırma, Tablo 3'te yapılmaktadır.

Tablo 3: SKDM Fazlarının Karşılaştırması

Kriter	Geçiş Dönemi	Ana Uygulama Dönemi
Yükümlülük	Yalnızca raporlama – Sanayinin ve yerel ithalatçıların Ana Uygulama Dönemi'ne hazırlanmasına odaklıdır.	İthalatçıların ithal ettikleri ürünlere ilişkin sertifikaları teslim etmeleri gerekmektedir.
Kayıt	Geçici Kayıt Sistemi	Kesin Kayıt Sistemi
Beyan Sahibi	Raporlama Beyan Sahibi – örn. Gümrükçü	Yetkili Beyan Sahibi – 1 Ocak 2025'ten itibaren ithalatçılar veya gümrük temsilcileri yetkili SKDM beyan sahibi olmak için başvurabilecektir.
Raporlama	1. Yıl – Şirketler aşağıdaki seçeneklere sahiptir: a) Tam raporlama – Yeni AB metodolojisi. b) 3. ülkelerde uygulanan denk sistemler (Tanınmış/yasal düzenlemeye tabi). c) Referans değerlere dayalı raporlama (Temmuz 2024'e kadar). 2. Yıl – AB yöntemi veya varsayılan değerler.	AB yöntemi veya varsayılan değerler
Doğrulama	Zorunlu değil.	Zorunlu. Doğrulamanın nasıl işleyeceğine dair çalışmalar devam etmektedir.

Ana uygulama dönemi başladığında, her yılın 31 Mayıs'ına kadar, bir önceki takvim yılına ait toplam SKDM sertifikalarının kayıt sistemine teslim edilmesi gerekmektedir. Sertifikaların sisteme teslimi de yetkili beyan sahipleri tarafından gerçekleştirilecektir. SKDM beyanlarının temel olarak aşağıdaki bilgileri içermesi beklenmektedir.

1. Bir önceki yıl ithal edilen her ürünün toplam miktarı
2. Ürünlere ait toplam gömülü emisyonlar (ürün başına tCO_2e cinsinden)
3. Teslim edilmesi gereken toplam SKDM sertifikası miktarı
4. Akredite doğrulayıcılar tarafından hazırlanmış doğrulama raporları

SKDM ürününün ithal edildiği üçüncü taraf ülkede bir karbon fiyatlandırma mekanizması mevcut ise SKDM sertifikalarında mahsuplaşmaya müsaade edilmektedir. Örneğin, AB ETS'de birim karbon fiyatı 90 Euro iken SKDM ürününün ithal edildiği ülkede ton başına 25 Euro'luk bir karbon tarifesi mevcut ise SKDM kapsamında ton başına ödenmesi gereken sertifika fiyatı 65 Euro olabilecektir. Ancak, üçüncü taraf ülkede uygulanan fiyatlandırma mekanizmasının AB ETS'ye denkliğinin değerlendirmesi gerekmektedir.

Yetkili beyan sahibinin sisteminde kalan fazla SKDM sertifikaları, ilgili üye ülke tarafından yeniden satın alınabilmektedir. Fazla sertifikaların üye ülkeye geri satılması ile ilgili taleplerin en geç 30 Haziran'a kadar bildirilmesi gerekmektedir. Üye ülke tarafından yeniden satın alınabilecek maksimum sertifika miktarı, yetkili beyan sahibi tarafından satın alınan toplam SKDM sertifikasının en fazla üçte biri olabilmektedir.

2.4. SKDM Uygulama Yönetmeliği

Avrupa Komisyonu, 17 Ağustos 2023'te, geçiş dönemine yönelik raporlama yükümlülüklerini belirlemek üzere bir Uygulama Yönetmeliği yayımlamıştır.[103] Bu Yönetmelik'te, üç aylık raporlama döneminde beyan edilmesi gereken bilgilere yer verilmektedir. Geçiş döneminde, SKDM ürünlerinin gömülü emisyonlarının bazı alternatif hesaplama yöntemleri ile hesaplanmasına müsaade edilmektedir. Ancak, geçiş döneminin ardından, Yönetmelik Ek 4'te yer alan yöntemin uygulanması gerekmektedir.

SKDM raporlarında, ithal edilen ürün tipi ve miktarına ek olarak, gömülü emisyonlara ilişkin aşağıdaki bilgilerin bulunması gerekmektedir.

- İthal edilen ürünün menşe ülkesi
- Ürünlerin üretildiği tesis (konum, firma adı, firma adresi, tesisin ana emisyon kaynaklarının coğrafi koordinatları)
- Üretim rotaları (kullanılan teknoloji, üretim rotasını betimleyen spesifik göstergeler hakkında bilgi dahil)
- Spesifik gömülü doğrudan emisyonlar
- Gömülü emisyonlara etkisi olan raporlama gereklilikleri

Gömülü dolaylı emisyonlar için raporlanması gereken bilgiler ise aşağıdaki gibidir.

- İthal edilen ton ürün başına tüketilen elektrik miktarı
- Gerçek emisyon verisi veya varsayılan emisyon değerlerinin kullanımına ilişkin bilgi
- Elektrik emisyon faktörü
- Spesifik gömülü dolaylı emisyonlar (ton ürün başına)

103. European Commission. (2023). Official Journal of the European Union, (EU) 2023/1773. Erişim adresi: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2023_228_R_0006#d1e40-94-1.

Gömülü emisyonların hesaplanması:

Gömülü emisyonlar, hesaplama temelli yöntem veya ölçüm temelli yöntem kullanılarak hesaplanabilmektedir. 1 Aralık 2024'e kadar, aşağıdaki izleme ve raporlama yöntemlerinin kullanımına müsaade edilmektedir.

- Tesisin bulunduğu ülkede yer alan bir karbon fiyatlandırma mekanizmasına göre yapılan hesaplamalar,
- Tesisin bulunduğu ülkede yer alan zorunlu emisyon raporlama sistemine göre yapılan hesaplamalar,
- Tesiste akredite bir doğrulayıcı tarafından doğrulamayı içeren emisyon hesapları.

Uygulama Yönetmeliği ayrıca aşağıdaki hususlara yönelik bilgi ve gereklilikleri içermektedir.

- Raporların sunulması
- SKDM raporlarında yapılacak değişiklik ve düzeltmeler
- Geçici kayıt sistemi ve sistemin teknik bileşenleri
- SKDM raporlarının Komisyon tarafından kontrolü ve bilgi kullanımı
- Komisyon değerlendirmesi
- Eksik veya yanlış SKDM raporları
- SKDM raporlarının yetkili otoriteler tarafından kontrolü ve bilgi kullanımı
- Gizlilik
- Yaptırım
- Rapor yapısı
- Sektörlere göre üretim rotaları, sistem sınırları ve ilgili öncül maddeler hakkında bilgi
- İzleme ve raporlamaya yönelik ilave teknik bilgi

Son olarak, 8 ve 13 Aralık 2023 tarihlerinde, AB içerisinde yer alan tesisler ve üçüncü taraf ülkelerde yer alan tesisler için iki ayrı uygulama kılavuzu yayımlanmıştır.[104,105] Bu kılavuzlar, SKDM kapsamında yer alan her bir sektör özelinde spesifik gömülü emisyon hesaplamaya ve raporlamaya yönelik detaylı bilgiler sunmaktadır. SKDM kapsamında ürünlerde gömülü emisyonların belirlenmesine yönelik temel bilgiler Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da özetlenmektedir.

104. European Commission. (2024). Guidance document on CBAM implementation for installation operators outside the EU. Erişim adresi: https://taxation-customs.ec.europa.eu/system/files/2023-12/Guidance%20document%20on%20CBAM%20implementation%20for%20installation%20operators%20outside%20the%20EU.pdf

105. European Commission. (2024a). Guidance document on CBAM implementation for importers of goods into the EU. Erişim adresi: https://taxation-customs.ec.europa.eu/document/download/bc15e68d-566d-4419-88ec-b8f5c6823eb2_en?filename=Guidance%20document%20on%20CBAM%20implementation%20for%20importers%20of%20goods%20into%20the%20EU.pdf

Önemli Terimler

Basit ürünler
SKDM kapsamında sıfır gömülü emisyona sahip olduğu kabul edilen yakıtlardan ve hammadelerden üretilen ürünler

Kompleks (karmaşık) ürünler
Basit veya karmaşık ürünler olabilen diğer SKDM ürünlerinden (öncüler) üretilen ürünler

Öncül maddeler (girdiler)
SKDM kapsamına giren başka bir ürünün üretiminde kullanılan basit veya karmaşık ürünler

Üretim süreçleri
Bir ürün grubu kategorisi ve onun belirlenmiş sistem sınırları altındaki ürünleri üretmek için bir tesisin belirli bölümlerinde gerçekleştirilen kimyasal veya fiziksel süreçler

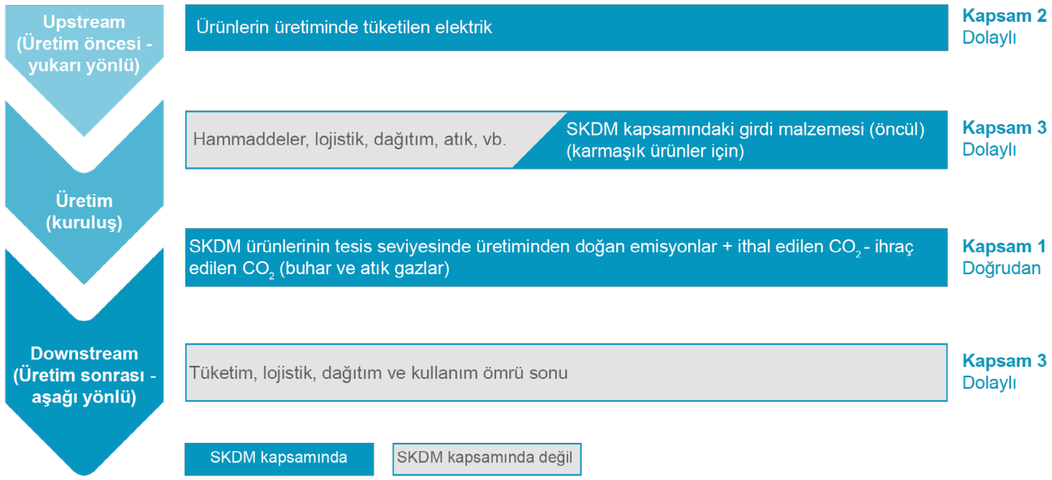
Üretim yöntemleri
Bir üretiim sürecinde ürün üretmek için kullanılan spesifik teknoloji

Ürün grubu kategorisi
Farklı CN kodlarına ancak benzer özelliklere sahip SKDM ürünleri grubu
Her ürün grubu kategorisi ve üretim yöntemi için: sistem sınırları (girdi, çıktı ve karşılık gelen emisyonlar), emisyonların izlenmesi ve ilgili öncül maddelere ilişkin hükümler

Şekil 8: SKDM Raporlamasına Yönelik Temel Terimler[106]

106. European Commission. (2024). Guidance document on CBAM implementation for importers of goods into the EU dokümanında yer alan bilgilerden derlenmiştir.

Geçiş Dönemi Kapsamlarına Göre SKDM Emisyonları (Ekim 2023 - Aralık 2025)



Şekil 9: SKDM Geçiş Döneminde Emisyonların Kapsamlara Göre Dağılımı[107]

Spesifik Gömülü Emisyonların Belirlenmesi

Şekil 10: Spesifik Gömülü Emisyonların Belirlenmesinde Takip Edilen Adımlar[108]

107. European Union Customs&Tax EU Learning Portal'da yer alan "Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM): Cement sector" eğitim sunumlarındaki bilgilerden derlenmiştir.
108. European Union Customs&Tax EU Learning Portal'da yer alan "Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM" eğitimlerinin sunumlarındaki bilgilerden derlenmiştir.

AB Dışındaki SKDM Uygulamaları

Birleşik Krallık (BK), büyük ekonomiler arasında net sıfır emisyon hedefini yasalaştıran ilk ülkedir. Karbon fiyatlandırmasının ve karbon piyasalarının öncülerinden biri olan ülke hem yerel eylemleriyle hem de dünya çapındaki katkılarıyla bu alanda öncü bir rol oynamaktadır.[109] 2021 yılında BK ETS'nin yürürlüğe girmesiyle Birleşik Krallık AB ETS'den çıkmıştır. AB ile uyumun sağlanması için 2027 yılına kadar yeni bir ithal karbon fiyatlandırma mekanizması uygulanması planlanmaktadır.[110] Hükümet, AB SKDM'nin faaliyete geçmesinin ardından 2027 yılında alüminyum, çimento, seramik, gübre, cam, hidrojen ve demir-çelik sektörlerinden belirli karbon yoğun malların ithalatı için ülkeye özgü bir SKDM (BK SKDM) getireceğini duyurmuştur. BK SKDM kapsamında belirlenen karbon fiyatının uluslararası ticaret ortaklarıyla uyumlu olmasını sağlamak için ithal malların üretim süreçlerinde ödenen yurt dışı karbon fiyatları da hesaba katılacaktır. Ayrıca hükümet, ithalatçılara kolaylık sağlamak amacıyla karbon emisyonlarını azaltan şirketler için çeşitli teşvikler ve destekler sunacaktır.[111] BK 2021 yılında AB'ye yaklaşık 6,7 milyar sterlin değerinde AB SKDM ürünü ihraç etmiştir ve bu rakam BK'nın AB'ye yaptığı toplam mal ihracatının %3,7'sini temsil etmektedir.[112] Büyük bir makroekonomik etki beklenmemekle birlikte karbon fiyatlandırması farkı ve sertifikalandırma ücretlerinden kaynaklanan ek maliyetler oluşması öngörülmektedir.[113] AB'ye ihracat yapan BK ihracatçılarına emisyon hesaplama, gereksinimlere uyum saplama ve işlerine olan etkinin hafifletilmesi yönünde hükümet rehberliği ve desteği sağlanmaktadır.[114]

Amerika Birleşik Devletleri (ABD), sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar 2005 yılı seviyelerine göre %50-52 oranında azaltmayı ve 2050 yılına kadar karbon nötr olmayı hedeflemektedir.[115] Bu hedefler kapsamında emisyon ticaret sistemleri ve karbon fiyatlandırma mekanizmaları gibi ekonomik araçlar devreye sokulmaktadır. ABD nüfusunun dörtte birinden fazlasına ev sahipliği yapan ve ABD gayrisafi hasılasının üçte birini oluşturan on iki eyalet aktif karbon fiyatlandırma programlarına sahiptir.[116] Bölgesel Sera Gazı Girişimi (Regional Greenhouse Gas Initiative

109. UK Government. (2024). UK emissions trading scheme markets. Erişim adresi: https://www.gov.uk/government/publications/uk-emissions-trading-scheme-markets/uk-emissions-trading-scheme-markets
110. UK Government. (2023). New UK levy to level carbon pricing. Erişim adresi: https://www.gov.uk/government/news/new-uk-levy-to-level-carbon-pricing
111.UK Government. (2024). Introduction of a UK carbon border adjustment mechanism from January 2027. Erişim adresi: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65fc11fef1d3a0001132ac6f/Introduction_of_a_UK_carbon_border_adjustment_mechanism_from_January_2027.docx.pdf
112. Centre for International Trade and Policy. (2024). The economic significance of the EU CBAM in the UK. Erişim adresi: https://citp.ac.uk/publications/the-economic-significance-of-the-eu-cbam-in-the-uk
113. Dillon, A., Burnett, N. & Jozepa, I. (2024). CBAM. Erişim adresi: https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/CBP-9935/CBP-9935.pdf
114. UK Government. (2024). Summary of European Commission guidance on the EU CBAM for UK exporters. Erişim adresi: https://www.gov.uk/government/publications/summary-of-european-commission-guidance
115. US Department of State. (t.y.). Climate crisis policy issues. Erişim adresi: https://www.state.gov/policy-issues/climate-crisis/
116. Center for Climate and Energy Solutions. (2024). US State Carbon Pricing Policies. Erişim adresi: https://www.c2es.org/document/us-state-carbon-pricing-policies/

AB Dışındaki SKDM Uygulamaları

– RGGI) ve Kaliforniya Emisyon Üst Sınırı ve Ticareti (California Cap-and-Trade) programları ABD'de en yaygın kullanılan ve etkisi büyük ETS programlarıdır. [117,118] ABD'nin ulusal düzeyde bir karbon fiyatlandırması olmadığı için AB SKDM'nin ABD üzerinde etkileri olması beklenmektedir. Ancak ABD'nin SKDM kapsamında gerçekleştirdiği ihracatın sınırlı olması sebebiyle (2022 ihracatı %1,1) ABD sanayisinde büyük bir etki görülmeyecektir.[119] 2024'te başlayacak SKDM yasa tasarısı ABD Kongresi'ne sunulmuş olup gelirlerin azaltım teknolojileri için Ar-Ge çalışmaları, çevresel uyum hibeleri, toplumsal dayanıklılık programları ve küçük işletmeler için destek gibi amaçlarla kullanılması öngörülmektedir.[120]

Çin'in 2017 yılında başlayan ulusal ETS programı, 2021 yılında tam olarak uygulamaya alınmıştır. ETS'nin yaklaşık 5 milyar tCO_2 ile kapsadığı emisyonlar açısından dünyanın en büyüğü olduğu bilinmekte ve ülkenin CO_2 emisyonlarının %40'ından fazlasını hesaba kattığı tahmin edilmektedir. Başlangıçta enerji sektörüne odaklanmış olan sistemin ilerleyen yıllarda diğer sektörleri de kapsayacak şekilde genişletilmesi planlanmaktadır. Sistem, enerji üreticileri için yıllık emisyon üst sınırları belirlemekte ve bu sınırları aşanların karbon kredisi satın almasını gerektirmektedir. Çin, 2021 yılında başlattığı ETS ile enerji sektöründe yer alanve yıllık 26.000 tCO_2'den fazla emisyona sahip 2000'den fazla şirketi kapsamaktadır. [121] SKDM açısından, Çin'in ihracat odaklı ekonomisi nedeniyle bu mekanizmaların Çinli üreticiler üzerinde önemli etkileri olması beklenmektedir. Özellikle çelik, çimento, kimya gibi enerji yoğun sektörler, SKDM'nin getireceği maliyet artışlarından en çok etkilenecek sektörler arasında yer almaktadır. Çin, bu duruma hazırlıklı olmak amacıyla yeşil teknoloji yatırımlarını artırmakta ve yenilenebilir enerji kapasitesini genişletmektedir. 2024 yılında Çin'in yenilenebilir enerji kapasitesinin, toplam küresel enerji kapasitesinin %40'ına ulaşacağı öngörülmektedir.Hindistan, gelişen ekonomisi ve hızla artan enerji talebiyle birlikte karbon emisyonlarını azaltma konusunda önemli adımlar atmaktadır.[122]

Hindistan henüz ulusal bir ETS'ye sahip olmamakla birlikte, çeşitli pilot projeler (Karbon Kredisi Ticaret Programı) ve bölgesel karbon piyasaları ile ETS'ye geçiş yapma hazırlıklarını

117. Center for Climate and Energy Solutions. (t.y.). Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI). Erişim adresi: https://www.c2es.org/content/regional-greenhouse-gas-initiative-rggi/
118. California Air Resources Board. (t.y.). Cap-and-Trade Program. Erişim adresi: https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/cap-and-trade-program
119. Hoenig, D. (2023). Potential CBAM Impacts on U.S. Industry. Erişim adresi: https://clcouncil.org/blog/potential-cbam-impacts-on-u-s-industry/
120. Jackson, S. (2021). US perspectives on carbon border adjustment mechanism. Erişim adresi: https://www.e3g.org/wp-content/uploads/US-perspectives-on-carbon-border-adjustment
121. International Carbon Action Partnership. (2022). China National ETS. Erişim adresi: https://icapcarbonaction.com/system/files/ets_pdfs/icap-etsmap-factsheet-55.pdf
122. International Energy Agency (IEA). (t.y.). China. Erişim adresi: https://www.iea.org/countries/china

AB Dışındaki SKDM Uygulamaları

sürdürmektedir.[123] Hindistan hükümeti, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı ve enerji verimliliğini geliştirmeyi amaçlayan çeşitli politikalar uygulamaktadır. Hindistan, 2021 yılında Ulusal Hidrojen Misyonu'nu başlatmış olup yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretimini teşvik etmeyi hedeflemektedir. Ayrıca Hindistan, 2030 yılına kadar toplam elektrik kurulu gücünün %40'ını yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşturma hedefine, belirlenen tarihten 9 yıl önce ulaşmıştır.[124] Yeşil finansman ve teknolojik yeniliklere yatırım yapılan ülkede, bu sektörlerin dönüşümünün hızlandırılması planlanmaktadır. Özellikle, Hindistan İhracat-İthalat Bankası (EXIM Bank) ve diğer finans kuruluşları aracılığıyla yeşil projelere yönelik finansman imkanları sunulmaktadır.[125]

Singapur, sınırlı doğal kaynaklarına rağmen, sürdürülebilir kalkınma ve yeşil dönüşüm konularında dikkat çeken bir performans sergilemektedir. Ülke, 2019 yılında karbon vergisi uygulamasını başlatarak karbon emisyonlarını azaltma konusundaki çalışmalarını hızlandırmıştır. Söz konusu karbon vergisi enerji yoğun sektörleri kapsamakta ve emisyonları azaltmaya yönelik teşvikler sunmaktadır. Singapur'un karbon vergisi, 2024 yılı itibarıyla 45 Singapur Doları olarak belirlenmiştir, ancak bu verginin kademeli olarak artırılacağı ve 2030 yılına kadar ton başına 50-80 Singapur Doları seviyesine çıkarılacağı açıklanmıştır.[126] Hükümet, emisyon yoğun şirketlerin geçiş dönemlerini kolaylaştırmak amacıyla ücretsiz tahsisat da sağlamaktadır. Her bir tesise verilen tahsisat miktarı, mevcut olduğu durumlarda uluslararası kabul görmüş verimlilik ölçütlerindeki performansa ve tesisin karbonsuzlaştırma planlarına göre belirlenmektedir. SKDM'nin Singapur üzerindeki etkileri hidrojen sektöründe yoğunlaşacaktır.[127] Singapur, bu sektörlerdeki firmaların karbon ayak izlerini azaltmalarına yardımcı olmak amacıyla yeşil teknoloji ve yenilikçi çözümler geliştirmeye odaklanmaktadır. Ayrıca, Singapur hükümeti yeşil finansman araçları ve sürdürülebilirlik odaklı yatırım stratejileri ile özel sektörü desteklemektedir. Singapur Green Plan (Singapur Yeşil Planı) 2030, bu çerçevede önemli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır.[128]

123. Press Information Bureau, Government of India. (2023). [Press release on India's energy plans]. Erişim adresi: https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1923458
124. World Economic Forum. (2024). How India is emerging as an advanced energy superpower. Erişim adresi: https://www.weforum.org/agenda/2024/05/india-emerging-advanced-energy-superpower/#:~:text=India%20has%20set%20bold%20ambitions,sources%20nine%20years%20in%20advance
125. Export-Import Bank of India. (2023). Sustainability Report. Erişim adresi: https://www.eximbankindia.in/assets/pdf/public-declarations/EXIM-SR-English23.pdf
126. National Climate Change Secretariat, Singapore. (t.y.). Carbon tax. Erişim adresi: https://www.nccs.gov.sg/singapores-climate-action/mitigation-efforts/carbontax/#:~:text=To%20support%20our%20net%20zero,tCO2e%20by%202030.
127. Ghosh, J., Xi, G., & Won, J. K. (2023). Implications of the EU CBAM for the ASEAN industries. Erişim adresi: https://esi.nus.edu.sg/docs/default-source/bulletin/esi-pb-69_implications-of-the-eu-cbam-for-the-asean-s-industries.pdf?sfvrsn=4e5cfa22_1
128. Singapore Green Plan 2030. (t.y.). Singapore Green Plan 2030. Erişim adresi: https://www.greenplan.gov.sg/

3. SKDM ve Türkiye Etkileşimi

SKDM'nin Türkiye İçin Önemi

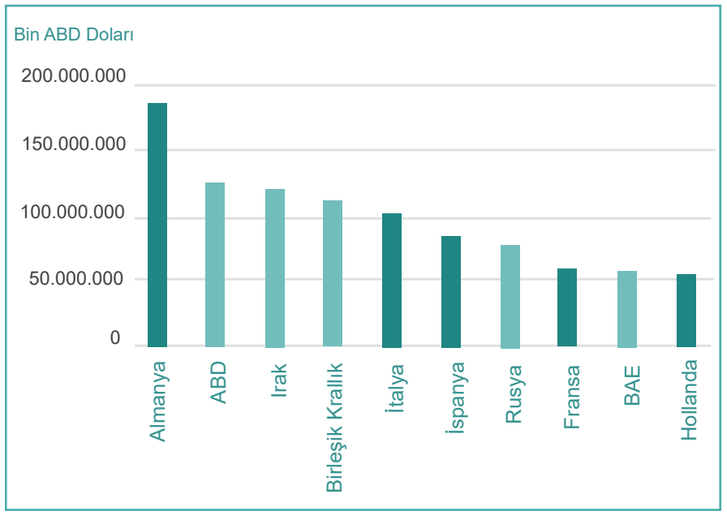
Türkiye'de SKDM Özelinde Yürütülen Hazırlık Çalışmaları

3. SKDM ve Türkiye Etkileşimi

3.1. SKDM'nin Türkiye İçin Önemi

SKDM, Türkiye gibi ekonomisi üretim süreçlerinde yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyulan ve hammadde kaynaklı karbon emisyonlarının yoğun olduğu ürün gruplarının (otomotiv, tekstil, çimento, demir/çelik, hazır giyim, beyaz eşya, tarım ve gıda ürünleri vb.) ihracatına dayalı ülkelerin dış ticaret dengesini etkileyebilecek ölçekte kritik bir gelişmedir. Bu durum, başta AB olmak üzere SKDM benzeri mekanizmaların uygulandığı ülkelere/bölgelere ihraç edilen Türk menşeli ürünlerin maliyetlerinin artması ve rekabet gücünün azalması gibi riskleri beraberinde getirmektedir.

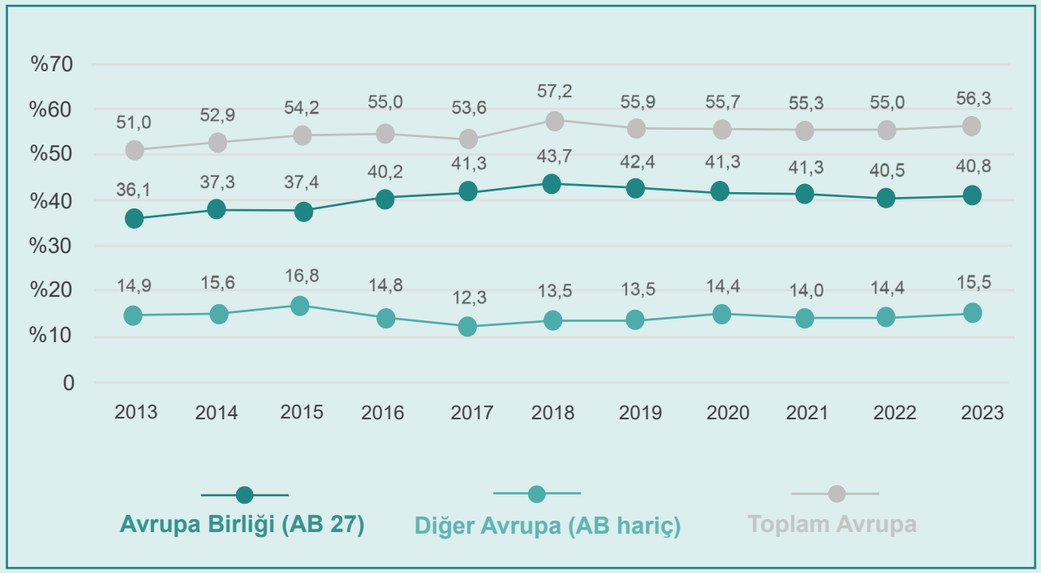
Ülkemizin dış ticaret istatistiklerinin son on yıl içerisindeki dağılımı incelendiğinde yoğunluğun AB ülkelerinde olduğu görülmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) alınan verilerin paylaşıldığı Şekil 11'de görüldüğü üzere, Türkiye'nin en çok ihracat yaptığı ilk 10 ülkenin 5'i AB ülkesidir. Ayrıca bu 10 ülkenin içinde AB ile paralel emisyon politikaları uygulayan Birleşik Krallık da yer almaktadır.



Şekil 11. En Çok İhracat Yapılan Ülkeler 2013-2023 (Bin ABD Doları)[129]

129. Türkiye İstatistik Kurumu (2024). Dış Ticaret. Erişim adresi: https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Dis-Ticaret-104

Ticarette dijital platformların kullanımının artmasıyla Türkiye'nin diğer uzak bölgeler ile yaptığı ticaret hacmi genişlese de AB ülkeleri Türkiye'nin dış ticaretindeki önemini korumaya devam etmektedir. 2023 yılına ait ihracat büyüklüklerinin AB27 ülkeleri için 104 milyar 329 milyon ABD Doları, Yakındoğu ve Ortadoğu ülkeleri için 45 milyar 758 milyon ABD Doları ve diğer Avrupa ülkeleri için 39 milyar 665 milyon ABD Doları olarak gerçekleşmesi bu durumu destekleyen bir veridir.[130] Ayrıca, TÜİK verilerine dayalı Şekil 12'deki grafikte görüldüğü üzere Avrupa ülkelerine (AB dışı Avrupa ülkeleri dahil) yapılan ihracatın toplam ihracat hacmi içerisindeki payı %56,3 seviyelerine ulaşmıştır.



Şekil 12: AB ve AB Dışı Avrupa Ülkelerine İhracat Oranları (%)[131]

Tüm bu istatistikler göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'nin AB ile dış ticaretini sürdürülebilir bir şekilde yönetebilmesi için SKDM ve bağlantılı diğer yasal düzenlemeleri sıkı bir şekilde takip ederek kendi iç mevzuatını oluşturması, yeşil ekonomiye geçişe ve karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik iklim politikalarını SKDM ile uyumlu bir şekilde belirlemesi son derece önemlidir. Türk şirketlerinin daha rekabetçi hale gelebilmek ve dış ticarette yeni fırsatlar yaratılabilmek için iş süreçlerini gözden geçirmeleri, kısa vadede ulaşabilecekleri hedefleri de içeren karbonsuzlaşma yol haritalarını hazırlamaları gerekmektedir.

130. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2024). Aylık Dış Ticaret Veri Bülteni: Aralık 2023. Erişim adresi: https://ticaret.gov.tr/data/6593b61b13b876fb4cb76363/Ayl%C4%B1k%20D%C4%B1%C5%9F%20Ticaret%20Veri%20B%C3%BCltenI_Aral%C4%B1k_5.pdf
131. Türkiye İstatistik Kurumu (2024). a.g.e.

3.1.1. SKDM'nin İlk Etapta Kapsadığı Sektörler

SKDM, AB ETS için tamamlayıcı bir mekanizma niteliğinde olup SKDM'nin temel hedeflerinden birisi, tüm ülkelerin kendi emisyon ticaret sistemlerini kurmasıyla ticaret faaliyetlerinin ortaklaşmış normlar üzerinden sürdürülmesidir. 16 Mayıs 2023 tarihli AB Resmî Gazetesi'nde yayımlanan nihai yönetmelik uyarınca, SKDM ilk etapta karbon yoğun üretim süreçlerine sahip ve karbon kaçağı riski en yüksek olan **çimento, demir-çelik, alüminyum, gübre, elektrik enerjisi üretimi ve hidrojen** sektörlerine ait ürünler ve gömülü emisyona sahip girdiler (precursors) için uygulanacaktır.

> **"SKDM, tam olarak devreye girdiğinde, AB ETS kapsamındaki sektörlere ait sera gazı emisyonlarının %50'sinden fazlasını kapsamış olacaktır."[132]**

Bunun yanında, AB ETS'yi uygulayan (Norveç, İzlanda, Lihtenştayn) veya AB ETS ile tamamen bağlantılı yerel ETS'ye sahip ülkelerle (Avrupa Ekonomik Alanı [AEA] ve Avrupa Savunma Birliği [ASTB] ülkeleri) gerçekleştirilen ithalat faaliyetleri, değeri 150 Euro'dan az olan ürün ve sevkiyatlar ile askeri faaliyetlerde kullanılan ürünler SKDM kapsamı dışında yer almaktadır.[133]

3.1.2. Orta Vadede SKDM Kapsamına Girmesi Beklenen Sektörler

AB ETS, faaliyetleri neticesinde yüksek düzeyde CO_2, CH_4, nitröz oksit (N_2O) ve perflorokarbon (PFC) emisyonuna neden olan aşağıdaki sektörleri kapsamaktadır:

- Elektrik ve ısı üretimi sektörleri,
- Petrol rafinerileri,
- Çelik fabrikaları,
- Demir, alüminyum, metal, çimento, kireç, cam, seramik, kâğıt hamuru, kâğıt, karton, asitler ve dökme organik kimyasalların üretimi dahil olmak üzere enerji yoğun sanayi sektörleri,
- Avrupa Ekonomik Alanı içindeki havacılık faaliyetleri, İsviçre ve Birleşik Krallık'a giden uçuşlar,
- AB dışında başlayan veya biten, iki AB limanı arasındaki deniz taşımacılığı seferleri ve gemilerin AB limanları içindeki faaliyetleri,
- Nitrik, adipik ve glioksilik asitler ve glioksal üretim sektörleri.[134]

132. European Commission. (t.y.a). a.g.e.
133. European Commission. (2024a). a.g.e.
134. European Parliament. (2023). Review of the EU ETS 'Fit fot 55' package. Erişim adresi: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698890/EPRS_BRI(2022)698890_EN.pdf

SKDM'nin ürün kapsamının 2030 yılına kadar tüm AB ETS sektörlerini kapsayacak şekilde genişletilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, Avrupa Parlamentosu, Avrupa Komisyonu tarafından önerilen sektörlere ek olarak SKDM'nin organik kimyasalları, plastikleri ve amonyağı da kapsayacak şekilde genişletilmesini talep etmektedir. Ayrıca, Parlemento üyeleri, iklim hedeflerinin güçlendirilebilmesi için üreticiler tarafından kullanılan elektrik ile ısıtma veya soğutmadan kaynaklanan dolaylı emisyonların da SKDM kapsamına alınmasını önemli görmektedir. Mevcut kapsamın genişletilmesini yeniden değerlendirmek amacıyla, AB Komisyonu'nun 31 Aralık 2025 tarihine kadar ayrıntılı bir değerlendirme raporu hazırlaması beklenmektedir.[135]

Bu doğrultuda, mevcut durumda kapsama dahil edilmeyen diğer sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin de emisyonlarını doğrulukla ölçebildiği, raporlayabildiği ve doğrulayabildiği bir altyapıyı bugünden oluşturulması önerilmektedir.[136]

3.2. Türkiye'de SKDM Özelinde Yürütülen Hazırlık Çalışmaları

Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik taahhütlerini yerine getirmesi ve SKDM'ye uyum sağlaması için gerek kamuda gerekse özel sektörde çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu kapsamda SKDM'ye geçişi destekleyen politika ve düzenlemeler, ekonomik reformlar, sektörel etki analizleri, kapasite geliştirme çalışmaları ve uyum projeleri gibi sektör içi ve sektörler arası koordinasyonu artıran gelişmeler yaşanmaktadır.

Türkiye'de gerçekleştirilen SKDM odaklı çalışmalar AYM'nin yayımlanmasının ardından daha da hız kazanmıştır. AYM doğrultusunda **Temmuz 2021**'de yayımlanan ve Türkiye'nin yol haritasını ve stratejik planlarını ortaya koyan **Yeşil Mutabakat Eylem Planı**'nda[137], SKDM'nin gündeme geleceği ve Türkiye için kritik bir konuma yerleşeceği öngörüsüyle Türkiye-AB ticareti üzerindeki etkileri sınırlama yönünde çalışmalar yapılması, enerji yoğun ve kaynak yoğun sektörlere yönelik olası etkilerin incelenmesi, karbon düzenlemesine tabi sektörlerde sera gazı emisyonlarının azaltılması için atılacak adımların belirlenmesi, Türkiye için karbon fiyatlandırma mekanizması geliştirilmesi ve ilgili belgelendirme ve raporlama sistemlerinin oluşturulması gibi eylemler yer almaktadır.

135. European Parliament. (2022). Legislative Observatory: Carbon Border Adjustment Mechanism. Erişim adresi: https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/summary.do?id=1708656&t=e&l=en
136. European Commission. (t.y.). Scope of the EU ETS. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/scope-eu-emissions-trading-system_en
137. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2021). a.g.e.

SKDM temelli yeşil dönüşümde en kilit unsurlardan biri de finansmandır. Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK) tarafından **Aralık 2021**'de kamuoyu ile paylaşılan **2022-2025 Sürdürülebilir Bankacılık Stratejik Planı**'nın[138] temel amacı finans sektöründe sürdürülebilir bir altyapı inşa etmektir. Stratejik hedefler; (1) iklimle ilişkili risklerin etkili bir şekilde yönetilip izlenmesi, (2) sürdürülebilir bir ekonomiye geçiş için gerekli finansmanın iyileştirilmesi ve (3) bankacılık sektörünün 2026 yılına kadar, yani Türkiye'nin ekonomik ve finansal sistemi için önemli bir geçiş teşkil edecek SKDM'den kaynaklanacak finansal yük artana kadar gerekli uyumun sağlaması için ilgili taraflar arasında iş birliğinin artırılmasını içermektedir. Belgede, SKDM'nin ihracatının yarısına yakınını AB ülkelerine gerçekleştirmekte olan Türkiye ekonomisi açısından önemli bir risk oluşturduğuna değinilmekte ve SKDM gibi düzenlemelere uyum sürecinde Türk bankacılık sektörünün karşılaştığı zorluklar ve bu süreçte karbon emisyonlarının azaltılması için atılması gereken önemli adımlar üzerinde durulmaktadır.

SKDM ile ETS bir bütün olarak ele alınması gereken kavramlar olup hem yerel hem de küresel piyasaları yeşil dönüşüme yönlendiren birbiriyle uyumlu mekanizmalardır. Türkiye gibi ETS veya benzer karbon fiyatlandırma mekanizmasına sahip olmayan ülkeler, bu tarz düzenlemeler altında ticari yaptırımlarla karşılaşabilmektedir. Karbon fiyatlandırma mekanizmalarına sahip ülkelere yapılan ihracatlar, sınırda karbon maliyetlerinin uygulanması nedeniyle daha pahalı ve daha az rekabetçi hale gelebilmektedir. **Şubat 2022**'de gerçekleştirilen Türkiye'nin ilk **İklim Şurası**'nda Türkiye'de ETS kurulması ve 2024 yılında pilot olarak uygulamaya geçilmesine yönelik tavsiye kararı alınmıştır.[139] Bu doğrultuda, Dünya Bankası ile gerçekleştirilen ve 2013-2021 yılları arasında iki uygulama dönemini kapsayan Piyasa Hazırlık Ortaklığı (Partnership for Market Readiness – PMR) projesinden 2023-2028 yıllarını kapsayacak **Piyasa Uygulama Ortaklığı (Partnership for Market Implementation – PMI)**[140] projesine geçiş yapılmıştır. Yakın zamanda başlaması öngörülen PMI kapsamında Türkiye için ETS tasarımı, ETS'nin ekonomik etkilerine yönelik modelleme çalışmaları, ETS'nin pilot ve birinci fazının uygulanması, karbon fiyatlandırma araçlarında adil geçiş sağlanması ve ETS sektörleri için sera gazı emisyonu kıyas ölçütlerinin belirlenmesi gibi konuların çalışılması planlanmaktadır.

Türkiye, Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (European Bank for Reconstruction and Development – EBRD) tarafından finanse edilen ve SKDM sektörlerinden çelik, çimento, alüminyum ve gübre sanayiinin karbonsuzlaştırılmasına odaklanan **Düşük Karbon Yolları (Low Carbon Pathways – LCP)**[141] projesini **2022** yılında başlatmıştır. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın faydalanıcı olduğu proje kapsamında yeşil dönüşümün sağlanması ve emisyonların azaltılması için sektör bazında gerekli teknolojilerin, ek yatırımların ve politika adımlarının belirlendiği senaryolar geliştirilmiş ve uygun modelleme yöntemi ile bu senaryoların her biri için emisyon öngörüsü sayısallaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildikten sonra atılması gereken politika adımları ve yatırım ihtiyacı ile teknoloji seçenekleri, bir yol haritası altında raporlanmıştır.[142] LCP'ler, seçilen dört sektörün karbonsuzlaştırılması için, emisyonların olağan senaryoya kıyasla yılda 135 milyon ton CO_2e azaltılmasının 70 milyar ABD Doları'ndan fazla yatırım gerektirdiğini göstermektedir. LCP'ler ayrıca, Türkiye'de endüstriyel karbonsuzlaştırma için elverişli bir piyasa ortamının yaratılmasına yönelik ve AB düzenlemeleriyle uyumlu bir ulusal ETS kurulması gibi politika önerileri de sunmaktadır. Türkiye'deki sanayi sektörleri, yol haritalarının takibi sayesinde ithal fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltırken ihracatta rekabet gücünü artırabilecek ve böylelikle daha fazla yatırım olanağına erişebilecektir.

BDDK, SKDM kaynaklı riskleri analiz etmek amacıyla **Aralık 2022**'de yayımladığı **Etki Analizi Çalışması**[143] ile Türk bankacılık sektörünün kredi portföyünde meydana gelebilecek olası etkileri değerlendirmiştir. Buna göre, SKDM uygulamasının Türk bankacılık sektörü kredi portföyü üzerindeki negatif etkisinin sınırlı kalacağı tahmin edilmektedir. SKDM'den en fazla etkilenmesi beklenen sektörler demir-çelik ve çimento sanayileri olup elektrik ve gübre sektörlerinde AB'ye ihracat payının düşük olması sebebiyle portföyde belirgin bir bozulma beklenmemektedir. Alüminyum sektöründe ise birincil alüminyum üretiminin sınırlı olması sebebiyle önemli bir zarar potansiyeli görülmemektedir. Çalışma kapsamında bankaların karşılaştığı en büyük sorun olarak "emisyon verilerine erişim" başlığı öne çıkmaktadır. Finansal kuruluşlar tarafından kredi tahsis ve izleme aşamalarında bu verilere erişim sağlanması finansal sistemin güven ve istikrarı açısından önemlidir. Çalışmada, SKDM'ye uyum sağlanabilmesi için firmaların dönüşüm sürecine dair farkındalık ve kapasite geliştirmeleri, kurumsal yönetişim ve raporlama dahil gerekli kurumsal altyapıyı tahsis etmeleri ve yatırım planlarını/projelerini gecikmeden oluşturmaları önerilmektedir.

Türkiye'nin Yeşil Mutabakat Eylem Planı kapsamında kalkınma hedeflerine ilişkin ihtiyaçların belirlenmesi amacıyla, 2022 yılında Teknolojik Dönüşüm/Gelişim İhtisas Çalışma Grubu kurulmuş ve çalışmalar kapsamında demir-çelik, alüminyum, çimento, kimyasallar, plastik ve gübre gibi ön plana çıkan sektörler için **"Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası"** hazırlanmıştır. Akademisyen, araştırmacı ve sektör temsilcilerinden oluşan çalışma grubunun gerçekleştirdiği toplantılar

138. Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu. (2021). Sürdürülebilir Bankacılık Stratejik Planı 2022-2025. Erişim adresi: https://www.bddk.org.tr/KurumHakkinda/EkGetir/18?ekId=122
139. Türkiye'de pilot ETS uygulamasının 2025 yılında hayata geçirilmesi öngörülmektedir.
140. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2022). Emisyon Ticaret Sistemi Kavram ve Yürütülen Çalışmalar. Erişim adresi: https://tim.org.tr/download/8e9c2f74d6424c1ab18b980cd8ebc971/1.2.Emisyon%20Ticaret%20Sistemine%20Y%C3%B6nelik%20G%C3%BCncel%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar.pdf
141. Sarı, D. (2024). EBRD-led roadmaps pave way for decarbonisation in Türkiye. Erişim adresi: https://www.ebrd.com/news/2024/ebrdled-roadmaps-pave-way-for-decarbonisation-in-trkiye.html#:~:text=T%C3%BCrkiye%20has%20launched%20its%20low,cement%2C%20aluminium%20and%20fertiliser%20sectors
142. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2024). Düşük Karbonlu Yol Haritaları Çalışmaları (Çelik, Alüminyum ve Çimento). Erişim adresi: https://www.sanayi.gov.tr/merkez-birimi/6f188a931f68/projeler/b81284
143. Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu. (2021). a.g.e.

neticesinde, özel sektörün yeşil dönüşümü için belirlenen ihtiyaçlara yönelik teknolojik çözümler oluşturulmuştur. Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası ile teknoloji sağlayıcı şirketlerdeki veya üniversiteler ve araştırma enstitülerindeki mevcut teknolojik birikimin uygulamaya geçirilmesi; erken aşamada olan ihtiyaçlara ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi ve Ar-Ge ile yenilik destekleri de detaylandırılmıştır. Bu sayede reel sektör paydaşlarının yeşil büyümeye uyum sağlamasına imkan tanıyacak teknolojik gereksinimlere yerli çözümler üretilmesi ve bu alanlarda desteklerin verilmesi sağlanacaktır.[144]

Karbon yoğun sanayi sektörleri için AB, Türkiye'nin en önemli ticaret ve yatırım ortağı konumundadır. Bu nedenle Türkiye, iklim değişikliği kaynaklı etkileri azaltmaktan ve bağlantılı sektörlere ilişkin finansal yaklaşımını AB ile uyumlu hale getirmekten stratejik olarak fayda sağlayacak ve ihracatçıların SKDM ile ilgili risklerini de azaltacaktır. Bu uyumun önemli bir basamağı, AB taksonomisini destekleyen ulusal bir taksonomi yaklaşımının oluşturulmasıdır. Taksonomi, iklim ve çevre hedeflerini yatırım amaçlı belirli ekonomik faaliyetler için kriterlere çeviren bir sınıflandırma sistemidir. Türkiye, yatırımların sürdürülebilirliğini belirlemeyi hedefleyen ulusal bir taksonomi mevzuatı üzerinde çalışmaktadır. **2023** yılında İklim Değişikliği Başkanlığı önderliğinde Uluslararası Finans Kuruluşları (International Finance Institutions – IFIs) ile Türkiye için yeşil taksonomi şemaları oluşturmak üzere kamu ve özel kurumların teknik kapasitesini güçlendirmeyi amaçlayan çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiş[145, 146, 147] ulusal taksonomi çalışmalarına destek olmak amacıyla bir Taksonomi Teknik Uzman Grubu oluşturulmuş, Ulusal Taksonomi Paydaş Çalıştayı düzenlenmiş ve **Taksonomi Çerçeve Dokümanı** paylaşılmıştır. Belgede ayrıca, Türkiye'nin sürdürülebilir finans ve iklim değişikliği ile mücadele konularında attığı önemli adımlardan ve SKDM ile benzeri düzenlemelere uyum sağlamak için yürütülen hazırlık çalışmalarından bahsedilmiştir.

Temmuz 2023'te EBRD iş birliği ile farklı AB ETS ve ulusal karbon fiyatlandırma senaryoları altında SKDM'nin genel olarak Türkiye ekonomisi ve belirli sektörler üzerindeki etkilerinin öngörüldüğü **Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizmasının Türkiye Ekonomisine Potansiyel Etkileri**[148] çalışması kamuoyu ile paylaşılmıştır. Çalışma çıktıları demir-çelik sektörünün SKDM'den en çok etkilenecek sektör olduğunu ve çimento sektörünün ikinci sırada geldiğini göstermektedir.

144. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. (2023). Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası Genel Bilgiler ve Metodoloji. Erişim adresi: https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/2023-12/yesilbuyume_tyh_rapor_19072023.pdf

145. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı, Agence Française de Développement & Frankfurt School of Finance and Management. (2023). D-4: Review of Green Taxonomies with a Focus on Relevant Issues to Türkiye. Erişim adresi: https://iklim.gov.tr/db/turkce/projeler/files/Türkiye.pdf

146. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı, Agence Française de Développement & Frankfurt School of Finance and Management. (2023). D-5: Analysis and Identification of Potential Users. Erişim adresi: https://iklim.gov.tr/db/turkce/projeler/files/Users.pdf

147. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı, Agence Française de Développement & Frankfurt School of Finance and Management. (2023a). D-10: Analysis of Reporting and Disclosure Standards fort he Application of Taxonomies. Erişim adresi: https://iklim.gov.tr/db/turkce/projeler/files/Jurisdictions(1).pdf

148. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, European Bank for Reconstruction and Developement, & Climae Focus. (2023). Potential Impact of the Carbon Border Adjustment Mechanism on the Turkish Economy. Erişim adresi: https://iklim.gov.tr/(1)%20(1).pdf

Model sonuçlarına göre, Türkiye'nin yerel bir ETS uygulayarak SKDM'nin getirdiği maliyetleri yönetebileceği ve düşük karbonlu kalkınmayı hızlandırabileceği sonucuna varılmaktadır. AB'ye yapılan ihracatlardaki Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonlarını içeren hedef ürünlere yönelik, ton başına 75 Euro'luk bir SKDM ücreti öngörüldüğünde, sanayinin karşılaşacağı potansiyel SKDM giderleri 2027'de 138 milyon Euro'ya ulaşacaktır. Ancak, SKDM ücreti ton başına 150 Euro'ya çıkarsa, 2032'ye kadar bu giderler yıllık olarak 2,5 milyar Euro'ya çıkabilecektir. Bu durum, zamanla artan SKDM ücretlerinin, etkilenen sanayi sektörleri üzerinde giderek artan bir mali yük oluşturacağını göstermektedir. Eğer Türkiye, ulusal karbon fiyatı olarak 20 Euro/tCO_2e'lik bir fiyat belirlerse, 2027 yılı itibarıyla SKDM giderleri yıllık olarak 56 milyon Euro'ya gerileyecektir. 50 Euro/tCO_2e olarak belirlenen daha yüksek bir karbon fiyatlaması senaryosu altında, 2032 yılına kadar SKDM giderlerinin yıllık 1,08 milyar Euro'ya kadar azalması ve SKDM maliyetlerinde 1,5 milyar Euro'luk bir düşüş yaşanması beklenmektedir.

Somut hedefler ulusal kalkınma ve eylem planlarında da yerini almış, **Kasım 2023**'te yürürlüğe giren **On İkinci Kalkınma Planı**'nda[149] SKDM'ye geçişte süreci yumuşatacak düzenlemelere yer verilerek Türkiye'ye özgü ve AB ile uyumlu bir ETS kurulması gerekliliğinin altını çizmiştir. Politika ve tedbirler arasında;

- Dış ticarette rekabetçiliğin korunması ve daha ileriye taşınması için ulusal karbon fiyatlandırma mekanizmaları oluşturulması,
- Ulusal ETS'nin kurulmasına yönelik mevzuat ve diğer altyapı hazırlıklarının tamamlanması ve sistemin uygulamaya alınması,
- Ulusal ETS'de oluşacak karbon fiyatını tamamlayıcı nitelikte karbon fiyatlandırma araçlarının değerlendirilmesi ve bu durumun yatırım ortamı üzerinde yol açacağı ekonomik ve sosyal etkilerin analiz edilmesi,
- Karbon piyasaları kapsamında ulusal denkleştirme sistemine yönelik çalışmalar yürütülmesi ve uluslararası karbon piyasalarına katılım koşullarına ilişkin politikalar belirlenmesi,
- SKDM'den etkilenecek sektörler için en düşük maliyetle emisyon azaltımına yönelik çalışmaların desteklenmesi,
- SDKM sektörlerinin emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması konularında rehberlik faaliyetleri yürütülmesi,
- Yeşil dönüşüme yönelik uluslararası finansman imkanları konusunda rehber dokümanlar hazırlanması,
- Sürdürülebilir finansman modelleri geliştirilerek yeşil finansmana erişim imkanlarının artırılması,
- Karbon emisyon kullanım hakkına ilişkin piyasalar geliştirilmesi ve kullanımın teşvik edilmesi,

gibi kapsamlı girdiler bulunmaktadır.

149. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023a). a.g.e.

Ocak 2024'te yayımlanan Enerji Verimliliği **2030 Stratejisi ve 2. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı**'nda[150] ise kurulması beklenen ETS'den elde edilecek gelirlerin sanayinin yeşil dönüşümünü desteklemek amacıyla enerji verimliliği projelerinde finansal kaynak olarak kullanılmasına yönelik eylem girdisi bulunmaktadır. İklim değişikliği ile mücadelede azaltım ve uyum hedeflerinin belirlenmesi, kurumlar arası görev ve sorumlulukların tanımlanması amacıyla hazırlanan ve 2024 yılında yürürlüğe girmesi beklenen **İklim Değişikliği Kanunu Taslağı**[151] karbon piyasalarına ilişkin düzenlemeler içermektedir. Kanun taslağında; ulusal ETS kurulmasına, karbon piyasasının işleyişine ve sera gazı emisyon izinlerinin yönetilmesine ilişkin tanımlamalar yapılmıştır. Kurgulanan karbon piyasası, tahsisatların serbest rekabet şartları altında alınıp satılabilmesi için bir çerçeve sunmaktadır. **Şubat 2024**'te Avrupa Enerji Borsası (The European Energy Exchange – EEX) ve Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ), Türkiye'de ETS geliştirilmesi konusundaki ortak taahhütlerini vurgulamak üzere **Mutabakat Belgesi**[152] imzalamıştır. İki kuruluş Türkiye'deki karbon piyasasının geliştirilmesi için birlikte çalışmayı ve bilgi alışverişinde bulunmayı taahhüt etmiş olup Avrupa enerji piyasaları ile iş birliği yaparak iyi işleyen bir ETS geliştirilmesi ve işletilmesi planlanmaktadır.

Mart 2024'te Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanan **İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı 2024-2030**[153], yine ulusal bir ETS kurulmasına yönelik stratejik kararlar içermektedir. Kararlar arasında;

- Mevcut altyapı, ihtiyaçlar ve projeksiyonlar doğrultusunda ETS kapsamının ve işleyişinin belirlenmesi, SKDM ve gündeme gelebilecek diğer benzeri uygulamalara ilişkin gelişmeler bağlamında tasarım unsurlarının ihtiyaçlara yanıt verecek şekilde güncellenmesi,
- Güncel Ulusal Katkı Beyanı hedefleri doğrultusunda, yapısal uyumu sağlayacak şekilde AB mevzuatı da gözetilerek ETS kapsamının genişletilmesi ve gerekli mevzuat uyumunun sağlanması,
- Emisyon üst sınırının; emisyon yoğun sektörlerin mevcut durumu, azaltım hedefleri, uluslararası anlaşmalar ve ulusal koşullar bağlamında ekonomik ve sosyal etkiler, sektörel potansiyel ve teknolojik imkanlar gözetilerek belirlenmesi,
- 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi, varsayılan, güncel ve projekte edilmiş karbon fiyatları, uluslararası uyum ve azaltım politikaları ile karbon kaçağı riski dikkate alınarak enerji yoğun sektörlere ilişkin ekonomik, mali, sosyal ve teknik etki analizlerinin yapılması,
- ETS piyasasına finansal aktörlerin dahil olmasına yönelik değerlendirme çalışmalarının yapılması ve finansal aktörlerle ilgili mevzuatların hazırlanması,
- ETS kapsamında elde edilecek gelirlerin, Ulusal Katkı Beyanı gözetilerek yeşil kalkınma hedefi doğrultusunda düşük karbonlu ekonomiyi ve adil geçişi de güvence altına alacak şekilde kullanılması için planlama çalışmalarının yapılması, gerekli mevzuatın ve uygulama altyapısının hazırlanması,
- ETS uygulama periyodu öncesinde kapsama giren tesislerin sisteme girişini kolaylaştırıcı bir pilot dönem tanımlanması, yükümlülüklerin yerine getirilmesinde kullanılabilecek ulusal ve uluslararası denkleştirme mekanizmalarının ve koşullarının tanımlanması,
- ETS tasarımında uluslararası koşullardan kaynaklanan ihtiyaçlarının değerlendirilmesi ve buna uygun tasarımların yapılması,
- Ücretsiz tahsisatların dağılımını ve uygulama periyodunu belirlemek üzere sektörel kıyaslama (benchmark)/tarihsel emisyon (grandfathering) çalışmalarının yapılması,
- ETS uygulamalarına ilişkin bilgilendirme ve görünürlük çalışmalarının sektör bazında yapılması,
- Karbon fiyatlandırma sürecinde ETS'yi tamamlayıcı bir karbon fiyatlandırma mekanizmasının rolüne yönelik analiz çalışmalarının gerçekleştirilmesi,
- Türk Vergi Sistemi içerisindeki Özel Tüketim Vergisi Kanununa ekli (I) sayılı liste tarifelerine karbon içeriği eklenmesine yönelik çalışmalar yapılması,

gibi girdiler bulunmaktadır.

Yeşil Mutabakat Eylem Planı hedefleri kapsamında kaydedilen diğer gelişmelere **2024** yılının Haziran ayında yayımlanan **"Yeşil Mutabakat Çalışma Grubu Yıllık Faaliyet Raporu"** içerisinde yer verilmektedir. SKDM'ye özgü çalışmalar kapsamında demir-çelik, alüminyum ve çimento sektörlerine yönelik toplantıları da içeren AB SKDM İhtisas Çalışma Grubu toplantıları gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, SKDM'ye ilişkin mevzuat gelişmeleri, Türkiye'nin bu kapsamdaki öncelikleri, özel sektörün mevzuata uyumunun kolaylaştırılması ve ihracatın aksamaması için alınabilecek tedbirler değerlendirilmiştir. Ayrıca, SKDM ile dezavantaj yaratabilecek hususlar gibi çeşitli konularda Avrupa Komisyonu ile teknik ve üst düzeyli temaslarda bulunulmuştur. SKDM raporlama yükümlülüklerine uyumunun kolaylaştırılmasını sağlamak amacıyla demir-çelik, alüminyum ve çimento sektörlerine yönelik bilgilendirme toplantıları gerçekleştirilmiş; ilgili sanayi ve ticaret odaları, ihracatçı birlikleri, organize sanayi bölgeleri ve kalkınma ajansları gibi özel sektör çatı kuruluşlarının temsilcilerine eğitim programları düzenlenmiştir. Çalışma grubunun diğer başlıklarda yürütmüş olduğu faaliyetler söz konusu dokümanda ayrıntılı olarak sunulmaktadır.[154]

150. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023a). a.g.e.
151. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). İklim Değişikliği Kanunu Taslağı. Erişim adresi: https://www.baib.gov.tr/files/downloads/PageFiles/f345dbce-f055-ed11-a91b-000c29511bae/Files/ek-3.pdf
152. Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (2024). EPİAŞ ve EEX Türkiye'de ETS Geliştirilmesi ve Uygulanması İçin Mutabakat Belgesi İmzalandı. Erişim adresi: https://www.epias.com.tr/tum-duyurular/epias-ve-eex-turkiyede-emisyon-ticaret-sistemi-ets-gelistirilmesi-ve-uygulanmasi-icin
153. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030). Erişim adresi: https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/İklim%20Değişikliği%20Azaltım%20Stratejisi%
154. Türkiye Cmhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2024). Yeşil Mutabakat Çalışma Grubu Yıllık Faaliyet Raporu. Erişim adresi: https://ticaret.gov.tr/data/667a91b813b87625f00bf578/Ye%C5%9Fil%20Mutabakat%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Fma%20Grubu%20Y%C4%B-1l%C4%B1k%20Faaliyet%20Raporu%20-%202023.pdf

4. Yeşil Dönüşümün Tematik Yansımaları

Döngüsel Ekonomi ve Etkin Atık Yönetimi

Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji

Kapsayıcı ve Sürdürülebilir Değer Zinciri Yönetimi

Tüketici Odaklı Yeşil Uygulamalar

4. Yeşil Dönüşümün Tematik Yansımaları

4.1. Döngüsel Ekonomi ve Etkin Atık Yönetimi

Sürdürülebilirlik arayışı, yeşil dönüşümün küresel bir zorunluluk olarak kavramsallaştırılmasına ve benimsenmesine yol açmıştır. Yeşil dönüşümün tematik yansımaları, döngüsel ekonomi ve etkin atık yönetimi gibi sürdürülebilirlik anlatısı içinde sadece bir arada var olmakla kalmayıp aynı zamanda birbirini güçlendiren iki önemli unsurda kendini göstermektedir. Döngüsel ekonomi, inovatif bir yaklaşımla ekonomik büyümeyi kaynak tüketiminden ve çevresel bozulmadan ayırmayı amaçlamakta, geleneksel ve doğrusal "yap, al, kullan, at" ekonomisinden yenilikçi ve döngüsel "yap, al, kullan, dönüştür" ekonomisine doğru radikal bir değişim önermektedir.[155] Etkili atık yönetimi ise, atıkların doğru yönetimini sağlayarak çevresel etkisini azaltmanın yanı sıra atığı doğrusal bir son noktadan döngüsel bir kaynağa dönüştürmeyi hedefleyen yaklaşımıyla döngüsel ekonomiyi tamamlamayan bir kavram olarak ortaya çıkmaktadır.

İnsan nüfusunun yaklaşık 8 milyara ulaştığı günümüzde, kaynaklar parabolik bir hızla tüketilmektedir. Projeksiyonlara göre eğer 2050 yılına kadar küresel nüfus -beklendiği şekilde- 9,8 milyara ulaşırsa, insanların bugünkü yaşam tarzlarını sürdürebilmeleri için gerekli olan doğal kaynakları sağlamak, üç gezegene eşdeğer bir alan gerektirecektir. [156] Sanayi devrimi ile çerçevesi çizilen ve 20. yüzyıla hakim olan geleneksel ekonomi modeli, doğrusal ekonomi olarak tanımlanmakta ve ürün hayat döngüsünde bir başlangıca ve sona sahip düz ilerlemeyi ifade etmektedir.[157] Doğrusal bir ekonomide ürünler genellikle tam potansiyelleriyle kullanılmamakta ve adından da anlaşılacağı üzere her zaman tek bir yöne, hammaddeden atığa doğru hareket etmektedir.[158]

155. European Parliament. (2023a). a.g.e.
156. United Nations. (t.y.). Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns. Erişim adresi: https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/#:~:text=Our%20planet%20is%20running%20out,needed%20to%20sustain%20current%20lifestyles
157. European Investment Bank. (2023). The linear economy and recycling. Erişim adresi: https://www.eib.org/en/stories/linear-economy-recycling
158. Ellen MacArthur Foundation. (t.y.). What is the linear economy? Erişim adresi: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/what-is-the-linear-economy

Bu modelde, geri dönüşüme veya yeniden kullanıma dair özel bir yönelim bulunmamakla birlikte asıl amaç düşük maliyetle üretim yapmaktır. Ekonominin bu geleneksel işleyiş biçimi, bağlı olduğu doğal sermayeyi yok etmektedir. Sonuç olarak çevre üzerinde önemli bir yük oluşmakta ve her geçen gün artan iklim değişikliği, kaynak kıtlığı, biyoçeşitlilik kaybı ve küresel ısınma gibi etkiler; tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesine ve döngüsel bir ekonomi modeline doğru hızlı ve acil bir geçişin gerekliliğine işaret etmektedir.

> **Döngüsel ekonomi, ürünlerin ve kaynakların yeniden kullanımı, azaltılması, tekrar dolaşıma sokulması, uzun vadeli değerinin korunması ve üretim/tüketimdeki çevrimlerinin kapatılması (yani kaynakların geri dönüştürülmesi ve atıkların en aza indirilmesi) gibi yollarla verimli kullanımını amaçlayan ekonomik bir çerçeve olarak tanımlanmaktadır.[159]**

İklim ve çevre üzerindeki etkiler de dahil olmak üzere ürünlerin yaşam döngüsü boyunca sebep olduğu olumsuz etkileri azaltma, zararlı malzemelerin kullanımını minimize etme, hammadde kullanımını ekonomik büyümeden ayırma ve toplumun ihtiyaçlarını adil bir şekilde karşılama gibi yeşil dönüşümle ortak paydada birleşen hedeflere sahiptir.[160] Döngüsel ekonomi, tasarım ekseninde şekillenen üç temel ilkeye dayanmaktadır. Bu ilkeler çevre sağlığı, ekonomik refah ve sosyal faydayı döngüsel ekonomi uygulamalarının özüne entegre ederek sürdürülebilir ve döngüsel bir toplum yaratmayı amaçlamaktadır.

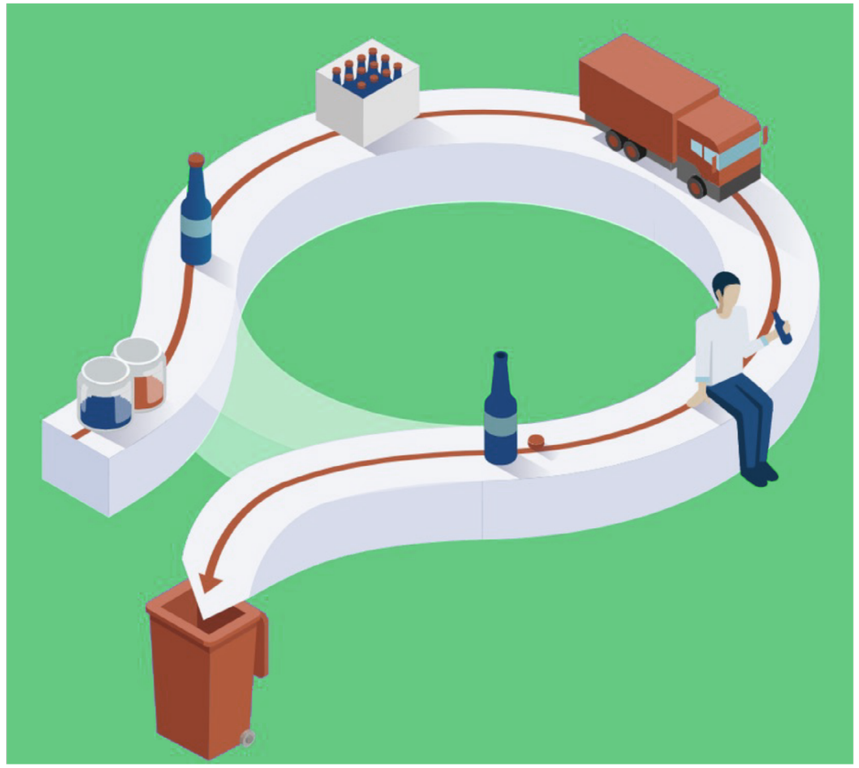
Atık ve kirliliğin ortadan kaldırılması: Ürünler ve sistemler yaşam döngüsünün en başından itibaren atık ve kirliliği en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır. Tamir edilmesi, yenilenmesi ve geri dönüştürülmesi daha kolay ürünler oluşturmak ve bu ürünleri tercih edilir duruma getirmek, üretilen atık miktarını azaltacak ve kirliliği ortadan kaldıracaktır.

Ürün ve malzemelerin dolaşımda kalması: Girdilerin ekonomideki dolaşım süresini uzatacak, döngüsellik odaklı tasarımlar yapılmalı ve tek kullanımlık ürünler yerine daha uzun kullanım sürelerini hedefleyen sağlam ürünler teşvik edilmelidir. Bu sayede kaynak kullanımı optimize edilerek hammadde çıkarımı en aza indirilecek ve kullanılmış malzemelerin tekrar doğal veya endüstriyel döngülere entegre edilmesi kolaylaşacaktır.

Doğal sistemlerin onarılması: Toplumların doğal sermayeyi koruyarak ve geliştirerek gezegenimizin biyofiziksel sınırlarına uygun olarak hareket etmeleri gerekmektedir. Kaynaklar çıkarılırken ekosistemlerin yenilenme kapasitesi aşılmamalı, doğanın kendini yeniden inşa etmesine ve biyolojik çeşitliliği artırmasına olanak tanınmalıdır. Değerli besin maddelerinin ekosistemlere geri beslenmesiyle sürdürülebilir kaynak sağlama kabiliyetleri artırılabilmektedir.[161]

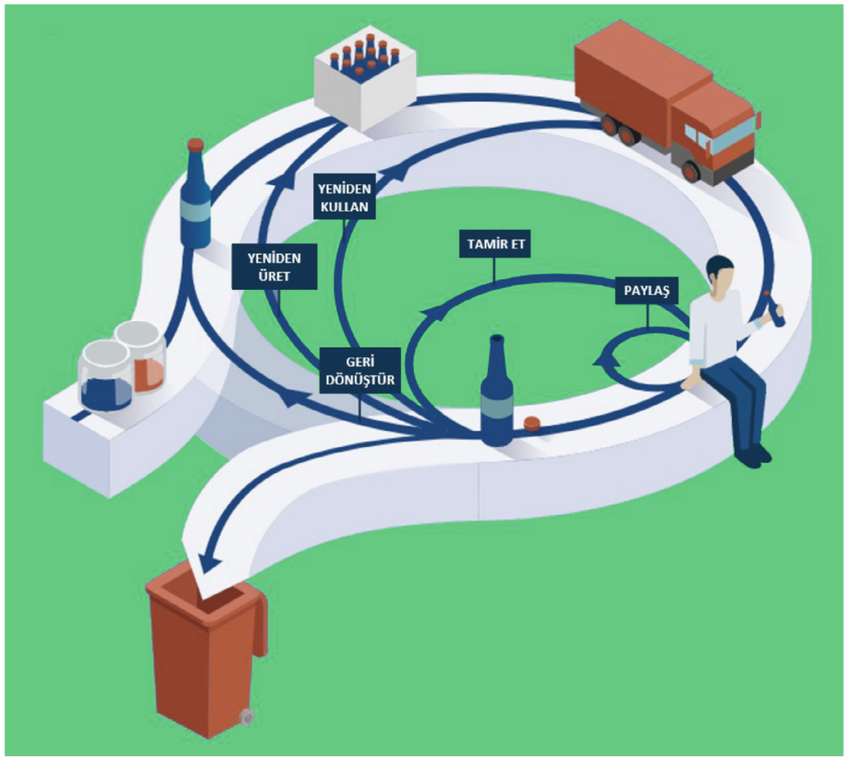
159. Morseletto, P. (2023). Sometimes linear, sometimes circular: States of the economy and transitions to the future. Journal of Cleaner Production, 390, 136138. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136138
160. United States Environmental Protection Agency. (t.y.). What is the circular economy? Erişim adresi: https://www.epa.gov/circulareconomy/what-circular-economy
161. Ellen MacArthur Foundation. (t.y.). The circular economy in detail: Deep dive. Erişim adresi: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive

Çevresel sürdürülebilirliğin ötesine geçen döngüsel ekonomi; inovasyonu teşvik eden, rekabet gücünü artıran, eşitliği destekleyen ve adaleti gözeten derin sosyal etkileri de bünyesinde barındırmaktadır. Özünde, sürdürülebilir uygulamaların gezegeni korumakla kalmayıp tüm toplumlar için adil fırsatlar yarattığı kapsayıcı bir ekonomik model teşvik edilmektedir. Sektörler, döngüsel ilkeler çerçevesinde yenilik yapmaya yönlendirilmekte, bu süreçte yeni pazar fırsatları ve istihdam olanakları doğmakta, kaynak verimliliğinden ve atık azaltımından elde edilen faydalar sayesinde rekabet gücünde artış sağlanmaktadır. Bu değişim, sosyo-ekonomik bariyerleri aşmayı, sosyal adalet için sağlam bir temel oluşturmayı hedeflemekte ve kaynakların daha adil bir şekilde yeniden dağıtımını desteklemektedir. Döngüsel ekonomi bu hedefler doğrultusunda ilerlerken refahın daha geniş çapta paylaşıldığı, her bireyin kaynaklara erişebilir olduğu daha adil ve daha dirençli bir topluma katkı sağlamaktadır.[162]



Şekil 13: Geleneksel Doğrusal Ekonomi Modeli "Yap, Al, Kullan, At" [163]

162. Circular Economy Month. (t.y.). Social and Economic Benefits of Circular Economy. Erişim adresi: https://circulareconomymonth.ca/about-circular-economy-month/week-4-social-and-environmental-benefits-of-circular-economy/
163. European Parliament Research Service. (2018). Circular economy infographics. Erişim adresi: https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html



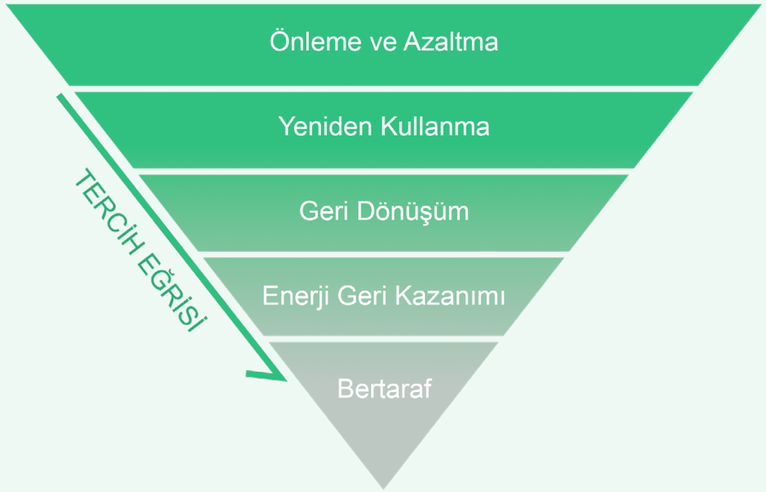
Şekil 14: Yenilikçi Döngüsel Ekonomi Modeli "Yap, Al, Kullan, Dönüştür" [164]

Küresel nüfus artışı, kaynak tüketiminin yanı sıra üretilen atık miktarını da ciddi miktarlara çıkartmakta ve bu durum hem çevreye hem de kamu sağlığına zarar vermektedir. Şehirlerin büyümesi, endüstriyel faaliyetler ve gelişen ekonomiler, atık miktarındaki artışa ek olarak atıkların karmaşıklık seviyesini ve potansiyel tehlikesini de yükseltmektedir. Dünyada yaklaşık 3,5 milyar insan atık yönetimi hizmetlerine erişememekte ve düşük gelirli ülkelerin çoğunda atıklar ağırlıklı olarak açık alanlara dökülerek bertaraf edilmektedir.[165] Kontrolsüz atıklar ulusal sınır tanımayıp ülkeler arasında su yoluyla taşınabilmekte, atıkların yakılması ve açıkta bırakılmasından (CH_4 oluşumu) kaynaklanan emisyonlar karasal ve sucul ekosistemlerde ve atmosferde birikmektedir. 2023 yılında 2,3 milyar ton olduğu tahmin edilen kentsel katı atık üretiminin acil önlem alınmazsa 2050 yılına kadar %65 artarak 3,8 milyar tona ulaşması beklenmektedir.[166] Atık oluşumunun önlenmesi ve azaltılmasına yönelik çabaların artırılması, tüm insanların yeterli, emniyetli ve uygun maliyetli bertaraf seçeneklerine ulaşabilmesi; etkin atık yönetimi ile mümkündür.

164. European Parliament Research Service. (2018). a.g.e.
165. United Nations Economic Commission for Europe. (2022). Waste management towards a more Circular Economy. Erişim adresi: https://unece.org/sites/default/files/2022-02/WASTE_EN.pdf
166.United Nations Environment Programme. (2024). Global Waste Management Outlook 2024. Erişim adresi: https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024

"Etkin atık yönetimi; üretilen atıkların güvenli, verimli ve çevreye duyarlı bir şekilde toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi olarak tanımlanmaktadır.[167] Yeşil dönüşüme ivme kazandıran ve döngüsel ekonominin vazgeçilmez bir ilkesi olan etkin atık yönetimi; atık üretimi ve yönetiminin olumsuz etkilerini en aza indirmeyi, kaynakların korunmasını, kirliliğin azaltılmasını ve sürdürülebilirliğin artırılmasını amaçlamaktadır."

Atık yönetimi uygulamaları bir prosedür çerçevesinde gerçekleştirilmekte ve atık yönetimi hiyerarşisi olarak adlandırılmaktadır. Hiyerarşisi ters çevrilmiş bir piramit şeklinde tasvir edilmekte ve öncelik sırasına göre önleme ve azaltma, yeniden kullanma, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve bertaraf başlıklarından oluşmaktadır.



Şekil 15: Atık Yönetimi Hiyerarşisi[168]

167. Naira, K. (2023). Effective waste management: An essential step towards a sustainable future. Erişim adresi: https://www.allieda-cademies.org/articles/effective-waste-management-an-essential-step-towards-a-sustainable-future-27230.html
168. European Union. (t.y.). Waste hierarchy. Erişim adresi: https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/glossary/waste-hierarchy.html

1. **Önleme ve Azaltma:** Atık hiyerarşisinde en çok tercih edilen seçenek, atığın ilk etapta oluşmasını önlemektir. Bu, ürünlerin daha uzun süre dayanacak şekilde tasarlanması, gereksiz ambalajların azaltılması ve atık oluşumunu önleyen davranışların teşvik edilmesiyle mümkündür. Atığın kaynağında önlenmesi, bertaraf ve geri dönüşüm ihtiyacını azaltarak kaynak ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.
2. **Yeniden Kullanım:** Atık haline gelmiş ürünlerin veya ürün bileşenlerinin başka bir ön işleme tabi tutulmadan yeniden kullanılabilecek şekilde hazırlandığı kontrol, temizlik veya onarım içerikli geri kazanım işlemlerini kapsamaktadır. Yeniden kullanım, ürün ve malzemelerin yaşam döngüsünü uzatarak yeni kaynaklara olan talebi azaltmaktadır.
3. **Geri Dönüşüm:** Geri dönüşüm, yeni ürünler veya malzemeler oluşturmak için atık malzemelerin işlenmesini içermektedir. Bu sayede hammadde tüketimi önemli ölçüde azaltılmakta, işlenmemiş kaynaklardan yeni ürünler üretmeye kıyasla daha düşük enerji kullanımı gerekmekte ve sera gazı emisyonları azaltılmaktadır.
4. **Enerji Geri Kazanımı:** Yeniden kullanım ve geri dönüşüm mümkün olmadığında, atıktan enerji geri kazanımı gibi diğer geri kazanım seçenekleri değerlendirilmektedir. Atık maddeleri enerjiye veya diğer geri kazanılabilir kaynaklara dönüştüren enerji geri kazanımlı yakma, gazlaştırma ve anaerobik çürütme gibi işlemler bu kapsamda yer almaktadır.
5. **Bertaraf:** Hiyerarşide en az tercih edilen seçenek, enerji geri kazanımı olmaksızın düzenli depolama veya yakmayı içeren bertaraftır. Bu yöntemler, düzenli depolama sahalarından kaynaklanan sera gazı emisyonları gibi olumsuz çevresel etkileri nedeniyle en son başvurulacak yöntemlerdir.[169, 170]

Teknolojik gelişmeler, atık yönetimi sistemlerinin verimliliğini ve etkinliğini önemli ölçüde artırarak döngüsel ekonomiye büyük katkı sağlamaktadır. Özellikle, yapay zeka (artificial intelligence – AI) ve nesnelerin interneti (internet of things – IoT) temelli uygulamalar atıkların sınıflandırılması, geri dönüştürülmesi ve değerlendirilmesi gibi süreçleri kolaylaştırmaktadır.[171] Otomatik ayrıştırma sistemleri atık akışlarından değerli malzemelerin ve enerjinin geri kazanılmasını kolaylaştırırken gelişmiş geri dönüşüm teknikleri ve biyodönüşüm süreçleri, atıkları yeniden değerli kaynaklara dönüştürerek yeşil dönüşüme destek olmaktadır. Döngüsel ekonomi ilkeleri ve etkin atık yönetimi stratejilerinin birleşimi, yeşil dönüşüme ihtiyaç duyan farklı sektörlerde somut uygulama örnekleri sunarak bu kavramların pratikte nasıl uygulanabileceğini göstermektedir. Özellikle SKDM kapsamında yer alan emisyon yoğun sektörlerde görülen uygulama örneklerine Şekil 16'da yer verilmektedir.

169. European Union. (t.y.). a.g.e.
170. Resmî Gazete. (2015). Atık Yönetim Yönetmeliği. Erişim adresi: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=20644&MevzuatTur
171. Sharma, R. (2023, July). Leveraging AI and IoT for Sustainable Waste Management. In International Conference on Sustainable Development through Machine Learning, AI and IoT (pp. 136-150). Cham: Springer Nature Switzerland. Erişim adresi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-47055-4_12

Çelik Endüstrisi

Elektrik ark ocağı (EAF) teknolojisi hurda çeliği geri dönüştürerek hammadde ihtiyacını, cevher çıkarma ve işlemeden kaynaklanan emisyonları önemli ölçüde azaltmaktadır. Gelişen teknoloji ile AI ve IoT destekli EAF'ler metalik verimi, elektrik enerjisini ve oksijen ihtiyacını, elektrot tüketimini ve beklenen CO_2 emisyonlarını hesaplamak için termodinamik verilerle fırının diğer operasyonel parametrelerini değerlendirerek optimizasyon sağlamaktadır.[172]

Çimento Endüstrisi

Endüstriyel simbiyozun önemli bir örneği olan çimento endüstrisi, klinker üretirken kömür, petrol koku ve linyit yerine ısıl değere sahip atıkları alternatif yakıt olarak değerlendirilebilmektedir. Çelik üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan uçucu kül ve cüruf gibi atıklar da alternatif hammadde olarak çimento ve beton üretiminde kullanılabilmektedir.[173]

Alüminyum Endüstrisi

Alümina üretimi esnasında Bayer prosesinden ıskarta olarak yüksek miktarda kırmızı çamur çıkmaktadır. Çoğunlukla titanyum ve silisyum oksitleri, demir ve sodyum hidroksit ile birlikte ekstrakte edilememiş alüminyum oksit içeren kırmızı renkli bir çamurdur. Bu malzeme, demir ve alüminyumun geri kazanımına olanak sağlamakta, hafif tuğla gibi yapı malzemelerinin üretiminde kullanılmakta ve çimento üretiminde de değerlendirilebilmektedir.[174]

Gübre Endüstrisi

Gübre üretim sürecinde bir ton amonyak başına ortalama iki ton CO_2 üretilmektedir. Bu CO_2 'nin bir kısmı üretim sürecinde yakalanarak ticari pazarlarda satılabilmektedir. Nitrojen ve hidrojen, amonyaka dönüşmeden önce CO_2 uzaklaştırılarak kullanım için saflaştırılmaktadır. Ticari karbondioksit gıda, içecek, temizlik ürünleri, kimyasallar ve yangın söndürücülerin üretiminde kullanılabilmektedir.[175]

Şekil 16: Sektörel Döngüsel Ekonomi Uygulamalarına Örnekler

172. World Steel Association. (2016). Tenaris: Smart furnace for scrap use optimisation based on mathematical models and data science. Erişim adresi: https://worldsteel.org/case-studies/environment/tenaris-smart-furnace-for-scrap-use-optimisation/
173. CEMBUREAU. (2016). Cement, concrete & the circular economy. Erişim adresi: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/cement_concrete_the_circular_economy.pdf
174. Silveira, N. C., Martins, M. L., Bezerra, A. C., & Araújo, F. G. (2021). Red mud from the aluminium industry: production, characteristics, and alternative applications in construction materials—a review. Sustainability, 13(22), 12741. https://doi.org/10.3390/su132212741
175. Fertilizers Europe. (t.y.). Circular economy & the European fertilizer sector. Erişim adresi: https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2019/08/Circular_Economy_01.pdf

Döngüsel ekonomi ve etkin atık yönetimi uygulamalarının sektörel entegrasyonu umut vaat etmektedir. Yeşil dönüşüm konsepti tarafından da desteklenen bu acil entegrasyon ihtiyacı, son yıllarda bu iki kavrama odaklanan araştırmaların sayısını neredeyse üç katına çıkartmış olsa da küresel ekonomi tarafından tüketilen ikincil malzemelerin payı 2018'de %9,1 iken 2023'te %7,2'ye düşmüştür. Bunun yanında, sadece son altı yılda neredeyse 20. yüzyılın tamamında olduğu kadar malzeme tüketimi gerçekleşmiştir. [176] Eğer döngüsel ekonomiye geçişte gerekli adımlar atılmazsa, taahhüt edilen çevresel ve sosyal hedefler gerçekleştirilemeyecek ve bu durum, devletleri ve sanayi kuruluşlarını ciddi risklerle karşı karşıya bırakacaktır.

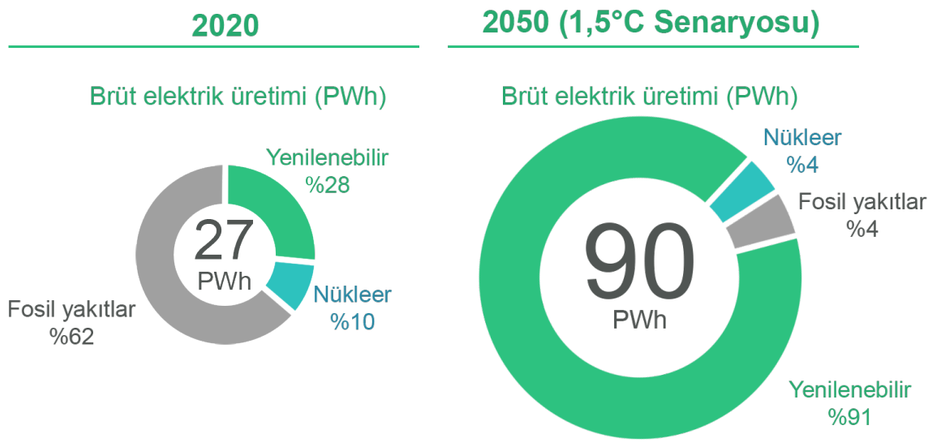
4.2. Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji

İklim değişikliğinin yıkıcı etkilerinden ve enerji güvenliğinde yaşanan sorunlardan kaçınabilmek için 2050 yılına kadar küresel enerji sisteminde köklü ve bütüncül bir dönüşümün gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu süreç, enerji arzının karbonsuzlaştırılmasıyla birlikte dirençli ve kapsayıcı bir küresel ekonomiyi destekleyen enerji sistem(ler)ine doğru bir değişimi zorunlu kılmaktadır. [177] Nitekim, yeşil dönüşüm kavramının merkezinde de enerji dönüşümü yer almaktadır. Enerji dönüşümü bir veya bir dizi enerji kaynağına ve teknolojisine bağımlı bir ekonomik sistemden diğerine geçiş olarak tanımlanmaktadır. Söz konuşu geçiş, toplumun tamamı üzerinde uzun vadeli sosyo-ekonomik ve siyasi etkileri olan bir enerji kaynağından farklı bir enerji kaynağına aşamalı geçiş ile karakterize edilmektedir.[178]

Diğer taraftan bugüne kadar kaydedilen ilerlemeye rağmen, enerji dönüşümü teknolojilerinin yaygınlaştırılması, 1,5°C Paris iklim hedefine ulaşmak için gereken seviyelerin oldukça gerisinde kalmaktadır. Bu hedefe erişebilmek için, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (International Renewable Energy Agency – IRENA) tarafından oluşturulan 1,5°C senaryosuna göre, dünyanın 2050 yılına kadar enerji sektöründe net sıfır emisyona ulaşması gerekecektir; bu da enerjiyle ilgili yıllık CO_2 emisyonlarında 2022'deki tahmini seviyelere kıyasla yaklaşık 37 gigaton (Gt) bir azalmaya karşılık gelmektedir.[179]

176. Circle Economy. & Deloitte. (2024). Circularity Gap Report 2024, Erişim adresi: https://policycommons.net/artifacts/11317813/cgr-global-2024/12203525/
177. International Renewable Energy Agency. (2023). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway. Erişim adresi: https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_2023.pdf?rev=db3ca01ecb4a4ef8accb31d017934e97
178. Crowley-Vigneau, A., Kalyuzhnova, Y., & Ketenci, N. (2023). What motivates the 'green'transition: Russian and European perspectives. Resources Policy, 81, 103128. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103128
179. International Renewable Energy Agency. (2023). a.g.e.

IRENA'nın aynı senaryosuna göre, 2050 yılına kadar enerji verimliliğinde önemli iyileştirmeler yoluyla küresel enerji tüketiminin 2020 seviyelerine göre %6 oranında düşmesi gerekmektedir. Bunun yanında, yine 2050 yılında, yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel enerji içerisindeki payının 2020'de %16 olan seviyelerden %77'ye yükselmesi gerekmektedir. Bu kapsamda hem tüm sektörlerin daha fazla yenilenebilir enerji kullanmasına hem de ulaşım sektöründe ve binalarda gerekli elektrifikasyon seviyelerine ulaşılabilmesi için 2050 yılına kadar yenilenebilir elektrik kapasitesinde 2020 seviyelerine kıyasla 12 kat artışa ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan elektrik üretimine bakıldığında, aynı senaryo dahilinde, elektrik arzının 2020'deki %28'lik orana kıyasla toplam %91'inin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması beklenmektedir.[180] (Şekil 17)



Şekil 17: 2020-2050 (IRENA 1,5°C Senaryosu) Elektrik Üretimi[181]

2023 yılının Haziran ayında Paris'te gerçekleştirilen IEA 8. Yıllık Küresel Enerji Verimliliği Konferası'nda 46 ülke tarafından onaylanan Versailles Bildirisi ile 2030 yılına kadar her yıl küresel enerji yoğunluğundaki iyileşmenin iki katına çıkarılması doğrultusunda enerji verimliliği eylemlerinin güçlendirilmesi kabul edilmiştir.[182, 183] Bu kapsamda, IEA'nın belirlediği stratejik prensipler değerlendirildiğinde ekonomik, sosyal ve çevresel faydaları kesişen enerji verimliliği eylemlerine öncelik verilmesi, enerji verimliliğin uzun vadeli ve sürdürülebilir istihdam yaratma potansiyeli, enerji verimliliğinin yüksek verimli ürün ile hizmetlere olan talebi artırması ile toplumun tüm katmanlarının enerji verimliliğindeki payı yeşil dönüşüm yaklaşımı ile parallelik göstermektedir.[184]

180. International Renewable Energy Agency. (2023). a.g.e.
181. International Renewable Energy Agency. (2023). a.g.e.
182. International Energy Agency. (2023). Versailles Statement: The Crucial Decade for Energy Efficiency. Erişim adresi: https://www.iea.org/news/versailles-statement-the-crucial-decade-for-energy-efficiency
183. International Energy Agency. (2023). Energy Efficiency 2023. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023
184. International Energy Agency. (2023). Energy Efficiency: The Decade for Action. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-the-decade-for-action

Türkiye'de 2007 yılında yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Kanunu ile bir dizi yönetmelik ve tebliğ çıkarılarak enerji verimliliği yolculuğu daha üst bir düzleme taşınmıştır. 25 Şubat 2012 tarihli Resmî Gazete'de Yüksek Planlama Kurulu tarafından yayımlanan ve 2012-2023 yıllarını kapsayan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ile enerji yoğunluğunun 2011 yılı değerlerine göre 2023 yılında en az %20 oranında azaltılması ve enerji kayıplarının önlenmesi hedeflenmiştir.[185]

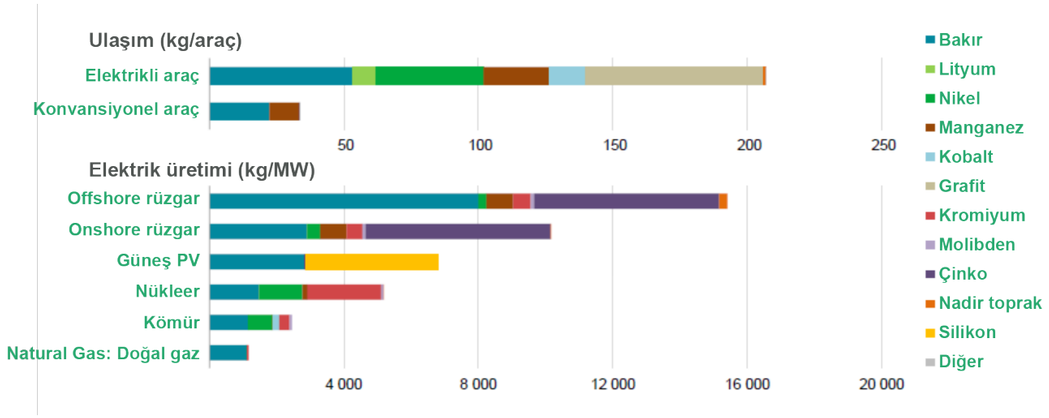
AB'ye uyum çalışmaları çerçevesinde 2 Ocak 2018 tarihinde Yüksek Planlama Kurulu Kararı olarak 2017-2023 yılları arasını kapsayan I. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) yayımlanmıştır. Söz konusu dönemde enerji verimliliğine 8,47 milyar ABD Doları yatırım yapılmış ve bu sayede 24,6 MTEP kümülatif enerji tasarrufu sağlanmıştır. Yapılan yatırımlar ve sağlanan tasarruflarla 68,62 milyon tCO_2e. azaltım (kümülatif) gerçekleştirilmiş ve 44.880 yeni istihdam yaratılmıştır.[186]

2024-2030 yılları arasını kapsayacak olan Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. UEVEP 16 Ocak 2024 tarihinde yayımlanmıştır. 2022 yılı itibarıyla Türkiye'nin enerji yoğunluğu 2011 yılına göre %20 ,4 oranında azaltılmış ve Enerji Strateji Belgesi'nde öngörülen 2023 yılı enerji yoğunluğunun 2011 yılına göre %20 oranında azaltım hedefi 2023 yılı gelmeden yakalanmıştır. Bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi, tarım, start-up ve dijitalleşme ile birden fazla sektörü ilgilendiren eylemlerin yer aldığı yatay konular olmak üzere 7 sektörde toplamda 61 eylemin yer aldığı II. UEVEP ile 2024-2030 yılları arasında 20,2 milyar ABD Doları enerji verimliliği yatırımı yapılması ve kümülatif olarak 37,1 MTEP birincil enerji tasarrufu sağlanması hedeflenmektedir.[187]

Yeşil dönüşüm perspektifinden değerlendirildiğinde enerji dönüşümünün çevresel ve sosyal etkileri de öne çıkmaktadır. Enerji üretimi ve tüketimi ile doğrudan ilişkili çevre sorunları arasında hava kirliliği, iklim değişikliği, su kirliliği, termal kirlilik ve katı atık oluşumu ile bertarafı yer almaktadır. Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan hava kirleticilerinin emisyonu, kentsel hava kirliliğinin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Hava kirliliğinin erken ölümlerde küresel olarak dördüncü önde gelen risk faktörü olduğu tahmin edilmektedir. Ortam kirliliğinin başlıca nedenlerinden biri olan fosil yakıtların kullanımdan kaldırılması hava kalitesini artırmakta ve dolayısıyla insan sağlığı üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahip olmaktadır. 2019 yılında hava kirliliği nedeniyle 6,7 milyon ölüm gerçekleşmiştir; bu sayının daha temiz bir enerjiye geçişle büyük ölçüde azaltılması mümkün olacaktır. Diğer taraftan, çeşitli su kirliliği sorunları enerji kullanımı ile de ilişkilidir. Madencilik faaliyetlerinin yeraltı suyu akışında meydana getirdiği değişiklikler, normalde kirlenmemiş suları topraktan süzülen ve asit maden drenajı oluşturan bazı mineral maddelerle temas ettirmektedir.[188,189]

185. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası. (2023). Enerji Görünümü 2023. Erişim adresi: https://www.tskb.com.tr/uploads/file/enerji-gorunumu-2023.pdf
186. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023a). a.g.e.
187. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023a). a.g.e.
188. European Environment Agency. (2004). Term: Environmental impact of energy. Erişim adresi: https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/environmental-impact-of-energy
189. Ounmaa, L. (2021). What are the socio-economic impacts of the energy transition? Erişim adresi: https://www.undp.org/eurasia/blog/what-are-socio-economic-impacts-energy-transition

Yenilebilir enerji yatırımlarındaki artış doğal kaynaklara olan talebi de beraberinde getirmektedir. Güneş fotovoltaik (PV) santralleri, rüzgar santralleri ve elektrikli araçların (electrical vehicles – EV) üretim süreçleri genellikle fosil yakıt bazlı muadillerine göre daha fazla mineral gerektirmektedir. Tipik bir elektrikli otomobil, geleneksel bir otomobilden altı kat daha fazla mineral girdisi gerektirirken "on-shore" (karasal) bir rüzgar santrali, gazla çalışan bir enerji santralinden dokuz kat daha fazla mineral kaynağına ihtiyaç duymaktadır. 2010 yılından bu yana, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı arttıkça bir birim enerji üretim kapasitesi için gereken ortalama maden miktarı %50 oranında artmıştır.[190]



Şekil 18: Temiz Enerji Teknolojilerine Geçiş İle Mineral Talebi Artışı

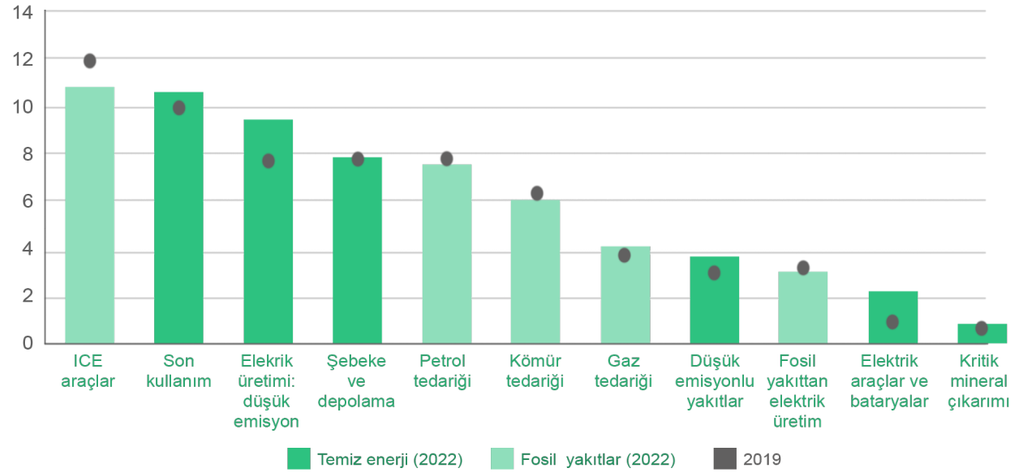
Kullanılan mineral kaynaklarının türleri teknolojiye göre değişkenlik göstermektedir. Lityum, nikel, kobalt, manganez ve grafit; batarya performansının ömrü ve enerji yoğunluğu açısından kritik minerallerdir. Nadir toprak elementleri olarak tanımlanan neodimyum, praseodimyum, disprosyum ve terbiyum ise rüzgar türbinlerinin jeneratörlerinde ve elektrikli araçların motorlarında yer alan sabit mıknatıslarda kullanılan neodimyum-demir-bor'u (NdFeB) üretmek için kullanılmaktadır.[191] Diğer taraftan elektrik şebekeleri büyük miktarda bakır ve alüminyuma ihtiyaç duymaktadır.[192]

Paris Anlaşması hedeflerini karşılayan bir senaryoda, temiz enerji teknolojilerinin toplam talep içindeki payı önümüzdeki yirmi yıl içinde önemli ölçüde artacak, bu doğrultuda mineral kaynaklarına duyulan talep de bakır ve nadir toprak elementleri için %40'ın üzerine, nikel ve kobalt için %60-70'e ve lityum için neredeyse %90'a çıkacaktır. Elektrikli araçlar ve batarya depolama şimdiden tüketici elektroniğinin yerini alarak en büyük lityum tüketicisi haline gelmiştir ve her iki başlık 2040 yılına kadar nikelin en büyük son kullanıcısı olarak paslanmaz çeliğin yerini alacaktır.[193]

190. International Energy Agency. (2021). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions
191. Alves Dias, P., Bobba, S., Carrara, S. &Plazzotta, B. (2020). The role of rare earth elements in wind energy and electric mobility. Erişim adresi: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC122671
192. International Energy Agency. (2021). a.g.e.
193. International Energy Agency. (2021). a.g.e.

Günümüzün uluslararası enerji güvenliği mekanizmaları, başta petrol olmak üzere hidrokarbon arzındaki kesinti veya fiyat artışları risklerini gözetecek şekilde tasarlanmıştır. Yoğun mineral kullanımı ise farklı ve kendine özgü bir dizi zorluğu beraberinde getirmektedir. Karbonsuzlaşan bir enerji sisteminde kritik minerallerin önemi, enerji politikası yapıcılarının ufuklarını genişletmelerini ve potansiyel yeni kırılganlıkları dikkate almalarını gerektirmektedir.

Enerji istihdamı 2022'de yaklaşık 67 milyona ulaşarak pandemi öncesi seviyelerin 3,4 milyon üzerine çıkmıştır. Temiz enerji sektörleri aynı dönemde küresel olarak 35 milyona ulaşırken fosil yakıt istihdamı 2020'deki işten çıkarmaların ardından daha yavaş toparlanmış ve pandemi öncesi istihdam seviyelerinin yaklaşık 1,3 milyon altında, 32 milyon seviyesinde gerçekleşmiştir. Sonuç olarak, temiz enerji istihdamı 2021'de fosil yakıt istihdamını geçmiştir. Bu dönemdeki istihdam artışının yarısından fazlasını güneş enerjisi, rüzgar, EV ve batarya üretimi, ısı pompaları ve kritik mineral madenciliği olmak üzere beş sektör oluşturmaktadır.[194]



Notlar: ICE araçlar = İçten yanmalı motorlu araçlar EVs = Elektrikli araçlar. Güç şebekeleri iletim, dağıtım ve depolamayı içerir. Düşük emisyonlu enerji üretimi nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarını içerir. Son kullanım verimliliği bina iyileştirmelerini, ısı pompalarını ve diğer ekipmanları, aletleri ve endüstri verimliliğini içerir. Yalın enerji sektörleri düşük emisyonlu yakıt kaynaklarını, düşük emisyonlu enerji üretimini, güç şebekelerini ve batarya depolamayı, son kullanım verimliliğini kritik minerallerin çıkarılmasını ve elektrikli araçların ve bataryalarının üretimini içerir. Fosil yakıt sektörleri petrol, gaz ve kömür tedarikinin yanı sıra fosil yakıtlı elektrik üretimi ve içten yanmalı motorlu araç üretimini içermektedir.

Şekil 19: Temiz Enerji ve Fosil Yakıt Sektörlerinde İstihdam Oranlarının Dağılımı

194. International Energy Agency. (2023). World Energy Employment 2023. https://www.iea.org/reports/world-energy-employment-2023

Temiz enerji teknolojilerine yapılan harcamaların fosil yakıtlara yapılan harcamaları ilk kez önemli ölçüde geride[195] bıraktığı enerji yatırımları için bir dönüm noktasına yaklaşılırken hükümetlerin iklim eylemini, yoksulluğun azaltılmasını ve eşitsizliği aynı anda ele alan kapsamlı politikalar geliştirmesi de önem arz etmektedir. Toplumların belirli kesimleri için orantısız veya istenmeyen sonuçların ortaya çıkma riskini azaltmak amacıyla, eşitlik ve kapsayıcılık da temiz enerji politikalarına dahil edilmektedir.[196] Diğer taraftan, yaratılan istihdam enerji sektörünün de ötesine geçmektedir. Hukuki konular, vergilendirme, lojistik, güvenlik ve çevre uzmanlarının yanı sıra kamyon ve vinç sürücüleri gibi vasıflı işçiler de geçiş sürecinde önemli rol oynayacak aktörler arasında yer almaktadır.[197]

4.3. Kapsayıcı ve Sürdürülebilir Değer Zinciri Yönetimi

Bir ürün veya hizmeti tedarikçiden müşteriye taşımak için gereken sistem ve kaynaklar tedarik zinciri olarak ifade edilmektedir. Değer zinciri yaklaşımı ise ürünlerin/hizmetlerin ne şekilde tedarik edildiğine odaklanmak yerine, çıktıların kapsayıcı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesinin de iş yapış şekillerine dahil edildiği bir yaşam döngüsü perspektifini ifade etmektedir. Bu yaklaşım, değer zincirindeki ilgili paydaşlara ekonomik kazanım sağlamanın yanı sıra çevresel, sosyal ve yönetişimsel alanlarda da katma değer sunulduğu dikkate alınarak geliştirilmiştir.[198] Kapsayıcı ve sürdürülebilir değer zinciri yönetimi yaklaşımını benimseyen işletmeler; başta çalışanlar, müşteriler, yerel topluluklar ve tedarikçiler olmak üzere tüm paydaşlarının kendileriyle ve birbirleriyle ilişkisini başarılı bir şekilde tanımlamakta ve yönetmektedir. İnsan haklarına saygıyı, kapsayıcılık kültürünü, güvenli çalışma koşullarını, adil ücretlendirmeyi ve mesleki gelişim fırsatlarının sunulmasını teşvik ederek en iyi yetenekleri kendilerine çekmekte ve aynı zamanda tüketiciler nezdindeki itibarlarını artırmaktadır. İşletmeler böylece yerel toplulukları ve ekonomileri destekleyerek yerel tedarikçilerden kaynak sağlamakta, toplumsal kalkınma projelerine yatırım yapmakta ve küçük işletmelerin gelişmesi için fırsatlar sunmaktadır. Bu yaklaşım sadece sosyal sorumluluğu teşvik etmekle kalmayıp uzun vadeli karlılığı ve dayanıklığı da artırmaktadır.

Kapsayıcı ve sürdürülebilir değer zinciri yönetiminin kilit unsurlarından bir diğeri tedarik zincirinin çevresel, sosyal ve yönetişimsel konulardaki sürdürülebilirliğinin sağlanmasıdır. Sürdürülebilirlik stratejisi ve hedeflerinin bir parçası olarak işletmeler, tedarikçi seçim süreçlerine nicel/nitel etki değerlendirme kriterleri ekleyerek tedarik süreçlerinde sorumlu davranma eğilimindedir. Gelişmekte olan bir kavram olarak sürdürülebilir tedarik zinciri, tedarikçilerin çevresel, sosyal ve yönetişim performanslarının izlenmesini ve uyumsuzluk durumunda düzeltici/iyileştirici adımların atılması için iş birliği içinde hareket edilmesini içeren bütüncül bir yaklaşımı ifade etmektedir. İşletmelerin sürdürülebilirlik yolculuğunda başta tedarikçiler olmak üzere tüm paydaşların aynı bakış açısına ve hedeflere sahip olması yeşil dönüşüm süreçlerini çok daha hızlı ve etkin hale getirmektedir.[199]

Tedarik zincirinin çevresel sürdürülebilirliği için dayanıklı, yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir, enerji verimli ve çevreyi en az kirleten alternatiflerin tedarikinin sağlanması teşvik ve tercih edilmektedir. Sosyal sürdürülebilirliği sağlamak için ise çalışanlarına adil ücret ve yan haklar sağlayan, iş sağlığı ve güvenliği açısından uygun çalışma ortamına sahip, etik ilkelere ve yasalara uygun davranan, ayrımcılık ve eşitsizliğe tolerans göstermeyen, çeşitlilik ve kapsayıcılığı ön planda tutan alternatif tedarikçiler tercih edilmektedir. Tedarikçiler tarafından istihdam edilen kadın ve dezavantajlı gruplardan çalışanların oranı da değerlendirme sürecinde dikkate alınan bir diğer kriterdir.[200]

Birçok çok uluslu işletme, tüm paydaşlarının sorumlu davranma yönünde bir yaklaşım benimsemesini sağlamak için tedarik zincirlerini gözden geçirmektedir. Bu işletmeler, satın alma departmanlarının sürdürülebilirlik temalı konulardaki farkındalık düzeylerini artırarak tedarikçilerin işletmenin sürdürülebilirlik hedeflerini paylaşabilecek düzeyde olanlar arasından seçilmesini hedeflemektedir. Mevcut tedarikçilerin sürdürülebilirlik performanslarına dair göstergeleri izlemekte ve belirlenen iyileşme alanlarında gelişim sağlamak için tedarikçilerinin satın alma departmanlarıyla doğrudan birlikte çalışmaktadır. İlk aşamada, birinci kademe tedarikçilerin kendi uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerini belirlemesi, alt kademe tedarikçilerin şirketin genel sürdürülebilirlik stratejisine dahil edilmesi ve bir kişinin şirketin sürdürülebilirlik stratejisini birinci ve alt kademe tedarikçilere yayma konusunda doğrudan sorumlu olması beklenmektedir.[201]

Tedarik zincirinin yeşil ve dijital dönüşüm yolculuğu; i) etkin izleme için altyapı eksikliği; ii) veri toplama ve analizindeki kısıtlar; iii) yüksek ilk yatırım maliyetleri; iv) çalışanların yetersiz katılımı; v) tedarikçilerin sürdürülebilirlik uygulamalarına katılma konusundaki isteksizliği; vi) tedarikçilerin ilgili yasa ve yönetmeliklere uyumsuz uygulamaları; vi) yüksek tüketici talebi ve şeffaflığın sağlanamaması; vii) iklim krizinden kaynaklanan riskler; viii) iletişim eksikliği; ix) satın alma görevlileri için sürdürülebilirlik eğitimi ve teşvik eksikliği gibi mücadele edilmesi gereken zorlukları da beraberinde getirmektedir. Ancak, stratejik planlama ve girişimlerle bu zorlukların üstesinden gelinebilmektedir.[202]

195. International Energy Agency. (2023). Clean energy investment is extending its lead over fossil fuels, boosted by energy security strengths. Erişim adresi: https://www.iea.org/news/clean-energy-investment-is-extending-its-lead-over-fossil-fuels-boosted-by-energy-security-strengths
196. Prin, M. & Motherway, B. (2023). How to maximise the social benefits of clean energy policies for low-income households. Erişim adresi: https://www.iea.org/commentaries/how-to-maximise-the-social-benefits-of-clean-energy-policies-for-low-income-households
197. Ounmaa, L. (2021). a.g.e.
198. Cambridge Institute for Sustainability Leadership. (t.y.). What is a value chain? Definitions and characteristics Erişim adresi: https://www.cisl.cam.ac.uk/education/graduate-study/pgcerts/value-chain-defs
199. Harvard Business Review. (2020). A more sustainable supply chain. Erişim adresi: https://hbr.org/2020/03/a-more-sustainable-supply-chain
200. World Bank. (t.y.). Vendors. Erişim adresi: https://www.worldbank.org/en/about/corporate-procurement/vendors
201. Harvard Business Review. (2020). a.g.e.
202. Pereseina, V., Jensen, L.M. & Hertz, S. (2013). Challenges and Conflicts in Sustainable Supply Chain Management: Evidence from the heavy-vehicle industry. Erişim adresi: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:690851/FULLTEXT01.pdf

Tedarik zincirlerini sürdürülebilir kılmak için mevcut bir sistem içerisinde bazı ilave adımlar atmak mümkündür. Öncelikle, şirketlerden amaç, kapsam, ilgili mevzuat, uygulama ve izlenecek parametreler gibi bilgileri içerecek bir Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi politikası hazırlaması beklenmektedir. Hazırlanan bu politikaların, iş sözleşmelerinin bir parçası haline getirilerek müzakerelerden önce tedarikçilerle paylaşıldığı sektörel iyi uygulama örnekleri görülmektedir. Tanımlanan iş için uygun görülen tedarikçilerle görüşmeler sırasında mevcut sürdürülebilirlik uygulamalarının incelenmesi ve sürdürülebilirlik alanında daha önce yapılan çalışmalara ilişkin bilgi/belge paylaşımının talep edilmesi de sürdürülebilir tedarik zinciri yaklaşımını desteklemektedir. Şirketlerin, tedarikçilerinin sürdürülebilirlik performansını çevresel ve sosyal parametreleri de içerecek şekilde periyodik olarak ölçmesi ve uygunsuzluk durumunda düzeltme/iyileştirme önlemlerine tedarikçilerini dahil etmesi kapsayıcı değer zinciri yönetimi sağlayacaktır. Tedarikçi performanslarının değerlendirilmesine yönelik çevresel, sosyal ve ekonomik performans göstergeleri sektöre ve tedarikçinin finansal/operasyonel büyüklüğüne bağlı olarak değişmekle birlikte, bu değerlendirmeler için bazı temel performans göstergeleri bulunmaktadır. (Tablo 4)

Tablo 4: Tedarikçilere Yönelik Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Performans Göstergeleri

Çevresel	• Ürün başına karbon emisyonu miktarı • Üretilen atık türleri/miktarı • Ürün başına su tüketimi • Ürün başına enerji tüketimi • Yenilenebilir enerji kullanım oranı • Kullanılan tehlikeli maddenin türü/miktarı • Yeniden kullanılan/geri dönüştürülen ürün sayısı
Sosyal	• Kadın ve erkek çalışan oranı • İstihdam edilen personel sayısı • İşten çıkarılan personel sayısı • Dezavantajlı gruplardaki personel sayısı • İSG eğitimi alan personel sayısı • İş kazası sayısı • Gerçekleştirilen ve planlanan sosyal sorumluluk projelerinin sayısı
Ekonomik	• Zamanında teslim edilen ürün oranı • Şikayet veya iade edilen ürün oranı • Envanter seviyesi ve nakit akışı • Teslimat ve depolama maliyetleri • Müşteri geri dönüş süresi • Farklı üretim türlerinin sayısı • Kullanılan yeşil tahvil/kredi sayısı

Sorumlu satın alma uygulamaları için hazırlanmış ulusal/uluslararası özel bir yasal çerçeve bulunmamaktadır. Ancak, çevresel, sosyal ve yönetişim başlıkları altında işletmelerin finansal olmayan faaliyet ve hedeflerinin beyan edildiği sürdürülebilirlik raporları için bir çerçeve oluşturmak ve gereklilikleri tanımlamak amacıyla hazırlanan Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlaması Direktifi (Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD), satın alma uygulamalarını sürdürülebilir kılmak için bazı tavsiyeler/yönergeler de içermektedir. CSRD'de yer alan tavsiyelere örnek olarak, döngüsel bir ekonomiye ve iklim nötrlüğüne ulaşmak için tüm ekonomik sektörlerin katılımının çok önemli olduğu belirtilmiştir. Bu çabanın önemli bir yönü, enerjinin tedarik zincirleri boyunca kritik öneme sahip olduğu göz önüne alındığında, enerji tüketimini en aza indirmeyi ve enerji verimliliğini teşvik etmeyi içermektedir. Sonuç olarak, enerjiyle ilgili hususların sürdürülebilirlik raporlama standartlarına, özellikle de çevre ve iklimle ilgili hususlara dahil edilmesi büyük önem taşımaktadır.[203]

Öte yandan, AYM ve SKDM gibi, esas olarak AB'ye ithalat ve ihracat yapan kuruluşları ilgilendiren yasal düzenlemeler ve bunların getireceği ek mali yükümlülükler, çevresel ve sosyal konularda sorumlu davranmanın önemini artırmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir tedarik zinciri yaklaşımının benimsenmesi, SKA-8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme), SKA-9 (Sanayi, İnovasyon ve Altyapı), SKA-12 (Sorumlu Üretim ve Tüketim), SKA-13 (İklim Eylemi), SKA-14 (Sudaki Yaşam), SKA-15 (Karadaki Yaşam) ve SKA-17 (Hedefler için Ortaklıklar) dahil olmak üzere BM SKA'larının birçoğunun küresel olarak uygulanması üzerinde doğrudan ve olumlu bir etkiye sahip olacaktır.[204]

> **"Sonuç olarak denilebilir ki kapsayıcı ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, gittikçe genişleyen halkalarıyla yeşil dönüşümün önemli tematik alanlarından birisidir. Bu alan, sadece SKDM kapsamına dahil olan sektörleri ve orta vadede dahil olması beklenen (plastik, organik kimyasallar vb.) sektörleri değil, aynı zamanda AYM'nin diğer temel sütunları açısından tekstil, gıda ve otomotiv gibi kritik sektörleri de etkileyecek bir nitelik arz etmektedir."**

203. European Parliament. & The Council of European Union (2022). Directive (EU) 2022/2464 of the European Parliament and of the Council. Erişim adresi: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2464
204. United Nations Global Compact. (2016). A Spotlight on Sustainable Supply Chain & Procurement. Erişim adresi: https://www.unglobalcompact.org/take-action/leadership/integrate-sustainability/roadmap/supply-chain

4.4. Tüketici Odaklı Yeşil Uygulamalar

Bugünün küresel ekonomisinin karmaşıklığı, enerji, gıda ve doğal kaynaklar üzerindeki yükü artırmakta ve artan tüketim ile birlikte çevresel dengenin üzerinde önemli bir etki oluşturmaktadır. Tüketicilerin çevre sorunları konusundaki bilinç düzeyi arttıkça çevresel kaygıları da aynı oranda artmaktadır. Söz konusu kaygılar, tüketicilerin yaşam tarzlarında ve satın alma davranışlarında sürdürülebilirlik kavramına önem vererek hareket etmelerini de beraberinde getirmektedir. AB Komisyonu tarafından 2021 yılında gerçekleştirilen Tüketici Koşulları Anketi çalışması bu tespiti destekler nitelikte bulgular içermektedir.[205] Anket sonuçlarına göre, AB tüketicilerinin %56'sı mal ve hizmetlerin çevresel etkisine dikkat etmekteyken, alınan çoğu mal veya hizmet için bu durumun geçerli olduğunu söyleyen tüketicilerin oranı ise %23 olarak belirlenmiştir. Tüketicilerin üçte ikisi, daha fazla maliyeti olsa bile çevre için daha iyi ürünler satın aldığını belirtmiştir.[206] 2019'da yapılan özel bir Eurobarometre araştırması, katılımcıların %94'ü için çevrenin kişisel olarak çok veya oldukça önemli olduğunu göstermiştir. [207] Katılımcıların üçte ikisi, tüketim alışkanlıklarının çevreye olumsuz etkileri olduğunu kabul etmiş ve katılımcıların çoğu çevresel sorunların üstesinden gelmenin en iyi yolunun tüketim ve üretim kalıplarını değiştirmek olduğunu belirtmiştir.

Tüketicilerin sürdürülebilir şekilde üretilmiş mallar ve hizmetler konusundaki teşvik edici yaklaşımları ile satın alma kararlarını hızla nasıl değiştirdiklerine dair veriler, şirketler üzerinde bir baskı oluşturmaktadır. Bu durum, üretim ve reklamcılık alışkanlıklarını da değiştirmiş ve ürünlerin yaşam döngüsü boyunca (hammadde tedarikinden son kullanıcıya teslim edilen ürün aşamasına kadar) düşük bir çevresel ayak izi olduğunu gösteren eko-etiketler ve yine ürünlerin çevre dostu olduğunu ifade etmeye yarayan yeşil işaretler gibi uygulamaları gündeme getirmiştir.[208] Son yıllarda, dünya çapında döngüsel ve sürdürülebilir ekonomileri teşvik etmek için yeşil sertifika sistemleri, eko-etiket uygulamaları, gönüllülük programları, eğitimler ve bilgilendirme çalışmaları güçlü araçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu gibi uygulamalardan bir diğeri ise dijital ürün pasaportlarıdır. Ürün kimliği, üretim tarihi ve yeri, üretimde kullanılan malzemeler, enerji ve su miktarı, ürün kullanım kılavuzu ve onarım ile geri dönüşüm bilgilerini içeren dijital ürün pasaportları, dijital ortamda saklanan ve ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca izlenebilen bilgileri tüketiciye sunmaktadır.[209]

205. European Commission. (2022b). Previous consumer conditions scoreboards and surveys. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/policies/consumers/consumer-protection-policy/evidence-based-consumer-policy/previous-consumer-conditions-scoreboards-and-surveys_en
206. European Commission. (2022b). a.g.e.
207. European Commission. (2020). New Eurobarometer Survey: Protecting the environment and climate is important for over 90% of European citizens. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_331
208. Özkan, Ç. Y., & Özbey, B. D. (2023). Green Is the New Black: The Rise of Green Marks and Possible Solutions to Greenwashing. In Annales de la Faculté de Droit d'Istanbul (No. 73, pp. 183-206). https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3324761
209. World Business Council for Sustainable Development. (2023). The EU Digital Product Passport. Erişim adresi: https://www.wbcsd.org/Pathways/Products-and-Materials/Resources/The-EU-Digital-Product-Passport

Sürdürülebilirlik sertifikalarının sayısı son on yılda yüksek oranda artmış olup bu sertifikalar tüketiciler ve diğer paydaşlar arasında güven oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu sertifikalar bir kişinin, kuruluşun veya ürünün belirli sürdürülebilirlik kriterlerini karşıladığını gösteren bağımsız bir doğrulama belgesi niteliği taşımakta ve ayrıca, bireylerin bilinçli kararlar almasına, tercihlerini belirlemesine ve pazardaki sonuçları, riskleri ve ödülleri değerlendirmesine yardımcı olmaktadır. Özellikle değişken ve belirsiz ekonomi koşullarında bu sertifikalar vasıtasıyla tüketicilere rehberlik sağlanmakta ve standart kalite işaretleri sunulmaktadır.[210] Dünya genelinde görülen eko-etiket ve sertifika programları ile tüketiciye yönelik uygulamaların bazıları aşağıda özetlenmektedir.

Energy Star, ABD Çevre Koruma Dairesi (Environmental Protection Agency – EPA) ve ABD Enerji Bakanlığı (Department of Energy – DOE) tarafından ortaklaşa yürütülen bir programdır. Programın amacı; tüketicilerin, işletmelerin ve sektörlerin, enerji verimli ürünlerin ve uygulamaların benimsenmesi yoluyla para tasarrufu yapmalarına ve çevreyi korumalarına yardımcı olmaktır. Energy Star etiketi, performansı yüksek, maliyet-etkin ürünleri, evleri ve binaları belirlemektedir. Kurulduğu günden bu yana Energy Star, etkileyici sonuçlar göstermiştir: 2010 yılında ABD'de 33 milyon otomobilin neden olduğu sera gazı emisyonlarına eşdeğer emisyonlardan kaçınacak kadar enerji tasarrufu sağlanırken elektrik faturalarında yaklaşık 18 milyar ABD Doları tasarruf edilmiştir.[211]

AB Ecolabel (AB Eko – Etiket) uygulaması, standartlaştırılmış süreçlere ve bilimsel kanıtlara dayalı olarak çevresel mükemmelliğe sahip mal ve hizmetleri teşvik eden dünyaca tanınmış, gönüllü bir programdır. 1992 yılında kurulan ve Avrupa ve dünya çapında tanınan AB Eko-Etiket, garantili ve bağımsız olarak doğrulanmış düşük çevresel etkiye sahip ürünleri belgelendirmektedir. AB Eko-Etiket sertifikasını alabilmek için mal ve hizmetlerin hammadde çıkarımından üretim/dağıtımına ve bertarafına kadar tüm yaşam döngüsü boyunca yüksek çevre standartlarını karşılaması gerekmektedir. Bu etiket ayrıca şirketleri dayanıklı, onarımı kolay ve geri dönüştürülebilir yenilikçi ürünler geliştirmeye teşvik etmektedir.[212]

210. Nygaard, A. (2023). Is sustainable certification's ability to combat greenwashing trustworthy?. Frontiers in Sustainability, 4, 1188069. Erişim adresi: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2023.1188069/full
211. US Department of Energy. (t.y.). Energy Star. Erişim adresi: https://www.energy.gov/eere/buildings/energy-starr#:~:text=ENERGY%20STAR%C2%AE%20is%20a,energy%2Defficient%20products%20and%20practices.
212. European Commission. (t.y.). About the EU Ecolabel. Erişim adresi: https://environment.ec.europa.eu/topics/eu-ecolabel

Milieu Centraal, bağımsız bir kurum olarak Hollanda'da enerji verimliliği, sürdürülebilir enerji, ulaşım, gıda ve atık yönetimi gibi önemli çevresel meseleler üzerine ipuçları, öneriler ve detaylı bilgiler sunmaktadır. Bu bilgiler, çevresel sorunlarla ilgili bireysel düzeyde eylemde bulunabilmeleri için tüketicilere bir başlangıç noktası sunmaktadır. Milieu Centraal, bir vakıf olarak hedef kitlesine ulaşmak amacıyla kendi dijital platformlarını (web siteleri, uygulamalar ve sosyal medya gibi) ve diğer medya kanallarında yer alan tanıtımları kullanmaktadır; ayrıca, benzer misyon ve vizyona sahip diğer kuruluşlarla sıkı bir iş birliği içinde çalışmaktadır.[213]

GoodGuide uygulaması, alışveriş yapan kişilerin bir ürünün sağlıklı ve güvenli olup olmadığını görmesini sağlamaktadır. Berkley'deki California Üniversitesi'nde çevre ve çalışma politikası profesörü olan Dara O'Rourke tarafından, bilimsel ve teknolojik uzmanlardan oluşan bir ekiple birlikte kurulan bu uygulama, tüketicilerin etik değerlerine göre alışveriş yapmalarına yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Ayrıca, uygulama aracılığıyla tüketicilerin her gün satın aldıkları ve kullandıkları ürünler hakkında daha iyi bilgi sahibi olmaları sağlanmaktadır.[214]

Bu örneklere ek olarak, AB üyesi ülkelerin bazılarında **Almanya Blue Angel**, **Nordic Swan** gibi ulusal bazlı eko-etiket uygulamaları mevcuttur.[215, 216] Ormandan elde edilen ürünlerin ve balık/deniz ürünlerinin sürdürülebilirliğini belirten, sırasıyla, **Orman İdaresi Konseyi (Forest Stewardship Council – FSC)** ve **Deniz İdaresi Konseyi (Marine Stewardship Council – MSC)** isimli iki eko-etiket de yine tüketicilerin bilinç düzeyinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır.[217, 218]

213. Milieu Centraal. (t.y.). About us. Erişim adresi: https://www.milieucentraal.nl/over-milieu-centraal/about-us/
214. GoodGuide Inc. (t.y.). GoodGuide Inc.: Brief Description. Erişim adresi: https://ipira.berkeley.edu/goodguide-inc
215. Blauer Engel. (t.y.). Blauer Engel. Erişim adresi: https://www.blauer-engel.de/en
216. Nordic Swan Ecolabel. (t.y.). Nordic Swan Ecolabel. Erişim adresi: https://www.nordic-swan-ecolabel.org/
217. Forest Stewardship Council (FSC). (t.y.). Forest Stewardship Council. Erişim adresi: https://fsc.org/en
218. Marine Stewardship Council (MSC). (t.y.). Marine Stewardship Council. Erişim adresi: https://www.msc.org/

> **"Tüketicilerin bilinçli seçimler yapmalarını ve ekolojik dönüşümde aktif bir rol oynamalarını sağlayacak çeşitli gönüllü sertifika ve/veya etiket uygulamaları zaman içerisinde yasal düzenlemeler arasında da yer almaya başlamıştır."**

AYM ve beraberinde gelen yeşil dönüşüm ihtiyacı kapsamında tüketici odaklı çalışmalar da hız kazanmaktadır. Bu çerçevede, 30 Mart 2022'de AB Komisyonu tarafından **"Yeşil Geçiş İçin Tüketicilerin Güçlendirilmesine İlişkin Direktif Teklifi"** yayımlanmıştır. Yeşil dönüşüm yolculuğunda tüketicilere daha iyi bir koruma ve bilgilendirme ortamı sunmayı amaçlayan teklifin ardından nihai Direktif, 6 Mart 2024 tarihli AB Resmî Gazetesi'nde yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu Direktif ile belirli ürünlerin çevresel etkileri hakkında ek bilgiye erişiminin sağlanması ve tüketicilerin söz konusu ürünlerin çevresel ve sosyal özellikleri ile dayanıklılık, onarılabilirlik veya geri dönüştürülebilirlik gibi döngüsellik özelliklerine ilişkin yanıltıcı ticari uygulamalara karşı korunması amaçlanmaktadır.[219]

Öte yandan, yine AB Komisyonu tarafından sunulan **"Ürünlerin Tamirine İlişkin Ortak Kurallar Direktifi Teklifi"** ile akıllı telefon, elektrik süpürgesi, tablet gibi ürünlerin garanti süresi geçtikten sonra da tüketicilerin ucuz ve kolay tamir imkanlarına erişmesi hedeflenmektedir. Böylelikle, üreticilerin de daha sürdürülebilir iş modelleri geliştirmesi teşvik edilmektedir.[220]

Bu tür yasal düzenlemelerin, tüketicilere satış noktasında ürün dayanıklılığı, yedek parça bulunabilirliği, tamir hizmetleri ve çevresel özellikler hakkında güvenilir bilgi verilmesini de sağlaması hedeflenmektedir. Hem tüketicilerin hem de üreticilerin çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine yardımcı olacak araçlar sunulması, yeşil dönüşüm sürecine tüm toplumun katılımını mümkün kılacaktır.

219. European Parliament. & The Council of European Union (2024). Directive (EU) 2024/825 of the European Parliament and of the Council. Erişim adresi: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202400825
220. European Commission. (2023). Proposal for a Directive on common rules promoting the repair of goods. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/document/afb20917-5a6c-4d87-9d89-666b2b775aa1_en

5. SKDM Kapsamındaki Sektörlerde Alınabilecek Önlemler

SKDM Kapsamındaki Sektörlerin Emisyon Analizi

SKDM Kapsamındaki Sektörlerde Emisyon Azaltıcı Önlemler

SKDM Kapsamındaki Sektörlerin Dönüşüm

İhtiyaçlarının Genel Değerlendirmesi

5. SKDM Kapsamındaki Sektörlerde Alınabilecek Önlemler

5.1. SKDM Kapsamındaki Sektörlerin Emisyon Analizi

5.1.1. Çelik Sektörü

5.1.1.1. Çelik Sektörüne Genel Bakış

Çelik sektörü küresel olarak önemli bir ekonomik güç ve sermaye yoğun bir sektördür. İnşaattan otomotive, savunmadan elektroniğe kadar birçok sektörün, dayanıklı tüketim malları ve yatırım malları sanayilerinin ana girdisi konumundadır. Bu nedenle çelik sektörü, ülke ekonomileri için stratejik önem taşıyan bir sektör olagelmiştir.

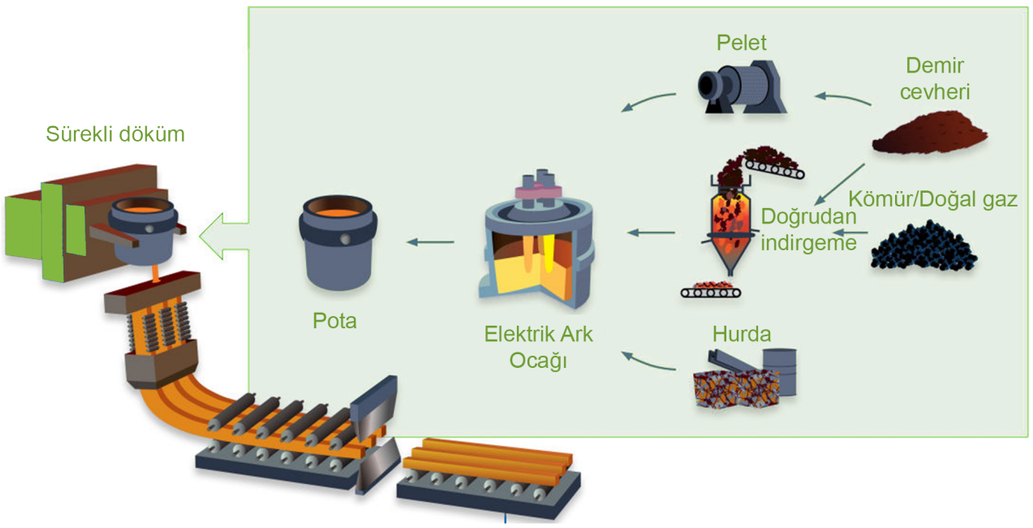
Toplam büyüklüğü yaklaşık olarak 2,5 trilyon ABD Doları olan sektör, dünya ekonomisinin yaklaşık %3,8'ini oluşturmakta ve doğrudan 6 milyondan fazla kişiye istihdam yaratmaktadır. Oxford Economics'in araştırmasına göre demir çelik sektörü, her 1,00 ABD Doları değerinde hammadde, mal, enerji ve hizmet alımları nedeniyle küresel ekonominin diğer sektörlerinde 2,50 ABD Dolarından daha fazla katma değer sağlamaktadır. Demir-çelik sektöründeki küresel tedarik zincirinde her 2 iş için 13 iş daha desteklenmekte olup toplamda yaklaşık 40 milyon kişiye istihdam sağlanmaktadır.[221]

Birincil ve ikincil çelik üretiminde temel olarak 3 farklı teknoloji kullanılmaktadır. Bunlardan ilki ve en yaygını demir oksitin koklaşabilir kömürden elde edilen kokla demire indirgendiği entegre yüksek fırın (blast furnace – BF) ve bazik oksijen fırın (basic oxygen furnace – BOF) içeren entegre çelik tesisleridir (integrated steel plant).Diğer en yaygın yöntem ise hammadde olarak kullanım ömrünü tamamlamış çelik ürünlerinden oluşan hurda ve doğrudan indirgenmiş demir (directed reduced iron – DRI) kullanılan elektrik ark ocaklı (electric arc furnace – EAF) tesisler ile indüksiyon ocaklı (induction furnace) tesislerdir.[222]

221. Oxford Economics & World Steel Association. (2019). The role of steel manufacturing in the global economy. Erişim adresi: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/The-role-of-steel-manufacturing-in-the-global-economy.pdf
222. Hasanbeigi, A., Price, L. K., & McKane, A. T. (2010). The State-of-the-Art Clean Technologies (SOACT) for steelmaking handbook. Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate: Sydney, Australia.

Yüksek Fırın ile Çelik Üretimi

Elektrik Ark Ocağı ile Çelik Üretimi



Şekil 20: BOF – EAF Üretim Süreçleri [223]

223. Materials and Embodied Carbon Leaders' Alliance. (2021). Low embodied carbon steel. Erişim adresi: https://mecla.org.au/wp-content/uploads/2022/03/FINAL_LowEmbodiedCarbonSteel_NOV2021brochure.pdf

Çelik sektöründe üretilen ürün tipleri aşağıda özetlenmiştir:

Uzun Çelik Ürünler (Long Products): Demir cevheri veya hurdadan başlayarak, elde edilen sıvı çeliği ingot/blum/kütük haline dönüştüren çelikhaneler ile ingot, blum ve kütüğü sıcak haddeleyerek ray, ağır, orta ve hafif profil, nervürlü veya düz betonarme çelik çubuklar, tel ve kangal (filmaşin) ürünlerini kapsamaktadır.

Yassı Çelik Ürünler (Flat Products): Demir cevheri veya hurdadan başlayarak, elde edilen sıvı çeliği slab/ince slab haline dönüştüren çelikhaneler ile slab ve ince slabı haddeleyerek levha, şerit haline getiren sıcak haddeler, devamında soğuk haddelenmiş galvanizlenmiş, boyanmış ürünler ve tenekeden oluşmaktadır.

Çelik Borular (Steel Pipes): Çelik borular kullanım alanlarına, boyutlarına ve üretim yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır.

- Kullanım Alanlarına Göre: Standart su ve gaz boruları, petrol ve doğal gaz boruları, yüksek basınç ve ısıya dayanıklı borular, petrol sondaj ve koruyucu borular, mekanik borular ve profiller, özel hassas borular.
- Boyutlarına Göre: Küçük çaplı borular, orta büyüklükteki borular, büyük çaplı borular.
- Üretim Yöntemlerine Göre: Boyuna dikişli borular, spiral dikişli borular, dikişsiz borular ve döküm borular.

Vasıflı Çelikler (Özel Çelikler): Kullanım alanlarına göre her türlü dövme ve imalat sanayiinde kullanılmaya uygun, kimyasal, fiziksel ve metalürjik özellikleri oluşturulmuş çeliklerdir.

- Karbon Çelikleri: Genel makine yapım çelikleri, halatlık ve tellik çelikler, cıvata çelikleri.
- Az Alaşımlı Çelikler: Genel makine yapım çelikleri, elektrodluk, halatlık ve tellik çelikler, cıvata çelikleri, takım çelikleri ve yaylık çelikler.
- Orta, Yüksek Alaşımlı Çelikler: Özel yapı çelikleri, paslanmaz çelikler, ısıya dayanıklı çelikler, takım çelikleri ve özel amaçlı çelikler.

5.1.1.1.1. Dünyada Çelik Sektörü

Dünya Çelik Birliği (World Steel Organisation) tarafından açıklanan verilere göre, 2023 yılında küresel ham çelik üretimi 1,88 milyar ton seviyesinde gerçekleşmiştir. Dünyanın en büyük çelik üreticisi ülkesi olan Çin, 2022 yılına benzer seviyede yaklaşık 1,02 milyar ton ham çelik üretmiştir. Çin'den sonra ikinci büyük çelik üreticisi olan Hindistan çelik üretiminde %12'lik bir artış kaydederek 2023 yılında üretimini 140 milyon tona çıkarmış, üçüncü büyük çelik üreticisi olan Japonya ise 87 milyon tonluk üretimi ile %2,5'lik bir düşüş yaşamıştır. Avrupa'da yüksek ham çelik üretimine sahip ülkeler değerlendirildiğinde Almanya'nın ham çelik üretimi (35,4 milyon ton) 2022 yılına kıyasla %4 seviyesinin biraz altında düşerken, İtalya (21,1 milyon ton) ve İspanya'da (11,3 milyon ton) üretim yaklaşık %2,5 seviyelerinde azalmıştır. Diğer büyük çelik üreticisi ülkeler arasında yer alan ABD %0,2 (80,7 milyon ton), Güney Kore %1,3 (66,7 milyon ton) ve İran ise %1,8'lik (31,1 milyon ton) üretim artışları kaydetmiştir. Buna karşılık, dünyada ilk 10 çelik üreticisi arasında yer alan Türkiye 2022 yılına (35,1 milyon ton) kıyasla 2023 yılında (33,7 milyon ton) %4,0 ve Brezilya ise %6,5 (31,9 milyon ton) oranında daha az ham çelik üretmiştir.[224]

224. World Steel Association. (2023). World steel in figures 2023. Erişim adresi: https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2023/

Tablo 5: Dünya Çelik Üretimi (2022-2023 - Milyon Ton) [225]

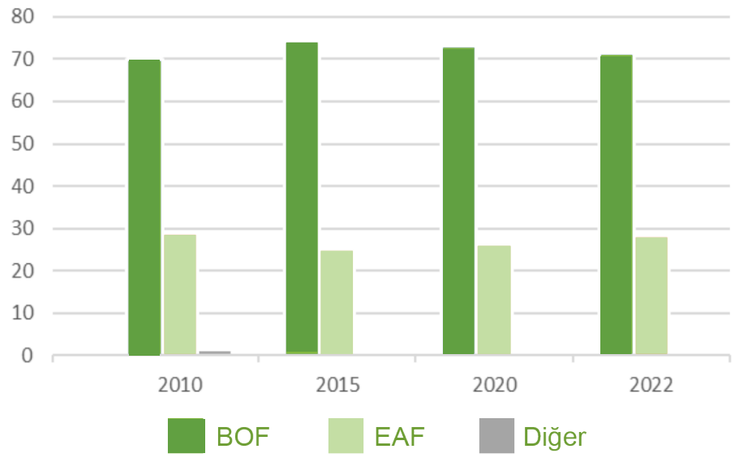
Sıralama	Ülke	2023	2022	%2023/2022
1	Çin	1.019,1	1.019,1	%0,0
2	Hindistan	140,2	125,4	%11,8
3	Japonya	87,0	89,2	-%2,5
4	ABD	80,7	80,5	%0,2
5	Rusya	75,8	71,7	%5,6
6	Güney Kore	66,7	65,8	%1,3
7	Almanya	35,4	36,9	-%3,9
8	Türkiye	33,7	35,1	-%4,0
9	Brezilya	31,9	34,1	-%6,5
10	İran	31,1	30,6	%1,8
11	İtalya	21,1	21,6	-%2,4
12	Vietnam	19,0	20,0	-%5,0
13	Tayvan, Çin	18,9	20,8	-%8,9
14	Meksika	16,3	18,4	-%11,6
15	Endonezya	16,0	15,6	%2,8
16	Kanada	12,3	12,1	%1,3
17	İspanya	11,3	11,6	-%2,7
18	Mısır	10,4	9,8	%5,4
19	Fransa	10,0	12,1	-%17,4
20	Suudi Arabistan	9,9	9,9	%0,8
21	Malezya	7,5	7,2	%4,1
22	Avusturya	7,1	7,5	-%5,0
23	Polonya	6,4	7,4	-%13,1
24	Ukrayna	6,2	6,3	-%0,6
25	Belçika	5,9	7,0	-%16,1
26	Birleşik Krallık	5,6	6,0	-%6,5
27	Bangladeş	5,5	5,2	%5,8
28	Avustralya	5,5	5,6	-%2,9
29	Pakistan	5,3	6,0	-%11,3
30	Tayland	5,0	5,3	-%6,7
31	Arjantin	4,9	5,1	-%3,2
32	Güney Afrika	4,9	4,4	%10,6
33	Hollanda	4,7	6,1	-%23,9
34	Slovakya	4,5	3,9	%15,4
35	Cezayir	4,4	4,3	%2,8
36	İsveç	4,3	4,4	-%3,3
37	Kazakistan	3,9	4,1	-%5,5
38	Finlandiya	3,8	3,5	%7,7
39	Çekya	3,4	4,3	-%21,1
40	Birleşik Arap Emirlikleri	3,2	3,2	0,8
	Diğerleri	**39,6**	**41,4**	**-4,4**
	Dünya	**1.888,2**	**1.888,7**	**0,0**

225. World Steel Association. (2023). a.g.e.

Dünyadaki çelik üretiminin tesis tipine göre dağılımına bakıldığında, entegre tesislerin toplam üretimdeki payının yaklaşık %70, EAF tesislerin ise yaklaşık %30 seviyelerinde olduğu görülmektedir. 2010-2022 yılları arasında, dünya genelinde ham çelik üretimi 1 milyar 412 bin tondan 1 milyar 884 milyon tona yükselirken, BOF tesislerin üretimi 442 milyon ton ve EAF tesislerin üretimi ise 338 milyon ton artış göstermiştir.

Söz konusu dönemde, geçmiş dönemlere de paralel olarak EAF üretiminin payının artmış olması, dünya genelinde var olan sınırlı miktardaki hurda arzı yerine hammadde tedariki açısından daha yüksek miktarlarda tedarik edilme potansiyeline sahip demir cevherine dayalı BF-BOF tesislerinin tercih edildiğini ortaya koymaktadır.[226]

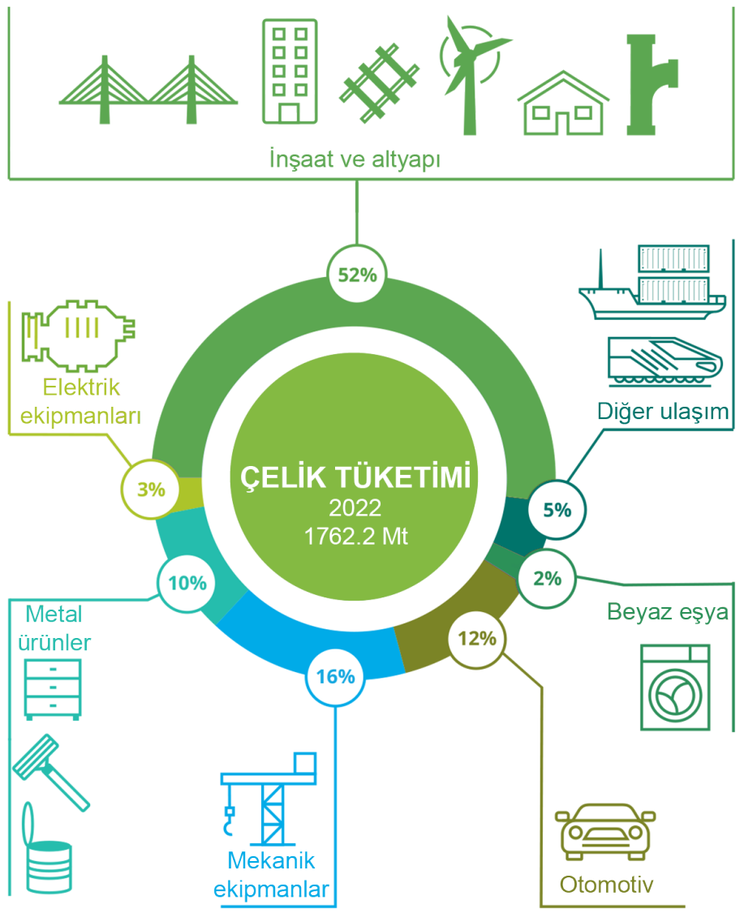
2010-2022 Üretim Prosesine Göre Çelik Üretimi (%)



Şekil 21: Dünya Genelinde Üretim Teknolojisine Göre Çelik Üretimi (2010-2022) (%) [227]

Gerek stratejik özelliği gerekse yatırımların büyüklüğü açısından sektör birçok ülkede kamu öncülüğünde gelişmiştir. Demir çelik talebi; ülke ekonomilerinin genel durumuna, imalat sanayiine, altyapı yatırımlarına, konut yatırımlarına ve genel olarak inşaat sektörünün gelişme düzeyine doğrudan bağlıdır. 2022 yılında dünya genelinde sektörel bazda çelik tüketimi verileri incelendiğinde sırasıyla inşaat ve altyapı (%52), mekanik ekipman (%16) ve otomotiv (%12) sektörlerinin ilk üç sırayı paylaştığı görülmektedir.[228]

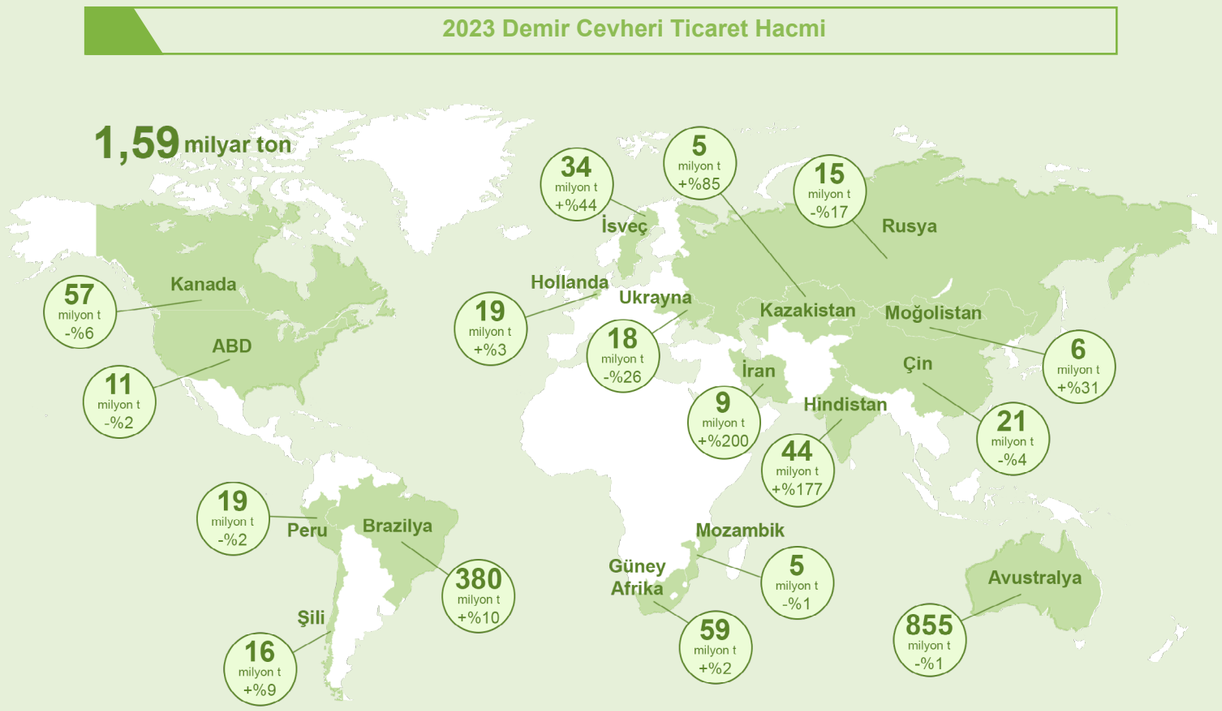
226. World Steel Association. (2023). a.g.e.
227. World Steel Association. (2023). a.g.e.
228. World Steel Association. (2023). a.g.e.



Şekil 22: Sektörel Çelik Tüketimi (%) (2022) [229]

2023 yılında küresel demir cevheri ticareti 2022 yılına göre %5 artarak 1,59 milyar tona yükselmiştir. 2023 yılında toplam demir cevheri ihracatının 855 milyon tonu Avustralya'dan ihraç edilmiştir ve ülke, dünya demir cevheri ihracatında %54'lük pay ile ihracatçılar arasında ilk sırada yer almaktadır. İkinci en büyük demir cevheri ihracatçısı olan Brezilya, 380 milyon ton ile ihracatın %24'ünü oluştururken Güney Afrika ise 59 milyon tonla üçüncü sırada yer almaktadır.[230]

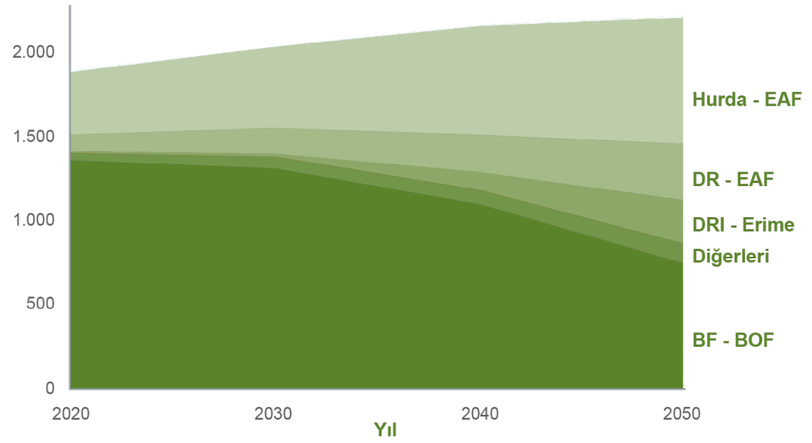
229. World Steel Association. (2023). a.g.e.
230. GMK Center. (2023a). Global iron ore trade grew by 5% y/y in 2023. Erişim adresi: https://gmk.center/en/news/global-iron-ore-trade-grew-by-5-y-y-in-2023/#:~:text=Global%20iron%20ore%20trade%20in,production%20by%20the%20Chinese%20government



Şekil 23: Dünya Genelinde Demir Cevheri İhracat Verileri (2023) [231]

Dünya genelinde çeliğe olan talebin 2050 yılına kadar 1/3 oranında artması beklenmektedir. IEA Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu'na göre, 2050 yılında çelik üretiminde 1 milyar 136 milyon ton hurda, 636 milyon ton sıcak metal ve 343 milyon ton DRI kullanılması beklenmektedir. Söz konusu veriler, hurdayı ön plana çıkartan karbonsuzlaşmaya yönelik eğilimler neticesinde metalik hammadde havuzunda hurdanın payının %54'e çıkacağını göstermektedir. Demir cevheri tüketiminin ise, 2019 yılındaki 2,3 milyar ton seviyesinden 2050 yılında 1,5 milyar tona gerilemesi beklenmektedir. Karbonsuzlaşma çalışmalarının yoğun bir şekilde sürdürüleceği önümüzdeki 30-40 yıllık dönemde, çelik üretiminde kullanılan hammadde yelpazesinde demir cevherinden hurda ve DRI'ya doğru ciddi bir değişim yaşanacağı öngörülmektedir.[232]

231. GMK Center. (2023a). a.g.e.
232. International Energy Agency (2020). Iron and Steel Technology Roadmap, Erişim adresi: https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap



Şekil 24: 2050 Yılına Kadar Çelik Üretim Teknolojilerinin Toplam Üretim İçindeki Pay Değişimi Beklentisi [233]

5.1.1.1.2. Türkiye'de Çelik Sektörü

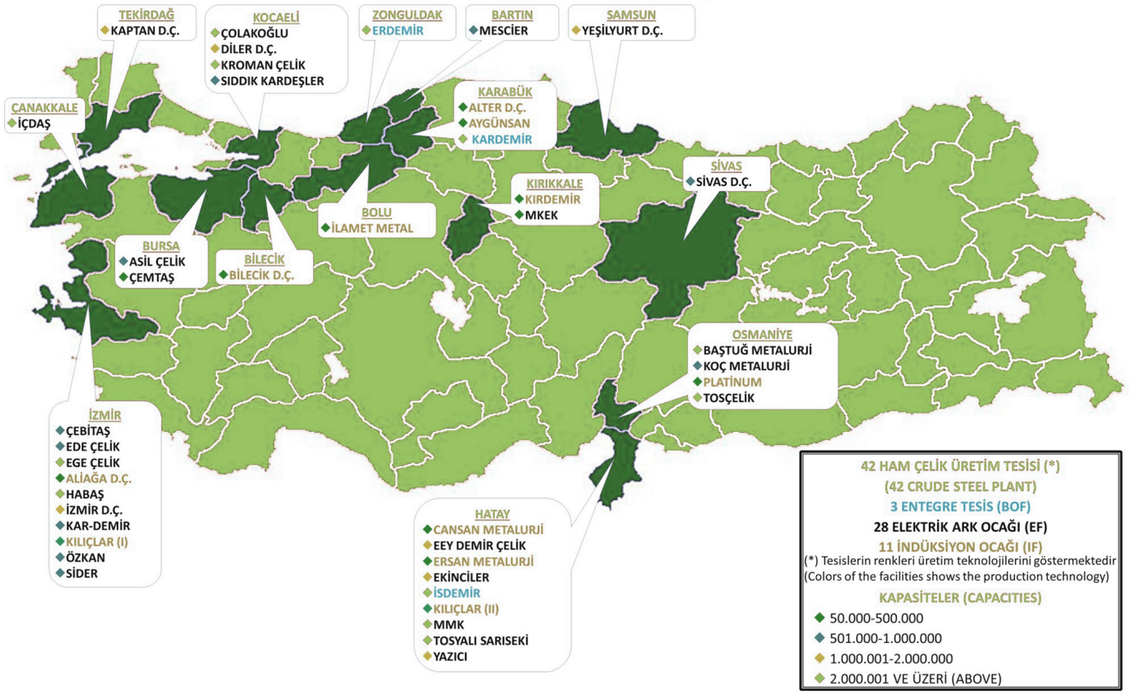
Türkiye, dünyanın en büyük sekizinci çelik üreticisidir. Son iki yılda, çelik üretimi ve ihracatı küresel ve yerel zorluklar nedeniyle azalsa da Türk şirketleri, iç pazarın ihtiyaçlarına yönelik üretim kapasitesinin genişletilmesi kapsamında yatırımlarına devam etmektedir.

Ülkemizde demir-çelik üretimine yönelik girişimler, Cumhuriyet'in kuruluşundan sonra kamu öncülüğünde başlamış ve ilk demir-çelik işletmesi 1930'lu yıllarda Kırıkkale'de (MKEK) kurulmuştur. Bahse konu fabrika, var olan bir silah imalathanesine iki adet Siemens-Martin ocaklı çelikhanenin yerleştirilmesiyle oluşmuş ve gelişmiştir. Kırıkkale fabrikası Karabük Demir-Çelik tesisleri üretime geçinceye kadar Türkiye'nin ray ihtiyacını karşılamış ve ayrıca fabrikada her türlü takım çelikleri, makine yapı çelikleri ve az miktarda inşaat çeliği üretilmiştir. Daha sonra, entegre bir tesis olan Karabük Demir Çelik fabrikası 1939'da faaliyete geçmiştir. Başlangıçta Sümerbank'a bağlı olan şirket 1955'te Türkiye Demir Çelik İşletmeleri'ne (TDÇİ) bağlanmıştır. Özel sektörde ise ilk EAF'lı tesis olan Metaş, 1960 yılında üretime başlamıştır. Yassı ürüne yönelik ilk tesis olan Ereğli Demir Çelik (Erdemir) 1965'te, İskenderun Demir-Çelik (İsdemir) fabrikası ise 1977'de üretime başlamıştır.[234]

1980'li yıllarda yeni EAF'lı tesislerin üretime geçmesiyle, özel sektör Türkiye'nin demir -çelik üretimine ağırlığını koymuştur. Ayrıca, yurt içi ve yurt dışından temin edilen kütükten uzun çelik üreten ve tamamı özel sektöre ait olan çok sayıda haddehane kurulmuştur. Türk çelik endüstrisinin üretim teknolojisi dünyanın aksine EAF tesisler ağırlıklıdır. 2023 yılı itibarıyla Türkiye'de 3'ü entegre, 28'i EAF ve 11'i indüksiyon ocağı olan toplam 42 tane ham çelik üretim tesisi bulunmaktadır.[235]

233. International Energy Agency. (2020). a.g.e.
234. Türk Yapısal Çelik Derneği. (2023). Erişim adresi: https://www.tucsa.org/tr/celik_yapilar_yazi.aspx?yazi=1015
235. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023a). Türkiye Çelik Haritası. Erişim adresi: https://celik.org.tr/harita/

Türkiye Çelik Haritası

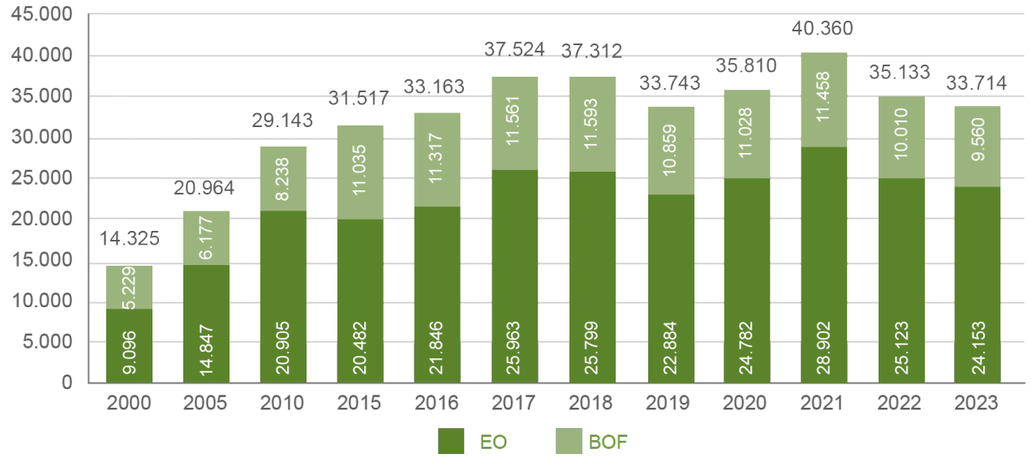


Şekil 25: Türkiye'de Ham Çelik Üretim Tesisleri [236]

Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (TÇÜD) verilerine göre Türkiye'de 2023 yılında 2022 yılına kıyasla %4'lük düşüşle 33,7 milyon ton ham çelik üretilmiştir. Söz konusu üretimin yaklaşık %28'i entegre tesisler, %72'si ise EAF tesisler tarafından gerçekleştirmiştir.[237]

236. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023a). a.g.e.
237. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023b). İstatistikler

Yöntemlere Göre Ham Çelik Üretimi (1000 ton)



Şekil 26: Türkiye'de Üretim Teknolojilerine Göre Ham Çelik Üretimi (2000-2023) [238]

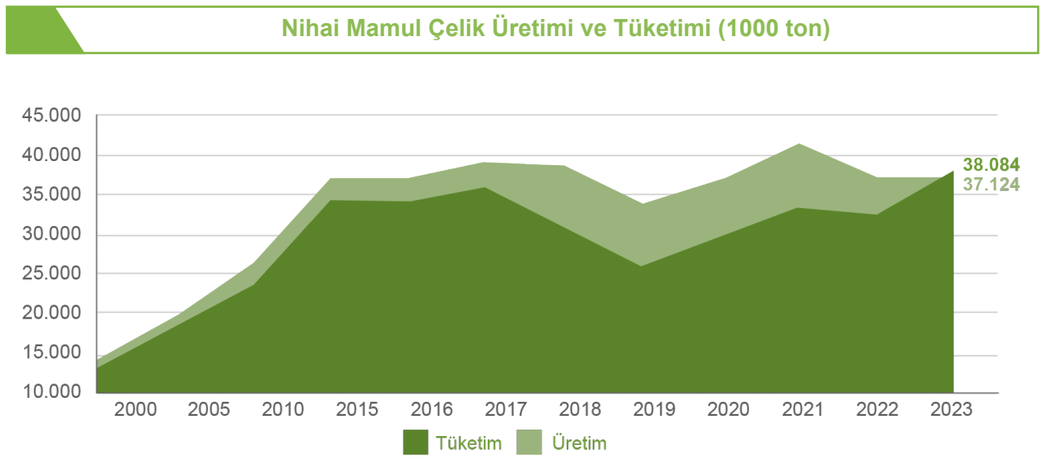
Türk çelik sektörü EAF tesisler ağırlıklıdır bu nedenle, artan elektrik fiyatları çelik sektörü için önemli bir olumsuz faktör olmaya devam etmektedir. Türkiye Çelik İhracatçıları Birliği'ne (CIB) göre, Türkiye'de elektrik fiyatları 2022'de keskin bir şekilde artmış ve 2021'deki %8'lik paya kıyasla üretim maliyetlerinin %27'sini oluşturmuştur.[239] 2022'nin sonlarında ve 2023'ün başlarında sanayi için gaz ve elektrik fiyatları düşürülmüş olsa da enerji fiyatlarının üretim maliyetleri üzerindeki etkisini tam olarak azaltmak mümkün olmamıştır.[240]

Türkiye'de çelik üretimini ve tüketimini etkileyen diğer faktörler arasında çelik ürünlerinde KDV'nin %18'den %20'ye çıkarılması yer almaktadır. Bu karar, haddelenmiş çelik ürünler için daha yüksek fiyatlar anlamına geldiğinden, iç pazarın beklentileri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmuştur.

Şubat 2023'te meydana gelen Maraş Depremi, çelik fabrikalarının üçte birinin üretimi geçici olarak durdurmak zorunda kalmasıyla Türk çelik sektörünü de olumsuz etkilemiştir. Depremin sonuçlarının üstesinden gelmeyi amaçlayan inşaat projeleri için çelik ürünlerine olan talebin artması nedeniyle, fabrikaların kayıpları en azından kısmen telafi edilebilmiştir.

238. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023a). a.g.e.
239. GMK Center. (2023). Energy costs of Turkish steelmakers will continue to decrease – CIB Erişim adresi: https://gmk.center/en/news/energy-costs-of-turkish-steelmakers-will-continue-to-decrease-cib/
240. Çelik İhracatçıları Birliği. (2023). İstatistikler. Erişim adresi: https://www.cib.org.tr/tr/istatistikler.html

Ülkemizde haddelenmiş çelik ürünleri tüketimi 2023 yılında 2022 yılına kıyasla %17,1'lik artışla 2023'te 38,1 milyon ton seviyesinde gerçekleşmiştir. Ancak bu ek talep çelik üretiminde yıllık %4'lük bir düşüşün önlenmesine yardımcı olmamıştır. Diğer taraftan TÇÜD verilerine göre, Türkiye'ye çelik ithalatı 2023 yılında bir önceki yıla göre %15,5 artmıştır.[241]



Şekil 27: Türkiye'de Nihai Mamul Çelik Üretim ve Tüketimi (2000-2023) [242]

2022-2023 yıllarında Türkiye'nin çelik üretimindeki düşüş, demir-çelik hurda tüketiminde ve ithalatında da düşüşe yol açmıştır. SteelMint'e göre, Türkiye'nin 2023 yılındaki demir hurda tüketimi 2022'ye kıyasla yıllık %6 düşüşle 27 milyon tona gerilemiştir.[243]

TÜİK'e göre Türkiye, 2023 yılında hurda ithalatını yıllık bazda %10 azaltarak 18,83 milyon tona düşürmüştür. En büyük beş tedarikçi arasında ABD ve Avrupa ülkeleri (Hollanda, Belçika, İngiltere, Romanya) yer almaktadır.[244]

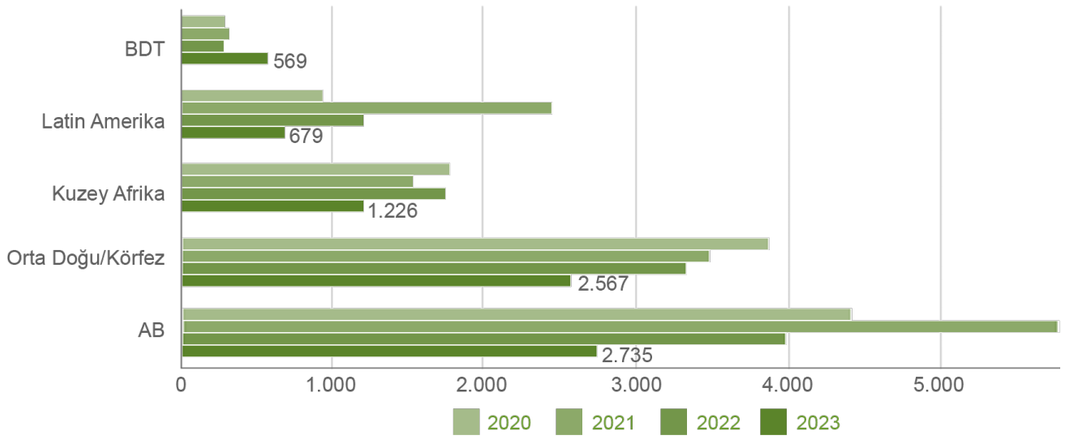
Gelişmiş ülkelerde çelik üretiminin %60-70'ini yassı ürün, %30-40'ını uzun ürünler oluştururken, ülkemizde durum üretim teknolojilerine paralel nitelikte tam tersidir. 2023 yıl sonu itibarıyla toplam üretimin %62'sini uzun ürünler, %38'ini ise yassı ürünler oluşturmuştur. Türkiye'deki uzun ürün üretimi iç tüketimin çok üstündeyken, yassı ürün üretimi ise iç talebin altında seyretmektedir.[245]

241. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023b). a.g.e.
242. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023b). a.g.e.
243. GMK Center. (2023). What is happening in the Turkish steel market? Erişim adresi: https://gmk.center/en/posts/what-is-happening-in-the-turkish-steel-market/
244. SteelOrbis. (2023). Türkiye'nin hurda ithalatı 2023 yılında %11,3 azaldı. Erişim adresi: https://tr.steelorbis.com/celik-haberleri/gundem-haberler/turkiyenin-hurda-ithalati-2023-yilinda-113-azaldi-1326754.htm
245. ürkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023b). a.g.e.

Tablo 6: Türkiye Nihai Mamul Üretimi ve Tüketimi (2000-2023) [246]

Nihai Mamul Üretimi (1000 ton)			
Yıllar	Uzun Ürün	Yassı Ürün	Üretim
2000	11.122	3.145	14.267
2005	15.825	3.768	19.593
2010	19.671	6.629	26.300
2015	26.550	10.389	36.939
2016	26.012	10.869	36.882
2017	25.946	13.065	39.011
2018	25.187	13.402	38.590
2019	20.233	13.488	33.721
2020	23.004	13.856	36.860
2021	26.755	14.629	41.384
2022	25.530	13.571	37.104
2023	23.439	13.685	37.124

Nihai Mamul Tüketimi (1000 ton)			
Yıllar	Uzun Ürün	Yassı Ürün	Üretim
2000	6.784	6.286	13.070
2005	9.077	9.363	18.440
2010	11.660	11.944	23.604
2015	17.926	16.455	34.381
2016	17.636	16.455	34.091
2017	18.130	17.796	35.926
2018	15.805	14.779	30.584
2019	10.821	15.228	26.049
2020	13.861	15.699	29.560
2021	16.026	17.368	33.394
2022	15.270	17.242	32.522
2023	18.559	19.525	38.084



Şekil 28: Türkiye Bölgelere Göre Çelik İhracatı (İlk 5 Bölge) (2000-2023) [247]

246. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023b). a.g.e.
247. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023b). a.g.e.

Türkiye'nin çelik ihracatı üst üste ikinci yıldır negatif bir eğilim göstermiştir. Ülkemizin çelik ihracatı 2023'te yıllık bazda %30,6 düşüşle 10,5 milyon tona gerilemiştir. Buna paralel olarak ihracat geliri de yıllık bazda %40,7 azalarak 8,3 milyar ABD Doları seviyesinde gerçeklemiştir.

İhracattaki azalış sebepleri olarak; Türkiye'deki yüksek elektrik fiyatlarının yerel üreticilerin rekabet gücünü azaltması ve daha ucuz enerji kaynaklarına sahip diğer ülkelerde faaliyet gösteren şirketlerin dış pazarlara arzı artırmayı başarması, AB ve ABD'de faaliyet gösteren yerel üreticilerin vergiler ve kotalar yoluyla ithalat akışından korunması, Çin'deki aşırı çelik üretim fazlasının dış pazarlara kaydırılması, Çin'in özellikle Rusya'ya uygulanan ambargolardan ihracat pazarının daralmasını fırsata çevirerek Rusya'dan ucuza aldığı çelik ürünlerini iç pazarda kullanırken kendi ürünlerini de daha iyi fiyatlara ihracat pazarlarına yönlendirmesi yer almaktadır.[248]

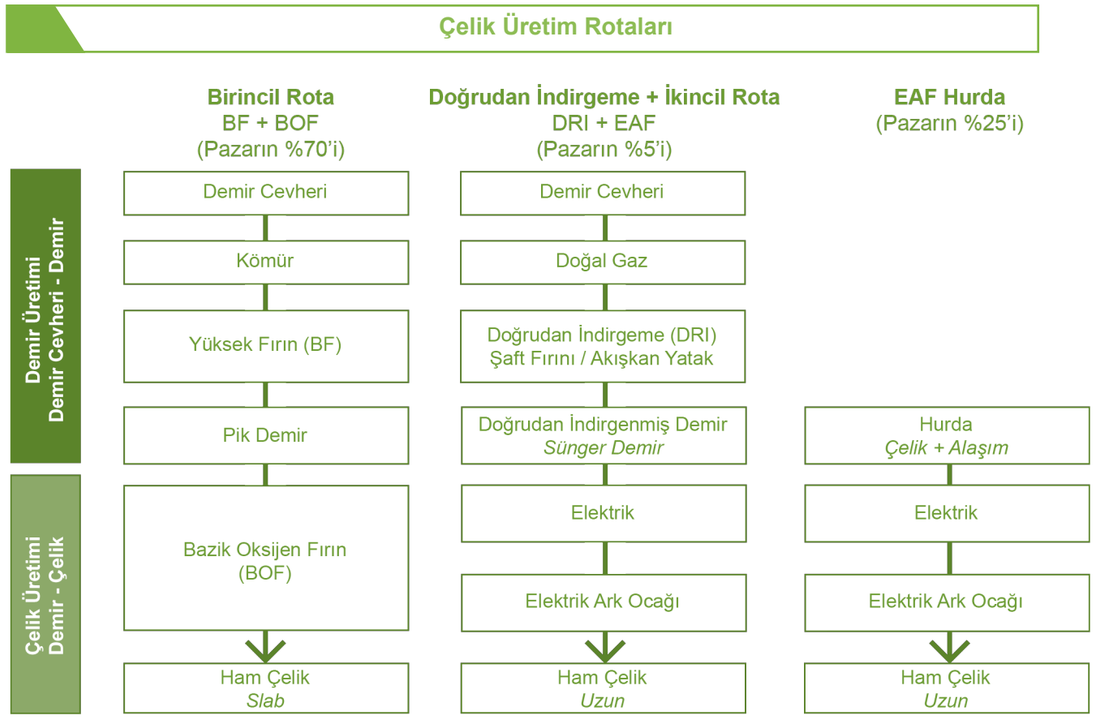
5.1.1.2. Çelik Sektöründe Sera Gazı Emisyonlarının Analizi

5.1.1.2.1. Çelik Üretim Süreçleri

Demir, en temel olarak demir cevherinden oksijen ve diğer yabancı maddelerin uzaklaştırılmasıyla elde edilmektedir. Demir cevherinden elde edilen demir, karbon, geri dönüştürülmüş çelik ve az miktarda diğer elementlerle birleştirildiğinde çelik haline gelmektedir.

Demir-çelik üretiminde üç ana proses rotası bulunmaktadır. Birincil çelik üretiminde kullanılan iki rota BF ve DRI'dır, ikincil çelik üretiminde ise EAF rotası kullanılmaktadır. Günümüzde, küresel çelik üretiminin yaklaşık %71'i BF-BOF ve %6'sı DRI prosesleri ile gerçekleştirilmektedir. EAF rotası ile ikincil çelik üretimi yaklaşık %23'lük bir paya sahiptir.

248. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği. (2023b). a.g.e.



Şekil 29: Çelik Üretim Rotaları

BF-BOF Rotası: On yıllardır, demir cevherini indirgemek için kok kömürünün kullanıldığı BF-BOF metodunu optimize etmek ve karbon açısından zengin sıvı pik demir üretmek için çalışmalar yapılmaktadır. BOF'de sıvı pik demire oksijen üflenmekte ve böylece karbon miktarı azaltılarak istenmeyen bileşenler cürufa alınarak çeliğe dönüştürülmektedir. Bir sonraki adım ise ham çeliğin müşteri spesifikasyonlarına göre işlendiği proseslerden oluşmaktadır.

Bununla birlikte, tüm bu süreç, başta CO_2 olmak üzere iklime zararlı gazların üretilmesine sebebiyet vermektedir. Bir ton ham çelik başına yaklaşık 1,8-2,4 tCO_2e emisyonu söz konusudur.

Koklaştırma tesislerinde kömürden üretilen kok, demir cevherini indirgeyici olarak tüketilmektedir. Yüksek fırının alt bölgesinden ısıtılmış hava olarak üflenmekte, oksijen içeriği indirgeyici gaz karbon monoksit (CO) oluşturmak için değerlendirilmiş olmaktadır Gaz tepeye doğru yükselirken demir cevherinde bulunan oksijeni bağlayarak CO_2'ye dönüştürmektedir. Tüm çelik üretim sürecinde ortaya çıkan CO_2 emisyonlarının yaklaşık %85'i BF'de oluşmaktadır.

Karbon yoğun doğasına rağmen, BF işlemi, yüksek üretim kapasitesi ve çeşitli demir cevherlerini işleme kabiliyeti nedeniyle çelik endüstrisinde çok önemli olmaya devam etmektedir.

DRI Rotası: BOF'a önemli bir alternatif, indirgeme gazı bazlı bir şaft fırınlarında doğrudan indirgenmiş demir (DRI) üretmektir.

İndirgeyici gaz olarak doğal gaz veya hidrojen (H_2) kullanabilen seçeneklerle esnektir. Üretilen DRI daha sonra EAF'larda hammadde olarak kullanılmakta ve çeliğe dönüştürülmektedir. Doğrudan indirgeme, doğal gazdaki yüksek hidrojen içeriği sayesinde zaten büyük emisyon azaltımları sağlayan doğal gaz bazında devam ettirilebilmektedir veya DRI tesisi indirgeyici gaz olarak yenilenebilir hidrojen (H_2) ile çalışabilmekte, bu da bir DRI-EAF kurulumunda %95'e kadar CO_2 azaltımı sağlamaktadır.

DRI-EAF rotası, BF-BOF bazlı birincil çelik üretimine düşük karbonlu bir alternatiftir. Bu yöntem, doğal gaz rezervi zenginliği nedeniyle Ortadoğu ve Kuzey Afrika bölgelerinde popülerdir. Hindistan'da da bu rota kullanılmaktadır, fakat doğal gaz ve kaliteli koklaşabilir taş kömürü eksikliği nedeniyle bu ülkede proses gazlaştırılmış kömüre dayanmaktadır.

DRI üretiminde farklı bir yöntem, kömür ile demir cevherinin indirgenmesine dayanan "Rotary-Kiln" prosesidir. Ancak, CO_2 emisyonu yüksek olan bu yol tercih edilmekten uzaktır.

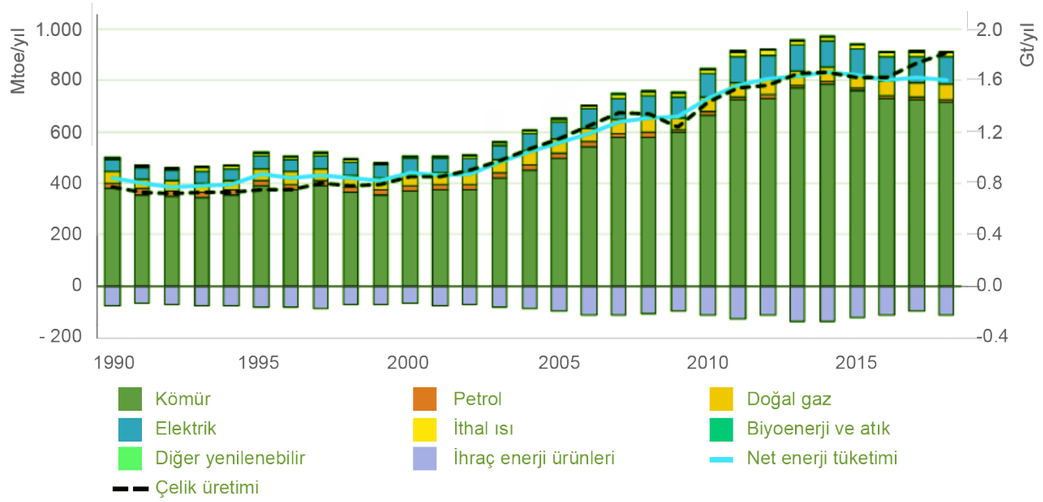
EAF rotası: EAF rotası ham çelik üretiminde diğer bir yöntemdir. BF-BOF rotasından temel fark, enerji ve hammadde kaynaklarında yatmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin kullanılması, çelik üretiminin karbondan arındırılmasında önemli bir adımdır. Bu rotada, hurda, demir cevherinin yerini almaktadır. Kullanılabilirlik ve kalite gereksinimlerine bağlı olarak, sıvı pik demir veya pik, DRI/HBI (Sıcak Briketlenmiş Demir) de kullanılabilmektedir.

EAF'ye beslenen malzemeler elektrik arkı ile ısıtılmakta ve ergitilmektedir. EAF'den çelik alındıktan sonra, standart ikincil metalurji prosesleri kullanılarak ham çelik istenilen özelliklere dönüştürülmektedir.

5.1.1.2.1. Çelik Üretim Süreçleri

Demir ve çelik sektörü enerji ve karbondioksit yoğun bir sektör olarak öne çıkmaktadır. Sektör 2020 yılında küresel nihai enerji kullanımının %8'ini oluşturmuştur. 2020 yılında, ortalama olarak, üretilen her bir ton çelik atmosfere 1,89 ton CO_2 salımına yol açmıştır. 2020 yılında 1,86 milyar ton çelik üretilmiş ve sektör kaynaklı toplam doğrudan emisyonlar 2,6 milyar tonmertebesinde olup küresel antropojenik CO_2 emisyonlarının %7 ila %9'unu temsil etmiştir. [249, 250]

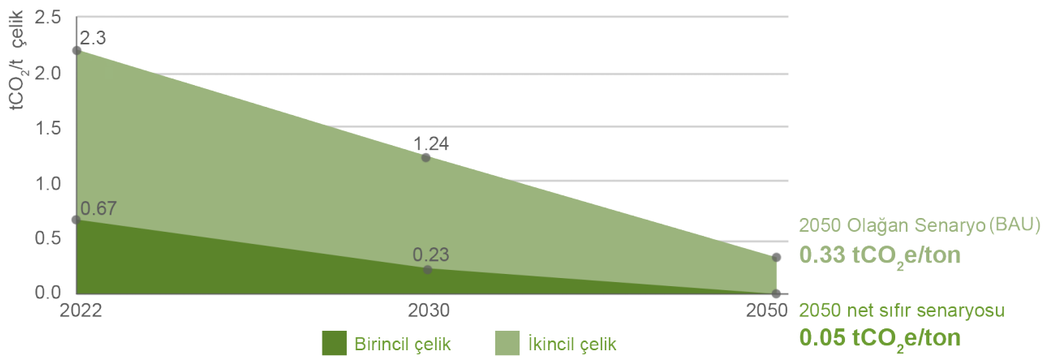
Demir ve çelik üretimi, enerji girdisi için çoğunlukla elektrik kullanan saf hurda bazlı üretimden (EAF) çok daha fazla biçimde, enerji ve emisyon yoğun olan demir cevheri bazlı üretimle (BOF) karşılandığı için büyük ölçüde kömür veya doğal gaza bağımlıdır. Mevcut yakıt karışımı, emisyonların yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır. Kömür bağımlılığı, on yıl boyunca sürekli olarak %70-75 seviyesinde ve çeliğin mutlak emisyonlarında çok önemli pay almıştır. Son on yılda, sektörün CO_2 emisyonları, gelişmekte olan pazarlardaki talep artışının neden olduğu üretim artışı nedeniyle yıllık %2,5 artmıştır.[251]



Şekil 30: Çelik Sektörü Nihai Enerji Tüketimi (Gt/yıl) (1990-2020) [252]

Sektör, 2030 yılına kadar emisyon yoğunluğunu birincil çelik için %45 ve ikincil çelik için %65 azalmayı hedeflemektedir. 2050 net sıfır uyumlu yakıt karışımı, çelik emisyonlarının pazar talebindeki büyüme paralelliğinden ayrılmasını gerektirecektir. Bu, azaltılmamış fosil yakıtların yakıt karışımındaki mevcut %86'lık baskın payının %30'a düşürülmesini gerekli kılmaktadır.

249. International Energy Agency. (2020). a.g.e.
250. World Steel Association. (2021). Public Policy Paper: Climate change and the production of iron and steel
251. International Energy Agency. (2020). a.g.e.
252. International Energy Agency. (2020). a.g.e.



Şekil 31: Birincil ve İkincil Çelik İçin Emisyon Yoğunluğu Yörüngesi (2030-2050)

Günümüzde çeliğin %78'i birincil yöntemler kullanılarak üretilirken, kalan kısım ikincil üretimden gelmektedir. Bu dağılım küresel olarak farklılık göstermektedir. Çin çeliğinin %90'ı için ağırlıklı olarak birincil süreçleri (özellikle BF-BOF) kullanırken, Kuzey Amerika çelik üretiminin %70'i için ikincil süreçlere güvenmektedir. Hindistan ve AB gibi diğer büyük çelik üreten bölgeler, birincil ve ikincil çelik üretimi arasında daha dengeli bir dağılım sergilemektedir.

Çin, küresel çelik emisyonlarının yaklaşık %62'sini oluşturmaktadır. Bu nedenle dünya genelinde çeliğin karbondan arındırılmasında başarı şansı, büyük oranda Çin'e bağlı olacaktır.
Net sıfır hedefine ulaşmak için Çin'in çelik emisyonlarının 2050 yılına kadar mevcut seviyelerden %95'ten fazla düşürmesi gerektirmektedir. Ülkenin çelik üretiminin %90'ının son derece kirletici BF-BOF yolundan geçtiği göz önüne alındığında, bu aşılmaz bir görev olarak görülmektedir. Çinli çelik üreticileri, görece genç bir BF-BOF filosunu yönetmek ve yeni, daha yeşil çelik üretim teknolojilerine yatırım yapmak arasında denge kurmak zorunda kalacaklardır. Pekin'in çelik üretimini kısma politikası, ülkenin emisyon profilinin iyileştirilmesine yardımcı olacaktır. Bu tür dolaylı kontrol önlemleri, uzun vadede karbonsuzlaştırmayı desteklemeye devam edecektir. Çin'in karbondan arındırma çabalarına, ekonomik büyümesi yavaşladıkça düşen talep de yardımcı olacaktır.

Çin'in yanı sıra AB, ABD, Japonya ve Güney Kore gibi olgun ekonomiler, tahmin döneminin ilk yarısında çelik yatırımlarını önden başlatmak zorunda kalacaklardır. Hindistan, Güney Amerika ve Güneydoğu Asya'nın 2035 yılına kadar yeşil çeliğe önemli yatırımlar yapması pek olası görünmemektedir.

DRI üretim kapasitesi için ise pelet üretimine ileri entegrasyon gerekmektedir. Demir cevheri madencilerinin yatırımlarının üçte ikisi, yeni yüksek kaliteli cevher madenlerinin araştırılmasına ve mevcut operasyonlardan kaynaklanan emisyonların azaltılmasına ayrılacaktır.

5.1.2. Çimento Sektörü

5.1.2.1. Çimento Sektörüne Genel Bakış

Çimento tarih boyunca kullanılmıştır. Günümüz Türkiye'sinde bulunan yanmış kireçtaşı ve kilden yapılmış konsolide beyaz badanalı zeminin arkeolojik keşfi ile malzemenin varyasyonların 12.000 yıl öncesine kadar kullanıldığı görülmektedir. MÖ 800 civarında Fenikeliler, bugün "puzolan" olarak adlandırılan yanmış kireç ve volkanik kül karışımını, daha önce kullanılan her malzemeden daha güçlü olmakla kalmayıp aynı zamanda su altında sertleşen hidrolik kireç üretiminde kullanmışlardır. Günümüz çimentosunun öncüsü tam 200 yıl önce, 1824 yılında, İngiliz duvarcı ve inşaatçı Joseph Aspdin tarafından kireçtaşı ve kili kalsine olana kadar ısıtarak, öğüterek ve ardından suyla karıştırarak elde edilmiştir. Aspdin bu Portland Çimentosu'na, İngiltere'nin Dorset bölgesindeki Portland Adası'nın ünlü güçlü yapı taşının adını vermiştir.[253]

Bağlayıcı malzemeler için ilk büyük dönüşüm sanayi devrimi ile birlikte kömürün bir enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlamasıyla gerçekleşmiştir. 20. yüzyılın başlarında uzun döner fırının icat edilmesi ile verimlilik artışı sağlanmış ve yüksek kapasitelerde üretim yapmak mümkün olmuştur. Çimentonun geçmiş yüzyıldaki tarihsel gelişimine bakıldığında ilk önemli gelişme 1930'lu yıllarda çimentonun daha kolay ve hızlı bir şekilde öğütülmesi için kimyasal kullanımının başlamasıdır. 1950'li ve 60'lı yıllarda uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve doğal puzolanların çimentolu sistemlerde kullanımının uygunluğunun anlaşılmasıyla birlikte katkılı çimento üretimine başlanmış, 1970'lerde yaşanan küresel enerji krizi sektörde enerji verimliliği olgusunu ön plana çıkartarak enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlayan (ön ısıtıcı kuleler gibi) teknolojilere geçilmesini sağlamıştır. 1980'li yıllarda ise fosil yakıt tüketimini azaltmak ve daha ekonomik bir üretim gerçekleştirmek için çimento sektöründe alternatif yakıtlar ilk kez kullanılmaya başlamıştır.

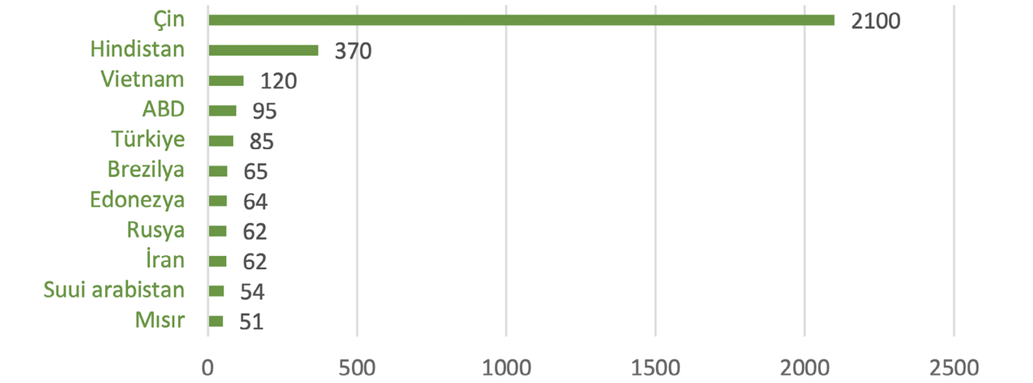
5.1.2.1.1. Dünyada Çimento Sektörü

Dünyada üretilen çimentonun yaklaşık %50'si Çin tarafından üretilirken Türkiye 2022 yılı verilerine göre dünyadaki çimento üretiminde %1,8'lik paya sahiptir. Türkiye'de çimento sektörünün üretim kapasitesi ülkenin ihtiyacı olan çimento miktarının üzerindedir. Ülke olarak ihracat kalemleri arasında yer alan çimento yurt dışı dinamiklerine ve iç piyasanın ihtiyacına göre farklı coğrafyalara satılabilmektedir.

2021 yılında dünya genelinde çimento üretim hacmi 4 milyar 400 milyon ton iken, 2022 yılında %6,82'lik düşüşle 4 milyar 100 milyon tona gerilemiştir. 2022 yılında Çin dışındaki birçok ülkede çimento üretim hacmi artış gösterse de Çin'in çimento üretimindeki azalma, dünya genelindeki çimento üretimindeki daralmanın ana nedeni olmuştur.

253. World Cement Association. (t.y.). History of Cement. Erişim adresi: https://www.worldcementassociation.org/about-cement/our-history

2022 yılında dünya çimento üretiminde öne çıkan ülkelerden Hindistan, kömür, petrokok ve diğer hammadde fiyatlarının artışından etkilenmiştir. Ancak bu ülkedeki çimento talebi yılın ilk sekiz ayında yıllık bazda %10 artış göstererek 261 milyon tona ulaşmıştır. Bu artış, Hindistan'ı yıl sonunda 370 milyon ton çimento üretimiyle dünyanın ikinci en büyük çimento üreticisi yapmıştır. Diğer ülkeler arasında Çin, 2,1 milyar ton üretimle açık ara birinci sırada yer alırken, Vietnam 120 milyon tonla üçüncü, ABD 95 milyon tonla dördüncü ve Türkiye 85 milyon tonla beşinci sırada yer almıştır. Ayrıca, Brezilya 65 milyon ton, Endonezya 64 milyon ton, Rusya ve İran 62'şer milyon ton, Suudi Arabistan 54 milyon ton ve Mısır 51 milyon ton çimento üretimi gerçekleştirmiştir.

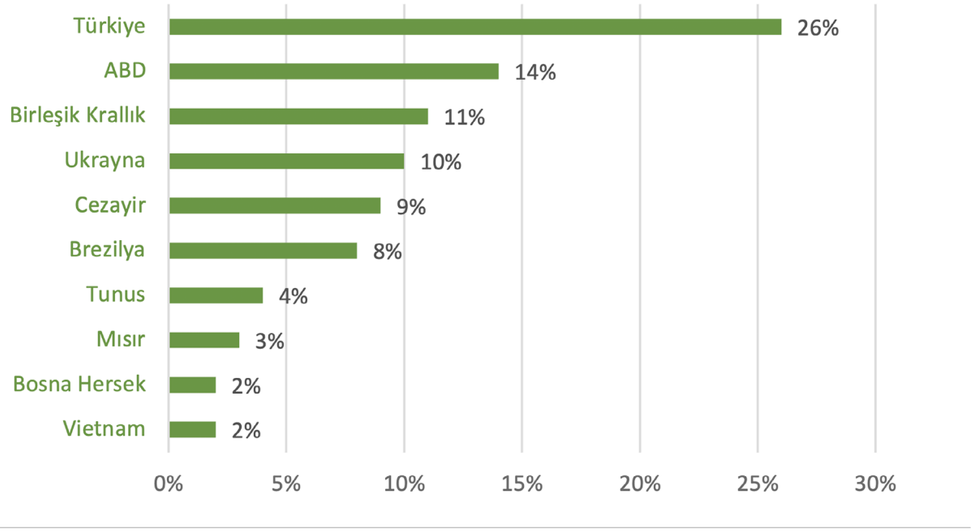


Şekil 32: Dünya Çimento Üretimi (Milyon Ton) (2022)

AB'nin 2022 yılındaki çimento üretimi yaklaşık olarak 182,5 milyon ton seviyesinde gerçekleşmiştir. AB ülkelerinde gerçekleştirilen renovasyon, tadilat ve rekonstrüksiyon projeleri, altyapı ve binalara yönelik pek çok projeyle birlikte çimento talebini artırmıştır. Bu durum, AB'nin çimento ve klinker ithalatında da artışa neden olmuştur; 2022 yılında ithalat miktarı yaklaşık 10 milyon ton seviyesinde gerçekleşmiştir.

AB'ye çimento ihracatı yapan ülkeler arasında Türkiye, %26'lık pay ile ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'yi %14 ile ABD ve %11 ile İngiltere takip etmektedir. Bu ülkeleri sırasıyla Ukrayna, Cezayir, Brezilya, Tunus, Mısır, Bosna Hersek ve Vietnam izlemektedir. Ticaret Bakanlığı verilerine göre, Türkiye çimento sektörünün AB'ye ihracat payı, ilk 10 ülke arasında en yüksek seviyededir ve bu durum, Türkiye'nin rekabet açısından öncelikli bir konumda olduğunu göstermektedir.[254]

254. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2023b). AB Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması Çimento Sektörü. Erişim adresi: https://ticaret.gov.tr/data/64cbbf1d13b87609b454e369/SKDM_Cimento-03082023-web.pdf



Şekil 33: AB'ye Çimento Tedarik Eden İlk 10 Ülke (2022)

AB, çimento sektörünü karbon kaçağı riski yüksek sektörler arasında değerlendirmektedir. Son üç yıllık ihracat verileri incelendiğinde, Türkiye'nin AB'ye yaptığı çimento ihracatının arttığı izlenmektedir. 2022 yılında çimento ihracatında 2021 yılına kıyasla bir azalma olsa da klinker ihracatında önemli bir artış görülmüştür.[255]

2018 yılında AB'ye yapılan çimento ihracatının parasal karşılığı 60,8 milyon ABD Doları iken, 2022 yılında bu rakam 246,6 milyon ABD Dolarına yükselmiştir. Aynı dönemde, dünya genelinde yapılan toplam çimento ihracatı 614,5 milyon ABD Dolarından 1.664,8 milyon ABD Dolarına çıkmıştır. AB'ye yapılan ihracatın dünya genelindeki payı ise 2018'de %10 iken, 2022'de %15'e yükselmiştir.[256]

Tablo 7: Türkiye'nin AB'ye Yönelik Çimento İhracatı (Bin ABD Doları)

Çimento İhracatı/Yıl	2018	2019	2020	2021	2022
AB'ye Toplam İhracat	60.840	97.634	143.194	208.765	246.613
Dünyaya Toplam İhracat	614.496	929.830	1.218.713	1.368.072	1.664.828
AB'ye İhracatın Payı (%)	%10	%11	%12	%15	%15

255. CEMBUREAU. (2023). EU Cement Industry Trade Statistics. Erişim adresi: https://cembureau.eu/media/11gferby/eu-cement-industry-trade-statistics-data-06-2023-published-09-2023.pdf
256. CEMBUREAU. (2023). a.g.e.

5.1.2.1.2. Türkiye'de Çimento Sektörü

Türkiye 2022 yılı verilerine göre dünyadaki çimento üretiminde %1,8'lik paya sahiptir. Türkiye'de çimento sektörünün üretim kapasitesi ülkenin ihtiyacı olan çimento miktarının üzerindedir. Ülke olarak ihracat kalemleri arasında yer alan çimento, yurt dışı dinamiklerine göre farklı coğrafyalara satılabilmektedir.

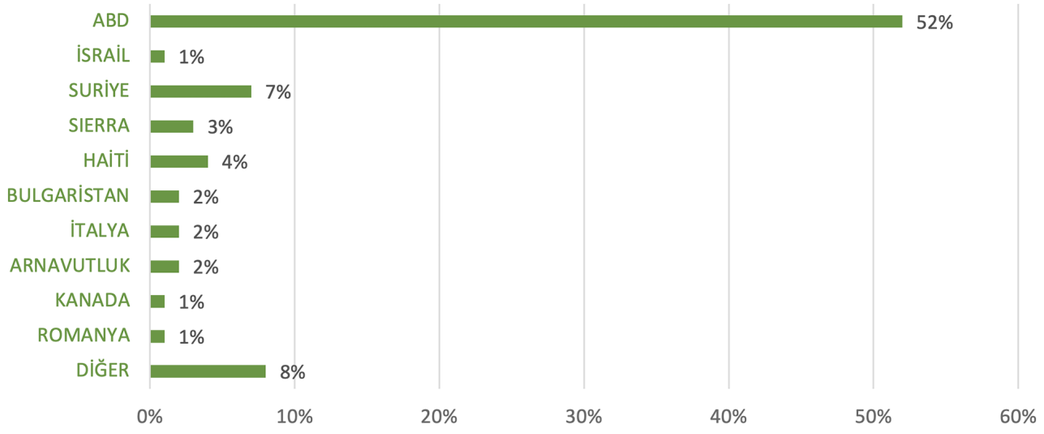
> **"Türkiye'de klinker ve çimento üretimini entegre yapan 56 adet tesis bulunmaktadır. Bu tesisler 25 şirket altında toplanmaktadır. 25 şirketin 6'sı yabancı ortaklıdır, 19'u ise yerli sermaye yapısına sahiptir."**

2022 yılında Türkiye'de üretilen çimento miktarı 72,2 milyon ton seviyelerinde iken 2023 yılında bu rakam %1,2 yükselerek 73 milyon ton seviyelerine ulaşmıştır. 2022 yılında 54,6 milyon ton olan çimento iç satış rakamları %19 artarak 64,9 milyon tona ulaşmıştır. 2022 yılında 27 milyon ton olan ihracat rakamı 2023 yılında 19,2 milyon ton değerine gerileyerek %29'luk bir düşüş eğilimi göstermiştir.[257, 258]

2022 yılında Türkiye'de üretilen çimentonun yaklaşık %24,3'ü ihraç edilmiştir. 2022 yılında çimento sektörünün kapasite kullanım oranı yaklaşık %77'dir. 2022 yılında ABD'ye 9,7 milyon ton ihracat gerçekleştirilmiştir. Yükselişte olan İsrail pazarına ise 3,2 milyon ton ihracat yapılmıştır. Son yılların şampiyonu Suriye sıralamada 1,4 milyon ton ile üçüncü olmuştur. Çimento ihracatının sırasıyla %52 ve %17'si ABD ve İsrail'e yapılırken ihracatta diğer önemli pazarlar Suriye, Haiti ve Sierra Leone olmuştur. Çimento ihracatında ağırlık özellikle ABD ve Haiti'nin etkisiyle Amerika kıtası olurken, ikinci önemli pazar İsrail ve Suriye etkisi ile birlikte Ortadoğu pazarı olmuştur.[259, 260]

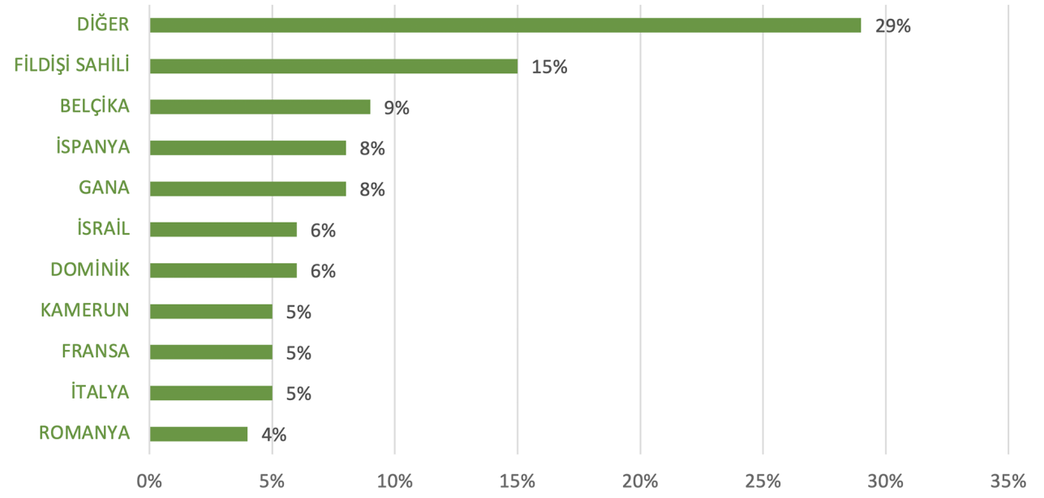
257. Türkçimento. (2022). Türk Çimento Sektörü 2022. Erişim adresi: https://www.turkcimento.org.tr/uploads/pdf/2022_sekt%C3%B6r_kitab%C4%B1.pdf
258. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2023b). a.g.e.
259. Türkçimento. (2022). a.g.e.
260. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2023b). a.g.e.

Türkiye Çimento ve Klinnker İhracatı



Şekil 34: Türkiye Çimento İhracatı (2022)

Klinker ihracatında ağırlık, son yıllarda talebin arttığı Avrupa ülkeleri (Belçika ve İspanya) ve Afrika (Fildişi Sahili) bölgesidir. Klinker ihracatının %38'i Avrupa'ya, %37'si Afrika'ya yapılmıştır. 2022 yılında çimento ihracatının %59'u Amerika, %27'si Asya, %5'i Afrika ve %9'u Avrupa ülkelerine gerçekleştirilmiştir.[261]



Şekil 35: Türkiye Klinker İhracatı (2022)

261. CEMBUREAU. (2023). a.g.e.

5.1.2.2. Çimento Sektöründe Sera Gazı Emisyonlarının Analizi

5.1.2.2.1. Çimento Üretim Süreçleri

Çimento ince, yumuşak, toz halinde bir maddedir ve esas olarak betonda ince kum ve iri agregaları birbirine bağlamak için kullanılmaktadır. Çimento bir yapıştırıcıdır ve hidrolik bağlayıcı görevi görmektedir; diğer bir deyişle, su eklendiğinde sertleşen bir maddedir.

Çimento üretimi temel olarak iki adımdan oluşmaktadır.

- Çimentonun ana bileşeni olan klinker ilk olarak kireçtaşı (kalsiyum karbonat) ve kil gibi diğer malzemelerin fırında yaklaşık 1.450°C'de pişirilmesiyle elde edilmektedir. Kalsinasyon olarak bilinen bu işlem sırasında, kalsiyum karbonat (kireçtaşı) kalsiyum okside (kireç) dönüşmekte ve daha sonra hammaddedeki diğer bileşenlerle reaksiyona girerek topluca klinker olarak adlandırılan yeni mineraller oluşturmaktadır. Bu erimeye yakın malzeme hızla 100 - 200°C sıcaklığa soğutulmaktadır.
- Klinker daha sonra alçı taşı ve diğer malzemelerle öğütülerek çimento olarak bilinen gri toz elde edilmektedir.

Çimento üretimini "enerji yoğun" olarak ifade etmek yerinde bir tanımdır. Bir ton çimento üretmek için ortalama 3-3,5 GJ ısıl enerjiye ve 100 kWh elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir ton klinker üretimi yaklaşık 0,83 ton, bir ton çimento üretimi ise ortalama 0,63 ton CO_2 salınmasına sebep olmaktadır. Bu miktardaki salım, çimento endüstrisini toplam antropojenik sera gazlarının %8'inden sorumlu hale getirmektedir. Çimento üretiminden kaynaklanan CO_2 emisyonlarının iki ana kaynağı bulunmaktadır:

- 550 °C'nin üzerinde kireçtaşının ($CaCO_3$) CaO ve CO_2'ye ayrışması (çimento üretimi toplam CO_2 emisyonlarının yaklaşık %60 ila %65'i),
- Çimento fırınını ve kalsinatörü ısıtmak için kullanılan fosil yakıt kullanımı (çimento üretimi toplam CO_2 emisyonlarının geri kalan %35 ila %40'ı)

Çimento üretiminde enerji, yakıt (ısıtma için) ve elektrik olarak iki şekilde kullanılmaktadır. Enerji verimliliği (termal ve elektrik) ekonomik ve teknolojik ihtiyaçlar tarafından yönlendirilen tüm iş kararlarının bir parçası olarak uzun yıllar boyunca çimento endüstrisi için bir öncelik olmuştur. Çimento üretiminde enerji bileşiminin %10-15'ini elektrik, geri kalanını ise çeşitli yakıtlar oluşturmaktadır. Kuru bir proseste toplam elektrik tüketimi, hammadde hazırlama ve klinker üretimi (her biri %25) arasında eşit olarak ayrılmakta ve sonrasında %43'ü çimento öğütme işleminde, kalanı ise hammadde çıkarma, yakıt öğütme ve paketleme ile yükleme işlemlerinde kullanılmaktadır. Yakıtlar ise piro-proses (fırın), kalsinasyon ve hammadde kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır.

5.1.2.2.2. Çimento Üretim Süreçlerinde Emisyonların Analizi

Türkiye'de 2021 yılı sera gazı emisyonlarının yaklaşık %13'ü çimento sektörü kaynaklıdır. Bu oran yıllara bağlı olarak %12-%14 aralığında değişmektedir. Yoğun enerji tüketimi ile emisyonlarda üst sıralarda yer alan çimento sektörünün karbon emisyonları 2021 yılında 73 milyon tCO_2e olarak gerçekleşmiştir.

Çimento sektörünün doğrudan emisyonlarının kaynağı proses aşamasında açığa çıkan karbondioksit ve yanma kaynaklı olarak ortaya çıkan karbondioksittir. Üretim süreçlerinde kullanılan elektrik ve nakliye hizmetleri diğer dolaylı emisyonlarının kaynağını oluşturmaktadır. Doğrudan emisyonların %63'ü proses kaynaklı, %37'lik kısmı ise yanma kaynaklı oluşmaktadır. 1 ton klinker üretimi için yanma ve proses emisyonlarının toplamı ele alındığında Türkiye ortalamasında 865 kg CO_2 salımı gerçekleşmektedir. Çimento fabrikasının sahip olduğu teknoloji, kullandığı hammadde ve yakıtlara bağlı olarak bu değer en iyi uygulamalarda 810 kg CO_2 değerine düşerken, en yüksek emisyona sahip fabrikalarda ise 946 kg CO_2 değerine kadar çıkabilmektedir. Türkiye ortalaması baz alındığında klinker başına oluşan 865 kg CO_2 emisyonunun 545 kg'lık kısmının proses emisyonlarından, 320 kg'lık kısmının ise yakıtların yanması kaynaklı emisyonlardan oluştuğu görülmektedir. Bu doğrudan emisyonların yanı sıra çimento sektörünün yaklaşık 3,8 milyon ton elektrik tüketimi kaynaklı CO_2 emisyonları bulunmaktadır. Doğrudan ve elektrik tüketimi dolaylı Kapsam 1 ve 2 emisyonları baz alındığında elektrik tüketimi kaynaklı emisyonların %4,9'a tekabül ettiği görülmektedir.

Çimento üretim prosesinde doğrudan emisyonların tamamı klinker üretiminden çıkmaktadır. Dolayısıyla çimento ürünlerinin doğrudan emisyonları, ikame edilen klinker oranı ile yakın ilişkilidir. Çimento içerisinde ne kadar fazla klinker kullanılırsa karbon emisyonları o kadar yüksek çıkmakta, klinker oranı ne kadar düşük olursa karbon emisyonları da o kadar düşük seyretmektedir. Türkiye ortalaması %89 olan 1 ton çimento içerisinde klinker kullanım miktarı baz alındığında, ortalama olarak çimentonun karbon emisyonu 770 kg CO_2 olarak hesaplanmaktadır. Bu değer çimento tiplerine ve çimento içerisinde kullanılan klinker miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yüksek katkılı çimentolarda klinker oranı düşürülerek bu değer 500 kg CO_2 seviyelerine çekilebilirken, düşük katkılı çimentolarda 840 kg CO_2 seviyeleri görülebilmektedir.

Türkiye'de AB ülkelerine yapılan ihracat ürünlerinde AB bedelsiz tahsisat değeri üzerinden bir değerlendirme yapılacağı için ihraç edilen her bir ton klinker için Türkiye ortalaması baz alındığında 865-693= 172 kg karbon vergisi ödemesi [0,172 ton-birim x Karbon fiyatı (Euro/ton) x İhracat miktarı (ton)] ile karşılaşacağı görülmektedir.

Diğer taraftan, ülke içerisinde kurulacak olan ETS ile AB bedelsiz tahsisatına benzer oranda bedelsiz tahsisatlarla karşılaşılması ve yüksek oranda karbon bedellerinin ödenmesi gündeme gelecektir. Bu nedenle, önümüzdeki kısa ve orta vadeli yatırım planlarında büyük oranda karbon emisyonu azaltıcı yatırımlar üzerine odaklanılması beklenmektedir.

5.1.3. Alüminyum Sektörü

5.1.3.1. Alüminyum Sektörüne Genel Bakış

Alüminyum günümüzde hafifliği, dayanıklılığı, yüksek korozyon direnci, %100 geri dönüştürülebilme özelliği, elektrik ve ısı iletkenliği ve kolay şekillenebilir özellikleri sayesinde birçok endüstrinin (Tablo 8) stratejik malzemesi konumundadır. Alüminyum; otomotiv, havacılık, ulaştırma sektörünün çeşitli alanları, inşaat, tıp, gıda, havacılık, uzay ve savunma sanayii gibi birçok endüstrinin temel malzemelerinden birisidir. Bu açıdan genel ekonomi içinde önemli bir yere sahip olan alüminyumun Uluslararası Alüminyum Enstitüsü'nün (International Aluminium Institute – IAI) raporlarına giren şekli ile genel kullanım alanları aşağıda özetlenmektedir.

Tablo 8: Dünyada Alüminyum Ürünleri Kullanımının Sektör Bazında Yüzdelik Dağılımı [262]

Ülkeler	Alüminyum kullanım alanları (%)
Yapı – İnşaat	%24
Ulaşım (Hafif)	%18
Makine Ekipman	%10
Dayanıklı Tüketim	%9
Ulaşım (Ağır)	%7
Ambalaj (İçecek)	%7
Enerji İletimi	%6
Enerji – BT	%6
Ambalaj (Diğer)	%5
Diğer Endüstriler	%7

Alüminyum mamulleri ve yarı mamulleri, inşaat sektöründe bitmiş ürün olan cephe kaplama, çatı ve doğrama imalatında kullanılmakta olup çeşitli inşaat yapı elemanlarının yanı sıra özellikle büyük yapılarda düşük statik ve yüksek oksidasyon direnci sayesinde ana yapı elemanı olarak yaygın bir biçimde karşımıza çıkmaktadır. Özellikle yüksek katlı binalarda ve büyük köprü gibi üst yapılarda toplam statik yükü önemli ölçüde azaltması nedeniyle tercih edilen bir malzemedir.

262. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023a). Dünyada ve Türkiye'de Alüminyum Sektör Raporu Özet 2022. Erişim adresi: https://talsad.org.tr/wp-content/uploads/2023/12/TALSAD_Dunyada_ve_Turkiyede_Aluminyum_Sektor_Raporu_Ozet_2022.pdf

Ayrıca alüminyum, yüksek dayanıklı özel alaşımları ile otomotiv sektöründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde Avrupa'da üretilen bir otomobilde 205 kg civarında alüminyum kullanılmakta ve daha hafif olmasına rağmen mukavemet seviyesi korunmak kaydıyla toplam araç ağırlığı ve dolayısıyla yakıt tüketimi düşürülerek sera gazı emisyonlarının azaltılması sağlanmaktadır. Avrupa otomotiv sanayiinde araç başına ortalama alüminyum kullanım miktarının 2030 projeksiyonunda ortalama 256 kilogramın üzerine çıkması beklenmektedir. Alüminyum, hafifliği nedeniyle elektrikli araçlar için en önemli kriterlerden biri olan "menzil" artışında ciddi rol oynamaktadır. [263]

Alüminyum "darbe dayanıklılığı" ve "yüksek mukavemeti" sayesinde yeni nesil elektrikli araçların vazgeçilmez malzemesi konumuna gelmiştir. Avrupa'da üretilen elektrikli araçlarda ortalama alüminyum kullanımının 310 kg/EV olacağı tahmin edilmektedir. Avrupa genelinde 2030 yılında yaklaşık 30 milyon adete ulaşması beklenen EV'ler için ihtiyaç duyulacak ilave alüminyum talebi ise 7,5 milyon ton olarak öngörülmektedir. [264]

Otomotiv sanayiinin yanı sıra alüminyum, ulaştırma sektörünün temel malzemeleri arasındadır. Uçaklarda, trenlerin yük taşıma ve yolcu kompartımanlarının yapımında, deniz endüstrisi ve gemi sanayiindeki gövde ve pervanelerin üretiminde de önemli ve güçlü bir malzeme olarak kullanılmaktadır. Alüminyum havacılık ve uçak sanayiinde en önemli malzemelerinden biri olup gövde, kanat ve diğer yapısal elemanların neredeyse tamamı alüminyum alaşımlarından üretilmektedir. Örnek olarak, Airbus A380'in yaklaşık %61'i alüminyumdur. Alüminyum, alaşımlarının hafifliğinin yanı sıra sağlamlığı ile havacılık sektörünün de gelişmesine büyük katkı sağlamıştır.

Alüminyum içecek kutuları, gıda, ilaç ve genel ambalaj kullanımı için ideal bir malzemedir. Alüminyum folyo, güneş ışığı ve morötesi ışınları geçirmediği ve içinde bulundurduğu malzemelerin hava ile temasını tam olarak kestiği için gıdaların doğal yapısının ve tazeliğinin uzun süre korunabilmesine olanak sağlamaktadır. Alüminyum dünyada içecek kutusu olarak en yaygın kullanılan malzemedir. Toplumsal çevre bilincinin artması ve alüminyum üreticilerinin desteğiyle geliştirilen toplama ve geri dönüşüm sistemleri sayesinde alüminyum içecek kutularını toplama ve geri kazanım oranları giderek artmaktadır. Avrupa'da içecek kutularının %76'sından fazlası geri dönüştürülmekte ve bu işlem sonsuz bir döngü içinde devam edebilmektedir.[265]

263. European Aluminium. (2023). Aluminum Content in Passenger Vehicles (Europe) Assessment 2022 and Outlook 2026, 2030. Erişim adresi: https://european-aluminium.eu/wp-content/uploads/2023/05/23-05-02Aluminum-Content-in-Cars_Public-Summary.pdf
264. CRU. (2022). Opportunities for aluminium in a post-Covid economy. Erişim adresi: https://international-aluminium.org/wp-content/uploads/2022/03/CRU-Opportunities-for-aluminium-in-a-post-Covid-economy-Report.pdf
265. International Aluminium Institute. (2022). Comparing the Carbon Footprints of Beverage Containers.

Alüminyum son derece iyi bir iletken malzemedir. Bu nedenle, tüm alüminyum kullanımının Avrupa'da %10'u, ABD'de %9'u, Japonya'da %7'si enerji ve elektronik sektörüne aittir.[266] Enerji sektöründe alüminyumun en çok kullanıldığı yerler elektrik nakil hatları, yeraltı kabloları, elektrik boruları ve motor bobin sarımıdır. Elektronik sektöründe ise bilgisayar gövdeleri, yongalar, transistör soğutucuları, veri kayıt diskleri ve elektronik cihazların kasalarında alüminyum yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum, diğer sektörlerle kıyaslandığında daha küçük oranlarda olmak üzere, buzdolabı, dondurucu, havalandırma, spor ekipmanı ve mutfak aletleri yapımında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

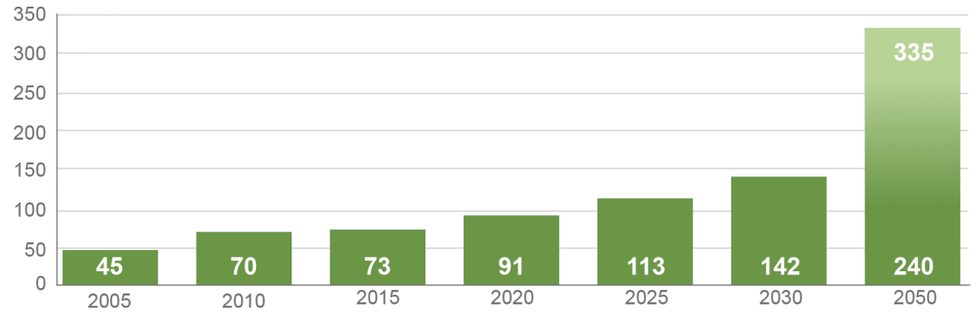
5.1.3.1.1. Dünyada Alüminyum Sektörü

Alüminyum, doğada; oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Alüminyumun ana hammaddesi boksit cevheridir ve dünya boksit kaynaklarının 30 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. 2023 yılı verilerine göre toplam boksit üretimi 400 milyon ton olup Avustralya, Gine ve Çin toplam boksit üretiminde ilk üç sırayı oluşturmaktadır.[267] Boksit cevherinden birincil alüminyum üretimine geçişte ana hammadde alüminadır. Boksit cevherinin saflaştırılması sonrası birincil alüminyum üretimine uygun alümina elde edilmekte, ardından alümina elektroliz yöntemi ile saf (birincil) alüminyuma dönüştürülmektedir. 2023 yılında dünyadaki toplam alümina üretimi 141,8 milyon ton olarak gerçekleşmiş ve Çin bu miktar içerisinde %59 pazar payına sahip olarak listenin başında yer almıştır.[268]

Mamul ve yarı mamul statüsündeki alüminyum ve alaşımlarının üretiminin ana girdisini oluşturan birincil alüminyum talebi güçlü bir büyüme sergilemektedir. 2023 yılında dünyada toplam 70,5 milyon ton birincil alüminyum üretimi yapılmıştır. Bu üretimin %59'u (41,66 milyon ton) Çin'de gerçekleşmiştir.[269] Aynı yıl Türkiye'de yapılan birincil alüminyum üretimi ise 82.000 ton civarındadır ve bu rakam dünya üretiminin %0,12'sine karşılık gelmekte olup Türkiye birincil alüminyum talebinin ise %5'ini karşılamaktadır. Birincil alüminyum üretimine ilave olarak geri dönüşüm sektöründen kullanılmış hurda ve proses artıklarıyla tekrar üretime katılan ikincil alüminyum ile birlikte dünyanın toplam alüminyum talebinin 2023 yılında 110 milyon ton düzeyinde gerçekleştiği raporlanmıştır.[270]

IAI'nın raporlarına göre, küresel alüminyum talebi 2023 yılında 110 milyon seviyesinde gerçekleşmiştir. Küresel alüminyum talebindeki güçlü büyümenin önümüzdeki yıllarda devam etmesi (tahmini büyüme seviyesi %4-%5 yıllık bileşik büyüme oranı (compound annual growth rate – CAGR ile) ve 2050 yılında en az 240 milyon ton seviyesine (beklenen talep gelişim senaryosuna göre) çıkması beklenmektedir. Konu ile ilgili uluslararası alüminyum sektör kuruluşlarının yaptığı güçlü büyüme senaryolarının gerçekleşmesi halinde ise toplam talebin 2050 yılına kadar 335 milyon tona ulaşabileceği de öngörüler arasında yer almaktadır.[271] Şekil 36'da belirtildiği gibi bu talebin giderek artan miktarlarda önemli bir kısmının geri dönüşüm sektöründen karşılanacağı öngörülmektedir.

Dünya Alüminyum Talebi (mton)



Şekil 36: Dünya Alüminyum Talebi Gelişimi ve Geleceğe Yönelik Öngörüler[272]

Küresel alüminyum talebindeki büyüme tahminlerini temel alan sektörel alanlardaki gelişmelere bakıldığında ise büyüme talebinin en güçlü kısmını ulaştırma sektörlerinin oluşturması beklenmektedir. Avrupa Alüminyum Birliği'nin (European Aluminium – EA) hazırladığı raporlara göre Avrupa alüminyum pazarında 2050 yılına kadar ulaştırma sektöründeki (otomotiv, havacılık, demir ve deniz yolu) talep artışının %55 düzeyinde gerçekleşerek 7,7 milyon ton düzeyine çıkması, Avrupa pazarının talep artışının inşaat, ambalaj, elektrik, dayanıklı tüketim ve makine sanayilerinde de %25-%35 aralığında büyüme göstermesi beklenmektedir.[273]

Genel tüketim eğilimleri açısından, EA'nın yayımladığı talep gelişim tahminlerinin esasen dünya pazarlarındaki gelişimden daha farklı olmayacağı kabul edilmektedir. Avrupa ekonomilerinin daha doymuş pazarlar olduğu dikkate alındığında, alüminyum talebinin Uzakdoğu, Ortadoğu ve Afrika ülkeleri gibi hızlı gelişmekte olan pazarlarda en az Avrupa talep büyüme tahminleri seviyesinde gerçekleşeceği öngörülmektedir.

266. European Aluminium. (2023). a.g.e.
267. United States Geological Survey. (2024). Mineral Commodity Summaries.
268. International Aluminium Institute. (2024). Aluminia Production Statistics. Erişim adresi: https://international-aluminium.org/statistics/alumina-production/
269. International Aluminium Institute. (2024). Primary Aluminium Statistics. Erişim adresi: https://international-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/
270. International Aluminium Association. Birincil Alüminyum Üretimi. Geri dönüşüm: Hydro, CRU ve AlCircle verilerine dayalı öngörüler
271.CM Group. (2020). An Assessment Of Global Megatrends and Regional and Market Sector Growth Outlook For Aluminium Demand
272. TALSAD. (2021). Sektör Raporu ve International Aluminium Institute Tahminleri
273. European Aluminium. (2020). Vision 2050.

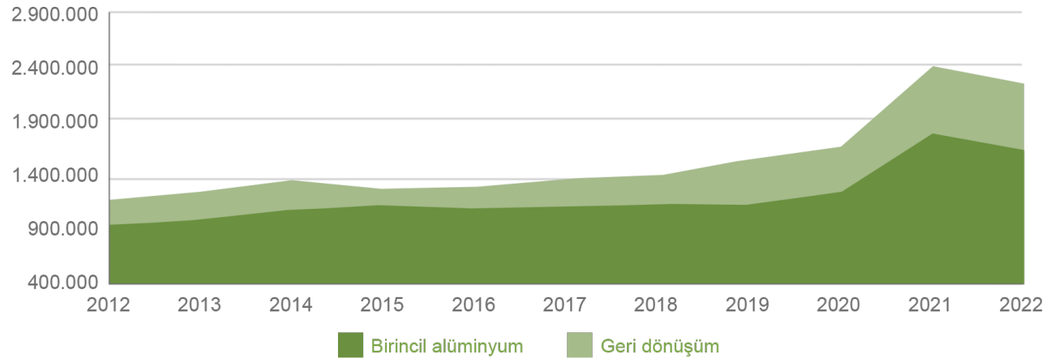
5.1.3.1.2. Türkiye'de Alüminyum Sektörü

Türkiye alüminyum sektörü, üretilen ve/veya ithal edilen külçe döküm ve işleme ingotunu dökme, biçimlendirme, haddeleme, çekme ve dövme işlemlerine tabi tutarak mal üreten ve hurda alüminyum ve/veya külçeleri çeşitli yöntemler ile alaşımlandırarak nihai ürünlere kadar işleyen kuruluşları kapsamaktadır. Türkiye alüminyum sektörü hammadde ihtiyacı açısından (birincil alüminyum) yaklaşık %95 seviyesinde dışa bağımlı faaliyet göstermekte iken mamul ve yarı mamul üretiminde önemli aşamalar kaydederek Avrupa ve Avrasya coğrafyasının önemli bir üretim merkezi konumuna gelmiştir.Mevcut durum itibarıyla alüminyum mamul ve yarı mamul üreten üretim şirketlerinin sayısı 250-300 civarında olup montaj, işleme, şekillendirme ve ürün ticareti yapan atölye seviyesindeki işletmeler ile birlikte sektörde toplamda 2.000'e yakın firma faaliyet göstermekte, söz konusu firmalarda yaklaşık 35.000 kişi istihdam edilmektedir. Sektörün sağladığı dolaylı istihdam da ilave edildiğinde toplam istihdamın 200.000 kişiye ulaştığı tahmin edilmektedir. Bu yönüyle alüminyum sektörü yüksek istihdam kapasitesi ile ülke ekonomisine önemli katkı sağlamaktadır.[274]

Türkiye'de 63 milyon tonu işletilebilir olmak üzere, toplam 400 milyon ton birincil öncelikli boksit rezervi bulunmakta olup Türkiye, dünya boksit rezervinin oldukça küçük bir bölümüne (%0,20) sahiptir.[275] Alüminyum üretim sektöründe son beş yıl içinde gerçekleşen yaklaşık %9,44'lük üretim artışının önemli bir bölümü ihracat artışından sağlanmaktadır. 2022 yılı itibarıyla Türkiye alüminyum sektörü 2 milyon ton seviyesinde mamul ve yarı mamul üretimi gerçekleştirmiş ve bu üretimin 1,39 milyon tonunu başta AB olmak üzere 186 ülkenin pazarlarına sunmuştur. [276] Günümüzde Türkiye alüminyum sektörü AB ve ABD pazarlarının ekstrüzyon ve yassı mamul gruplarında önemli bir tedarikçi ülke konumundadır. Bu raporun hazırlandığı dönemde sektör, alüminyum mamul ve yarı mamul ihracatındaki güçlü büyüme çizgisini sürdürmekte olup Türkiye, AB ülkelerinin en önemli üç büyük tedarikçi ülkesinden biri olmuştur.

Türkiye alüminyum sektörü son 15 yıllık dönem içinde son derece güçlü ve nitelikli bir büyüme sergilemiş, 2022 yılı itibarıyla 2 milyon ton alüminyum mamul ve yarı mamul üretimi ve 6,7 milyar ABD Doları ihracat büyüklüğü ile içinde bulunulan coğrafyanın en önemli alüminyum üretim merkezlerinden biri haline gelmiştir.[277]

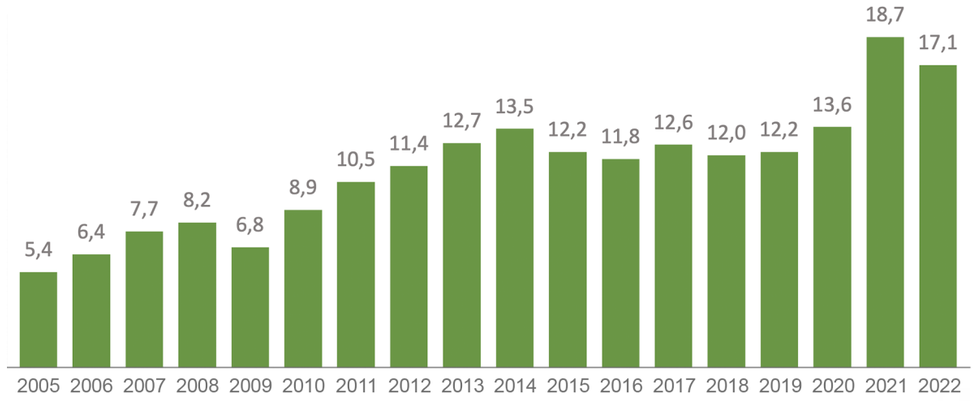
274. European Aluminium. (2020). a.g.e.
275. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2018). Dünyada ve Türkiye'de Alüminyum. Erişim adresi: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/aluminyum.pdf
276. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023a). a.g.e.
277. Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). Dış Ticaret İstatistikleri.



Şekil 37: Türkiye İşlenmemiş Alüminyum Üretimi [278]

Alüminyum mamullerinin yurt içi tüketimi, üretim ile ithalat toplamından ihracat miktarının çıkarılması yolu ile hesaplanmaktadır. Türkiye'nin alüminyum tüketimi son 15 yılda önemli bir artış göstermiştir. Son 5 yıllık ortalama tüketim artışı, 2017-2021 döneminde yavaşlamış olmakla birlikte ortalama %9 civarında artarken bu oran 2022 yılında bir önceki yılın aynı dönemine göre %1,8 azalmıştır. 2017 yılında 2.115.677 ton olan toplam tüketim miktarı 2022 yılında önemli bir artışla 3.134.850 tona ulaşmıştır.[279]

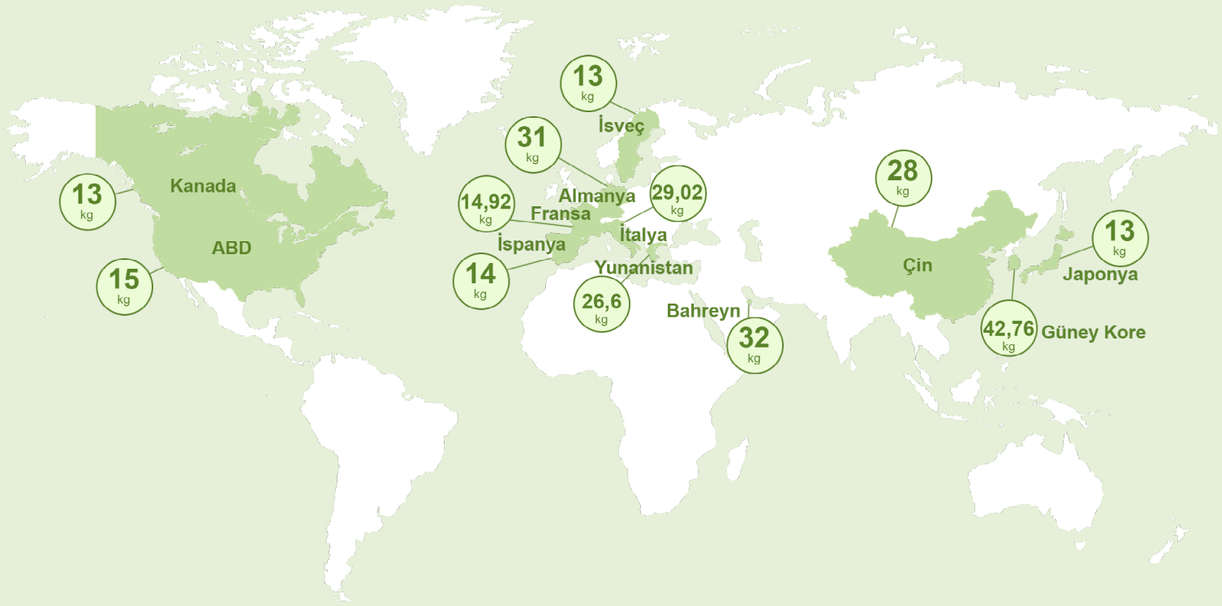
Türkiye'deki kişi başı alüminyum mamul tüketimi 2017 yılında 12,6 kg iken bu rakam 2022 yılına kadar artarak 17,1 kg seviyesine ulaşmıştır (Şekil 38).[280] 2022 yılında kişi başı alüminyum tüketiminin en yüksek olduğu ilk 10 ülke ise Şekil 39'da gösterilmektedir.



Şekil 38: Türkiye Kişi Başına Alüminyum Tüketimi (kg/yıl) [281]

278. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023a). a.g.e.
279. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023a). a.g.e.
280. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023a). a.g.e.
281. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023a). a.g.e.

2023 Kişi Başına Düşen Alüminyum Tüketimi



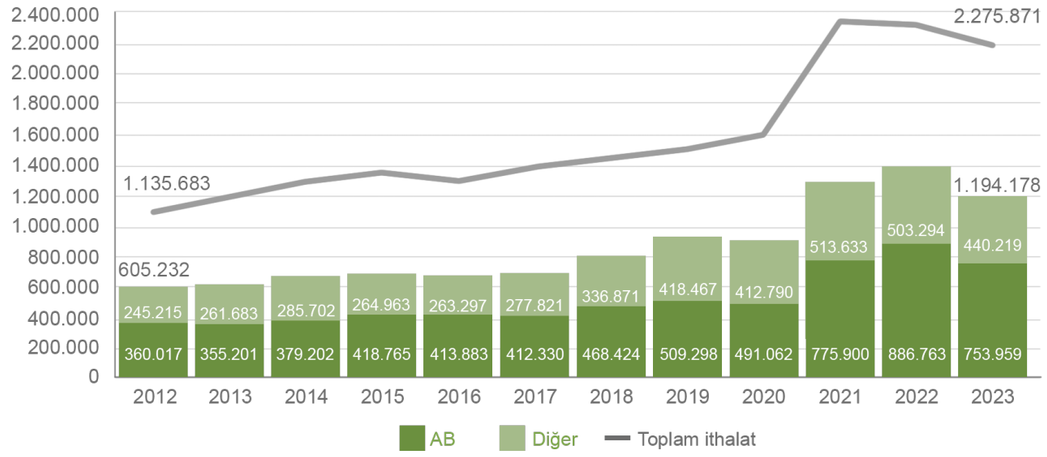
Şekil 39: 2022 Yılında Kişi Başı Alüminyum Tüketiminin En Yüksek Olduğu 10 Ülke [282]

Türkiye'nin alüminyum mamul ve yarı mamul ihracatı oldukça geniş bir coğrafyaya hitap etmekte olup neredeyse bütün dünya ülkelerine ihracat yapılmaktadır. İhracatta ilk beş sırayı ise Almanya, ABD, İtalya, Polonya ve Yunanistan gibi gelişmiş ekonomiler almaktadır. Son 10 yıl içindeki ihracatın ülkelere göre dağılımı incelendiğinde alüminyum sektöründeki ihracatın giderek daha geniş coğrafyalara yayıldığı görülmektedir. Türkiye alüminyum ürünleri ihracatının miktar (ton) olarak %15'i, değer (ABD Doları) olarak ise %16,4'ü Almanya'ya yapılmıştır (Tablo 9).[283]

Diğer taraftan, 2023 yılı Türkiye alüminyum sektöründe ihracat ve üretim alanında daralmaların yaşandığı bir yıl olmuştur. Bu daralma sadece Türkiye ihracatında bir kapasite daralması olmayıp ihracat yapılan ülkelerdeki pazar daralmaları ile de ilişkilendirilmektedir. 2023 yılında ihracat 2022 yılına göre %14,1 azalarak 1,19 milyon ton, ihracat geliri ise %20,7 azalarak 5,3 milyar ABD Doları seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 40).[284] Buna rağmen, Türkiye alüminyum sektörü, alüminyum mamul ve yarı mamul ürünlerde Avrupa'nın en önemli ikinci büyük tedarikçi ülkesinden biri olarak

282. Alcircle. (2023). 2022 per capita aluminium consumption: Ranking the world's top 10 countries. Erişim adresi: https://www.alcircle.com/news/2022-per-capita-aluminium-consumption-ranking-the-world-s-top-10-countries-96308
283. Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). a.g.e.
284. Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). a.g.e.

konumunu korumuştur. Bu önemli gelişmede AB'nin alüminyum ekstrüzyon ürünlerde Çin'e karşı uygulama kararı aldığı anti-damping kararının etkisi olmakla birlikte elli yıldır sürekli büyüyen, üretim kapasitesini ve yeteneğini güçlendiren köklü bir sektör olmanın rolü de büyüktür. 2023 yılında yaşanan ihracat ve üretim alanındaki daralmanın, 2024 yılında da Türkiye'yi yakından ilgilendiren ekonomik politikalar çerçevesinde 2023 yılı ile paralel bir şekilde gerçekleşmesi beklenmektedir.



Şekil 40: Türkiye Alüminyum Sektörü Yıllara Göre İthalat ve İhracat Miktarı (Ton) [285]

Tablo 9: Türkiye Alüminyum İhracatının Ülke Bazında Miktar (Ton) ve Değer (ABD Doları) Olarak Dağılımı [286]

Ülke	İhracat Miktarı (ton)	İhracat Miktarı (ABD Doları)
Almanya	%15	%16
ABD	%7	%7
İtalya	%6	%5
Polonya	%6	%5
Yunanistan	%5	%3
Bulgaristan	%5	%4
Irak	%5	%5
Birleşik Krallık	%5	%5
Fransa	%4	%4
Hollanda	%3	%3
Çekya	%2	%3
İsviçre	%2	%2
Diğer	%35	%38

285.Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). a.g.e.
286. Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). a.g.e.

Türkiye küresel ölçekte önemli alüminyum hammadde ithalatçısı ülkelerden biridir. Türkiye'nin toplam alüminyum ithalatı 2017 yılında 1.443.030 ton olup bu değer 2023 yılında 2.275.871 ton seviyesine ulaşmış ve toplamda %57,7 oranında bir büyüme gerçekleşmiştir. Türkiye'nin, %74,3'ü birincil alüminyumdan oluşan ithalatı, 2023 yılında, Londra Metal Borsası (London Metal Exchange) fiyatlarındaki göreceli düşüş ile orantılı biçimde ve ABD Doları bazında %18,1 azalarak 6,3 milyar ABD Doları olarak gerçekleşmiştir. Türkiye alüminyum ürünleri ithalatının miktar (ton) olarak %25,4'ü Rusya'dan yapılmış olup %8,8 oranıyla Malezya, %8,5 oranıyla Kazakistan ithalatta ikinci ve üçüncü sırada yer almıştır (Tablo 10).[287]

Tablo 10: Türkiye Alüminyum İthalatının Ülke Bazında Yüzdelik Dağılımı [288]

Ülke	İthalat (%)
Rusya	%25,4
Malezya	%8,8
Kazakistan	%8,5
İran	%7,3
Hindistan	%5,9
Diğer	%44,1

Küresel iklim değişikliği ve AYM gibi güçlü çevre ve enerji politikaları Türkiye alüminyum sektörü için önemli risklerin yanı sıra yeni fırsatlar da doğurmaktadır. Büyüyen küresel alüminyum talebi içinde Türkiye alüminyum sektörü daha fazla bir pay ve daha büyük bir büyüme dinamiği içinde yer alabilir hale gelmektedir. Bu açıdan SKDM ve geri dönüşüm gibi alanlarda sertifikasyon ve raporlama gibi süreçlerin önemi artmaktadır. Geri dönüşüm yolu ile tekrar üretime katılan alüminyum miktarının ve geri dönüşüme talebin artacağı öngörülmekte olup bu sayede alüminyum üretimi için çok daha düşük karbonlu hammadde girdisi mümkün kılınacaktır.

5.1.3.2. Alüminyum Sektöründe Sera Gazı Emisyonlarının Analizi

5.1.3.2.1. Alüminyum Üretim Süreçleri

Birincil alüminyum üretimi, boksit madenciliği, boksit cevherlerinden Bayer Prosesi ile alümina üretimi ve alüminadan ergimiş tuz elektrolizi (Hall-Herault Prosesi) yoluyla metalik alüminyum üretimi olmak üzere birbirinden bağımsız 3 süreçten oluşmaktadır (Şekil 41). Boksit cevherinden alümina üretimi için uygulanan Bayer Prosesi üç aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşama olan çözümlendirmede boksit cevheri, içeriğindeki alüminyum oksitin (alümina, Al_2O_3) eldesi için kostik soda çözeltisi ile

287. Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). a.g.e.
288. Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). a.g.e.

yüksek sıcaklık ve basınçta liç edilmektedir. Çözelti içinde çözünemeyen gang mineralleri filtrasyon ile ayrılmaktadır. İkinci aşama olan çöktürmede ise çözelti içindeki alüminyum hidroksit [$Al(OH)_3$] çöktürülmekte, yıkanıp ve kurutulmakta, bu sırada kostik çözeltisi ayrılarak yeniden kullanılmak üzere sisteme geri beslenmektedir. Son aşama olan kalsinasyonda ise alüminyum hidroksit kalsinasyona tabi tutularak elde edilen ince taneli ve beyaz renkli alümina (metalurjik kalite alümina), alüminyum hammaddesi olarak elektroliz tesisine gönderilmektedir.

Şekil 41: Birincil Alüminyum Üretimi Akış Şeması [289]

Ergimiş tuz elektrolizi, 950°C ile 970°C arasındaki sıcaklıklarda alüminanın, elektroliz hücrelerinde ve kriyolit (Na_3AlF_6) banyosu içinde çözünerek alüminyum ve oksijene de-iyonize olmasıyla sonuçlanan, yüksek enerji gerektiren bir prosestir. Burada temel prensip, metal ve ametal iyonlarını sulu ortam yerine ergimiş ortam içinde hareketli hale getirip kütle ve şarj transferini ergimiş tuzun iyonları ile gerçekleştirmektir.

Elektroliz esnasında alüminyum, katot yüzeyinde (hücrenin alt bölümü) indirgenirken oksijen ise elektroliz hücresinin üst bölümüne asılan anot yüzeyinde ortaya çıkmakta ve karbon esaslı anot ile reaksiyona girerek CO_2 şeklinde hücreyi terk etmektedir. Elektroliz sırasında karbondan yapılan anot sürekli olarak tüketilmekte olup belirli periyotlarda yeniden anot beslenmesi (Söderberg hücrelerde) ya da yenilenmesi (ön-pişirilmiş hücrelerde) gerekmektedir.

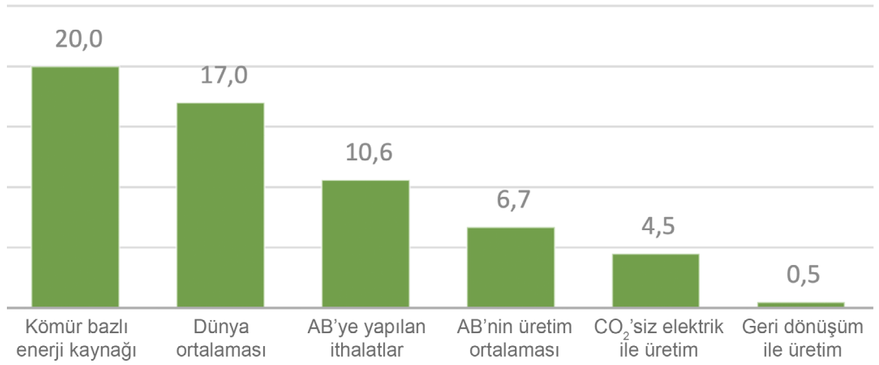
Birincil alüminyum üretiminde, 1 ton alüminyum üretimi için ortalama hammadde ve enerji dengesi aşağıda gösterilmektedir.

- 4 ton boksit cevheri,
- 2 ton metalurjik kalite alümina,
- Elektroliz için 0,40 ila 0,46 ton karbon anot,
- Elektroliz için 12.500-16.000 kWh arası elektrik enerjisi (doğru akım, DC).

289. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023b). AB Yeşil Mutabakat Uyum Rehberi.

5.1.3.2.2. Alüminyum Üretim Süreçlerinde Emisyonların Analizi

Alüminyum üretim zincirinde en yoğun enerji tüketimi birincil alüminyumun elektroliz ile eldesinde meydana gelmektedir ve yoğun enerji tüketiminin girdisi olan fosil yakıt bazlı üretimler, yüksek sera gazı emisyonlarına sebep olmaktadır. Birincil alüminyum üretimi, alüminyum sektörünün toplam emisyon hacminin yaklaşık %70'ini oluşturmaktadır; ikinci sırada ise, boksit ve alümina üretimlerinin yarattığı emisyon kaynakları bulunmaktadır. Bu nedenle, elektroliz prosesinde kullanılan elektriğin hangi kaynaklardan (fosil, hidro, nükleer, yenilenebilir) üretildiği, karbon ayak izinin hesaplanmasında en önemli etkendir. Bu durum Şekil 42'de gösterilmektedir.



Şekil 42: Birincil Alüminyum Üretiminde Ton Başına CO_2 Emisyonu [290]

EA özellikle Avrupa alüminyum sanayiinin bu süreç içinde rekabetçi bir avantaj oluşturması açısından Net Sıfır hedeflerine yönelik kapsamlı ve detaylı çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmaların önemli ve yararlı örneklerinden birisi de çok yakın bir tarihte güncellenerek yayımlanan "Net-Zero By 2050: Science-Based Decarbonisation Pathways for The European Aluminium Industry" raporudur. Söz konusu raporda alüminyum sektöründe proses tiplerine bağlı olarak referans teşkil edebilecek karbon emisyonlarına ilişkin değerler yayımlanmıştır. (Tablo 11)

290. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023b). a.g.e.

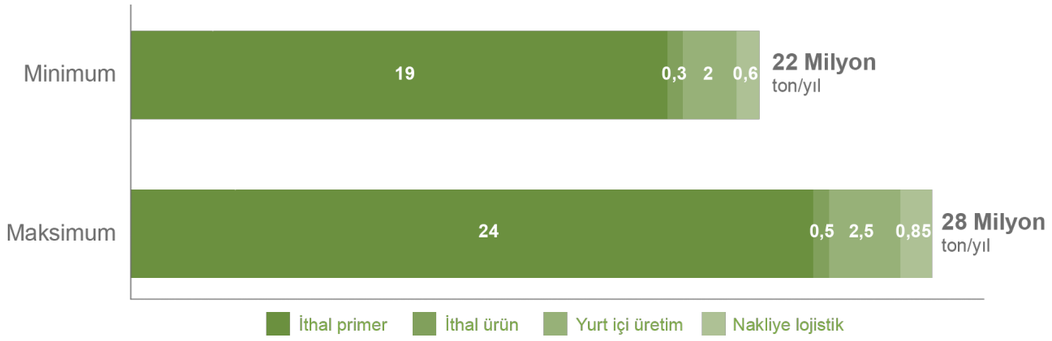
Tablo 11: AB'de Alüminyum Üretimine Yönelik Emisyon Değerleri [291]

	Birincil Alüminyum Üretimi					Yarı Mamul		Geri Dönüşüm	
	Boksit	Alümina	İzabe Fırını	Anot Üretimi	Dökümhane (Birincil)	Haddeleme	Ekstrüzyon	Ergitme	Arıtma
Avrupa'da Üretim (Mt)	-	5,70	3,60	2,45	3,60	5,23	3,40	8,28	3,10
Toplam Enerji Yoğunluğu (MWh/t Al)	-	4,88	14,44	0,46	0,49	1,12	0,94	1,07	1,35
Elektrik/ Termal Enerji Kullanımı	-	%9 / 91	%100 / 0	%21 / 79	%39 / 61	%50 / 50	%56 / 44	%15 / 85	%13 / 87
Elektrik Enerjisi Kullanımı (MWh/t Al)	-	0,43	14,44	0,10	0,19	0,56	0,52	0,16	0,18
Termal Enerji Kullanımı (GJ/t Al)	-	16,03	0,00	1,32	1,07	2,03	1,51	3,27	4,24
2021 Emisyon Yoğunluğu (tCO_2e/t Al)	-	1,192	3,628	0,127	0,150	0,357	0,312	0,273	0,343
2050 Emisyon Yoğunluğu (tCO_2e/t Al)	-	0,059	0,232	-	0,007	0,017	0,015	0,018	0,022
Emisyon Azaltım Oranı	-	-%95,0	-%93,6	-%100,0	-%95,0	-%95,3	-%95,3	-%93,5	-%93,7

291. Avrupa Alüminyum Birliği. (2023). Net-Zero By 2050: Science-Based Decarbonisation Pathways for The European Aluminium Industry.

Türkiye alüminyum sektörünün emisyon yoğunluğu, dünya ortalaması 17 tCO_2e/ton ve AB ortalaması 6,7 tCO_2e/ton değerlerine kıyasla 5,34 tCO_2e/ton seviyesi ile görece daha düşüktür. Bu durum, emisyon yoğun birincil alüminyum üretiminde ağırlıklı olarak yenilenebilir enerjinin kullanılması ve Türkiye alüminyum sektörünün ağırlıklı olarak ithal edilen birincil alüminyumu işleyen bir endüstri olarak şekillenmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Alüminyum işlemede enerji yoğunluğu, birincil üretime kıyasla önemli ölçüde daha azdır ve çalışmalar, alüminyum işleme üretiminin birincil alüminyum üretimine göre yaklaşık 10 ila 15 kat daha az enerji gerektirdiğini ortaya koymaktadır.[292]

Türkiye alüminyum sektörünün toplam emisyonları 22-28 milyon tCO_2e/yıl aralığında hesaplanmaktadır. Bu emisyonların en büyük bölümü (19-24 milyon tCO_2e/yıl) ithal edilen birincil alüminyumdan kaynaklanmaktadır. Fakat Türkiye'nin bu kısımda müdahale edebileceği alan kısıtlı olduğu için gömülü emisyonların azalması dünya genelinde atılacak adımlarla mümkündür.[293]



Şekil 43: Türkiye Alüminyum Sektörünün Toplam Emisyonları

Türkiye Alüminyum Sanayiciler Derneği'nin (TALSAD) saha analizlerine dayalı değerlendirmesine göre yurt içi alüminyum işleme faaliyetlerinden kaynaklanan ortalama emisyonlar 0,6 – 1,2 kg CO_2e/kg Al arasında değişmektedir. Bu emisyonların yaklaşık %60'ı yakıtların yanması ile elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır.[294]

292. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023b).a.g.e.
293. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023b). a.g.e.
294. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023b). a.g.e.

5.1.4. Elektrik Sektörü

5.1.4.1. Elektrik Değer Zincirine Genel Bakış

Elektrik ve elektrik değer zinciri, modern hayatımızın merkezinde yer alan bir enerji kullanım ve taşıma şeklidir. 18. yüzyılda Benjamin Franklin'in uçurtma deneyi sonrası 19. yüzyılda Michael Faraday, Alexander Graham Bell, Nikola Tesla ve Thomas Edison gibi bilim adamları ve mühendislerin çığır açıcı çalışmaları elektrik değer zincirinin gelişiminde yol gösterici olmuştur.[295, 296]

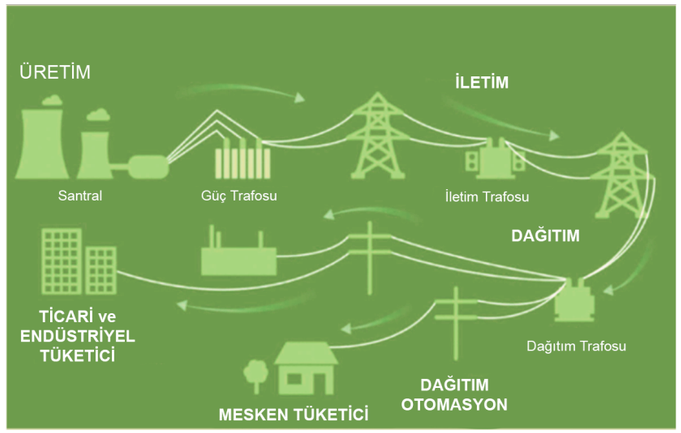
Sanayi devriminden önce, küresel ekonomiler tarımsal ürünlerden ve odundan elde edilen enerjinin yanı sıra daha küçük miktarlarda rüzgar ve su gücüne bağımlıyken sanayi devrimiyle birlikte fosil yakıtlara geçilmesi, enerji arzı ve dolayısıyla üretim ve ekonomik büyüme üzerindeki kısıtlamaları ortadan kaldırmada önemli bir rol oynamıştır.[297] Günümüzde elektrik tüketimi ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma düzeyini belirleyen ve sanayi sektörü için vazgeçilmez nitelikte bir girdidir. Ekonomiye ivme kazandıran ve verimliliği artıran elektrik, yokluğu veya arzının güvenilir olmaması durumunda gelişmenin önünü tıkayan bir faktör de olabilmektedir.[298] Elektrik kullanımı ile ekonomik faaliyetler arasında pozitif yönde bir ilişki vardır, üretim ve milli gelir arttıkça elektrik ihtiyacı da artmaktadır.

Fosil bazlı kaynaklarla elektrik üretiminden yenilebilir enerji kaynaklarına geçiş iklim değişikliğiyle mücadele ve yeşil büyümenin merkezinde yer almaktadır. Fosil yakıt bazlı elektrik üretiminden uzaklaşma çabalarıyla birlikte yenilenebilir enerji çok makul bir elektrik üretim seçeneği haline gelmekte ve teknolojideki gelişmeler ve ölçek ekonomileri sayesinde maliyetleri düşmeye devam etmektedir.[299] Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının büyümesi, geleneksel olarak sadece "pasif" kullanıcıların bulunduğu şebekenin çeşitli noktalarında yeni üretim sistemlerinin entegrasyonuna sebebiyet vermekte ve bu da sistemi etkilemektedir. Klasik olarak güç sistemleri artık sadece enerji tüketen kullanıcılara sahip olmaktan ziyade tüketicilerin de üretici olduğu ("prosumer") ve klasik sistem güç akışını etkileyen bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

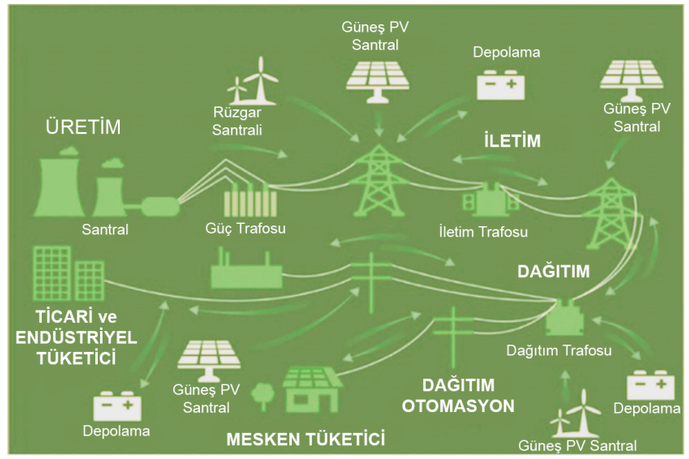
Rüzgar ve güneş gibi üretim kaynaklarının sistem içerisindeki varlığı ve sayılarının artması şebeke operatörleri için önemli zorluklar doğurmaktadır. Genellikle merkezi büyük üretim santrallerinden iletim ve dağıtım güç sistemi aracılığıyla nihai kullanıcılara akan güç artık yön değiştirebilmektedir.

295. Penn State. (t.y.). The Fundamentals of Electricity Markets. Erişim adresi: https://www.e-education.psu.edu/ebf200/book/export/html/151
296. Frary, M. (t.y.). History of the World Electricity Sector. Erişim adresi: https://www.iec.ch/history/world-electricity
297. Stern, D.I., Burke, P.J. & Bruns, S.B. (2017). The Impact of Electricity on Economic Development: A Macroeconomic Perspective. Erişim adresi: https://escholarship.org/content/qt7jb0015q/qt7jb0015q_noSplash_1a2d4ab6d6fc3c197022aa5d18c2f01d.pdf?t=psd398
298. Erol, E. (2007). Türkiye'de Elektrik Enerjisinin Tarihi Gelişimi: 1902–2000. Erişim adresi: http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/42928.pdf
299. Gielen, D. & Boshell, F. (2021). Why renewables are the cornerstone of the energy transition? Erişim adresi: https://www.weforum.org/agenda/2021/04/why-renewables-are-the-cornerstone-of-the-energy-transition/

Geleneksel Güç Sistemi



Modern Güç Sistemi



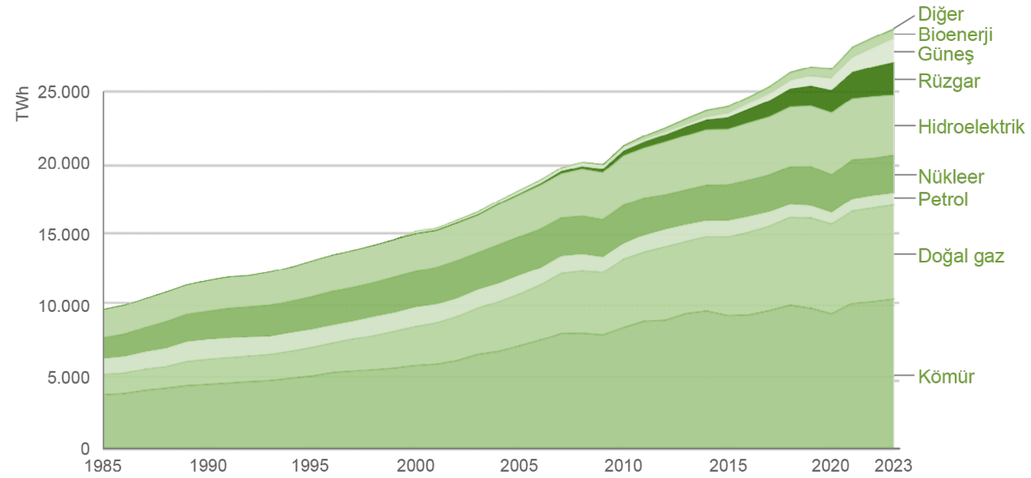
Şekil 44: Geleneksel ve Modern Güç Sistemleri

Ek olarak, fosil yakıtla çalışan santrallerin çoğunluğu anlık talep üzerine elektrik üretebilirken, -barajlı hidroelektrik santraller hariç- yenilebilir enerji santralleri söz konusu esnekliğe sahip değildir. Elektrik talebindeki artış ve yenilenebilir enerjiye geçişle birlikte gelişen teknolojiler (dijitalizasyon, akıllı şebeke, depolama) temiz enerji üretiminde büyük bir genişlemeyi ve altyapı planlamasını gerekli kılmaktadır. Bu noktada, altyapının yaygınlaşma ve dönüşüm hızının enerji dönüşümünün ihtiyaçlarıyla orantılı olması açısından kritik önem taşımaktadır.[300]

300. Gielen, D. & Boshell, F. (2021). a.g.e.

5.1.4.1.1. Dünyada Elektrik Talebinin Gelişimi

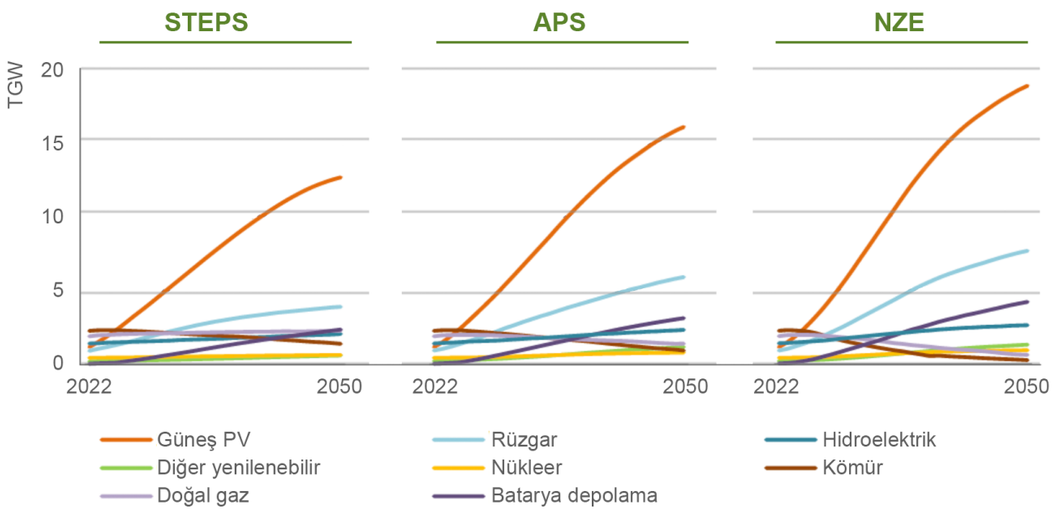
Küresel elektriğin büyük bir kısmı günümüzden halen fosil yakıtlardan üretilmektedir. Kömür ve ardından doğal gaz en büyük elektrik üretim kaynakları arasında yer almaktadır. Geçtiğimiz on yıllar boyunca fosil yakıtlar ve düşük karbonlu elektrik kaynakları arasındaki denge nispeten değişmemiştir. 2023 yılı verilerine bakıldığında dünyadaki toplam elektrik üretiminin (29.479 TWh) %35,5'i kömür, %22,5'i ise doğal gazdan sağlanmıştır. Diğer taraftan yenilenebilir kaynaklar 2023 yılında üretilen elektriğin %30,2'sini karşılamıştır.[301]



Şekil 45: Kaynak Bazında Küresel Elektrik Üretimi (TWh) (1985-2024)[302]

Hidroelektrik, toplam üretimin yaklaşık %14'ünü oluşturmaktadır ve günümüzde en düşük emisyonlu elektrik üretim kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Düşük karbonlu elektrik üretiminde biyoenerji, jeotermal, yoğunlaştırılmış güneş ve deniz enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklar da rol oynamaktadır. Fotovoltaik (photovoltaic – PV) ve rüzgar kaynakları, enerji üretim sektörünün karbondan arındırılmasında merkezi bir role sahiptir. Yenilenebilir enerji kapasitesinin 2030 yılına kadar IEA'nın Belirtilen Politikalar Senaryosu'na (Stated Policies Scenario – STEPS) göre 2,4 kat, Açıklanan Taahhütler Senaryosu'na (Announced Pledges Scenario – APS) göre 2,7 kat ve Net Sıfır Enerji (Net Zero Energy – NZE) senaryosuna göre 3 kat artması beklenmektedir ve bu büyümenin neredeyse %95'inin güneş (PV) ve rüzgar kaynaklarından sağlanacağı tahmin edilmektedir.

301. Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2024). Electricity Mix. Our World in Data. Erişim adresi: https://ourworldindata.org/electricity-mix
302. Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2024). a.g.e.

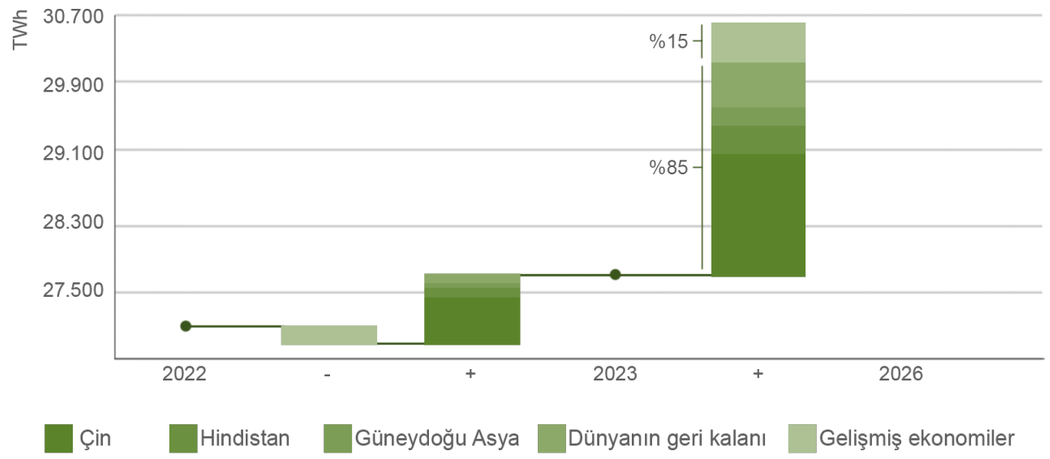


Şekil 46: 2022-2050 IEA STEPS, APS ve NZE Senaryolarına Göre Küresel Kurulu Güç Kapasitesi Değişimi

Rüzgar ve güneş enerjisinin toplam üretimdeki payının 2030 yılına kadar bugünkü %12'den yaklaşık %30'a yükselmesi öngörülmekte olup bu durum güç sistemi esnekliğini elektrik güvenliğinin merkezine koymaktadır.[303, 304]

2023 yılında küresel elektrik talebi, enerji krizi ve makroekonomik gelişmelerin gölgesi altında, 2022 yılında görülen %2,4 seviyesinin biraz altında kalarak %2,2 seviyesinde artmıştır. Yine de gelişmekte olan ülkeler, elektrik talebinde güçlü bir büyüme trendi kaydetmiştir. Buna karşılık, gelişmiş ekonomilerin çoğu, devam eden elektrifikasyona rağmen, cansız makroekonomik ortamın yanı sıra zayıf sanayi sektörleri nedeniyle düşüş kaydetmiştir. IEA, gelişmekte olan ekonomilerdeki güçlü büyüme ve sanayide beklenen toparlanmanın, ayrıca farklı coğrafyalarda konut ve ulaşım sektörlerinde artan elektrifikasyonun elektriğe olan talebi güçlendireceğini öngörmektedir. Ek olarak veri merkezleri, yapay zeka (AI) ve kripto para kaynaklı elektrik tüketiminin 2026 yılına kadar iki katına çıkabileceği değerlendirilmektedir.[305]

303. Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2024). a.g.e.
304. International Energy Agency. (2023). World Energy Outlook 2023. Erişim adresi: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023
305. International Energy Agency. (2024). Electricity 2024. Erişim adresi: https://www.iea.org/reports/electricity-2024



Şekil 47: Bölgeler Bazında Küresel Elektrik Talebi Değişimi (2022-2026)

2023 yılında küresel elektrik talebi farklı eğilimler göstermiştir. Gelişmiş ülkelerde elektrik tüketimi düşerken başta Çin ve Hindistan olmak üzere yükselen piyasa ülkeleri, ekonomik faaliyetlerin teşvik ettiği artan elektrik talebine bağlı olarak güçlü büyüme oranları kaydetmiştir. Çin, 2022'deki yıllık %3,7'lik artışa kıyasla 2023'te elektrik talebinde %6,4'lük bir büyüme kaydetmiştir. İnşaat sektörüyle ilintili sektörlerde (cam ve çimento) yavaşlama gözlense de Çin elektrik tüketimindeki büyüme, PV modülleri, elektrikli araçlar ve ilgili malzemelerin işlenmesi de dahil olmak üzere hizmetler ve çeşitli sanayi sektörleri tarafından sağlanmıştır. Her ne kadar önümüzdeki 3 yılda Çin'in elektrik tüketiminde artışta yavaşlama (2023: %5,1 – 2024: %4,9 – 2026: %4,7) beklense de bu görece yavaş büyüme hızına rağmen, elektrik talep büyümesi hala çok yüksek bir değeri ifade etmektedir. Öyle ki, Çin'in 2026 yılına kadar elektrik talebindeki tahmini 1.400 TWh'lik artış, AB'nin mevcut toplam yıllık elektrik tüketiminin %50'sinden fazlasına tekabül etmektedir. Diğer taraftan Çin'de kişi başına düşen elektrik tüketimi, 2022 yılı sonunda Avrupa Birliği ortalamasını çoktan aşmıştır; hiç şüphesiz bunun temel sebebi Çin'in sanayi kaynaklı yoğun elektrik tüketimidir. Bununla birlikte, Çin'deki hanelerin kişi başına elektrik tüketimi hala AB haneleri ortalamasının altındadır.[306]

Çin'in ardından dünyanın en büyük ikinci tüketicisi olan ABD'de elektrik talebi, 2022'deki %2,6'lık büyümenin ardından 2023'te %1,6 oranında azalmıştır. Söz konusu düşüşteki en büyük etki 2022 yılına kıyasla daha ılıman geçen hava koşulları olsa da imalat sektöründeki yavaşlama da etkili olmuştur. Yine IEA'nın öngörülerine göre elektrifikasyonun devam etmesi ve veri merkezi (ek

306. International Energy Agency. (2024). a.g.e.

elektrik talebinin üçte birinden fazlası) sektöründeki güçlü büyüme nedeniyle 2025-2026 yıllarında elektrik tüketiminin ortalama %1 seviyesinde büyüyeceği beklenmektedir.[307]

Hindistan'da elektrik talebi geçen 2022 yılında kaydedilen %8,6'lık artışa kıyasla 2023'te %7 oranında büyümüştür. Hızlı ekonomik büyümenin devam etmesi ve soğutmaya yönelik güçlü talep, büyümenin ana dayanaklarını oluşturmuştur. Hızla büyüyen ekonomisi ve artan elektrifikasyon ile desteklenen Hindistan'ın elektrik talebinin 2024-2026 döneminde yıllık ortalama %6,5 oranında artması beklenmektedir. Bu trend, Hindistan'ı büyük ekonomiler arasında 2026'ya kadar en hızlı büyüme oranına sahip olan ülke konumuna getirecektir.[308]

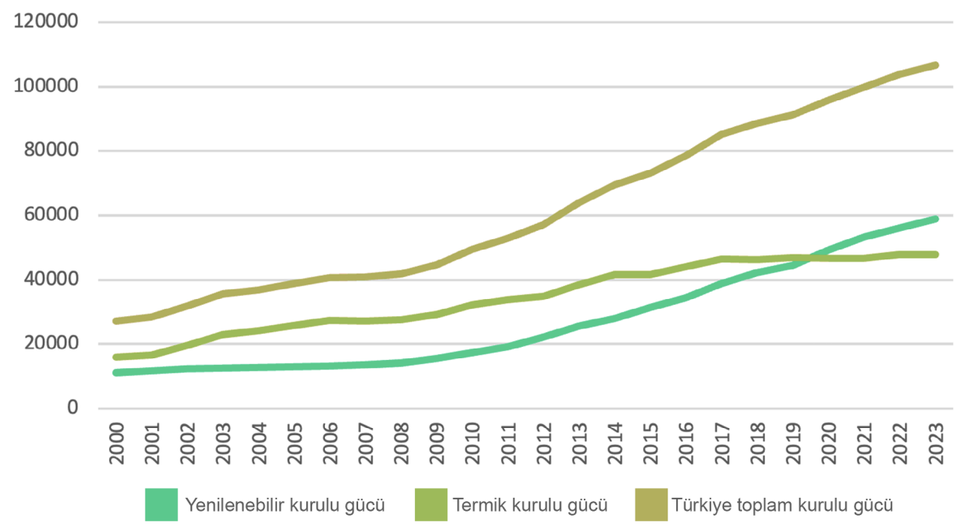
AB'de 2022'deki %3,1'lik düşüşün ardından, elektrik talebi 2023 yılında %3,2 daha da azalmıştır. Daha ılımlı enerji fiyatları ile ulaşım ve ısınma sektörlerinin artan elektrifikasyonu nedeniyle sanayi sektöründe kısmi bir toparlanma varsayımıyla 2024 yılında %1,8'lik bir büyümeye geri dönüleceği öngörülmektedir. AB elektrik talebinin 2025-2026 döneminde, iyileşen ekonomik görünümün de desteğiyle, yıllık ortalama %2,5 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, geçen yıl AB'de yaşanan rekor talep daralmasının ardından, bu düşüşün ne kadarının geçici ve ne kadarının yapısal olduğu konusundaki belirsizlikler devam etmektedir.[309]

5.1.4.1.2. Türkiye'de Elektrik Talebinin Gelişimi

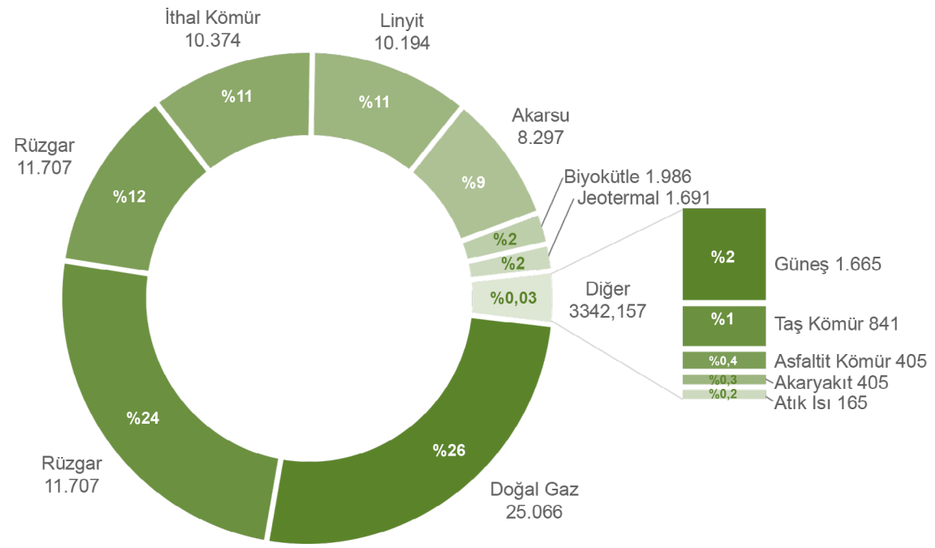
Ülkemizde elektrik talebi; nüfus artışı, sanayileşme, refah seviyesinin artması ve teknolojinin gelişmelerine paralel olarak yıllar içerisinde artmıştır. Türkiye toplam elektrik talebi 2000-2023 yılları arasında 2001, 2009, 2019, 2022 yılları haricinde bir düşüş göstermemiş ve artış trendini sürdürmüştür. Artan elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla, 1980'li yılların başından itibaren önemli yatırımlara imza atılmış ve bu sayede Türkiye'nin toplam brüt elektrik üretiminde kayda değer bir artış meydana gelmiştir. Elektrik sektöründe ithalat ve ihracat miktarlarının çok düşük seviyelerde gerçekleşmesi sebebiyle, toplam elektrik üretimi elektrik talebine paralel bir seyir izlemektedir.

2000 yılı itibarıyla 27,3 gigavat (GW) civarında olan Türkiye toplam kurulu gücü 2023 yılının sonunda 107 GW seviyesine ulaşmıştır. 2023 yıl sonu itibarıyla Türkiye'nin kaynak bazında kurulu gücü değerlendirildiğinde yenilenebilir kaynaklı santrallerin kurulu güçteki payının yaklaşık %51 seviyesinde olduğu görülmektedir.[310]

307. nternational Energy Agency. (2024). a.g.e.
308. International Energy Agency. (2024). a.g.e.
309. International Energy Agency. (2024). a.g.e.
310. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi. (2023). Aralık 2022 Kurulu Güç Raporu



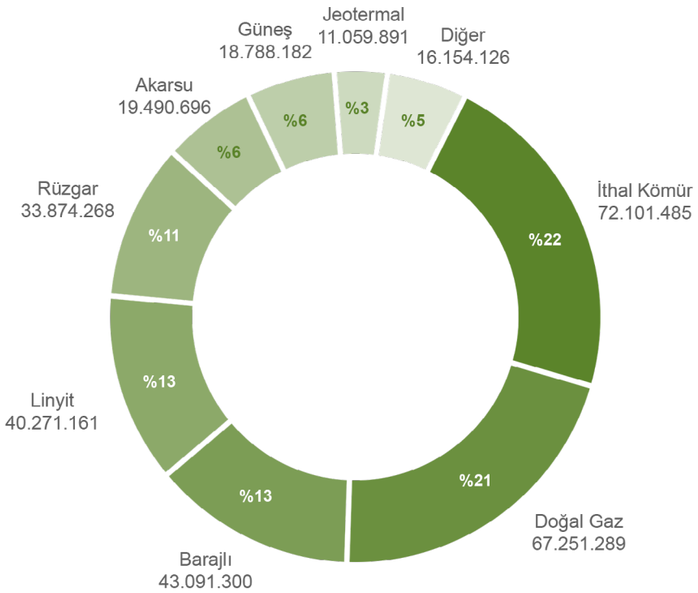
Şekil 48: Yenilenebilir Kaynaklı Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payının Yılları İtibarıyla Gelişimi (2000-2023)



Şekil 49: Türkiye Kaynak Bazında Kurulu Güç (MW) (2023)[311]

311. Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi. (2024). Elektrik Piyasası Özet Bilgiler Raporu 2023. Erişim adresi: https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2024/03/EPIAS_ELEKTRI%CC%87K_PIYASASI_OZET_BILGILER_Rp_2023_R1.pdf

2023 yılında gerçekleşen toplam brüt elektrik üretiminin %22'si ithal kömür, %21'i doğal gaz, %13'ü linyit yakıtlı santrallerden sağlanırken yenilenebilir kaynakların toplam üretimdeki payı %42 seviyesinde gerçekleşmiştir.

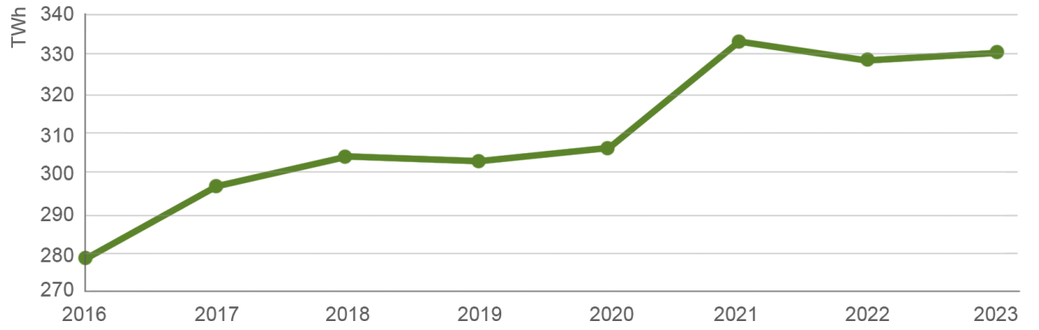


Şekil 50: Türkiye Kaynak Bazında Toplam Elektrik Üretim (MWh) (2023)[312]

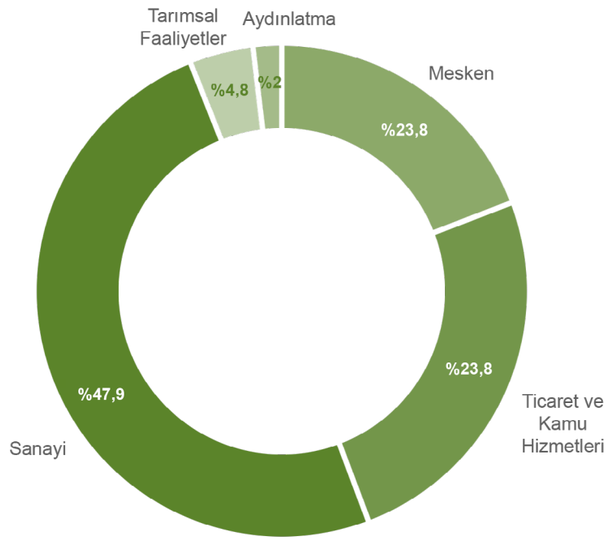
2022 yılında elektrik talebi, ekonomideki yavaşlamaya ve elektrik tüketiminde yüksek pay sahibi olan imalat sektörlerindeki talep duraklamasına paralel olarak düşmüştür. 2023 yılında ise brütelektrik talebi 330,3 TWh ile 2022 yılına benzer seviyede gerçekleşmiştir.[313]

2021 yılı nihai elektrik tüketiminin sektörel dağılımı incelendiğinde ilk sırada %47,9'luk oran ile sanayinin olduğu görülmektedir. Sanayi sektörünü %23,8'lik pay ile ile ticaret ve kamu hizmetleri (resmi daireler, iş merkezleri, ticaret amaçlı binalar vb.) %21,5'lik pay ile mesken grubu (konutlar) takip etmektedir.[314]

312. Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi. (2024). a.g.e.
313. SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi. (2024). Türkiye Enerji Dönüşümü Görünümü 2023. Erişim adresi: https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2024/04/ozet.pdf
314. Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi. (2023). 2022 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtımı Sektör Raporu. Erişim adresi: https://tedas.gov.tr/FileUpload/MediaFolder/f1bb5ed3-88d0-4502-966b-4ecaab4c1270.pdf

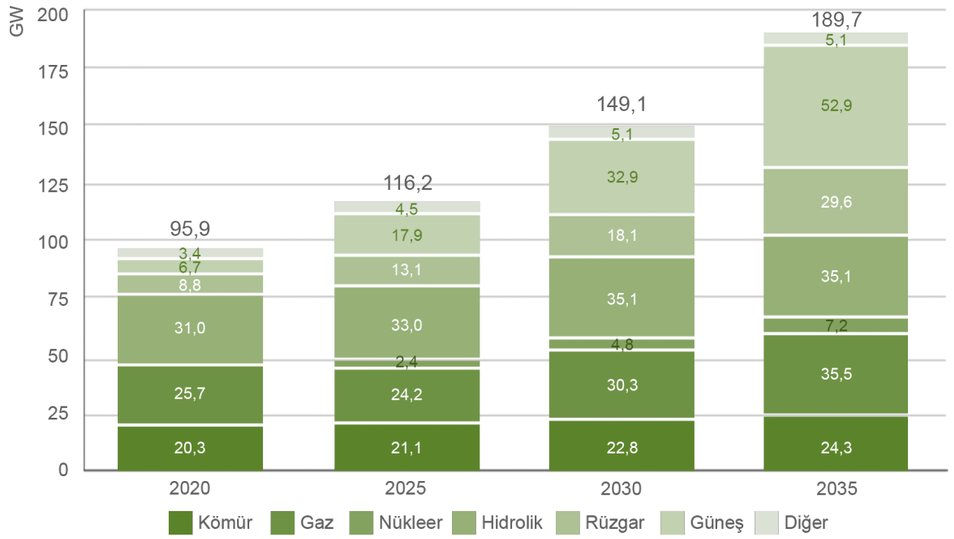


Şekil 51: Türkiye Brüt Elektrik Talebi Gelişimi (TWh) (2016-2023)



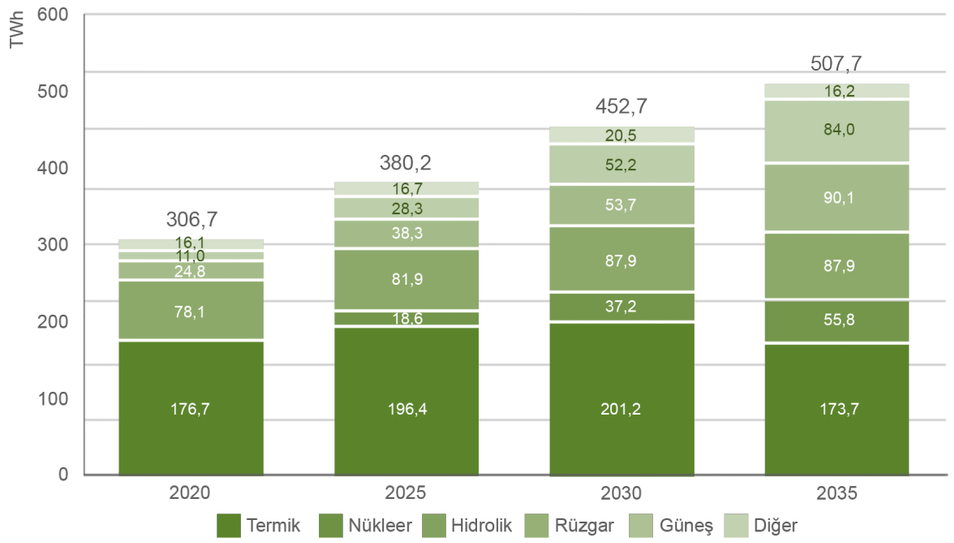
Şekil 52: Türkiye Elektrik Tüketiminin Sektörel Dağılımı (2021)

Türkiye Ulusal Enerji Planı'nda, elektrik kurulu gücünün 2035 yılında 189,7 GW'a, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içerisindeki payının ise %64,7'ye ulaşacağı öngörülmektedir. Bu tahminlere göre orta-uzun dönemde hidroelektrik santrallerin kurulu gücü 35,1 GW'a, rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu gücü 29,6 GW'a, güneş enerjisi santrallerinin kurulu gücü ise 52,9 GW'a yükselmektedir. Diğer başlığı altında gösterilmekte olan jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinin kurulu gücü ise toplam 5,1 GW'a ulaşmaktadır.



Şekil 53: Türkiye Ulusal Enerji Planı'nda Kaynaklar Bazında Kurulu Güç (GW)

Planda toplam elektrik üretimi 510,5 TWh seviyesine ulaşmakta ve elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılına kadar %54,8'e çıkmaktadır. Elektrik arzının kırılımı incelendiğinde ise 2035 yılında rüzgar enerjisi santrallerinden (RES) 90,1 TWh ve güneş enerjisi santrallerinden (GES) 84,0 TWh elektrik arzının beklendiği görülmektedir.



Şekil 54: Türkiye Ulusal Enerji Planı'nda Kaynaklar Bazında Elektrik Üretimi (TWh)

5.1.4.1.3. Enterkonekte Sistem, ENTSO-E ve Elektrik Ticareti

Enterkonekte sistem; taşımada, iletimde, nakilde kârlılık ve güvenilirliği artırmak üzere özellikle önemli miktarlardaki enerji alışverişi için iki ya da daha fazla sistem veya şebeke arasında bölgeler arası ya da uluslararası bağlantı olanağı sağlayan bir elektriksel sistemdir. Bu tip şebekelerde, o bölgedeki bütün elektrik üretim ve tüketim araçları büyük küçük ayrımı yapılmaksızın sisteme dahil edilmektedir.

Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşleticileri Ağı (European Network of Transmission System Operators for Electricity – ENTSO-E), AB ülkeleri tarafından, şebeke entegrasyonu ile ortak bir iç elektrik piyasası modeli oluşturarak enerji arz güvenliğini artırmak, elektrik üretim-iletim-dağıtım verimliliğini en üst düzeye çıkarmak ve çevre sorunlarını en aza indirmek amacıyla 2009 yılında kurulmuştur. Türkiye Elektrik Sistemi ile ENTSO-E Kıta Avrupası Senkron Bölgesi (Continental Europe Synchronous Area – CESA) arasında senkron paralel deneme işletme çalışmaları 18 Eylül 2010 tarihinde başlatılmıştır. Sürecin başarıyla tamamlanmasının ardından, 14 Nisan 2015 tarihinde imzalanan "Uzun Dönem Anlaşma" ile Türkiye ile ENTSO-E CESA elektrik sistemleri arasında kalıcı bağlantı sağlanmıştır.[315]

2021 yılında mevcut uzun dönemli anlaşma, ENTSO-E üyesi iletim sistemi işleticileri arasında imzalanan Senkron Bölge Çerçeve Anlaşması çerçevesinde revize edilmiş ve Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve ENTSO-E arasında yeniden imzalanmıştır. Kalıcı bağlantıyla, Türkiye elektrik piyasası Avrupa iç elektrik piyasası ile hukuki olarak da bütünleşme yoluna girmiştir. 14 Ocak 2016'da ise "Gözlemci Üyelik Anlaşması" imzalayarak TEİAŞ, ENTSO-E'nin ilk ve tek gözlemci üyesi olmuştur.[316]

Türkiye'de elektrik ihracatı ve ithalatı, toplam üretim ve tüketim miktarlarıyla kıyaslandığında yok denecek kadar azdır. 2023 yılında Türkiye'nin 4 ülkeyle gerçekleştirdiği toplam elektrik ithalatı ve ihracatı toplam elektrik talebinin cüzi bir kısmını oluşturmaktadır. 2023 yılında elektrik ithalatı geçen yıla göre %9,2 azalarak 5,82 TWh olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılında elektrik ihracatı ise geçen yıla göre %45,1 azalarak 2,04 TWh olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 12: 2021-2022-2023 Döneminde Elektrik Ticaret Verileri (MWh)

	Birim	2020	2021	2022	Değişim (%) 2022-2021	2023	Değişim (%) 2022-2023
İthalat	GWh	1.888	2.329	6.414	%175,4	5.824	-%9,2
İhracat	GWh	2.484	4.187	3.710	-%11,4	2.038	-%45,1

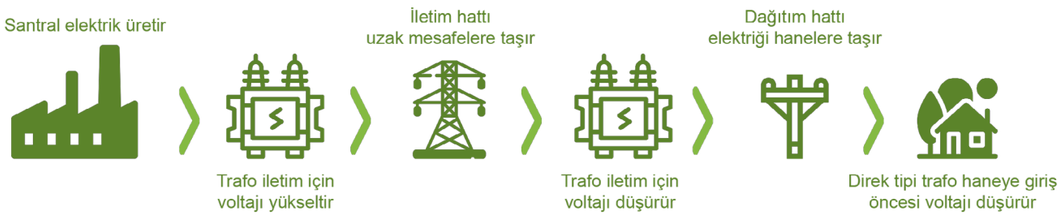
315. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi. (t.y.). Uluslararası Kuruluşlar. Erişim adresi: https://www.teias.gov.tr/uluslararasi-kuruluslar
316. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi. (t.y.). a.g.e.

5.1.4.2. Elektrik Sektöründe Sera Gazı Emisyonlarının Analizi

5.1.4.2.1. Elektrik Üretim Süreçleri

Elektrik üretimi için değer zinciri (elektriğin üretimden son kullanıcıya aktarımı) genel olarak 4 adımdan oluşmaktadır:

- Birincil Enerji Kaynağı Edinimi,
- Üretim,
- İletim,
- Dağıtım.

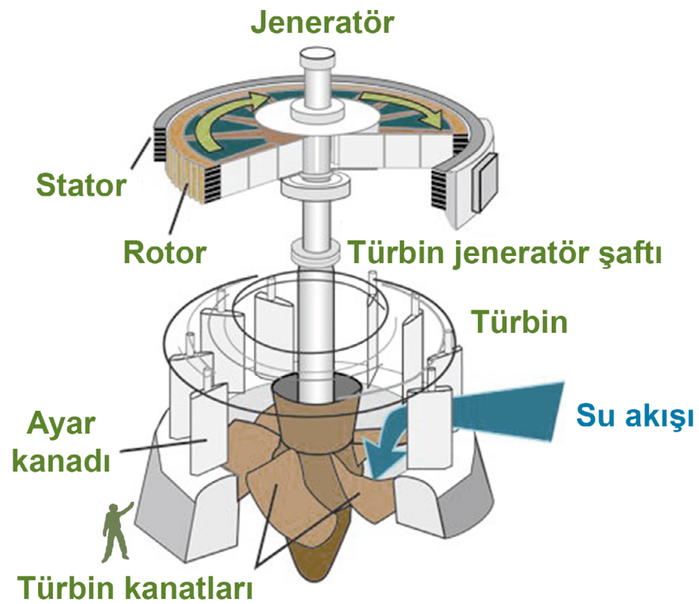


Şekil 55: Elektrik Üretim, İletim ve Dağıtımı

İlk adım olan birincil enerji edinimi, elektriğe dönüştürülecek ve doğal olarak oluşan "birincil" enerjinin elde edilmesini ifade etmektedir. Söz konusu birincil enerji kaynakları arasında kömür, doğal gaz, dizel-benzin, su, organik atıklar, jeotermal kaynaklar, rüzgar, güneş ve radyoaktif elemenler yer almaktadır.

Temel olarak elektrik santralleri, bir türbin jeneratör aracılığıyla mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Türbin jeneratöründe, hareketli bir akışkan, bir rotor miline monte edilmiş bir dizi kanadı itmekte ve kanatlar üzerindeki bu kuvvet jeneratörün rotor milini döndürmektedir. Farklı türbin tipleri arasında buhar türbinleri, yanma (gaz) türbinleri, hidroelektrik türbinleri ve rüzgar türbinleri bulunmaktadır. Doğal gaz, kömür, nükleer fisyon, biyokütle, petrol, jeotermal ve solar termal kullanıldığı durumlarda söz konusu enerji kaynaklarından üretilen ısı türbinin kanatlarını hareket ettiren buharı oluşturmak için kullanılmaktadır.[317, 318]

317. United States Department of Energy. (t.y.). Electricity Production and Distribution. Alternative Fuels Data Center. Erişim adresi: https://afdc.energy.gov/fuels/electricity-production
318. United States Energy Information Administration. (2023). Electricity explained: How electricity is generated. Erişim adresi: https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/how-electricity-is-generated.php



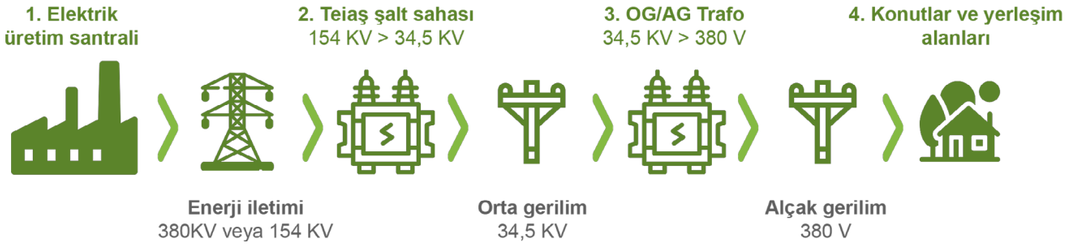
Şekil 56: Gaz Türbin Diyagramı [319]

Rüzgar enerjisi ve su (hidroelektrik) kullanılması durumunda, türbin kanatları sırasıyla doğrudan akan rüzgar ve su tarafından hareket ettirilmektedir. Jeneratör ise rotorun mekanik (kinetik) enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Diğer taraftan güneş fotovoltaik panelleri güneş ışığını yarı iletkenler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürmektedir. [320, 321]

Günümüzde elektrik depolama teknolojileri her ne kadar hızlı gelişen bir alan olsa da elektrik enerjisinin ihtiyaç duyulan yer ve zamanda, gereksinim duyulan miktarda üretilmesi ve tüketilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, üretim süreçlerindeki dinamiklere ek olarak elektrik enerjisi iletim ve dağıtım süreçleri de önem arz etmektedir.

Elektrik şebekesi üretilen elektrik enerjisinin son kullanıcıya iletilmesi için oluşturulmuş bileşik bir ağdır. Şebeke elektrik gücünü üreten enerji santralleri, üretim kaynaklarından talep merkezlerine enerji aktaran iletim (nakil) hatları ve son kullanıcıyla bağlantı sağlayan bileşik dağıtım hatlarından oluşmaktadır.[322]

319. J.M.K.C. Donev et al. (2024). Energy Education. Erişim adresi: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Turbine
320. United States Department of Energy. (t.y.). a.g.e.
321. Göltaş, C. & İpek, N. (t.y.) Türkiye'de Elektrik Sistemi ve Genel Politikalar. Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/6c9908b-7b1766f5_ek.pdf
322. 19 Mayıs Ünivertitesi. (t.y.). Elektrik İletimi ve Dağıtım Sistemleri Ders Notları



Şekil 57: Elektrik Santralinden Alt Gerilim Tüketicilerine Elektrik Enerjisinin İletimi ve Dağıtımı

Kullanıldıkları gerilimlere göre şebeke çeşitleri 4 grupta incelenmektedir:

- **Alçak Gerilim Şebekeleri (1-1000V arası):** Dağıtım trafolarından tüketicilere (abonelere) kadar olan elektrik hatlarından oluşmaktadır. Alçak gerilimle yapılan iletimlerde gerilim düşümü ve güç kaybı fazla olduğu için alçak gerilimler iletimden ziyade dağıtım şebekelerinde ve yoğunlukla şehir içlerinde kullanılmaktadır.

- **Orta Gerilim Şebekeleri (1kV-35kV arası):** Yüksek ve çok yüksek gerilim şebekeleri ile alçak gerilim şebekelerinin birbirine bağlanması için kullanılmaktadır. Yüksek gerilimlerin son kullancılara verilmesi izolasyon ve güvenlik açışından uygun olmadığından yüksek gerilimler uygun değerlere indirilerek orta gerilim şebekelerine bağlanmaktadır. Orta gerilim şebekeleri küçük şehirler ve sanayi bölgelerine elektrik enerjisinin taşınmasında kullanılmaktadır.

- **Yüksek Gerilim Şebekeleri (35kV-154kV arası):** Elektrik enerjisinin üretildiği santrallerden başlayan ve büyük şehirler ile bölgelerin başlangıcı arasında kullanılan şebekelerdir. Yüksek gerilimde dağıtım yapılmamaktadır. Yüksek gerilimler iletime en uygun gerilimlerdir. Çok uzak mesafelere enerji iletiminde alçak gerilimlerde güç kaybı çok olurken, güç kaybının az olduğu yüksek gerilimler çoğunlukla iletim şebekelerinde kullanılmaktadır.

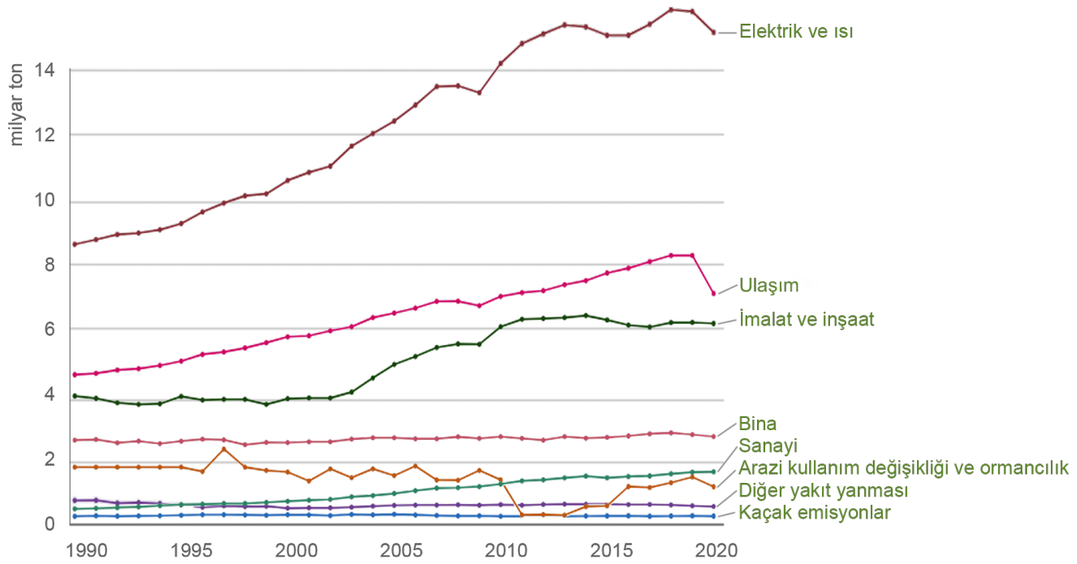
- **Çok Yüksek Gerilim Şebekeleri (154kV'tan fazla):** Şehirlerarası ve santraller arası bağlantı için çok yüksek gerilim şebekeleri tesis edilmektedir. Bazı ülkelerde 500 ve 750 kV'a kadar gerilimler kullanılmaktadır. Türkiye'de hakim çok yüksek gerilim şebekeleri 380 kV'luk tesislerdir.[323]

323. 19 Mayıs Üniversitesi. (t.y.). a.g.e.

5.1.4.2.2. Elektrik Üretim Süreçlerinde Emisyonların Analizi

Gelecekte insanların yaşam kalitesini iyileştirmeye yönelik hizmetlerin artmasıyla kişi başına düşen enerji talebinin de artması beklenmektedir. Söz konusu artış küresel enerji talebinin büyük ölçüde alternatif kaynaklardan karşılanmasını gerektirmektedir. Uzun yıllar boyunca fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar sanayinin gelişmesi, refahın artması, kentleşme gibi sebeplerden dolayı göz ardı edilmiştir. Sanayi, aydınlatma, ısınma, taşımacılık gibi birçok alanda enerji tüketilirken, bu yaklaşımın önemli çevre sorunlarına yol açtığı ve sürdürülebilir gelişme açısından sorunlar doğurduğu gerçeği ancak 20. yüzyılın ortalarına gelindiğinde fark edilmiştir.[324]

Elektrik enerjisi üretimi, karbondioksit kirliliğinin en büyük ikinci yayıcısıdır ve birçok düzeyde ekosistemleri etkileyen iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır. Küresel ölçekte elektrik ve ısı üretimi için kömür, doğal gaz ve petrol yakılması, karbondioksit emisyonlarının en büyük kaynağı arasında yer almaktadır.



Şekil 58: Dünya Genelinde Sektörel CO_2 Emisyonları (2020)

324. United States Environmental Protection Agency. (2023). Human health and environmental impacts of the electric power sector. Erişim adresi: https://www.epa.gov/power-sector/human-health-environmental-impacts-electric-power-sector

Termik santraller toplu olarak, azot oksit (NO_x) ve kükürt dioksit (SO_2) emisyonları ile birlikte cıva (Hg) ve ince parçacık emisyonlarının önemli bir kaynağını da oluşturmaktadır. NO_x, sadece enerji santrallerinden değil, motorlu taşıtlardan ve diğer kaynaklardan da salınan bir grup yüksek reaktif gaz için kullanılan toplu bir terimdir. NO_x emisyonları, çeşitli olumsuz sağlık etkilerine neden olan yer seviyesi ozon ve ince partikül kirliliğinin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. SO_2, esas olarak kömürle çalışan enerji santrallerinden üretilen oldukça reaktif bir gazdır. Asit yağmuru ve ince partikül (PM2.5) kirliliğinin oluşumuna katkıda bulunmanın yanı sıra, SO_2 emisyonları insan sağlığı ve ekosistemler üzerinde bir dizi olumsuz etkiyle bağlantılıdır.[325]

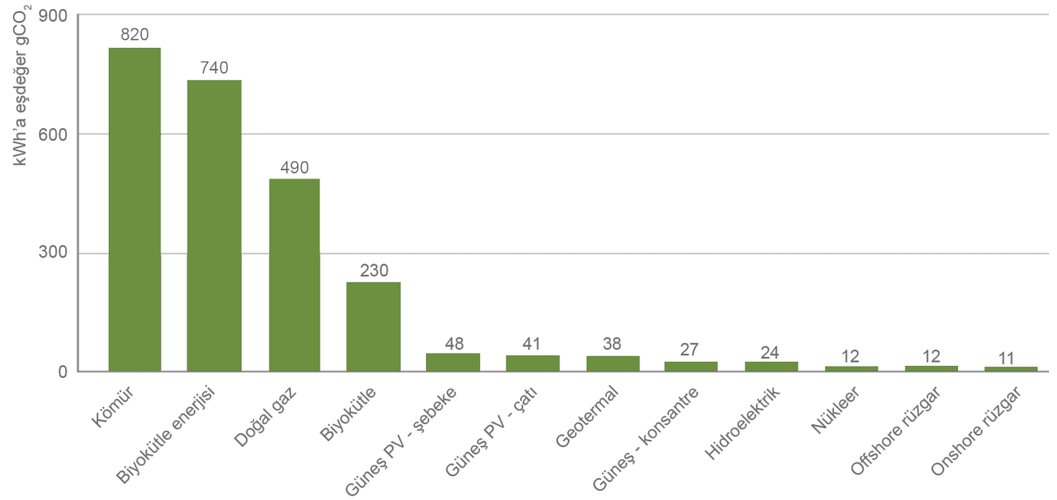
Buna ek olarak, elektrik enerjisi üretiminden kaynaklanan NO_x emisyonları, sucul ve karasal ekosistemlerin besin zenginleşmesine katkıda bulunan büyük bir atmosferik nitrojen birikimi kaynağıdır. Bu artan azot kirliliği bitki biyoçeşitliliğini azaltmakta, diğer organizmaların büyümesini ve hayatta kalma süreçlerini etkileyerek biyolojik toplulukta değişikliklere yol açmaktadır. Besin kirliliği ayrıca tatlı su kaynaklarının ve kıyı haliçlerinin ötrofikasyonuna neden olarak su topluluklarını ve biyoçeşitliliği değiştirmekte ve zararlı alg patlamalarına yol açabilmektedir.[326]

Elektrik enerjisi üretimi, su kütlelerine boşaltılan toksik metaller ve diğer kirleticilerin yanı sıra cıva, kadmiyum ve arsenik gibi kirleticiler içerebilen yıllık milyonlarca ton kömür külünün bertaraf edilmesi yoluyla toprak kirliliğinin de önemli bir kaynağıdır. Soğutma suyu giriş yapıları, çok sayıda balık ve kabuklu deniz hayvanını veya bunların yumurtalarını bir enerji santralinin veya fabrikanın soğutma sistemine çekerek olumsuz çevresel etkilere neden olabilmektedir.[327]

Fosil yakıtla çalışan elektrik üretiminden kaynaklanan karbondioksit emisyonu, fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üretim miktarı, karbon içeriği aracılığıyla kullanılan yakıt karışımı ve fosil yakıt yakma tesislerinin termal verimliliği gibi etkenlere bağlıdır.[328]

Doğal gaz, yaklaşık 20 kg C/GJ ile petrol ve yaklaşık 25 kg C/GJ ile kömür ile karşılaştırıldığında, yaklaşık 14 kg C/GJ ile tüm fosil yakıtlar arasında birim enerji başına en düşük karbondioksit emisyonuna sahiptir. Emisyon açısından bakıldığında, elektrik üretimi için doğal gaz kullanımı bu nedenle açıkça avantajlıdır. Ayrıca, daha düşük karbon içeren yakıtlar genel olarak kömürden daha yüksek verimlilikle dönüştürülebilmektedir, bu da karbondioksit emisyon miktarı üzerinde daha yüksek karbon içeriğine sahip yakıtların daha düşük karbon içeriğine sahip yakıtlarla ikame edilmesine sebebiyet vermektedir.[329]

325. United States Environmental Protection Agency. (2023). a.g.e.
326. United States Environmental Protection Agency. (2023). a.g.e.
327. United States Environmental Protection Agency. (2023). a.g.e.
328. Steen, M. (2000).Greenhouse gas emissions from fossil fuel fired power generation systems (pp. 1-61). Ispra, VA, Italy: Institute for Advanced Materials, Joint Research Centre, European Commission.
329. Steen, M. (2000).a.g.e.

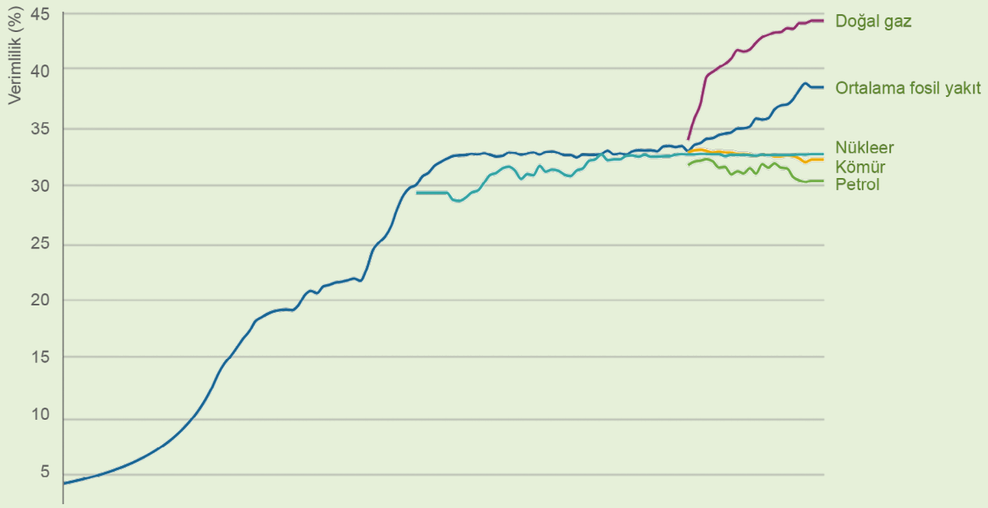


Şekil 59: Santral Tipine Göre Ortalama Yaşam Döngüsü CO_2e Emisyonları [330]

Teknolojik ilerlemenin bir sonucu olarak, enerji üretim teknolojilerinin verimliliğinde sürekli bir iyileşme yaşanmıştır. Kömür, petrol ve nükleer enerji santrallerinin verimliliği, teknolojik ve operasyonel ilerlemelerin getirilerinin azalması nedeniyle 1970'lerden itibaren platoya oturmuştur. Bir enerji santralinin kömürden elektrik üretme verimliliğinin artırılması, aynı miktarda elektrik üretmek için daha az yakıt gerektiği (dolayısıyla da az emisyona sebebp olunması) anlamına gelmektedir. Son yirmi yılda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, verimliliği artıran ve sonuç olarak karbondioksit emisyonlarını keskin bir şekilde azaltan yeni bir dizi kömür yakma teknolojisini beraberinde getirmiştir.[331]

Doğal gaz santrallerinin verimliliği, gaz türbinlerinde doğal gazın yanmasından kaynaklanan atık ısının bir kısmının yakalandığı ve geleneksel bir buhar türbini çevriminde ek elektrik üretmek için kullanıldığı kombine çevrim santrallerinin (Combined Heat and Power – CHP) devreye girmesi nedeniyle son birkaç on yılda artmıştır. Gaz türbinleri 40 yıldan daha uzun bir süre önce piyasaya sürüldüğünde yakıttan elektrik elde etme verimliliği tipik olarak %20 seviyelerinde olsa da günümüzde üreticiler gaz türbini verimliliğinde önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Aynı birincil yakıt kaynağından eş zamanlı olarak termal ve elektrik enerjisi üreten kombine çevrim santralleri yakıtın enerji içeriğinin %80'inden fazlasını faydalı enerjiye dönüştürebilmektedir.[332]

330. World Nuclear Association. (2024). Carbon dioxide emissions from electricity. Erişim adresi: https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity
331. Cleveland, C. (2023). Power plant efficiency since 1900. Erişim adresi: https://visualizingenergy.org/power-plant-efficiency-since-1900/
332. Cleveland, C. (2023). a.g.e.



Şekil 60: ABD Termik Santral Tiplerine Göre Verimlilik Değişimi (1990-2023)

5.1.5. Gübre Sektörü

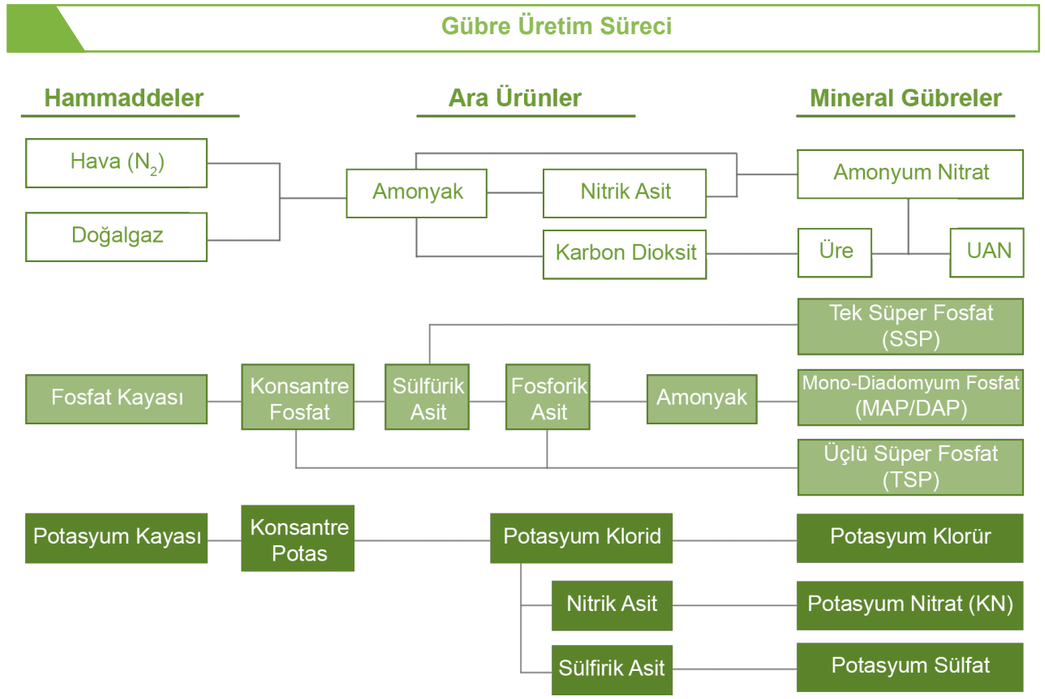
5.1.5.1. Gübre Sektörüne Genel Bakış

Tarımsal faaliyetlerde gübre tüketimi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Çin, Antik Yunan ve Roma'da organik atıkların ve minerallerin verimi artırmak için gübreleme amaçlı kullanıldığı bilinmektedir.[333] Tarımsal üretimde devrim olarak görülen kimyasal (sentetik) gübrelerin geçmişi 200 yıldan az olsa da artan nüfus ve tüketim talebi, sulanan arazilerin artması, tarımda makineleşme ve tarıma dayalı sanayinin gelişmesi gibi nedenler kimyasal gübre talebinin oldukça hızlı artmasına neden olmuştur.

Gübreler, en temel haliyle organik ve kimyasal şeklinde sınıflandırılmakta olup bu iki kaynağın karışımıyla elde edilen ürünler ise organomineral gübre olarak adlandırılmaktadır. Organik gübreler genellikle hayvan dışkısı, kompost (gıda ve bahçe atıkları vb.), doğada bulunan mineraller (leonardit vb.) ile diğer organik kaynaklardan (kemik unu, balık atıkları, yosunlar vb.) elde edilmektedir. Kimyasal gübreler kullanım yerine, ürüne ve amacına göre birçok farklı element içerebilse de en temel üç bileşen Azot (N), Fosfor (P) ve Potasyum (K) elementlerinin bileşikleridir. Birçok gübre türünde bu 3 besin elementinin farklı oranlarda karışımı kullanılmakta ve bu gübreler kısaca kompoze gübre veya NPK olarak adlandırılmaktadır. Kimyasal gübreler arasında en çok kullanılan ve sera gazı emisyon yoğunluğu en yüksek olan gübre türleri ise azotlu gübrelerdir. Genellikle ana girdi olarak doğal gaz ve kömür gibi hammaddelerin kullanıldığı azotlu gübrelerin hem üretimi hem de kullanımı esnasında yoğun sera gazları salınmaktadır. Amonyum nitrat (AN), üre, amonyum sülfat (AS), kalsiyum amonyum nitrat (CAN), amonyum fosfat (DAP/MAP) ve birden fazla hammaddenin farklı oranlarda kullanıldığı kompoze gübreler (NPK) en fazla kullanılan gübre türleridir.

En çok üretilen ve tüketilen gübre türlerinin üretim süreçleri Şekil 61'de özetlenmektedir. Azotlu gübrelerin temel hammaddesi olan ve gübre üretimi haricinde birçok başka sektörde kullanılan amonyak, genellikle doğal gazdan üretilmekte olup kömür, biyokütle ve diğer fosil kökenli hammaddelerden de elde edilebilmektedir. Amonyak üretimi, gübre üretiminde en yoğun emisyon kaynaklarından birisidir ve hammadde olarak tüketilen doğal gaz hem hidrojen kaynağı hem de yakıt olarak kullanıldığından, proses kaynaklı ve yanma kaynaklı sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. Amonyak üretimi esnasında salınan karbondioksit, bazı tesislerde tutularak üre üretiminde kullanılmakta, bu tesislerde birim emisyonların azalmasına neden olmaktadır.

Gübre üretiminde emisyon yoğun bir başka aşama nitrik asit üretimidir. Nitrik asit üretimi esnasında ortaya çıkan nitröz oksit (N_2O), miktarı az olsa da küresel ısınma potansiyelinin yüksek olmasından dolayı (273 tCO_2e), N_2O yakalama sistemi bulunmayan tesislerde yüksek seviyede emisyona neden olmaktadır.



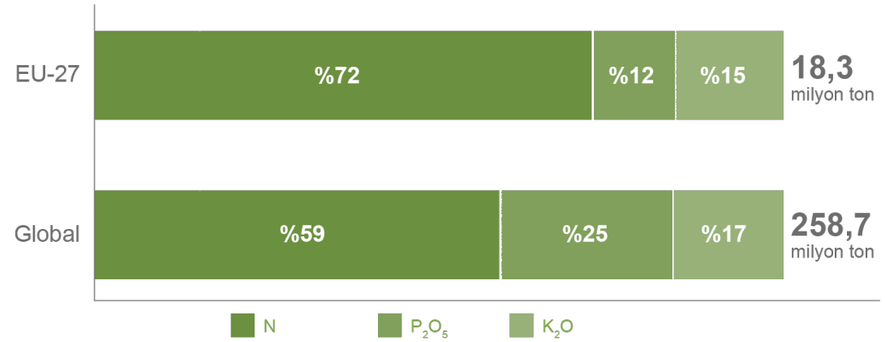
Şekil 61: Temel Gübrelerin Üretim Süreçleri

333. Şahin, G. (2016). Türkiye'de Gübre Kullanım Durumu ve Gübreleme Konusunda Yaşanan Problemler. Erişim adresi: https://dergi-park.org.tr/tr/pub/tarekoder/issue/25829/272340

5.1.5.1.1. Dünyada Gübre Sektörü

Artan nüfus ve gıdaya erişim konusundaki kaygılar, gübre tüketiminin son 60 yılda neredeyse 5 katına çıkmasına neden olmuştur. Azotlu gübre miktarındaki tüketim artışı, diğer gübre türlerinden çok daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Nüfus artışının devam etmesi ve mevcut tarım arazilerinden daha fazla verim alma çabası gübre kullanımının artmasına neden olacaktır.

Fertilizers Europe'a göre 2020 yılında küresel ölçekte 258,7 milyon ton küresel gübre besini üretilmiş ve azotlu gübrelerde AB'nin küresel üretimdeki payı %9, fosfatta %4, potasta ise %7 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 62).[334]



Şekil 62: Gübre Besini Türüne Göre Gübre Üretimi[335]

COVID-19 pandemisi ve Rusya-Ukrayna krizi, yüksek hammadde fiyatları ve tedarik zinciri kaynaklı kesintilerin gıda güvencesi üzerindeki etkilerini daha görünür hale getirmiştir. Gübre sektörünün enerji ve mineral kaynaklarına bağımlı olması nedeniyle üretim faaliyetleri de büyük ölçüde bu coğrafyalarda yoğunlaşmaktadır. Rusya'ya uygulanan yaptırımlar, Ukrayna'da yaşanan tedarik problemleri ve diğer ülkelerin getirdiği ihracat yasakları sebebiyle fiyatlarda yüksek artışlar gözlenmiştir. Gübre fiyatlarında yaşanan artışa rağmen, gübre türleri arasında tüketimi en az etkilenenler, emisyon yoğunluğu en fazla olan azotlu gübreler olmuştur.

Kimyasal gübre dünyanın hemen her farklı bölgesinde üretilmekle birlikte ciddi miktarda ticarete de konu olmaktadır. Dünya Bankası kaynaklı verilere göre AB üyesi ülkelerin hem kendi aralarında hem de dünyanın geri kalan ülkeleri ile 2021 yılındaki gübre ithalatı verileri Tablo 13'te ifade edilmektedir. AB üyesi ülkeler 2021 yılında toplam 7 Milyar ABD Doları değerinde gübre ithalatı yapmıştır. İlgili veriler incelendiğinde AB üyesi ülkelerin gübre ithalatı bakımından büyük oranda Brezilya, İngiltere, Ukrayna ve ABD ile ticari ilişki içerisinde olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye ise AB üyesi ülkelerin toplam ithalat hacminin %3'ünü karşılayarak 7. sırada yer almıştır.

Tablo 13: AB Üyesi Ülkelerin Kendi Aralarında ve Dünyanın Geri Kalan Ülkeleri İle 2021 Yılı Gübre İthalatı[336]

Ülke	2021 İthalat Verileri (1000 ABD $)	Toplam İçi % Katılım Değeri
Brezilya	1.132.797	%16
İngiltere	788.176	%11
Ukrayna	679.192	%10
ABD	515.173	%7
AB Üyesi Ülkelerin Arasındaki İthalat	461.855	%7
Norveç	237.111	%3
Türkiye	211.814	%3
Çin	208.825	%3
Meksika	193.896	%3

Gübre üretimi kaynaklı sera gazı emisyonlarının, tüm sera gazı emisyonlarının %1,3'ünden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. Tarımsal faaliyetler esnasında azotlu gübrelerin kullanımından kaynaklanan sera gazı da dikkate alındığında bu oran %5'lere çıkmaktadır ve bu durum, Paris Anlaşması hedeflerine ulaşılması açısından risk oluşturmaktadır.[337]

AB, iklim değişikliği ile mücadele politikası doğrultusunda uygulamakta olduğu ETS kapsamında, nitrik asit üretiminden kaynaklanan N_2O emisyonlarını son on yılda %95 oranında azaltmış olup amonyak üretiminde ise yaklaşık 1,98 tCO_2e/ton amonyak ile Norveç haricindeki diğer ülkelere göre en düşük emisyon yoğunluğuna ulaşmıştır.[338]

5.1.5.1.2. Türkiye'de Gübre Sektörü

1950'li yıllarda Türkiye'de ana faaliyeti gübre üretimi olan tesislerin temelleri atılmaya başlanmış ve başlangıçta kamu iktisadi teşekkülü şeklinde gerçekleşen yatırımlar, 2005 yılında tamamlanan özelleştirme çalışmaları ile özel sektöre devredilmiştir.

334. Fertilizers Europe. (2022). Fertilizer Industry Facts & Figures 2022. Erişim adresi: https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2022/09/Industry-Facts-and-Figures-2022.pdf
335. Fertilizers Europe. (2022). a.g.e.
336. World Integrated Trade Solutions. (2021). Erişim adresi: https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/EUN/year/2021/tradeflow/Exports/partner/ALL/product/31#
337. International Fertilizer Association. (t.y.). Erişim adresi: https://www.fertilizer.org/key-priorities/fertilizers-climate-change/production-emissions/#:~:text=The%20production%20of%20fertilizers%20is,the%20production%20of%20mineral%20fertilizers
338. Vidovic, D., Marmier, A., Zore, L. and Moya, J. (2023). Greenhouse gas emission intensities of the steel, fertilisers, aluminium and cement industries in the EU and its main trading partners

Günümüzde, Türkiye'de gübre üretimi ve ithalatı yapan işletmelerin tamamı özel sektör kuruluşudur ve 2022 yılı itibarıyla sektörde 1.284 firma faaliyet göstermektedir.[339] Yurt içi gübre üretiminin neredeyse tamamı 9 büyük üretici tarafından sağlanmaktadır. Söz konusu 9 şirketin Türkiye sınırları içerisinde 14 farklı lokasyonda üretim tesisi bulunmaktadır.

	Türkiye'deki 9 Büyük Gübre Üreticisi
1	Toros Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş.
2	Bandırma Gübre Fabrikaları A.Ş. (BAGFAŞ)
3	Gemlik Gübre Sanayi A.Ş.
4	İstanbul Gübre Sanayii A.Ş. (İGSAŞ)
5	Eti Bakır A.Ş.
6	Ege Gübre Sanayii A.Ş.
7	Gübre Fabrikaları Türk A.Ş. (Gübretaş)
8	İskenderun Gübre Sanayi A.Ş.
9	HEKTAŞ Ticaret A.Ş.

HEKTAŞ Ticaret A.Ş. dışındaki firmalar kimyevi gübre üretimi yapmaktadır. HEKTAŞ Ticaret A.Ş.'nin ise Adana ve Konya sınırları içerisinde organomineral gübre üretim tesisleri mevcuttur. Biyogaz tesisleri dışında organomineral gübre üreten iki büyük şirket daha bulunmakta olup bu firmalar İskenderun ve Hatay sınırları içerisinde yer alan 4 farklı lokasyondaki tesislerde faaliyet göstermektedir.

Türkiye'nin gübre sektörü, nihai ürünler için ağırlıklı olarak ithal girdilere dayanmaktadır. Gübre üretimi için gerekli malzemelerin yaklaşık %95'inin ve nihai gübre ürünlerinin üçte birinin ithal edilmesi, sektörü fiyat şoklarına ve arz yönlü sorunlara karşı kırılgan hale getirmektedir. Doğal gaz ve ikincil ürünlere olan bağımlılık ve tesislerin nispeten eski olması, Türk gübre sektörünün uluslararası pazarda rekabet etmesini engellemektedir. Türkiye'de üç amonyak tesisi ve proses emisyonlarının çoğunluğunu oluşturan dört nitrik asit tesisi bulunmaktadır. Gübre sektörü ayrıca, piyasa koşullarına bağlı olarak önemli miktarda üre ve amonyak ithal etmektedir. Amonyak ve üre fiyatları doğrudan doğal gaz fiyatları ile ilişkilidir. Bu nedenle, Türkiye'deki amonyak ve gübre üretim tesisleri uluslararası piyasadaki amonyak, gübre ve doğal gaz fiyatlarına bağlı olarak bazı dönemlerde kapasitenin altında çalıştırılmakta ve üreticiler malzeme ihtiyacını ithalat yolu ile gidermektedir.

339. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. (2018). Gübre Sektör Politika Belgesi 2018-2022. Erişim adresi: https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/G%C3%BCbre%20Sekt%C3%B6r%20Politika%20Belgesi%202018-2022.pdf

Türkiye geniş bir gübre üretim sanayiine sahip olmasına rağmen amonyak, nitrik asit, amonyum nitrat ve üre üretimi gibi tüm gübre tedarik zincirindeki birincil işlem adımlarında yalnızca birkaç şirket faaliyet göstermektedir. Bunlar arasında BAGFAŞ, Eti Gübre, Gemlik Gübre, GÜBRETAŞ, İGSAŞ ve Toros Tarım yer almaktadır.[340]

Türkiye'de 2021, 2022 ile 2023 yıllarında üretilen ve tüketilen gübre miktarlarına dair değerler Şekil 63'te gösterilmektedir. Söz konusu istatistikler Gübre Takip Sistemi (GTS) veri tabanı baz alınarak yayımlanmaktadır. GTS'de, gübre fabrikada üretildikten sonra ambalajlanırken hangi gübre türünden ne kadar üretildiği ve bu miktarın ne kadarının piyasaya sürülmek üzere olduğu, bir karekod aracılığıyla Tarım ve Orman Bakanlığı'nın merkezi veri tabanına düşmektedir.[341] Şekil 63'te paylaşılan değerlere göre, üretim miktarının 2021 yılından 2023 yılına doğru azalarak 6.335.104 ton değerinden 4.450.927 ton değerine düştüğü, ancak aynı dönemde tüketim miktarlarının 6.480.101 ton değerinden 7.030.779 ton değerine çıktığı gözlenmektedir.

Ortalama değerlere bakıldığında, Türkiye'de 2021-2023 yılları arasında gübre tüketimi ihtiyacı yaklaşık 6,5 milyon ton iken üretimin 5,3 milyon ton aralığında olduğu fark edilmektedir. Son 3 yılda üretimin tüketim içerisindeki oranına dair değerler ise yüzde bazında Şekil 64'te paylaşılmaktadır. Üretimin tüketim içerisindeki ağırlıkça yüzdesi bazında dalgalı hareketin temel sebebi amonyak, üre ve nitrik asit gibi temel gübre hammaddelerinin ilgili yıllar içerisinde üretim açısından ne kadar karlı olduğu ile ilişkilidir. Üstteki paragraflarda ifade edildiği üzere, söz konusu hammaddelerin fiyatlarının uluslararası pazarda nispeten düşük olduğu dönemlerde üreticiler tesislerin kapasite kullanım oranlarını düşürerek gübre ithalatçısı rolünü ön plana çıkarmaktadır.

Üretim ve tüketim miktarları ile üretim miktarının tüketim miktarı içerisindeki ağırlıkça oranı Tablo 14 ve Şekil 64'te 4 farklı kategoride ifade edilmektedir. Söz konusu kategoriler, gübrenin içerdiği Azot (N), Fosfor (P) ve Potasyum (K) ile diğer bileşiklerin miktarını/oranını tarif etmek için kullanılan terminolojiler olup ve aşağıda açıklanmaktadır.

- Fiziki toplam: Azot, fosfor ve potasyum bazında üretilen gübrenin toplam ağırlığı
- Eş değer toplam: Fiziki üretim miktarının azot, fosfor ve potasyumlu kaynaklara ilaveten içerdiği diğer organiklerle birlikte toplam değeri

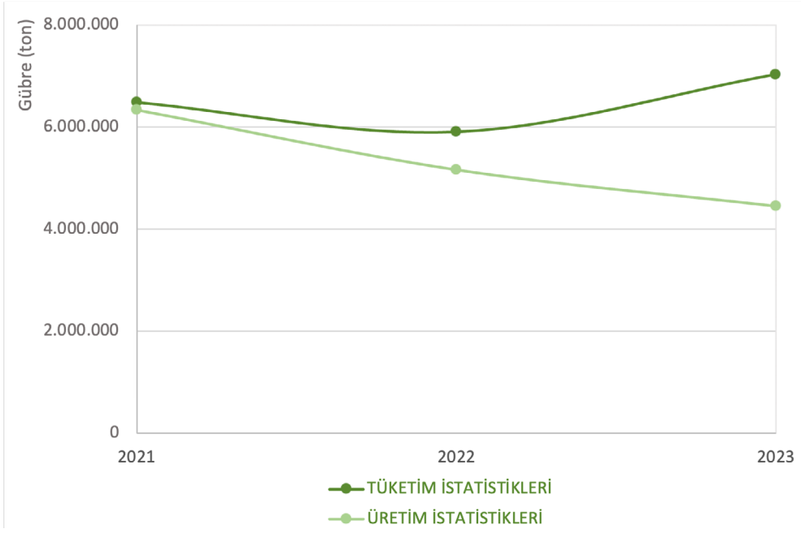
Bitki besin maddesi (BBM) toplam: Eş değer toplam içerisindeki N (azot), P_2O_5 (fosfor) ve K_2O'nun (potas) ağırlıkça oranı

- N-P-K toplam: Bitki besin maddesi içerisindeki azot, fosfor ve potasyumun ağırlıkça miktarı

340.Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. (2018). a.g.e.
341. Gübre Takip Sistemi. (t.y.). Erişim adresi: https://gts.tarimorman.gov.tr/

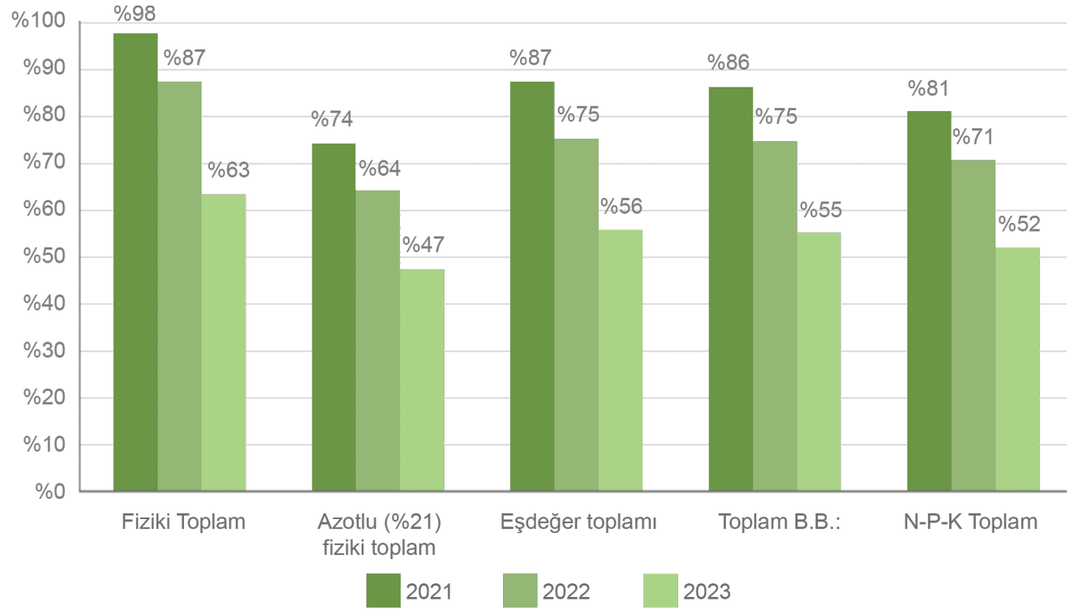
Tablo 14: Gübre Üretim ve Tüketim Verileri (2021-2023)

2021-2023 Yılları Arası Gübre Üretim ve Tüketim Verileri	Tüketim İstatistikleri			Üretim İstatistikleri		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Fiziki Toplam	6.480.101	5.902.539	7.030.779	6.335.104	5.163.508	4.450.937
Azotlu (%21 N)	8.511.183	7.520.871	9.277.071	6.312.032	4.828.975	4.390.763
Fosforlu (%17 P_2O_5)	3.726.914	3.550.343	4.328.555	4.351.977	3.423.623	3.153.783
Potaslı (%50 K_2O)	308.446	261.495	291.536	309.627	265.376	205.035
Eş Değer Toplamı	**12.546.543**	**11.332.709**	**13.897.161**	**10.973.636**	**8.517.974**	**7.749.581**
Azot (N)	1.787.348	1.579.383	1.948.185	1.325.527	1.014.085	922.060
Fosfor (P_2O_5)	633.575	603.558	735.854	739.836	582.016	536.143
Potas (K_2O)	154.223	130.747	145.768	154.814	132.688	102.517
Toplam BBM	**2.575.147**	**2.313.689**	**2.829.807**	**2.220.177**	**1.728.789**	**1.560.721**
N	1.787.348	1.579.383	1.948.185	1.325.527	1.014.085	922.060
P	276.619	263.514	321.274	323.012	254.108	234.080
K	127.974	108.494	120.958	128.465	110.104	85.069
N-P-K Toplam	**2.191.942**	**1.951.391**	**2.390.417**	**1.777.004**	**1.378.297**	**1.241.209**



Şekil 63: Türkiye'de Gübre Üretim ve Tüketimi (2021-2023)[342]

342. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. (t.y.). Bitki Besleme İstatistikleri. Erişim adresi: https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Bitki-Besleme-ve-Tarimsal-Teknolojiler/Bitki-Besleme-Istatistikleri



Şekil 64: Türkiye'deki Gübre Üretim Miktarlarının Gübre Tüketim Miktarları İçerisindeki Oranı (2021-2023)[343]

2021-2023 yılları arasında Türkiye'de en çok üretilen ve tüketilen gübre türleri Tablo 15 ve Tablo 16'da gösterilmektedir. Tablo 15'ten anlaşılacağı üzere kompoze gübre (NPK), kalsiyum amonyum nitrat (CAN), amonyum sülfat (AS), diamonyum fosfat (DAP) ve üre üretimi, toplam gübre üretiminin yaklaşık %80'ine tekabül etmektedir. Benzeri şekilde, Tablo 16'da yer alan tüketim verileri incelendiğinde ise aynı gübre türlerinin toplam tüketim içerisindeki ağırlığının %90 civarında olduğu anlaşılmaktadır. Tüketimin %70-75'ini kalsiyum amonyum nitrat (CAN), kompoze gübre (azot, fosfor ve potasyumlu bileşikler; NPK), diamonyum fosfat (DAP) ve üre oluşturmaktadır. Söz konusu verilere dair en önemli çıkarım, üre üretimi ile tüketimi arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. Üre üretiminde hammadde olarak amonyak ile CO_2 gazı kullanıldığı ve amonyak eldesi de doğal gazdan yapıldığı için üre, sera gazı emisyonları ile ilişki bakımından en önemli gübre türlerinden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla, ürenin ne oranda ithal edildiği, yurt içi gübre üretimi kaynaklı emisyonlar açısından önem arz etmektedir. Bu konu işbu raporun ilerleyen bölümlerinde daha detaylı biçimde ele alınmaktadır.

343. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. (t.y.). a.g.e.

Tablo 15: Türkiye'de En Çok Üretilen Kimyevi Gübreler (2021-2023)

2021-2023 Yılları Arasında Türkiye'de En Çok Üretilen Kimyevi Gübreler	Toplam Üretim İçerisindeki Ağırlıkça Oran (%)		
	2021	2022	2023
Kompoze Gübre (NPK)	%32	%32	%33
Kalsiyum Amonyum Nitrat (CAN)	%25	%26	%24
Amonyum Sülfat (AS)	%6	%6	%10
Diamonyum Fosfat (DAP)	%9	%8	%10
Üre	%8	%5	%5
Toplam	%80	%77	%82

Tablo 16: Türkiye'de En Çok Tüketilen Kimyevi Gübreler (2021-2023)

2021-2023 Yılları Arasında Türkiye'de En Çok Tüketilen Kimyevi Gübreler	Toplam Üretim İçerisindeki Ağırlıkça Oran (%)		
	2021	2022	2023
Kompoze Gübre (NPK)	%33	%29	%29
Kalsiyum Amonyum Nitrat (CAN)	%17	%15	%12
Amonyum Sülfat (AS)	%10	%11	%11
Diamonyum Fosfat (DAP)	%6	%8	%9
Üre	%27	%26	%30
Toplam	%93	%89	%91

Mevcut durumda gübre ihracatına getirilen kısıtlamalar ve Türkiye'de üretilen gübre ürünlerinin maliyet dezavantajı nedeniyle Türkiye'nin AB'ye gübre ihracatı sınırlıdır. Önümüzdeki yıllarda AB tarafından tarım ve gıda ürünlerine uygulanması beklenen kısıtlamaların, Türkiye'nin AB'ye ihraç ettiği ürünleri de etkilemesi söz konusu olacaktır. Söz konusu kısıtlamalardan olumsuz yönde etkilenmemek için gerek gübre üretim emisyonları gerekse de AB'nin gıda güvencesi politikalarına uyum sağlamak gerekecektir. Ancak bir önceki cümlede de ifade edildiği gibi, uluslararası piyasalardaki hammadde (özellike amonyak, nitrik asit) fiyatlarındaki olası dalgalanmalar yurtiçi üreticilerin maliyet dezavantajına neden olabilecektir. Özetle AB'ye gübre ihracatının potansiyel maliyet dezanvantajı ve AB gıda güvenliği politikaları olmak üzere birbiri ile doğrudan bağlantısı olmayan iki temel kıstası bulunmaktadır.

5.1.5.2. Gübre Sektöründe Sera Gazı Emisyonlarının Analizi

Gübre üretim süreçlerinde, tedarik zinciri ve ürün kullanımı kaynaklı emisyonlar dahil olmak üzere Kapsam 1-2-3 emisyonlarının toplam emisyonlar içerisindeki yaklaşık dağılımı Şekil 65'te gösterilmektedir. Buna göre, gübre üretim süreçlerinden kaynaklanan emisyonlar, ürünün yaşam döngüsü içerisindeki toplam emisyonların ortalama %35-40'ına denk gelmektedir.

Şekil 65: Gübre Üretimi ve Kullanımı Süreçlerinde Ortaya Çıkan Emisyonların Kapsam Bazında Yaklaşık Dağılımı[344]

Üretim aşamalarında meydana gelen emisyonlar, bu süreçlerde ihtiyaç duyulan enerji ve proses emisyonlarıdır. 2020, 2021 ve 2022 yıllarında Türkiye'deki gübre sektörünün üretim süreçlerinde kullanılan enerji kaynakları Tablo 17'de sunulmaktadır. Söz konusu veriler, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yıllık bazda paylaştığı enerji denge tablolarından alınmıştır.

344. International Fertilizer Association. (2022). Reducing Emissions from Fertilizer Use. Erişim adresi: https://www.fertilizer.org/wp-content/uploads/2022/09/2022_IFA_Systemiq_Reducing_Emissions_from_Fertilizer_Use_Report_Jan_12_2023.pdf

Tablo 17: Ulusal Enerji Denge Tablolarına Göre Gübre Sektörünün 2020, 2021 ve 2022 Yıllarındaki Enerji Kullanımının Kaynak Bazında Dağılımı (Tesislerdeki Atık Isı Geri Kazanımı ve Kullanımı Hariç)[345]

Kaynak Bazında Enerji Kullanımı	Petrol Ürünleri (Bin ton)	Fuel Oil/LPG (Bin ton)	Motorin (Bin ton)	Doğal Gaz (Milyon Sm^3)	Elektrik (GWh)
2020	1,7	0,5	1,3	637,3	631,2
2021	0,7	0,0	0,7	1.021,1	661,5
2022	1,6	1,0	0,6	685,2	771,2

Tablo 18: Gübre Sektörünün 2020 Yılındaki Kapıdan Kapıya Emisyonları

Emisyon Kaynağı	Sera Gazı Emisyonu (tCO_2e)	Referans
Doğal gaz tüketimi	1.223.639	Ulusal Enerji Denge Tablosu, 2020[346]
Sıvı yakıt tüketimi	6.910	Ulusal Enerji Denge Tablosu, 2020
Amonyak üretimi (hammadde olarak doğal gaz tüketiminden kaynaklanan emisyonlar)	218.000[a]	Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri[347]
Nitrik asit üretimi	2.006.000[b]	Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri
Elektrik tüketimi	269.129	Ulusal Enerji Denge Tablosu, 2020
Toplam Emisyonlar (tCO_2e)	3.723.678	

a: Türkiye'de amonyak üretimi gübre sektörü tarafından gerçekleştirilmektedir ve üretilen amonyağın tamamının gübre sektörü tarafından kullanıldığı varsayılmaktadır.
b: Türkiye'de nitrik asit üretimi gübre sektörü tarafından gerçekleştirilmektedir ve üretilen nitrik asidin tamamının gübre sektörü tarafından kullanıldığı varsayılmaktadır.

Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri'nde 2021 yılında amonyak üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları 545.000 tCO_2e olarak raporlanmaktadır; ancak bu veri, amonyak üretimi sırasında yakıt olarak kullanılan doğal gaz tüketimini de içermektedir. Çeşitli saha çalışmalarından elde edilen verilere göre, amonyak üretiminde toplam doğal gazın %60'ı yakıt olarak, %40'ı ise hammadde olarak kullanılmaktadır. Gübre sektörünün toplam doğal gaz tüketimi, ulusal enerji denge tablosuna dahil edilmektedir. Dolayısıyla, mükerrer sayımdan kaçınmak için amonyak üretiminden kaynaklanan toplam emisyonun %40'ı, 218.000 tCO_2e olarak dikkate alınmaktadır. Buradan hareketle, 2020 yılında Türkiye'deki gübre sektörünün Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonları yaklaşık 3.723.678 tCO_2e olarak hesaplanmaktadır.

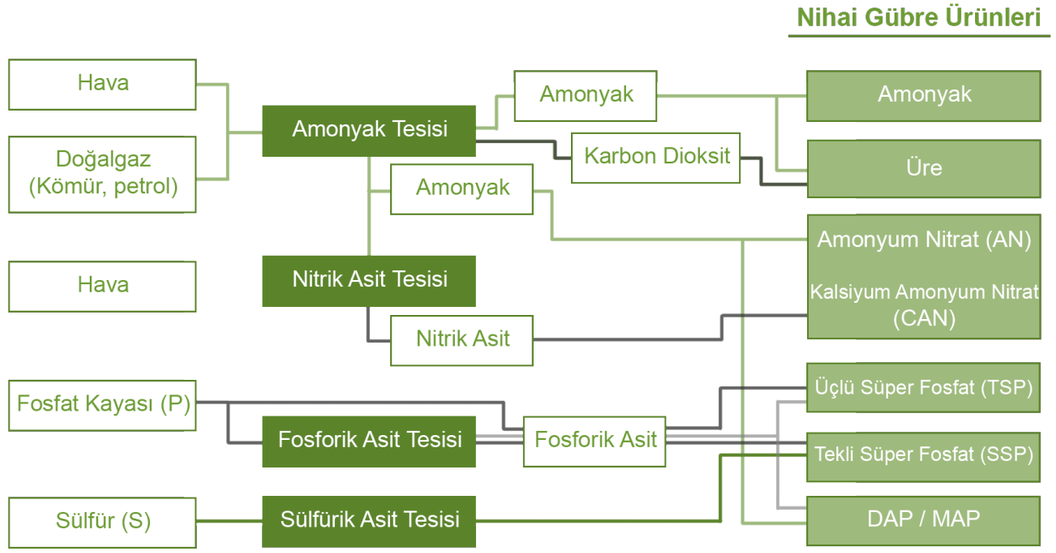
345. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (t.y.) EİGM Raporları. Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari
346.Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). 2020 Yılı Ulusal Enerji Denge Tablosu. Erişim adresi: https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/Ulusal_Enerji_Denge_Tablolari/2020.xlsx
347. United Nations Climate Change. (2022). Turkey. 2022 National Inventory Report. Erişim adresi: https://unfccc.int/documents/461926

5.1.5.2.1. Gübre Üretim Süreçleri

Kimyasal gübre üretim sürecinde kullanılan dört temel hammadde bulunmaktadır. Söz konusu hammaddeler ve bunların temel bileşenleri aşağıdaki listelenmektedir.

- Amonyak: Hava, su ve hidrojen kaynağı olarak doğal gaz, kömür vb. fosil kaynaklar
- Nitrik asit: Hava, su ve amonyak
- Sülfürik asit: Su ve kükürt (sülfürik asit kaynağı olarak)
- Fosforik asit: Su ve fosfat kayası

Gübre türlerinin üretim süreçlerinde kullanılan temel hammaddelerin hangi gübre türlerinin üretiminde kullanıldıkları Şekil 66'da özetlenmektedir. İlgili şekilde anlaşılacağı üzere amonyak hemen her gübre türünün üretiminde kullanılması ve diğer bir temel hammadde olan nitrik asit üretiminde de ihtiyaç duyulması dolayısıyla en temel hammadde olarak dikkat çekmektedir. Sülfürik asit ise hem doğrudan hammadde olarak kullanılmakta hem de diğer bir temel hammadde olan fosforik asit üretiminde rol almaktadır.



Şekil 66: Temel Hammaddelerin Gübre Türlerinin Üretim Süreçlerinde Kullanımı

Fosfat Kayası

Fosforik asit üretiminde kullanılan fosfat kayası, genellikle yurt dışından temin edilen bir hammaddedir. Fas ve Tunus, gübre üretiminde fosfat kayası ihracatı bakımından öne çıkan ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye'de Mardin Mazıdağı Bölgesi'nde fosfat kayası kaynağı mevcut olup gübre üretim tesislerinden biri bu bölgeden malzeme çıkartmaktadır. Ancak, diğer üreticiler genellikle Fas ve Tunus'tan ithalat yapmaktadır.

Fosforik asit üretimi sürecinde meydana gelen emisyonlar, fosfat kayasının çıkartıldığı madencilik faaliyetlerinden ve kayanın işlendiği fosforik asit üretiminden kaynaklanmaktadır.

Sülfürik Asit

Türkiye'deki gübre üretiminde, sülfürik asit tesislerinde hammadde olarak genellikle pirit (FeS_2) kullanılmaktadır. Pirit magmatik kayalarda, kontakt metamorfik yataklarda, hidrotermal damarlarda, birincil ve ikincil olarak bazı sedimanter kayalarda bulunmaktadır ve fosforik asit üretimi açısından en önemli malzemedir. Bir diğer deyişle, gübre sektöründeki temel hammaddelerden biri olan fosforik asitin üretilebilmesi için proseste sülfürik asit kullanımı gerekmektedir. Nitekim, günümüzde fosfat kayasından fosforik asit üretimi amacıyla takip edilen en yaygın ve ucuz yöntem sülfürik asit kullanımıdır. Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü tarafından paylaşılan bilgilere göre Türkiye'nin çeşitli pirit rezervleri işletilebilir kalitede ve toplam 57 milyon tondan fazla olmasına rağmen, sülfürik asit fabrikalarına hammadde temini için yeterli ve etkin bir sekilde kullanılamamaktadır.[348] Sülfürik asit üretiminde kullanılan bir diğer malzeme ise saf kükürttür. Türkiye'de saf kükürt Rusya, Kazakistan ve Türkmenistan gibi ülkelerden temin edilmektedir.

Sülfürik asit üretim prosesi egzotermik bir proses olup açığa çıkan termal enerji (düşük-orta ve yüksek buhar basıncı; atık ısı enerjisi) elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Bu sayede sülfürik asit tesisleri, çeşitli makine ve ekipmanların operasyon esnasında ihtiyaç duyacağı enerjiyi kendisi üretebilmekte ve hatta bu enerjinin fazlası ulusal şebeke ve serbest piyasada değerlendirilebilmektedir. Özetle, sülfürik asit üretim tesisleri "sıfır" emisyonlu tesisler olarak kabul edilebilmekte ve Türkiye'deki üretim tesislerinin tamamı atık ısı enerjisini elektrik enerjisi üretmek amacıyla değerlendirmektedir.

Amonyak

Türkiye'de Eti Bakır A.Ş., İstanbul Gübre Sanayii A.Ş. (İGSAŞ), ve Gemlik Gübre Sanayi A.Ş. olmak üzere 3 adet amonyak üretim tesisine sahip gübre üreticisi bulunmaktadır. Söz konusu tesislerde amonyak üretim teknolojisi gri amonyak üretimi üzerine tasarlanmıştır. Gri amonyak hammadde olarak doğal gaz, kömür vb. fosil yakıtların kullanıldığı ve üretim sürecinde proses emisyonu olarak ortaya çıkan CO_2 gazının herhangi bir amaçla değerlendirilmeden atmosfere salındığı amonyak türüdür. Hidrojen kaynağı olarak ise doğal gaz kullanılmaktadır. Eti Bakır A.Ş. Mardin işletmesinde bulunan amonyak üretim tesisi, diğer üretim tesislerine kıyasla yeni bir teknolojiye sahip olup doğal gaz tüketimi açısından yaklaşık %15 daha verimli çalışmaktadır.

Türkiye, önemli bir gri amonyak ithalatçısıdır. Uluslararası üre ve doğal gaz fiyatlarındaki değişimler, gri amonyak üretim tesislerinin hangi kapasitede faaliyet göstereceğini belirleyen en önemli faktördür. Nitekim, amonyağın temel hammaddesi olan doğal gaz da ithal edilmektedir. Bu nedenle, söz konusu tesisler bazı dönemlerde üretim yapmak yerine amonyağı yurt dışından ithal ederek faaliyetlerini sürdürmektedir.

Nitrik Asit

Türkiye'de Bandırma Gübre Fabrikaları A.Ş. (BAGFAŞ), Toros Tarım San. ve Tic. A.Ş., İstanbul Gübre Sanayii A.Ş. (İGSAŞ) ve Gemlik Gübre Sanayi A.Ş. olmak üzere 4 adet nitrik asit üretim tesisi mevcuttur. Nitrik asit üretimi, kimyasal gübre eldesinde hem en fazla mutlak emisyonun hem de en yüksek emisyon yoğunluğunun ortaya çıktığı üretim basamağıdır. Bunun nedeni, nitrik asit üretim prosesinde ortaya çıkan N_2O gazıdır. Nitrik asit üretimi ve emisyon ilişkisi açısından kritik bir diğer nokta, nitrik asit üretiminde kullanılan temel hammaddenin amonyak olmasıdır. Doğal gaz fiyatlarının amonyak üretimini cezbedici kılmadığı dönemlerde, nitrik asit üretiminde kullanılan amonyak büyük oranda yurt dışı pazarından sağlanmaktadır.

Özetle, gübre üretiminde sera gazı emisyonu bakımından öne çıkan iki temel hammadde amonyak ve nitrik asittir. Sülfürik asit tesisleri atık ısı elde edebildiğinden, üretim ihtiyacının ötesinde enerji üretebilen atık ısı geri kazanım üniteleri içeren bir konfigürasyona sahiptir. Fosforik asit üretim tesislerinde ise sadece elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır ve ton ürün başına sektörel emisyonlar/enerji ihtiyacı düşünüldüğünde bu enerji ihtiyacı ihmal edilebilir boyutlardadır.

Türkiye gübre sektörü büyük ölçüde ithal hammaddelere ve ara girdilere bağımlıdır. Bu durum, sektörü fiyat şoklarına ve arz yönlü sorunlara karşı kırılgan hale getirmektedir. Gübre sektöründe kullanılan ve ithal edilen başlıca hammaddeler ve ürünler arasında doğal gaz, amonyak ve üre yer almakta olup bunların tümü enerji fiyatlarına bağlılık göstermektedir.

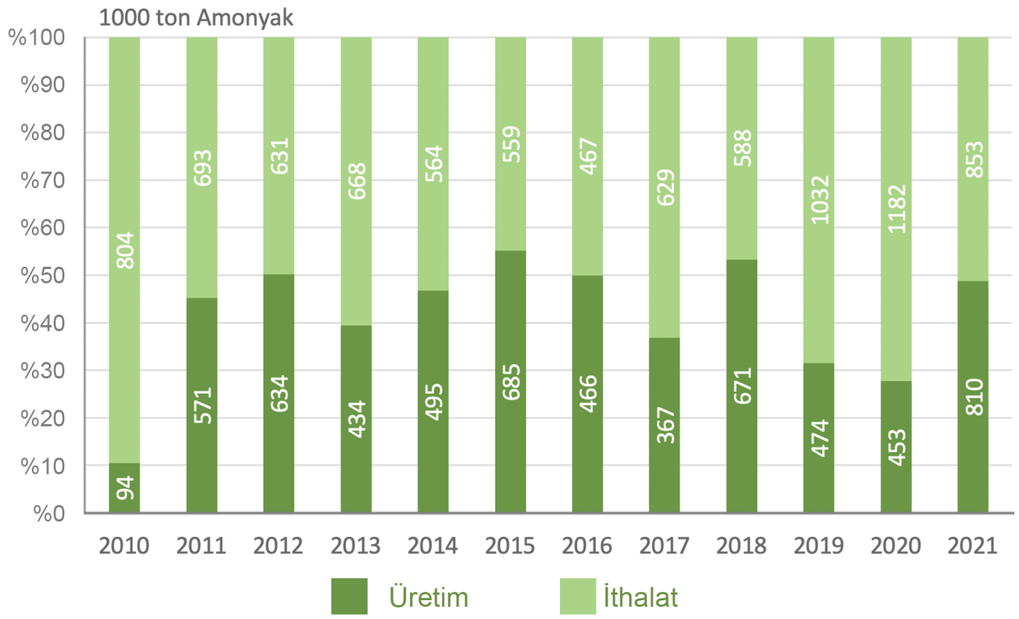
Gübre üretim sürecinde kullanılan temel hammaddelerin ithalatına yönelik yaklaşık değerler Tablo 19'da sunulmaktadır.[349] Söz konusu oranlar yıl bazında değişkenlik gösterebilmektedir. İlgili ithalat oranları, gübre sektörünün temel hammaddelerinin üretiminde açığa çıkan emisyonların Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonları bazında dağılımına dair önemli bir gösterge olarak değerlendirilebilmektedir.

348. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (t.y.). Erişim adresi: https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/product&product_id=19827

349. International Fertilizer Association. (2023). Fertilizer Production Statistics.

Tablo 19: Gübre Sektöründe Yer Alan Ana Hammaddelerin İthalat Oranı [350]

Temel Hammadde	İthalat Payı
Amonyak	~%70
Fosfat Kayası (P_2O_5)	~%70
Nitrik Asit	%5-10
Sülfürik Asit	~%60



Şekil 67: Türkiye'de Amonyak Üretimi ve İthalatı [351]

Gübre üretiminde kullanılan temel hammaddelerin ve enerji kaynaklarının emisyon faktörlerine yönelik yaklaşık değerlere ilişkin bilgi Tablo 20'de paylaşılmaktadır.

350. World Integrated Trade Solutions. (2021). a.g.e.
351. World Integrated Trade Solutions. (2021). a.g.e.

Tablo 20: Gübre Üretiminde Kullanılan Temel Hammaddelerin ve Enerji Kaynaklarının Emisyon Faktörleri

Hammadde	tCO_2e/ton ürün	Referans
Amonyak	2,0-2,2	Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Center – JRC) 2023 Teknik Raporu [352] bu değeri Türkiye için 2,18 olarak ifade etmektedir. Sektörden elde edilen bilgilere göre ise bu değer 2,0-2,2 aralığında değişkenlik göstermektedir.
Fosfat Kayası (P_2O_5)	0,375	Issaoui vd., 2021'nin [353] çalışmasında fosfat kayasının madencilik işlemleri esnasında ortaya çıkan emisyonlar ile tesisteki ıslak proseslerden doğan emisyonlar birbirinden ayrıştırılmaya çalışılmıştır. İşbu dokümanda sadece kapıdan kapıya ıslak işlemler dikkate alınmıştır, keza fosfat kayası Türkiye'deki tesislere getirildikten sonra sadece ıslak işlemler yapılmaktadır.
Nitrik Asit	1,54[a]	UNFCCC'ye 14 Nisan 2022 tarihinde sunulan Ulusal Envanter Raporu 2020 [354], (toplam üretimin toplam emisyonlara oranı)
Sülfürik Asit	0,0	Kapıdan kapıya üretim işlemleri, enerji üreten egzotermik reaksiyonlardan oluşmaktadır. Bu nedenle emisyon faktörü "0" olarak alınmıştır.
Enerji Kaynağı	**kg CO_2e /GJ**	**Referans**
Elektrik	123,85	UNFCCC'ye 14 Nisan 2022 tarihinde sunulan Ulusal Envanter Raporu 2020 [355]
Doğal Gaz	55,51	UNFCCC'ye 14 Nisan 2022 tarihinde sunulan Ulusal Envanter Raporu 2020 [356]

a: Nitrik asit emisyon faktörü sadece N_2O proses emisyonlarını içermektedir. Nitrik asit üretimi sırasında amonyak tüketiminden kaynaklanan emisyonlar, mükerrer sayımı önlemek için hariç tutulmuştur.

5.1.5.2.1. Gübre Üretim Süreçleri

Gübre üretim ve kullanım süreçlerindeki emisyonlar, doğrudan ve dolaylı emisyonlardan oluşmaktadır. Sadece üretim süreçlerine odaklanıldığında, nitrik asit üretimi, amonyak üretimi ve doğal gaz kullanımından kaynaklı emisyonlar ön plana çıkmaktadır. Bu üç emisyon kaynağına yönelik detaylar, aşağıda alt başlıklar ile ifade edilmektedir.

352. Vidovic, D., Marmier, A., Zore, L. and Moya, J. (2023). a.g.e.
353. Issaoui et al. (2021). Cradle-to-gate life cycle assessment of beneficiated phosphate rock production in Tunisia.
354. United Nations Climate Change. (2022). a.g.e.
355. United Nations Climate Change. (2022). a.g.e.
356. United Nations Climate Change. (2022). a.g.e.

Kapsam 1 ve Kapsam 2 Emisyonları

- Nitrik asit üretimi kaynaklı Kapsam 1 proses emisyonları (N_2O emisyonları)
- Amonyak üretimi kaynaklı Kapsam 1 proses emisyonları
- Amonyak üretiminde enerji ihtiyacına yönelik doğal gaz kullanımı kaynaklı Kapsam 1 emisyonları
- Elektrik enerjisi kullanımı kaynaklı Kapsam 2 emisyonları
    - Kırma/eleme/harmanlama, karıştırıcılar, granül elde etme işlemi, siklon ve toz tutucularda elektrik enerjisi kullanımı
- Doğal gaz ve diğer fosil yakıt kullanımı kaynaklı Kapsam 1 emisyonları
    - Start-up kazanı, toz kurutma brülörleri, amonyak ısıtma operasyonlarında doğal gaz, LNG ya da diğer fosil yakıt kullanımı
- İş makinelerinde motorin kullanımı, tesislerde soğutucu gaz kullanımı vb. diğer Kapsam 1 emisyonları

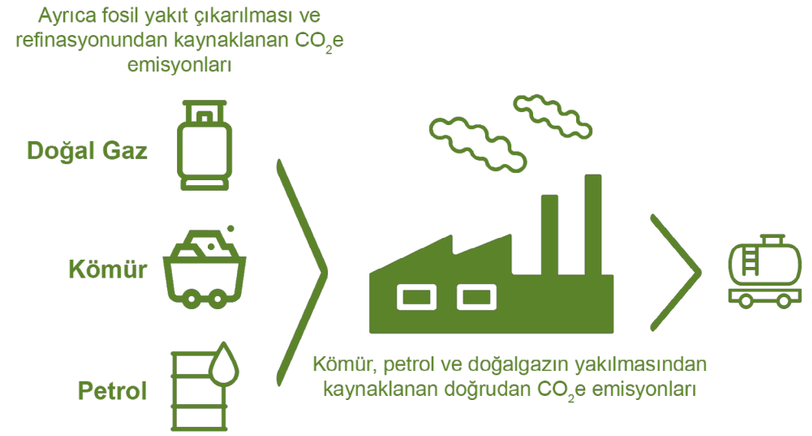
Kapsam 3 Emisyonları

- Tedarik edilen hammaddenin üretimi kaynaklı emisyonlar (amonyak, fosfat kayası, kükürt, nitrik asit vb. temel hammadde)
- Gübrenin toprağa uygulanması aşamasında ve sonrasında ortaya çıkan N_2O emisyonları
- Nakliye operasyonları kaynaklı emisyonlar

Amonyak Üretimi Kaynaklı Emisyonlar

Hammadde olarak doğal gaz kullanan bir gri amonyak tesisinde en önemli emisyon kaynağı yakıt olarak kullanılan doğal gazdır. Nitekim, hammadde olarak kullanılan doğal gaz %99 oranında ürüne dönüştürülmektedir. Amonyak üretiminde doğal gazın yaklaşık %40'ı hammadde ve %60'ı yakıt olarak kullanılmaktadır. Türkiye'deki amonyak üretim tesisleri, hammadde ve yakıt kaynağı olarak doğal gaz kullanmaktadır. Uluslararası pazarda doğal gaz yerine kömür vb. fosil yakıt kullanımları da mevcuttur (Şekil 68).

Bölüm 5.1.5.2'de ifade edildiği üzere hammadde olarak doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonlar yaklaşık 218.000 tCO_2e'dir. Aynı yıl amonyak üretiminde yakıt olarak kullanılan doğal gaz kaynaklı emisyonlar ise yaklaşık 327.000 tCO_2'dir. Dolayısıyla, amonyak üretiminde meydana gelen toplam emisyonlar yaklaşık 545.000 tCO_2e seviyesindedir. Bir diğer deyişle, amonyak üretiminde doğal gaz kullanımı, 2020 yılı kapıdan kapıya üretim süreçlerinde ortaya çıkan emisyonların yaklaşık %15'ine karşılık gelmektedir.



Şekil 68: Konvansiyonel Gri Amonyak Üretiminde Kullanılan Hammadde ve Enerji Kaynakları

Amonyak üretim süreçlerinde atık ısı (buhar enerjisi) ortaya çıkmakta ve buharın bir kısmı türbinlere yönlendirilerek üretim ünitesinin elektrik ihtiyacı karşılanmaktadır. Dolayısıyla, amonyak üretim sürecinde elektrik enerjisi kullanımı kaynaklı sera gazı emisyonları ihmal edilebilir seviyelerde kalmaktadır.

Nitrik Asit Üretimi Kaynaklı Emisyonlar

Nitrik asidin (HNO_3) hammadde olarak ana endüstriyel kullanımı gübre üretimidir. Yıllık olarak üretilen nitric asitin yaklaşık %75-80'i kimyasal gübre üretiminde kullanılmaktadır. Nitrik asit üretim sürecinde en önemli sera gazıemisyonu proses emisyonu olarak ortaya çıkan N_2O gazıdır. N_2O emisyonlarının engellenmesi için katalizör sistemi olmayan bir nitrik asit tesisi, üretilen bir ton HNO_3 başına 6-9 kg N_2O emisyonuna neden olmaktadır. Bu da yaklaşık 1,7-2,9 tCO_2e değerine tekabül etmektedir. Türkiye'de 2021 yılında 1.349.000 ton nitrik asit üretimi ve 6.790 ton N_2O emisyonu gerçekleşmiştir. Mevcut durumda Türkiye'de N_2O tutumu için katalizör sistemi olan tek tesis BAGFAŞ Bandırma tesislerinde bulunmaktadır. Ancak, söz konusu sistemlerin yıllık olarak detaylı bakım, onarım ve N_2O sıyırma işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Aksi halde sera gazı emisyon tutumu açısından fayda sağlanamamaktadır.

JRC verilerine göre Türkiye için nitrik asit üretimi emisyon faktörü 2,44 tCO_2e/ton HNO_3 olarak ifade edilmektedir.[357] Bu değer, yaklaşık 8,2 kg N_2O/ton HNO_3'e denk gelmektedir. N_2O katalizör sistemi bulunmayan tesislerin emisyon faktörü olan 8,2 kg N_2O/ton HNO_3 değeri de ilgili literatür ile uygunluk göstermektedir. Ancak, Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri[358] raporundaki verilere göre,

357.United Nations Climate Change. (2023). Türkiye. 2023 National Inventory Report (NIR). Erişim adresi: https://unfccc.int/documents/627786
358. United Nations Climate Change. (2023). a.g.e.

2020 yılında 1.300.000-ton nitrik asit üretilmekte ve 2.005.540 tCO_2e emisyon açığa çıkmaktadır. Bu veriler, 1,54 tCO_2e/ton HNO_3 veya 5,2 kg N_2O/ton HNO_3 değerlerine karşılık gelmektedir. Bu nedenle, Türkiye'deki bir nitrik asit üretim tesisine ait N_2O emisyon faktörü 5,2-8,2 kg N_2O/ton HNO_3 aralığı ile ifade edilmektedir.

Tablo 21: Nitrik Asit Üretim Tesisleri Emisyon Faktörleri

Nitrik Asit Üretim Tesisleri	Emisyon Faktörü (kg N_2O/ton HNO_3)
AB Ortalaması (2014)[359]	0,7
AB ETS Kıyas Ölçütü (Benchmark)[359]	0,97
AB Mevcut En İyi Teknikler (MET), Mevcut Tesisler[359]	0,12- 1,85
Kuzey Amerika[359]	5,4
Latin Amerika ve Afrika[359]	4,7
Ortadoğu[359]	6,5
Çin[359]	7,4
IPCC, 2007 (orta basınçlı tesis)	7,0
Türkiye, 2021	5,2-8,2

Doğal Gaz Kullanımı Kaynaklı Emisyonlar

Gübre sektöründe doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonlar büyük ölçüde amonyak üretimi ile bağlantılıdır. Keza amonyak üretiminde doğal gaz hem yakıt hem de hammadde olarak kullanılmaktadır. Doğal gazın diğer kullanım amacı ise ısı enerjisi elde etmektir. Elde edilen ısı enerjisi genellikle kurutma operasyonlarında kullanılmaktadır. Bölüm 5.1.5.2 ifade edildiği üzere, 2020 faaliyet yılında, ısı enerjisi üretmek amacıyla doğal gaz kullanımından meydana gelen emisyonlar 1.223.639 tCO_2'dir ve bu değer 2020 yılı toplam emisyonlarının yaklaşık %30'una tekabül etmektedir. Söz konusu emisyon miktarının yaklaşık 327.000 tCO_2'si amonyak üretimi sürecinde enerji eldesi amacıyla kullanılmaktadır.

Amonyak üretim sürecinde hammadde ve yakıt olarak doğal gaz kullanımı kaynaklı emisyonlar yaklaşık 896.000 tCO_2 olmakla birlikte bu değer 2020 yılı emisyonları toplamının %25'ine tekabül etmektedir.

359. International Fertiliser Society. (2018). The Carbon Footprint of Fertiliser Production: Regional Reference Values. Erişim adresi: https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2020/01/The-carbon-footprint-of-fertilizer-production_Regional-reference-values.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Baknalığı her sektör için 2020 faaliyet yılına ait ulusal enerji dengesi verilerini paylaşmış, TÜİK ise 2020 ulusal envanterini daha önce yayımlamıştır. Dolayısıyla, Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonları, gübre sektörünün 2020 faaliyet yılı emisyonları, ulusal veri kaynakları aracılığıyla hesaplanabilmektedir. Hesaplama sonuçları ve veri kaynakları Bölüm 5.1.5.2 Tablo 18'de paylaşılmıştır.

JRC 2023 Teknik Raporu [360], Türkiye ve AB27 ortalaması için ana hammaddelerin ve gübre türlerinin emisyon yoğunluğuna ilişkin veriler sunmaktadır (Tablo 22). Türkiye'de doğrudan emisyon yoğunluğunun AB'ye göre %50-65 oranında daha yüksek olmasının nedeni, çeşitli gübre türlerinin ana hammaddesi olan amonyak ve nitrik asit üretim süreçlerindeki doğrudan emisyonlardır. Ayrıca, Türkiye'deki dolaylı emisyon yoğunluğunun da daha yüksek olması, enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik fırsatlara işaret etmektedir.

Tablo 22: Türkiye ve EU 27 Ülkelerinin Gübre Üretiminde Emisyon Yoğunluklarının Karşılaştırması

	Emisyon Yoğunluğu ton CO_2/ton gübre (Türkiye)			Emisyon Yoğunluğu CO_2/ton gübre (EU 27 ortalaması)			Türkiye ve EU27 Karşılaştırması		
	Doğrudan Emisyon	Dolaylı Emisyon (Elektrik Tüketimi)	Toplam	Doğrudan Emisyon	Dolaylı Emisyon (Elektrik Tüketimi)	Toplam	Doğrudan Emisyon	Dolaylı Emisyon (Elektrik Tüketimi)	Toplam
Amonyak	2,07	0,11	2,18	1,91	0,07	1,98	%8	%36	%9
Nitrik Asit	2,4	0,04	2,44	0,74	0,03	0,77	%69	%25	%68
Amonyum Sülfat (AS)	0,64	0,07	0,71	0,58	0,05	0,62	%9	%29	%13
Amonyum Nitrat (AN)	2,32	0,09	2,41	1,03	0,06	1,1	%56	%33	%54
Üre	1,4	0,09	1,49	1,27	0,07	1,33	%9	%22	%11
Diamonyum Fosfat	0,54	0,05	0,59	0,48	0,04	0,51	%11	%20	%14
NPK	0,97	0,08	1,05	0,48	0.06	0,53	%51	%25	%50
Kalsiyum Amonyum Nitrat (CAN)	1,62	0,06	1,68	0,56	0,04	0,6	%65	%33	%64

360. Vidovic, D., Marmier, A., Zore, L. and Moya, J. (2023). a.g.e.

5.2. SKDM Kapsamındaki Sektörlerde Emisyon Azaltıcı Önlemler

Azaltım teknolojilerinin değerlendirilebilmesi için emisyon kapsamlarının bir kez daha hatırlatılması gerekmektedir. Emisyonlar genel olarak 3 ana kapsamda incelenmektedir. Kapsam 1 doğrudan emisyonları, Kapsam 2 ve 3 ise dolaylı emisyonları ifade etmektedir. Bu kapsamlar kısaca aşağıda açıklanmaktadır.

- **Kapsam 1:** Bir kuruluşun doğrudan sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklardan (fabrikalar, tesisler, depolar, ofisler, şirketin kendisine ait araç filoları vb.) gelen emisyonlar.
- **Kapsam 2:** Bir kuruluşun satın aldığı ve kullandığı enerji (elektrik veya buhar) nedeniyle dolaylı olarak neden olduğu emisyonlar.
- **Kapsam 3:** Şirketin kendisi tarafından üretilmeyen ve sahip olduğu veya kontrol ettiği varlıklardan kaynaklanan faaliyetlerin sonucu olmayan, ancak değer zincirinin yukarısında ve aşağısında dolaylı olarak sorumlu olduğu emisyonlar.

Raporun bu bölümünde SKDM sektörleri özelinde emisyon azaltıcı önlemlere değinilecektir.

5.2.1. Çelik Sektöründe Emisyon Azaltıcı Önlemler

5.2.1.1. Azaltım Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

Tablo 23: Demir-Çelik Üretim Prosesi

Kok Üretimi	
Aglomerasyon Süreçleri	• Sinterleme • Peletleme • Briketleme
Demir Üretimi	• Yüksek Fırın (BF) • Doğrudan İndirgeme (DR) • Doğrudan İndirgenmiş Demir Üretimi (DRI)
Çelik Üretimi	• Bazik Oksijen Ocağı (BOF) Çelik Üretimi • Elektrik Ark Ocağı (EAF) Çelik Üretimi
Pota Rafinasyonu ve Döküm	• BOF ve EAF İçin Pota Rafinasyonu (Pota Ocağı (LF), Vakum Gaz Giderme (VD)) • Döküm (Sürekli Döküm Makinesi (CCM), İngot Döküm)
Haddeleme ve Tamamlama İşlemleri	• Haddeleme ve Şekillendirme • Tamamlama İşlemleri

Çelik üretimi toplu bir prosestir ve aşağıdakileri içerebilen bir dizi adımı gerektirmektedir:

Kok Üretimi

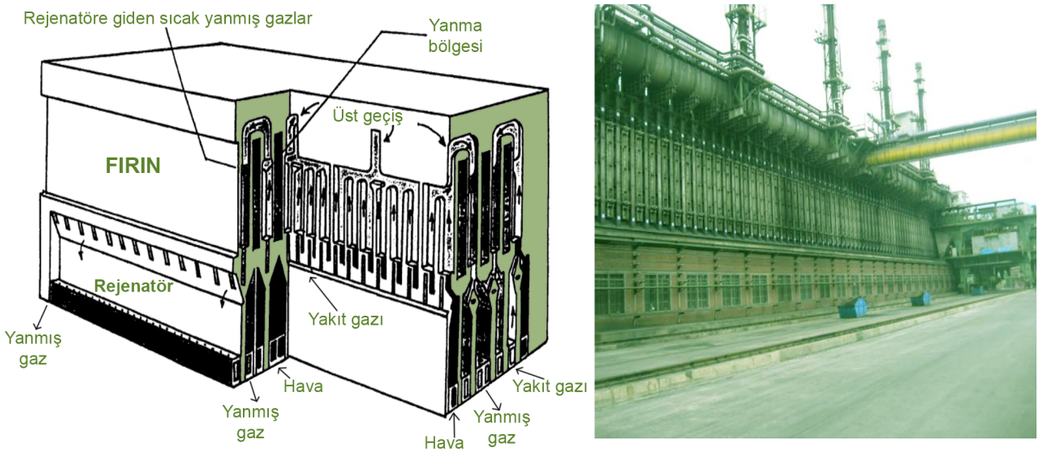
Kok, BF prosesinde birincil yakıt ve indirgeyici maddedir. Modern yüksek fırınlarda kullanılan kok miktarı, kullanılan yardımcı indirgeyici maddelerin miktarına bağlı olarak 350-400 kg/t sıcak metal civarındadır. Toz haline getirilmiş kömür, demir yüksek fırınında en çok kullanılan yardımcı yakıttır. Toz haline getirilmiş kömür ile yüksek enjeksiyon oranları elde edilebilmektedir, bu da kok miktarının önemli ölçüde azaltılabileceği anlamına gelmektedir. Enjekte edilen toz haline getirilmiş kömür miktarı 200 kg/t değerinin üzerine çıkabilmektedir. Rapor edilen en yüksek miktar 235 kg/t sıcak metal iken, kok miktarı 281 kg/t sıcak metal, toplam indirgeyici madde tüketimi 516 kg/t sıcak metaldir.

Kok üretimi, BF-BOF yolunu kullanan entegre tesislerinin önemli bir parçasıdır. Kok, indirgeyici ajan ve termal enerji kaynağı olarak görev yapmakta ve yüksek fırındaki yüke fiziksel destek sağlamaktadır. Kok kömürü, uçucu bileşikleri ve nemi uzaklaştırmak için kok kömürlerinin kok fırınlarında birkaç saat boyunca 1.000 ila 1.200 °C'ye kadar ısıtılmasıyla üretilmektedir. Her ton kok kömürü için yaklaşık 3,5 ila 5,0 GJ enerji[361] ve yaklaşık 1,6 ton koklaşabilir taş kömürü kullanılmaktadır.[362] Kok üretimi, bir BF-BOF tesisindeki enerji talebinin yaklaşık %10' unu oluşturmaktadır.[363] Kömür özellikleri, kok tüketimi ve dolayısıyla enerji talebi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır.

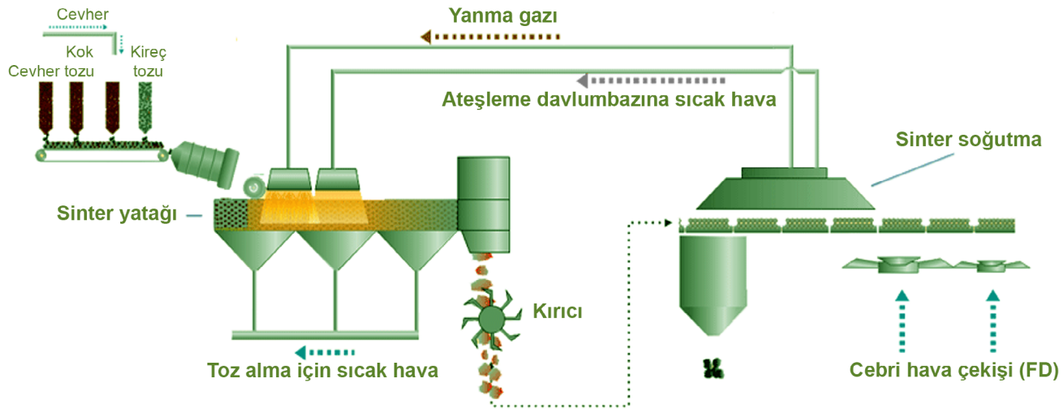
Kok Bataryaları/Kok Fırınları

Kok bataryaları BF'lerin gereksinimi olan metalurjik koku üretmektedir. İşletme pratiği ve ekonomisi açısından belli sayıda kok kamarasının bir araya gelmesi ile kok bataryaları oluşmaktadır. Kok fırınlarının ana emisyon kaynağı, kok bataryalarından oluşan atık gazlardır. Atık gazın bileşimde toz, toplam organik karbon (TOK), benzen, toluen, ksilen (BTX) gibi uçucu organik bileşikler (VOC), hidrojen sülfür (H_2S), SO_2, amonyak (NH_3), CO, PAH ve civa gibi ağır metaller bulunmaktadır. Kok fırın tesislerinde çok miktarda kaçak emisyon kaynağı da bulunmaktadır. Kok kömürünün doldurulması ve kokun boşaltılması esnasında, bataryaların ısıtılması aşamasında, bataryaların şarj noktalarından ve fırın kapaklarından da benzer kirleticiler atmosfere verilmektedir.

361. International Energy Agency. (2007). Tracking industrial energy efficiency and CO_2 emissions. Erişim adresi: https://www.iea.org/reports/tracking-industrial-energy-efficiency-and-co2-emissions
362. International Energy Agency. (2009). Energy Technology Transitions for Industry. Erişim adresi: https://www.iea.org/reports/energy-technology-transitions-for-industry
363. International Energy Agency. (2007). a.g.e.



Şekil 69: Kok Bataryası



Şekil 70: Sinter Üretim Süreci

Kok üretim sürecinde kullanılan emisyon azaltıcı ve süreç iyileştirmesi sağlayan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

- Kok Kuru Söndürme (CDQ) – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Kömür Nem Kontrolü (CMC) – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Verimlilik ve Çevresel İyileştirme için Süper Kok Fırını (SCOPE21) – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Yüksek Basınçlı Amonyak Likör Aspirasyon Sistemi – Uygulama Seviyesi : Olgun
- Hidrojen Üretimi – Uygulama Seviyesi : Gelişmekte

Aglomerasyon Süreçleri

Sinter Üretimi

Toz demir cevherine, kok tozu ve baziklik ayarlayıcı ilave malzemeler katılarak kok gazı ile kısmi ergitme ve irileştirme işlemine "sinterleşme", elde edilen ürüne de "sinter" adı verilmektedir. Karışımın üst kısmındaki kok; kok fırını gazı, yüksek fırın gazı veya doğal gaz ile beslenebilen gaz brülörleri tarafından ateşlenmektedir. Izgara hareket ettikçe, hava karışım boyunca üstten emilmekte, bu da tüm katman boyunca yanma ve sıcaklıkların 1300°-1480°C'ye ulaşabileceği tam sinterlemeyi sağlamaktadır. Izgara hareketinin sonunda, malzeme hava ile soğutulmakta ve bitmiş sinter boyut taramasından geçirilmektedir.

Sinter tesislerinden kaynaklanan toz emisyonları entegre bir demir çelik üretim tesisi emisyonlarının %50'sine karşılık gelmektedir.

Sinter üretim sürecinde kullanılan emisyon azaltıcı ve süreç iyileştirmesi sağlayan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

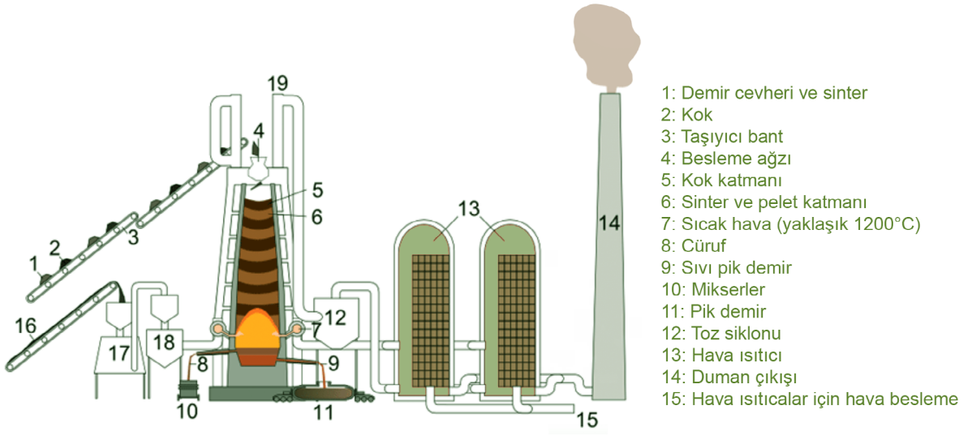
- Peletlerdeki Hammaddelerin Ayrışması – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Granülasyonu Güçlendirmek için Ekipmanlar – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Biokütle Uygulaması – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Sinter Tesisi Isı Geri Kazanımı (Sinter Soğutma Atık Isısından Buhar Geri Kazanımı) – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Sinter Tesisi Isı Geri Kazanımı (Sinter Soğutma Atık Isısından Enerji Üretimi) – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Sinter Tesisi İçin Yüksek Verimli (COG) Çok Yarıklı Brülörlü Ateşleme Fırını – Uygulama Seviyesi: Olgun/Gelişmekte
- Toz Emisyon Kontrolü – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Azot Giderme, Kükürt Giderme ve Aktive Edilmiş Kok Absorbsiyonu Yoluyla Atık Gaz Arıtma - Uygulama Seviyesi: Olgun
- Seçimli Katalitik İndirgeme ile Egzoz Gazının Arıtılması – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Düşük Sıcaklık Plazması ile Egzoz Gazı Arıtımı – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte

Yüksek Fırın (BF) Bazlı Sıvı Demir (Pik) Üretimi

Yüksek fırında (BF) demir oksitler indirgenerek elde edilen demir ergitilmektedir. Kurulan BF'lerin boyutları, 100 m^3'ten az ile 5.000 m^3'ün üzerine kadar çok geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Daha büyük BF'ler daha az ısı kaybına sahiptir ve ısı geri kazanım ekipmanının daha uygun maliyetli bir şekilde kurulmasını olanak sağlamaktadır.[364]

Soğuk üflemeli blower'lar ve sıcak üflemeli fırınlar, BF sisteminin diğer önemli unsurlarıdır. İlki 3-5 bar basınçta gerekli hava akışını sağlarken, ikincisi havanın sıcaklığını 900°-1350°C'ye çıkarmaktadır. Cevher, sinter veya peletler, kok kömürü ve kireç (safsızlıkları giderir ve akı görevi görür) yüksek fırına üstten eklenirken, sıcak püskürtme (basınçlı hava) alt kısımdaki tuyerlerden verilmektedir. Kömür, akaryakıt, doğal gaz veya diğer alternatif kaynaklar gibi yardımcı indirgeyiciler/yakıtlar da fırının tabanından enjekte edilebilmektedir. Fırının alt kısımlarında kok gazlaştırılmakta ve ortaya çıkan CO, fırında yükselirken demir oksitleri indirgemektedir. Erimiş demir damlamakta ve altta toplanmaktadır. CaO yardımıyla uzaklaştırılan safsızlıklar, erimiş demir üzerinde yüzen bir cüruf oluşturmaktadır. Yüksek fırından çıkan sıcak gazlar ise hala 2-3 bar basıncı korumaktadır. Ayrıca 1.300-2.200 Nm^3/tonpik demir oranında düşük kalorifik değere (~ 3 MJ/Nm^3) sahip bir gaz üretilmektedir. Temizlendikten sonra bu gaz yakıt olarak kullanılabilir.[365]

Bir yüksek fırın için pratik minimum enerji kullanımı 10,4 GJ/t'dur.[366] Bununla birlikte, dünya çapında altı verimli sıcak hava sobası ve yüksek sobadan elde edilen bilgilere dayanarak, bir yüksek fırın sistemi için ortalama toplam birincil enerji gereksiniminin, sıcak sobalar için 1,8 GJ/t-sıcak metal ve yüksek fırının kendisi için 11,6 GJ/t-sıcak metal olduğu bildirilmektedir.[367]



Şekil 71: Yüksek Fırın Üretim Süreci

364. International Energy Agency. (2007). a.g.e.
365. Worrell, E. et al. (2010). Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the US iron and steel industry an ENERGY STAR® guide for energy and plant managers. Berkeley, CA, US.
366. International Energy Agency. (2007). a.g.e.
367. Worrell, E. et al. (2010). a.g.e.

BF bazlı pik üretim sürecinde kullanılan emisyon azaltıcı ve süreç iyileştirmesi sağlayan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

- Üst Basınç Geri Kazanımlı Türbin (TRT) – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Yüksek Fırın Şarj Dağılımını İyileştirme – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Tozlaştırılmış Kömür Enjeksiyon (PCI) Sistemi – Uygulama Seviyesi : Olgun
- Yakıt Enjeksiyonu – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Yüksek Fırın Isı Geri Kazanımı – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Sıcak Soba Atık Isı Geri Kazanımı – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Metalik Brülörlü Tepe Yanma Tipi Sıcak Soba – Uygulama Seviyesi: Yakın zamanda gelişme bekleniyor.
- Yüksek Fırın Gazı ve Kapalı Hol Tozsuzlaştırma – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Çoklu-Odalı Elektrostatik Çökeltici – Uygulama Seviyesi: Olgun
- İndirgeyici Olarak Biyokömür Kullanımı – Uygulama Seviyesi: Olgun
- COURSE50 Projesi – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte

Doğrudan İndirgeme / Doğrudan İndirgenmiş Demir (DRI) Sistemi

Sünger demir olarak da bilinen DRI, BF-BOF ve Hurda-EAF rotalarına alternatif sunmaktadır. DRI'da demir cevheri, indirgeme sırasında sıvı bir metalin oluştuğu BF işleminin aksine, katı halde indirgenmektedir. DRI daha sonra EAF'larda çeliğe dönüştürülebilir. DRI üretimi Ortadoğu, Kuzey Afrika, Güney Amerika, Hindistan ve Meksika'da yaygındır. DRI, daha düşük sermaye yatırımı gereksinimleri ve yerel hammadde durumlarına uygunluğu nedeniyle cazip bir seçenek sunmaktadır. Sonuç olarak, üretim son otuz yılda hızla genişlemektedir.

Doğal gaz ve kömür, DRI üretiminde kullanılan iki ana indirgeyicidir. Küresel DRI tesislerinin %90'ından fazlası doğal gaz kullanırken, Hindistan'daki üretim esas olarak kömüre dayalıdır.
DRI prosesleri, kullanılan reaktör tipine göre sınıflandırılabilir: Şaft Fırınları (Midrex®, HyL), Döner Fırınlar (SL/RN prosesi), Döner Tabanlı Fırınlar (Fastmet®/Fastmelt® ve ITmk3®), Akışkan Yataklı Reaktörler (Circored®).

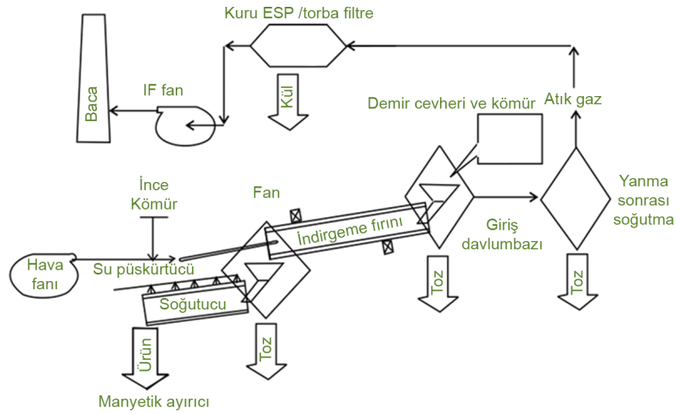
Sıcak DRI hemen EAF'a aktarılırsa, doğrudan indirgeme işleminden elde edilen ısı, EAF'deki DRI'yi ergitme enerjisini düşürmekte, elektrot tüketimini önemli ölçüde azaltmakta ve maliyetleri önemli ölçüde iyileştirmektedir.[368]

368. International Energy Agency. (2009). a.g.e.

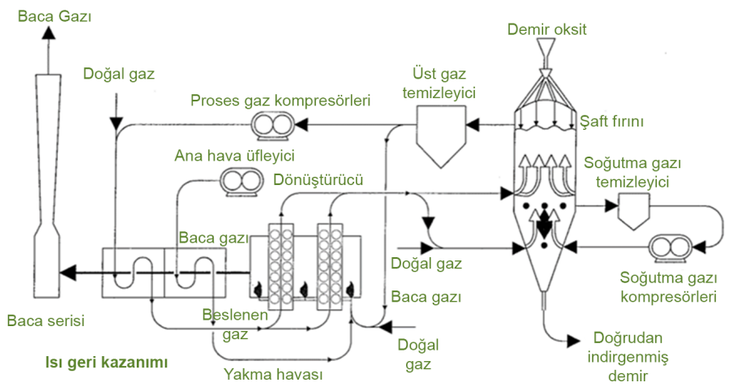
DRI üretiminde Hindistan, yalnızca dünyanın en büyük DRI üreticisi olması nedeniyle değil, aynı zamanda üretimin esas olarak kömüre dayalı olması nedeniyle de özeldir. Hindistan'da DRI tesisleri yerel tedarikçilerin yardımıyla kolayca kurulabilmekte ve 100 ton/günkapasiteli bir DRI tesisine yapılan yatırım 12 ila 18 ay içinde geri kazanılabilmektedir. Hindistan'da çok sayıda DRI üreticisi bulunmakta ve sayıları sürekli artmaktadır.

Hindistan DRI tesislerinde tipik kömür kullanımı 1,2 ila 1,5 ton kömür/ton DRI aralığındadır. Gelişmiş tesislerde kömür kullanımı 1,05-1,20 ton kömür/ton DRI arasındadır ve 20-25 GJ/ton DRI'a eşittir. Bu, Güney Afrika'da kömür kullanılarak elde edilen 15-19 GJ/ton DRI değerinden önemli ölçüde daha büyüktür. Hindistan'da DRI üretimi için kullanılan ters akımlı döner fırınlar, ısının yalnızca yaklaşık %60'ının indirgeme için kullanılmasına izin verirken, fırından boşaltılan kalan %40'ın yeniden değerlendirilmesi, enerji verimliliği iyileştirmeleri için önemli bir potansiyel sunmaktadır.[369]

Rotary Kiln DRI Üretim Süreci



Midrex DRI Üretim Süreci



Şekil 72: Rotary Kiln DRI ve Midrex DRI Üretim Süreçleri

369. International Energy Agency. (2009). a.g.e.

DRI üretim sürecinde kullanılan emisyon azaltıcı ve süreç iyileştirmesi sağlayan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

- Doğrudan İndirgeme Prosesleri MIDREX®, FASTMET® – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Aumelt Ausiron®, HIsmelt®, CCF, DIOS ve COREX, FINEX, HyREX Prosesleri – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Tmk3 Demir Üretim Prosesi – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- HBI/DRI'ın BF'lerde ve BOF'larda Kullanımı – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte

Çelik Üretimi

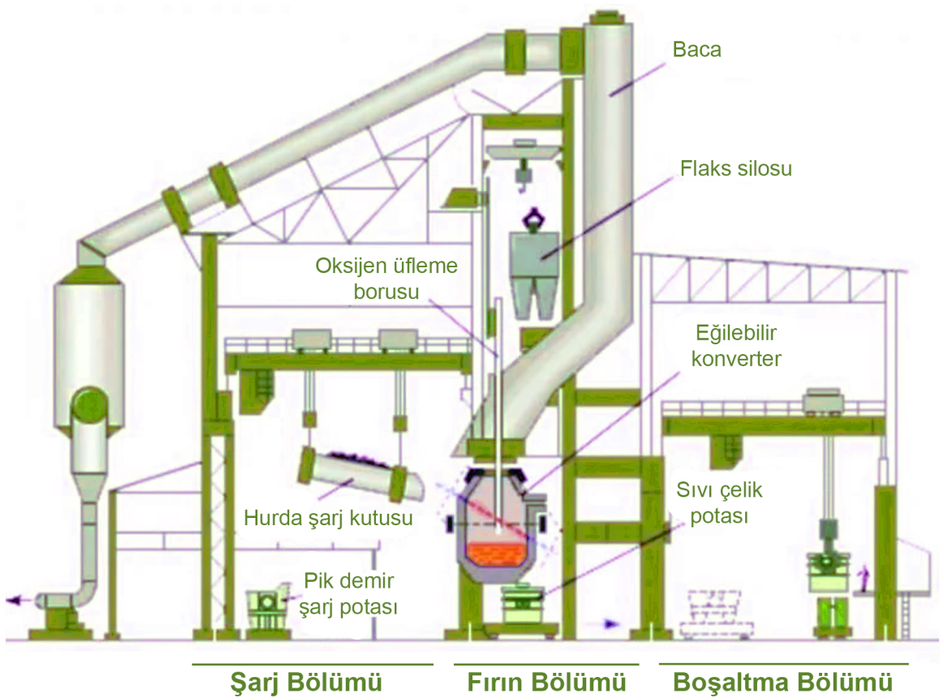
Bazik Oksijen Fırını (BOF)

BOF, yüksek fırından çıkan ergimiş pik demirin ve demir-çelik hurdasının şarj edildiği armut biçimli bir haznedir. Sıcak metal, yüksek saflıkta jet-oksijen enjekte edilerek çeliğe dönüştürülmektedir. Daha spesifik olarak, bir BOF'de:

- Pik demirin tipik olarak %4-5 olan karbon içeriği, ürün özelliklerine bağlı olarak %1'in altında değişen seviyelere düşürülmekte;
- İstenmeyen safsızlıklar giderilmekte;
- İstenilen analiz ve ürün özelliklerine getirilmektedir.

Her bir ton sıvı çelik için yaklaşık 50 Nm^3/ton oksijen üflemek gereklidir. BOF'de meydana gelen reaksiyonlar oldukça ekzotermik (ısı veren) olduğundan, sıcaklıklar genellikle 1600-1650°C'ye ulaşmaktadır. Genellikle, hurda veya ikameleri, aşırı sıcaklık artışlarını kontrol etmek için eklenmektedir. Bununla birlikte, pik demir girdisi, üretilen her ton çelik için %65 ila %90 seviyelerinde kalmaktadır. Safsızlıklar, eklenen kireçtaşı ile çözülmekte ve cüruf haline getirilmektedir. BOF işlemleri sırasında yüksek CO içeriğine sahip bir gaz oluşmaktadır. Gaz geri kazanımı yapılmadığı takdirde CO, fırınların ağzında yanma yoluyla ve devamında CO_2'ye dönüştürülmektedir. Ürüne son özelliklerini vermek için genellikle ikincil metalurji işlemleri (Pota Ocağı ve/veya Vakumda Gaz Giderme) takip edilmektedir. BOF operasyonlarında, fırından çıkan hissedilir sıcaklık ve kimyasal enerji geri kazanılmaktadır ve bu durumda net bir enerji üreticisi olunabilmektedir.[370]

370. Worrell, E. et al. (2010). a.g.e.



Şekil 73: BOF Üretim Süreci

BOF sürecinde kullanılan emisyon azaltıcı ve süreç iyileştirmesi sağlayan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

- BF Egzoz Gazını Yakıt Olarak Kullanarak Termal Verimliliğin Artırımı – Uygulama Seviyesi: Olgun
- BOF Egzoz Gazından Hissedilir Isı Geri Kazanımı – Uygulama Seviyesi: Olgun
- BOF Çalışması Kontrolü ve Otomasyon Uygulamaları – Uygulama Seviyesi: Olgun
- BOF Tabandan Karıştırma – Uygulama Seviyesi: Olgun
- HBI/DRI Tüketimi – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte

Elektrik Ark Ocağı (EAF)

EAF'lar, baskın BF-BOF rotasına alternatif bir üretim rotasıdır. EAF'lar, esas olarak demir-çelik hurdasını geri dönüştürerek çelik üretimi için kullanmaktadır. Hurda ve/veya DRI, pik demir, demir karbür gibi demir esaslı hammadde, bir katot elektrod ile taban anot elektrodu arasında (DC-EAF) veya üç elektrod (AC-EAF) arasında oluşturulan yüksek güçlü elektrik arkları ile ergitilmekte ve çeliğe dönüştürülmektedir.[371] Genelde, hurda, EAF metal hammaddesinin yaklaşık %80'ini oluşturan açık ara en önemli kaynaktır.[372]

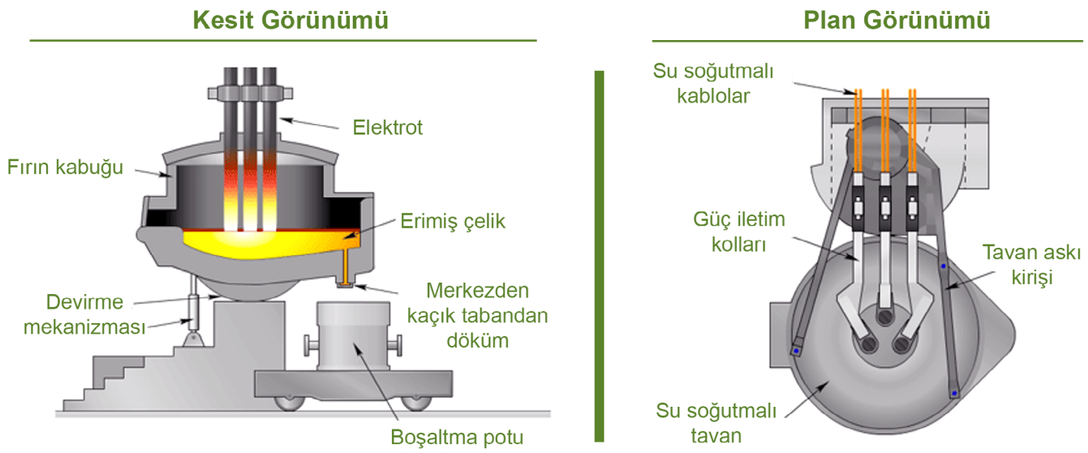
Çoğu modern EAF'ın ana görevi, katı hammaddeleri mümkün olduğunca hızlı bir şekilde sıvı ham çeliğe dönüştürmek ve takip eden ikincil metalurji süreçlerinde rafine etmektir. Bununla birlikte, ergitme işleminden sonra ikincil çelik üretim işlemlerine teknik olarak devam edilebilmektedir. Oksijen ve kömür tozu enjeksiyonu yaygın uygulama işlemleridir. [373, 374]

Hurdayı ergitmek ve tipik çelik alma sıcaklıklarına ısıtmak için gereken teorik olarak toplam 350-370 kWh/ton çelik enerji gerektirmektedir. Bu enerji, fosil yakıt enjeksiyonundan veya hurda hammaddenin oksidasyonundan (kimyasal enerji) ve elektrik arkı tarafından sağlanabilmektedir. Hammadde bileşimi, enerji giriş oranları ve hurda ön ısıtma gibi işletim uygulamaları faktörleri dengeyi büyük ölçüde etkileyebilimektedir. EAF'larda elektrik tüketiminin 1999'da ortalama 425 kWh/ton çelik seviyesine ulaştığı söylenebilir. IEA, 2005 rakamlarına dayanarak, dünya çapında EAF'larda üretilen her ton çelik için ortalama elektrik tüketiminin 425 kWh'den 350 kWh'ye düşürülmesiyle, yılda 0,1 EJ enerji tasarrufu sağlanabileceğini öngörmüştür. [375]

Hurda kaynağı olarak gemi sökümü ve hurfa araçlar iki ana girdidir. Çelik üretimi için kullanılan her bir ton hurda, 1,5 ton CO_2 salımını, 1,4 ton demir cevheri, 740 kg kömür ve 120 kg kireçtaşı tüketimini azaltımaktadır. CO_2, hammadde ve enerji azaltımı açısından hurda, çelik endüstrisinin yeşil dönüşüm gündemindeki önemini vurgulamaktadır.

EAF'lerde tüketilen hurda miktarının azaltılması, HBI/DRI tüketiminin artırılmasına bağlıdır. Ülkemizde HBI/DRI üretim koşullarının oluşturulması ve/veya demir cevheri, doğal gaz veya hidrojen zengini ülkelerde yatırım olanakları yaratılması önem arz etmektedir.

371. Worrell, E. et al. (2010). a.g.e.
372. International Energy Agency. (2007). a.g.e.
373. Worrell, E. et al. (2010). a.g.e.
374. Steeluniversity. (t.y.). Educational resources on steel. World Steel Association. Erişim adresi: https://www.steeluniversity.org
375. International Energy Agency. (2007). a.g.e.



Şekil 74: EAF Kesit ve Plan Görünümü

EAF sürecinde çevre koruma için kullanılan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

- EAF İçin Gaz Soğutma, Karbon Enjeksiyonu ve Torba Filtre Tozsuzlaştırma Yoluyla Egzoz Gazı Arıtımı – Uygulama Seviyesi: Olgun
- EAF'lı Çelikhane İçinde Toz Kontrolü – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- EAF Egzoz Gazı İçin Aktif Karbondioksitin Adsorpsiyonu – Uygulama Seviyesi: Olgun
- EAF Egzoz Gazının Çelikhanedeki Emisyon ile Karıştırılarak CO_2 Adsorpsiyonu – Uygulama Seviyesi: Olgun

EAF İçin PKS Kömür Kullanımı – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte

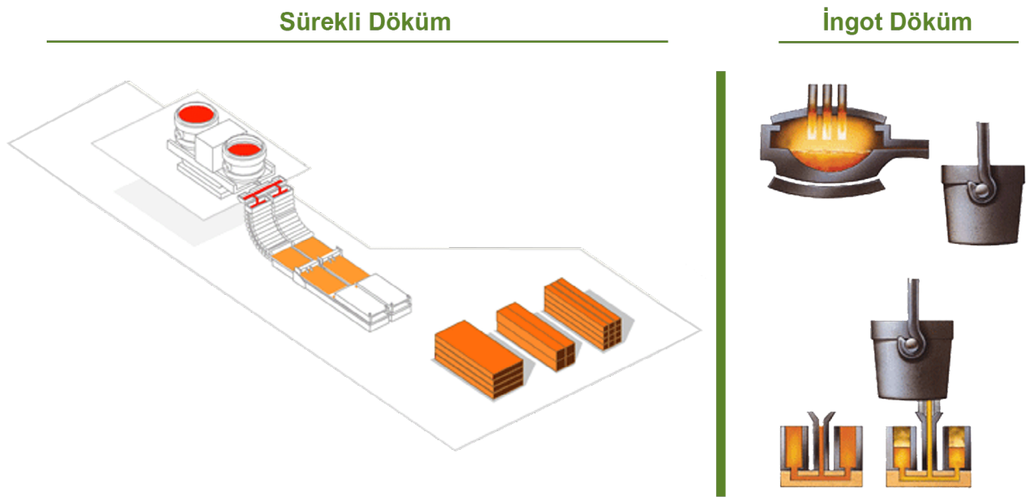
- EAF sürecinde geri dönüşüm ve atık azaltma için kullanılan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:
- EAF Toz ve Cüruf Geri Dönüşüm Sistemleri – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Agrega Kullanımı İçin EAF Cüruf Aglomerasyonu – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Döner Tabanlı Fırın (RHF) Toz Geri Dönüşüm Sistemi – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte

EAF sürecinde kullanılan emisyon azaltıcı ve süreç iyileştirmesi sağlayan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

- Yüksek Sıcaklıkta Sürekli Hurda Ön Isıtma EAF – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Orta Sıcaklıkta Toplu Hurda Ön Isıtma EAF – Uygulama Seviyesi: Olgun
- EAF İçin Yüksek Verimli Oksi-Yakıt Brülörü/Lansler – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Mevcut EAF'larda Eksantrik Döküm Deliği (EBT) – Uygulama Seviyesi: Olgun
- EAF'larda Köpüklü Cüruf Optimizasyonu – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Tabandan Gaz Enjeksiyonu İle Karıştırma – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Tabandan Elektro Magnetik Karıştırıcı İle Karıştırma – Uygulama Seviyesi: Olgun
- EAF İçin Ultra Yüksek Güçlü Transformatör – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Polimer Enjeksiyon Teknolojisi (P.I.T.) – Uygulama Seviyesi: Olgun
- EAF İçin Güç Kontrolü Optimizasyonu – Uygulama Seviyesi: Olgun
- EAF Ergime Değerlendirme İşletim Destek Sistemi – Uygulama Seviyesi: Olgun
- VIPER Sıcaklık İzleme Sistemi – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Gövde Döndürme Olanaklı EAF – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- EAF'den Atık Isı Geri Kazanımı – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Pota Ön Isıtması İçin Düşük NO_x Rejeneratif Brülör Sistemi – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Pota Ön Isıtması İçin Oksijen Brülör Sistemi – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- EAF'lı Çelikhanelerde Tozsuzlaştırma Sistemi İçin Enerji Tasarrufu – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Vakum Gaz Giderme Kamera Sistemi – Gerçek Zamanlı Ergime Sıcaklığı Ölçümü – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Hurda Ön Kıyıcı, Kıyıcı, Makas, Temizleyici İle Hurda Ön İşlemleri – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Elektrokimyasal Dezincing (Çelik hurdalarının çinko giderimi geri dönüşüm sürecinin iyileştirilmesi) – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte

Döküm

Döküm, istenen özelliklere sahip sıcak metalin ara ürün veya son ürünlere dönüştürüldüğü operasyonlarda bir aşamadır. Döküm, kesintili (ingot üreten) veya sürekli (slab, bloom veya kütük üreten) bir işlem olarak yapılabilir. Çoğu fabrikada döküm, sürekli döküm makinelerinde (CCM) gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan ingot döküm önemli oranda özel ürünler için kullanılmaktadır.



Şekil 75: Sürekli Döküm ve İngot Döküm

Döküm sürecinde kullanılan emisyon azaltıcı ve süreç iyileştirmesi sağlayan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

- Castrip® Teknolojisi – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- İnce Slab Döküm (TSC)-Net Şekle Yakın Döküm – Uygulama Seviyesi: Olgun

Hadde Tav Fırını

Çeliğin plastik şekil değiştirebilmesi için deformasyon direncinin azaltılması gerekmektedir. Bu azaltımın sağlanması için çelik tamamen östenit fazına dönüşünceye kadar ısıtılmaktadır. Bu ısıtma işlemine haddecilikte tavlama adı verilmektedir. Çelik tavlandığında (ısıtıldığında) 723oC'nin üzerinde faz (ferrit-östenit) değiştirmektedir. Bu dönüşüm sonucu deformasyon direnci azalmaktadır. Haddeleme sıcaklığı genelde 1.100°C-1.200°C aralığındadır.

Tav fırını; malzemeyi haddeleme için gerekli sıcaklığa kadar ısıtmada kullanılan, içi yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakter malzeme ile örülmüş fırınlardır.

Tav Fırını Tipleri:

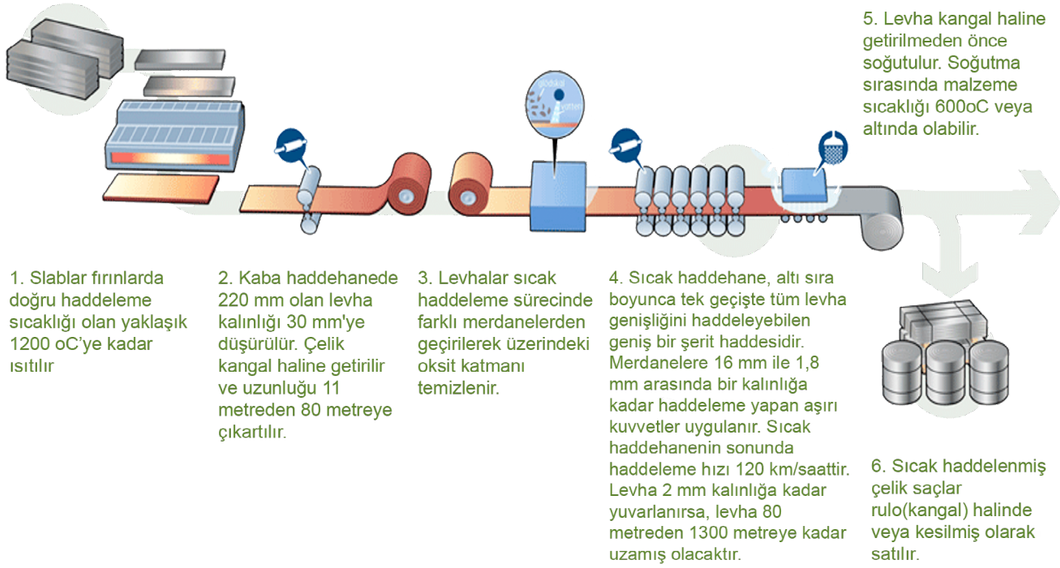
- İtmeli Tip Tav Fırını
- Yürüyen Kirişli Tav Fırını
- Yürüyen Tabanlı Tav Fırını

Hadde tav fırınlarında kullanılan emisyon azaltıcı ve süreç iyileştirmesi sağlayan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

- Tav Fırını İçin Proses Kontrolü – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Tav Fırınları İçin Düşük NO_x Rejeneratif Brülör Sistemi – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Tav Fırınları İçin Yüksek Sıcaklık Reküperatörleri – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Tav Fırınları Yalıtımı İçin Fiber Blok – Uygulama Seviyesi: Gelişmekte
- Yanma Havası İçin Oksijen Zenginleştirme – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Radyant Borulu Brülör İçin Yüksek Verimli Yanma Sistemi – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Doğrudan Haddeleme İçin İndüksiyon Tipi Kütük Isıtıcı – Uygulama Seviyesi: Olgun

Haddeleme ve Tamamlama

Haddehanelerde, çelik yarı ürünlere, bir dizi şekillendirme ve bitirme işleminde nihai şekilleri ve boyutları verilmektedir. Slablar, ingotlar, bloomlar ve kütükler tav fırınlarında (RHF) ısıtılmakta ve sıcak haddelenmektedir. Yassı ürünlerde arzu edilmesi durumunda soğuk haddeleme ve takip eden işlemler söz konusudur. Bazı ürünler (Örn. inşaat çeliği çubuklar, çelik levhalar) yalnızca sıcak haddeleme gerektirirken, bazıları hem sıcak hem de soğuk haddeleme (arabalar ve beyaz eşyalar için çelik) gerektirebilir. Herhangi bir sıcak haddeleme operasyonunda, tav fırını, son ürün kalitesinin yanı sıra operasyonun toplam maliyetlerini belirlemede kritik bir faktördür.



Şekil 76: Haddeleme Süreci

Haddeleme ve tamamlama sürecinde kullanılan emisyon azaltıcı ve süreç iyileştirmesi sağlayan teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır:

- Döküm ve Haddeleme Entegrasyonu – Uygulama Seviyesi: Olgun
- Sıcak Şarj – Uygulama Seviyesi: Olgun

Çelik üretiminde enerji kullanımı ve çevresel önlemlere yönelik kullanılan diğer teknolojiler aşağıda paylaşılmaktadır.

- Inverter (VVVF) Elektrik Motorları İçin Sürücü Kullanımı – Uygulama: Olgun, yaygın olarak kullanılan
- Enerji İzleme ve Yönetim Sistemleri – Uygulama: Olgun
- Kojenerasyon (Gaz Türbini Kombine Çevrimi (GTCC) Dahil) – Uygulama: Olgun
- Basınçlı Hava Dağıtım Basıncı Optimizasyonu Yönetimi – Uygulama: Olgun
- Buhar Basıncı Düşürme Hattına Buhar Türbini Montajı ile Güç Geri Kazanımı – Uygulama: Gelişmekte
- MultiGasTM Analizörü- Verimli Yanma İçin On-line Geri Bildirim – Uygulama: Olgun

Diğer Teknolojiler

Karbon Yakalama (Carbon Capture – CC) /Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama (Carbon Capture, Utilization and Storage – CCUS)

CC-CCUS teknolojileri geleneksel olarak, atmosferik seviyelerin üzerindeki konsantrasyonlardaki CO_2'yi yakalayarak ekonomik olarak değerli bir ürüne dönüştüren endüstriyel bir süreçtir. CO_2 ya kimyasal reaksiyonlar kullanılarak malzemelere, kimyasallara ve yakıtlara dönüştürülmekte ya da doğrudan gelişmiş petrol geri kazanımı gibi işlemlerde kullanılmaktadır.

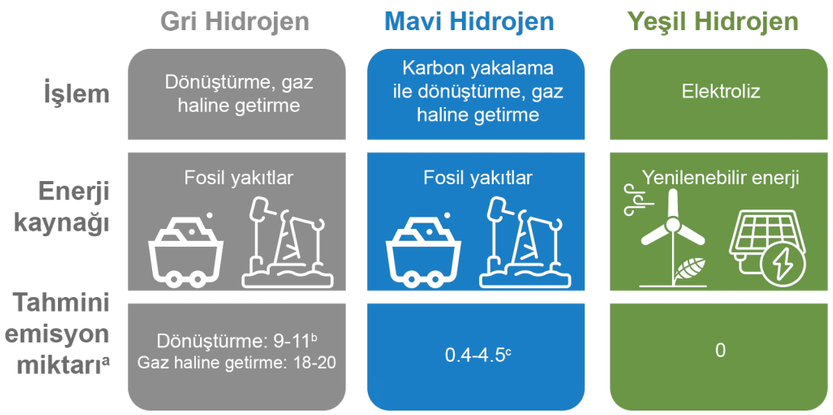
Toprakta karbon tutma gibi CO_2 kullanan teknikler, mahsul verimini artırma yetenekleri sayesinde de ekonomik bir ürün oluşturabilmektedir.

CO_2'den iki ana şekilde yararlanılabilmektedir ve bunlar atmosferik CO_2'nin uzaklaştırılması-uzun süreli depolanması ile atmosfere CO_2 emisyonlarının azaltılmasıdır. Potansiyel olarak, değerli ürünler yapmak için CO_2 kullanmak, iklim değişikliğini azaltma maliyetlerinin bir kısmını da dengeleyecektir.

Hidrojen

Şu anda, küresel olarak "gri" hidrojeni üretmek için doğal gaz kullanılmaktadır. Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından "yeşil hidrojen" üretimi, gelecekte dünyanın enerji ihtiyaçlarını karşılamak için muazzam bir potansiyele sahiptir.

Uygun fiyatlı yenilenebilir kaynakların bol olduğu pazarlar, yeşil hidrojen üretimi için en çok arzu edilen pazarlardır ve Türkiye de bunların arasında yer almaktadır. Beklenen artan talep ve azalan maliyetlerle birlikte yeşil hidrojen üretimi, Türkiye için acil eylem planı gerektiren önemli bir fırsat olarak karşımıza çıkmaktadır.



Notlar: a) CO2/kg = kilogram başına karbondioksit karşılığı b) Gri hidrojen için 2 CO2/kg metan sızıntısı
c) Mavi hidrojen için %68-98 oranında karbon yakalama kapasitesi ve %0,2-1,5 metan sızıntısı

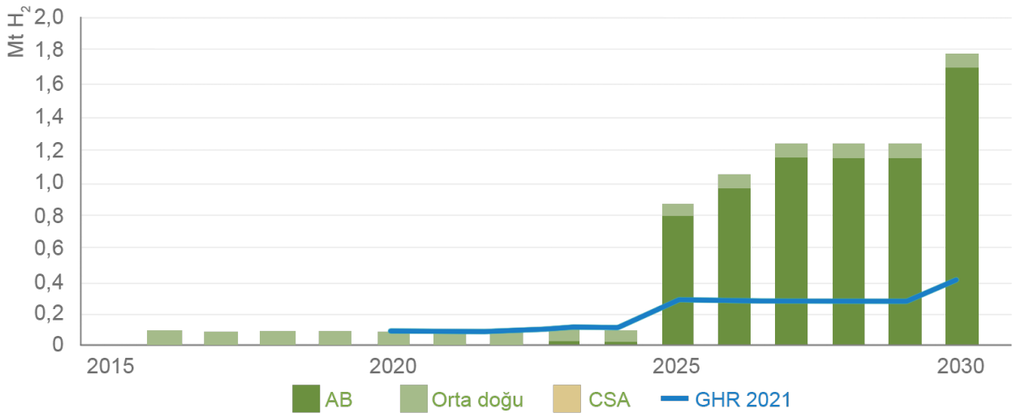
IRENA International Renewable Energy Agency

Şekil 77: Gri, Mavi ve Yeşil Hidrojen

Hidrojen bazlı doğrudan indirgeme (DR) teknolojisi, karbon yakalama ve depolama (CCS) gibi birincil çelik üretimi için diğer karbondan arındırma çözümlerini şimdiden geride bırakmaktadır. H_2-DRI-EAF, doğrudan indirgenmiş demir (DRI) üretmek için hidrojenin (H_2) kullanılmasını içermektedir ve daha sonra çelik üretmek için EAF'de proses devam etmektedir.

Net sıfır görünümünde, 2050 için öngörülen toplam birincil çelik üretiminin %64'ü H_2-DRI-EAF rotası ile ilişkilidir ve bunu %25 ile CCS teknolojisi ilavesi izlemektedir. Kalan pay ise BF-BOF çelik üretimi ve diğer teknolojilere ayrılmıştır. IEA revize edilmiş 2023 net sıfır yol haritasında, 2050 yılına kadar demir üretiminin %44'ünün H_2 bazlı prosesle elde edileceğini ve bunu CCS ve doğrudan demir cevheri elektrolizi dahil olmak üzere diğer teknolojilerin izleyeceğini öngörmektedir.[376]

376. International Energy Agency. (2023). Net Zero Roadmap A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach 2023 Update. Erişim adresi: https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeept-he1.5CGoalinReach-2023Update.pdf



Notlar: CSA = Central an Soufh America;
GHR 2021 = Global Hydrogen Review 2021. Dahil edilen tüm projeler su elektrolizi yoluyla hidrojen üretmektedir. Sadece başlangıç yılı açıklanmış olan projeler dahil edilmiştir. Paydaşlar arasında yalnızca bir işbirliği anlaşmasının duyurulduğu projeler gibi geliştirmenin çok erken aşamalarındaki projeler dahil edilmemiştir. GHR 2021, Ağustos 2021 itibariyle IEA Hidrojen Projeleri Veritabanında mevcut olan projelerden elde edilen düşük emisyonlu hidrojenin tahmini azaltımını göstermektedir.

Şekil 78: Bölgelere Göre Çelik Üretiminde Mevcut ve Planlanan Düşük Emisyonlu Hidrojen Üretim Kapasiteleri

Teknolojinin gelişiminde yeterli miktarda DR sınıfı demir cevheri sağlanması ve çelik üretimi için sürdürülebilir bir yeşil H_2 değer zinciri oluşturulması en önemli çaba olarak öne çıkmaktadır. Gelişmekte olan "yeşilçelik/demir" talebini karşılamak için şirketler yüksek kaliteli cevherlerle yeni demir cevheri madeni açmak da dahil olmak üzere çeşitli stratejiler benimsemektedir. Ayrıca, düşük emisyonlu saf demir üretmek için "microwave" ve "biocarbon" teknolojileri gibi yaratıcı metodları ve daha düşük dereceli cevherlerle ergitme/indirgeme araştırılmaktadır. Demir cevheri sektörü için yeşil H_2 nispeten yenidir. Bununla birlikte, çelik endüstrisinin etkin bir şekilde karbondan arındırılmasında çok önemli bir rol oynayacaktır. DRI-EAF aracılığıyla yeşil çelik üretimine yönelik yarışta, doğal gaz kullanımı yalnızca bir ara önlemdir ve çelik üretiminde fosil yakıtlara güven sürdürülmemelidir. Yeşil hidrojen söz konusu olduğunda üretimin genellikle tahmin edilenden daha sınırlı ve pahalı olması olasılıklar dahilindedir ve büyük emisyon azaltımı sağlayabileceği çelik gibi sektörler için kullanımına öncelik verilmelidir.[377]

377. Institute for Energy Economics and Financial Analysis. (2024). Hydrogen Unleashed: Opportunities and Challenges in the Evolving H_2 DRI-EAF Pathway Beyond 2024. Erişim adresi: https://ieefa.org/resources/hydrogen-unleashed-opportunities-and-challenges-evolving-h2-dri-eaf-pathway-beyond-2024

Çelik Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• Mühendislik-teknoloji firmalarının nicelik ve nitelik bakımından gelişime açık olması. • Üniversitelerde modern üretim teknolojileri üzerine eğitim ve araştırma eksiklikleri, artan sanayi-üniversite iş birlikleri ihtiyacı. • Katma değeri yüksek çelik ürünlerin üretiminin artırılmasına duyulan ihtiyaç. • Dış kaynağa bağlı yükselen enerji maliyetleri. • Hammaddelerde (demir cevheri, hurda, ferro alyajlar, vb.) dış kaynağa büyük bağımlılık. • Yerli hurda kaynaklarına yönelik ana girdilerin (gemi söküm ile pres ve parçalama tesisleri) artırılması ihtiyacı • Üretici sayısının fazla olması, birleşmeler, satın almalar yoluyla büyüyememe. • Deniz kıyısında bulunmayan tesisler için lojistik maliyetlerin yüksekliği. • Demiryolu altyapısının yetersizliği. • KOBİ'lerin büyüme zorunluluğu. • Üretimin otomotiv ve inşaat sektörlerinde yoğunlaşması. • Uygulanan ek vergi ve kotalar nedeniyle olumsuz dış talep koşulları. • Enflasyon yüksekliği, döviz kurlarındaki istikrarsızlık, daha fazla finansman ihtiyacı. • Yabancı yatırımcı çekememe riski. • Rakip ülkelerin üreticilerine çok yönlü devlet desteği sağlanması.	• Ülkenin coğrafi konumunun getirdiği lojistik ve stratejik avantajlar, Avrupa'ya yakınlık. • Geniş dış pazara sahip olmak. • İnşaat sektörünün ve imalat sanayiinin güçlü varlığı. • Deprem bilinci ile inşaatlarda çelik yoğunluğunun artış eğilimi göstermesi, dönüşüm projeleri. • Türkiye'de çelik yapıların ve yapısal çelik kullanımının hızla yaygınlaşıyor olması. • Modern teknolojiye uygun rekabet gücü yüksek yeni tesisler ve toplam üretim içinde EAF bazlı üretimin ağırlıklı olması. • Dünya standartlarında, markalaşmış üretim kabiliyeti. • Kalite sistem sertifikasyonuna sahip tesis sayısının fazlalığı, ihracat isteği ve bilgisi. • Ekonomik kriz dönemlerinde ayakta kalabilme gücü ve deneyimi. • Çelik sektörünün tümüyle özel sektör hüviyeti kazanması. • Genç nüfus yapısı ve yetiştirilebilecek insan gücü. • Gelişmiş ülkelere kıyasla düşük maliyetli iş gücü. • Bölgesel otomotiv üretim üssü haline gelme eğilimi. • Çok hızlı üretime dönüştürülebilecek mevcut kurulu kapasite.

5.2.2. Çimento Sektöründe Emisyon Azaltıcı Önlemler

5.2.2.1. Azaltım Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

Çimento sektöründe emisyon azaltıcı yöntemler 4 başlık altında sınıflandırabilir:

1. Alternatif Yakıt Kaynaklarına Geçiş
2. Alternatif Hammadde Kullanımı
3. Enerji verimliliğinin Artırılması
4. Yeni Teknolojilere Geçiş

Alternatif Yakıt Kaynaklarına Geçiş

Çimento sektörü yoğun enerji kullanımı ile enerji yoğun sektörler arasında yer almaktadır. Yıllık yaklaşık 8 milyon TEP enerji kullanan sektörde yoğun olarak petrokok ve kömür yakıtları kullanılmaktadır. Birincil yakıtların maaliyetlerinin yüksek olması ve yurt dışına olan bağımlılık nedeniyle sektörde alternatif yakıt kullanma eğilimi bulunmaktadır. Diğer taraftan, ülke koşullarında atıkların geri kazanımının tam anlamıyla yerleşmiş olmaması, enerji sektörüne atık kullanımı konusunda yönlendirici teşviklerin olması ve atık geri kazanım tesislerinin yatırım maliyetlerinin yüksek olması sebepleriyle atık kullanımının önünde kısıtlar bulunmaktadır. Bu kısıtların ortadan kaldırılarak atıkların çimento fabrikalarına yönlendirilmesi hem yakıt maliyetlerinde düşüş sağlayacak hem de karbon emisyonlarının azaltımında ciddi katkılarda bulunacaktır. Alternatif yakıtların kullanımı için belediyelerin atık depolama sahalarında yapılacak yatırımlar doğrudan çimento fabrikalarının karbon emisyonlarının geleceğini belirleyecektir. Dolayısıyla, yatırımları iş birlikleri gerektiren yatırımlar ve doğrudan çimento fabrikaların yapması gereken yatırımlar olarak iki sınıfa ayırmak mümkündür.

Tablo 24: Yakıt Türlerine Göre Emisyon Faktörleri

Yakıt Türü	Emisyon Faktörü (ton CO_2/Tj)
Petrokok	97
Kömür	95
ÖTL	85
Endüstriyel ATY	100
Evsel ATY	70
Evsel Arıtma Çamurları	0
Biyokütle Atıkları	0

Çimento sektörü Türkiye'de çok büyük yatırım harcamaları yapmadan %40 oranında atık kullanımı yapabilecek kapasitedir. Diğer taraftan Türkiye'deki bütün evsel katı atıklardan atıktan türetilmiş yakıt (ATY) üretimi yapılırsa üretilecek olan ATY'nin bu %40'ı sağlayamadığı görülmektedir. Mevcut durumda Türkiye'deki fabrikaların ortalama atık kullanım oranı %11 seviyelerinde iken bu değerin %50'nin üzerinde olduğunu bazı fabrikalarda ise sıfır atık stratejisinin hakim olduğu görülmektedir. Gerek kaynaklara olan mesafe gerekse fabrikaların sürdürülebilirlik stratejilerine göre atık kullanım oranları değişiklik göstermektedir.

Çimento fabrikalarının ilerleyen yıllarda hem belediyelerin hem özel sektörün hem tarım atıklarının çözüm ortağı olurken diğer taraftan yurt dışından ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) ve izin verilen ölçüde diğer atıkları getirmeye devam edeceği değerlendirilmektedir. Maliyet avantajı sağlamak üzere 2006 yılından itibaren yürütülen alternatif yakıt kullanımı, karbon fiyatlandırmasından olumsuz etkilenmemek için temel yöntemler arasındadır.

Atık Yakılmasına Uygun Proses Şartlarının Sağlanması

Atıkların çimento fabrikalarında yakıldığı kalsinatör sistemleri ve alev borusu sistemleri birincil yakıtlar için dizayn edilmektedir. Özellikle 2000'li yıllardan sonra bu proseslerin alternatif yakıt kullanıma uygun hale getirtilmesi için birçok firma Ar-Ge çalışması yürütmektedir. Kurulumu çok eski yıllara dayanan çimento fabrikalarında alternatif yakıt kullanımına çok uygun olmayan teknolojiler bulunurken, son yıllarda kurulan fabrikalar atık kullanımına nispeten daha uygun projelendirilmekte ve yatırımlar bu çerçevede yapılmaktadır. Dolayısıyla çimento fabrikaları atıkları alternatif yakıt olarak kullanmak istediklerinde kurulu proseslerinde kalsinatör revizyonları, kalsinatör değişimleri, alev borusu değişimleri gibi birtakım yatırımlar yapmak durumda kalmaktadır.

ATY Kullanımı İçin ATY Besleme Tesisi Yatırımları

Çimento fabrikalarında yakıt besleme sistemleri kömür ve petrokokun değirmenlerde öğütülerek fırınlara toz olarak beslenmesi üzerine dizayn edilmiştir. Dolayısıyla, alınacak atıkların uygun koşullarda ön stoğunun yapılarak fırınlara beslenmesi için ek yatırım ihtiyacı duyulmaktadır. Sıvı atıkların depolanması, arıtma çamurlarının depolanması, ÖTL ve ATY atıklarının depolanması ve aynı şekilde bu atıkların taşınması birbirinden faklı teknolojiler ile gerçekleştiği için her bir atık kaleminde ayrı teknoloji seçimi ve yatırım ihtiyacı oluşmaktadır. Atık besleme sisteminin kapasitesi, depolamanın kaç günlük ihtiyaca karşılık gelecek şekilde planlandığı, yatırımın yurt dışı firmalarına mı yurt içi firmalarına mı yaptırıldığı gibi birçok kriter yatırım bedelini doğrudan etkilemektedir.

Biyokütle Kaynaklarının Kullanımı ve ÖTL Kullanımı İçin Atık Kırma ve Atıktan Yakıt Hazırlama Tesisi Yatırımları

Ülkemizde biyokütle kaynakları tarım ürünlerinin posası olarak çıkmaktadır. Bazı durumlarda ormancılık atıklarının kullanımı da mümkün olmaktadır. Değişik ebatlardaki bu atıkların çimento fabrikalarında kullanımı için 50 mm altında boyutlandırılması, bu amaçla 1 veya 2 kademeli kırıcılardan geçirilerek fırınlara beslemeye hazır hale getirilmesi gerekmektedir.

Ömrünü tamamlamış lastik atıkları ülkemizde LASDER tarafından toplanmakta ve ihale ile çimento sektörüne verilmektedir. Yurt dışından alınan lastiklerde kırılmış olma zorunluluğu bulunmaktadır, fakat maliyet avantajı nedeniyle genelde 110 mm altı kırılmış lastikler ithal edilmektedir. Fırınlara beslemeye müsait hale getirilmek için kırıcılardan geçirilem lastiklerin ebatları 50 mm'nin altına düşürülmektedir.

Biyokütle atıkları ve ÖTL kullanan çimento fabrikalarında, kırıcı yatırımı yapılması gerekmektedir. Atıklar için ön depolama yapılması, sonrasında atıkların kırılması ve kırılan ürünlerin depolanması şeklinde bir ATY hazırlama tesisine ihtiyaç duyulmaktadırTesislerin kapasiteleri yatırım tutarını direkt etkilemektedir.

Belediyelerin Sahasında Mekanik Biyolojik Arıtma (Mechanical Biologic Treatment – MBT) Tesislerinin Kurulması ve Evsel ATY Üretimi

Türkiye'de belediye atıklarının yönetimi, bu alanın en zor başlıklarından birisidir. Atıkların toplanmasında başlayan sorunlar, depolanması, ayrıştırılması, geri kazanımı ve bertarafına kadar devam etmektedir. Her belediye atık sorununu kendi içinde çözmekte ve farklı uygulamalara gidebilmektedir. Bazı belediyeler depolama yaparak çöp gazından elektrik üretimine yönelirken, bazı belediyeler atık ayrıştırma sistemini kurup sonrasında kalan kısmı bertaraf etmektedir. Avrupa örneklerinde MBT adı verilen mekanik ayrıştırma, biyokurutma ve ATY üretiminin iç içe entegre edildiği tesislerin evsel atık çözümleri içerisinde en uygun ve çevreci yöntem olduğu görülmektedir. Bu yöntemin ülkemizde yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle tercih edilmediği, daha çok kısa vadeli uygun yatırım maliyetleri olan çözümlerin seçildiği görülmektedir. İçerdiği biyokütle kaynakları açısından çimento sektörü için çok değerli olan evsel atıktan ATY üretimi için MBT tesisleri en uygun çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

MBT tesisleri ön ayrıştırma ile geri kazanılabilen atıkların geri kazanılması, biyokurutma ünitesi ile atıkların içerisindeki nemin uzaklaştırılması, kırma eleme sistemi ile ATY üretilmesi ve ATY olamayacak inert kısmın depolanması olmak üzere 4 üniteden oluşmaktadır. Bu tesislerin en önemli özelliği biyo-kurutma ile üretilen ATY'nin neminin düşük ve yanma veriminin yüksek olmasıdır. Bu tesislerden çıkan ATY'ler %25-%35 oranında biyokütle içeriğine sahip olduğu için karbon ayak izi oldukça düşüktür.

Belediyelerin Sahasında ve OSB'lerde Çamur Kurutma Tesislerinin Yapılması

Arıtma çamurları %90 su içeriğine sahip ve arıtılan su içeriğine göre, yani sektörüne göre değişkenlik gösteren yönetimi zor atıklardandır. Arıtma çamurları kurutularak %90 kuru madde içeriğine getirildiğinde çimento sektöründe alternatif yakıt olarak kullanılabilmektedir. Yatırım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle arıtma çamuru kurutma tesisleri genelde çamur kapasitesi yüksek tesislerde kurulmaktadır ve o zaman fizıbıl olmaktadır. Bu nedenle arıtma çamuru yönetiminde öncelikle kentsel atık su arıtma tesislerinin arıtma çamurları ve organize sanayi bölgelerinin arıtma çamurlarına odaklanarak bu tesisleri hayata geçirmek daha ekonomik olmaktadır.

Çamur kurutma tesislerinde arıtma çamurları ön stok alanına kabul edilerek harmanlama yapılmakta, sonrasında termal kurutuculardа ısı ile kurutularak kurutulmuş arıtma çamuru üretilmekte ve nihai ürün silolarında depolanmaktadır. Arıtma çamurlarından buharlaştırılarak uzaklaştırılan sular arıtma ünitelerinde arıtılarak temiz bir şekilde deşarj sağlanmaktadır. Üretilen arıtma çamurları 2.500-3.000 kcal/kg değerinde ısıl güce sahiptirler. Sektörel olarak içerdikleri biyokütle oranları değişiklik gösterse de evsel atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının biyokütle oranları %100'e ulaşabilmektedir. Bu durum da arıtma çamurlarını karbon ayak izi düşürme açısından çok değerli bir yakıt haline getirmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde alternatif yakıt kaynakları ile ilgili tüm yatırım ve politikalar hayata geçirildiğinde, bir çimento fabrikası, yakıtlarının %50'sini atıklardan elde ettiği ve bu atıkların %50'sinin biyokütle içeriğinin olduğu varsayımıyla toplam emisyonlarını %10'unu önleyebilmektedir.

Alternatif Hammadde Kullanımı

Çimento sektörü birçok sektörden atıkları alternatif hammadde olarak kullanmak amacıyla almakta ve klinker içerisinde ihtiyaç duyulan demir oksit, alüminyum oksit ve silisyum oksitin ikamesi olarak kullanmaktadır. Bu durum endüstriyel simbiyoz ve döngüsel ekonomi açısında çok değerli bir uygulamadır, ancak karbon ayak izi düşürme açısında çok büyük etkileri bulunmamaktadır. Çimento üretiminde en büyük emisyon kaynağının klinker olduğu ve klinker içinde de proses emisyonlarının %60 seviyelerinde seyrettiği görülmektedir. Bu durum, çimentoda emisyon azaltımının politika olarak tamamen klinker kullanımı üzerinden yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Çimento içerisinde kullanılan klinker oranının düşürülerek yerine atıkların alternatif hammadde olarak ikame edilmesi ve klinker yerine kullanılabilecek alternatiflerin geliştirilmesi ile çimento karbon ayak izi ciddi oranlarda düşürülebilmektedir.

Çimento İçerisinde Kullanılacak Klinker Oranının Düşürülmesi

Çimento sektöründe kullanılan standartlar neticesinde en yüksek karbon ayak izi olan ürün CEM1 grubu çimentolardır. Standart gereği min. %90 klinker içeren bu gruba alternatif olarak kullanım alanına göre CEM2 ve diğer CEM3-4-5 tipi çimentolar tercih edilebilmektedir. CEM 2 tipi çimentolarla maksimum %80 klinker kullanım oranının sağlanması ve alternatif uygulamalarda diğer çimento

tiplerinin kullanılması ile çimento içerisindeki klinker kullanım oranı %56-%80 aralığında olacaktır. Türkiye'de çimento sektörünün klinker kullanım oranları son yıllarda artış göstererek 2022 yılında %89 seviyelerine ulaşmıştır. Bu durum, ortalama klinker kullanım oranların kısa vadede %80, uzun vadede %70 oranlarına düşürülmesi potansiyelini ortaya koymaktadır. Kapsam 1 emisyonlarının sadece klinkerden kaynaklandığı çimento ürünlerinde bu durum, kısa vadede %9 ve uzun vadede %19 emisyon azaltımı gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.

Klinker oranını düşürmek için ihtiyaç duyulan adımlar politika bazlı olup aşağıdaki politikalar geliştirilmesine ihtiyaç vardır:

- CEM1 tipi çimentoların kullanımının kısıtlandırılması,
- Katkı malzemesi olarak kullanılan yüksek fırın cürufu uçucu kül vb. atıkların çimento sektörünün kullanımı için politika geliştirilmesi

Klinkere Alternatif Ürünlerin Üretilmesi

Kalsine kil (Metakaolin) klinker ikamesi olarak kullanılabilen bir malzemedir. Kilin 750-800°C derecede kalsine edilmesi ile elde edilmektedir. Kalsine kil üretimi teknolojik olarak klinker üretiminden biraz farklıdır ve daha düşük ısılarda elde edilmektedir. Bu durum daha düşük karbon ayak izi ile üretilmesini sağlarken ek yatırım maliyetleri doğurmaktadır.

Diğer taraftan, kalsine olmuş yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi atıklar belirli oranlarda çimento içerisinde klinkere muadil ürün olarak kullanılabilmektedir. Bu atıklarla ilgili en büyük problem kaynakların kısıtlı olması ve yeterli oranda atıkların ülke içerisinde bulunmamasıdır. Yüksek fırın cürufu atıkları çimento öğütme değirmenlerinde öğütülerek istenilen standartlarda klinker muadili olarak kullanılabilmektedir. Bu alanda ek bir yatırım ihtiyacı bulunmamaktadır.

Alternatif hammadde kullanımı klinker içerisinde emisyon azaltımı konusunda katkı sağlamamakta veya bazı durumlarda çok düşük katkı sağlayabilmektedir. Ancak çimento içerisinde klinkere muadil olarak kullanılan alternatif hammaddeler doğrudan emisyon azaltımına katkı sağlamaktadır. Bir çimento fabrikasının çimento içerisindeki klinker miktarını %90'dan %70'e düşürmesi bir anda %20 emisyon azaltımı sağlarken, diğer taraftan beton yapımında kullanılan çimento miktarında artışa sebep olacaktır. Kapsam 1 emisyonları açısından bu sebeple çimento değil klinker baz alınmaktadır. Klinker Kapsam 1 emisyonlarını azaltmak için ise kalsine kil yatırımları ile klinker üretimi yerine kalsine kil ile çimento üretilmesi durumunda karbon ayak izi %20 oranında azaltılmış olacaktır. Yapılan çalışmalar çimentoda kullanılan klinkerin %25-%30 oranında kalsine kille sağlanabileceği yönündedir. Bu da klinker kaynaklı karbon emisyonlarının yaklaşık %20 oranında düşmesi anlamına gelmektedir.

Enerji Verimliliğinin Artırılması

Çimento sektörü yoğun enerji tüketimi yapan sektörler arasındadır. Bu durum gelişen teknolojiler ile birlikte birçok alanda enerji verimliliği çalışmalarının yapılabileceği anlamına gelmektedir. Proseslerin yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle enerji verimliliği çalışmaları çok kolay gerçekleşmezken bazı durumlarda düşük yatırım maliyetleri ile enerji tüketimi azaltılabilmektedir.
Çimento sektöründe enerji verimliliği çalışmaları, Kapsam 1 emisyonlarını direkt olarak düşüren ısı enerjisinde verimlilik ve Kapsam 2 emisyonlarını azaltan elektrik enerjisinde verimlilik olarak iki başlıkta değerlendirilebilir.

Isı Enerjisinde Verimlilik

2021 yılı verileri ele alındığında çimento fabrikalarında 1 ton klinker üretimi için ortalama 804 kcal enerji harcandığını görülmektedir. Geçmişte kurulan ve eski teknolojiye sahip fabrikalarda bu değer 978 kcal'a ulaşabilirken, yeni kurulan fabrikalarda teknolojik gelişmelerle birlikte 686 kcal değerine kadar düşebilmektedir. Bu tablo çimento fabrikalarında köklü bir revizyona gidildiğinde ısıl enerji tüketiminde %15-%30 aralığında bir verimlilik sağlanabileceğini göstermektedir.

İlk dönemlerde çimento üretiminde tüm kalsinasyon işlemleri fırınlarda gerçekleşirken gelişen teknolojiler ile birlikte siklon kulelerine geçilmiş pre-kalsinasyon ünitelerinden faydalanılmıştır. Bu kulelerin zamanla 3 kademeden 6 kademeye kadar geçişleri sağlanmış ve her geçen yıllara yeni teknolojilerle birlikte verimlilik artırılmıştır.

Fırın kalsinatör sistemlerindeki revizyonlar alternatif yakıt kaynaklarına geçiş için çok önemli revizyonlardır. Bu sayede daha önce sadece kömür yakmak için dizayn edilen kalsinatörlerde yakıt çeşitliliği sağlanmaktadır. Diğer taraftan, gelişen teknolojiler ile birlikte kalsinatör yatırımları yanma verimliliği sağlayarak spesifik ısı enerjisinde düşüler sağlamaktadır.

Soğutma sistemlerindeki revizyonlar atık ısıların daha verimli kullanılması, klinker soğutma kapasitelerinde iyileştirme yapılması ile birlikte spesifik ısı enerjisini düşürmede az da olsa katkıda bulunmaktadır.

Elektrik Enerjisinde Verimlilik

2021 yılı verilerine göre Türkiye'de çimento üretimi için harcanan spesifik enerjinin ortalamada 96 kwh/ton çimento olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisi kullanılan hammaddenin özelliği, üretilecek olan çimento tipinin değişkenliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bir kıyas yapılması gerektiğinde ancak aynı hammadde ve aynı çimento tipi üretimi baz alınarak verimlilik karşılaştırması yapılabilmektedir. Bu değişkenleri dikkate almadan 2021 verileri incelendiğinde en iyi rakamların 69 kWh/ton çimento, en yüksek rakamların ise 147 kWh/ton çimento değerinde olduğu görülmektedir. Bu rakamlar, sadece Türkiye ortalaması baz alındığında bile yapılacak yeni öğütme sistemi yatırımları ile birlikte yaklaşık %22'lik bir enerji verimliliği potansiyelinin olduğunu

göstermektedir. Elektrik enerjisinde verimlilik kapsamında yeni tip farin değirmeni, yeni nesil çimento değirmeni ve optimizasyon-dijitalleşme yatırımları gerçekleştirilebilir.

Çok büyük yatırım kalemleri içeren verimlilik projelerinde karbon ayak izinin azaltılmasının yanı sıra çok ciddi bir maliyet avantajı sağlanabilmektedir. Bu durum sadece karbon ayak izini azaltmamakta aynı zaman çimento fabrikasına rekabet gücü katmaktadır. Yapılacak ısıl güç verimlilik çalışmalarında ısıl gücün %20 azaltılacağı varsayıldığında, bu, klinker üretimindeki Kapsam 1 karbon ayak izini %8 azaltmak anlamına gelecektir. Elektrik enerjisindeki %20 azaltımın gerçekleşmesi ise Kapsam 2 emisyonlarında yaklaşık %20'lik bir azaltıma işaret etmektedir.

Yeni Teknolojilere Geçiş

Çimento sektöründe karbon azaltımı ile ilgili tüm çalışmaların yapılması durumunda karbon emisyonlarının düşürüldüğü, ancak halen sıfırlanamadığı görülmektedir. Bu durum karbon net sıfır yolculuğunda mevcut teknolojilerin dışında yeni teknolojilerin geliştirilerek çimento sektörüne entegre edilmesini zorunlu hale getirmektedir. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi ile ilgili Avrupa'da ve dünyada bazı pilot çalışmalar yürütülmektedir. Ancak bu çalışmaların sanayi uygulamaları henüz bulunmamaktadır. Yapılan tahminler 2030-2040 yılları arasında yeni teknolojilerin kademeli olarak sektörde görüleceği yönündedir. Yapılan tüm projeksiyonlarda karbon net sıfır hedeflerine bu yeni teknolojilerin entegre edilerek ulaşılması planlanmaktadır.

Karbon Yakalama, Taşıma ve Depolama

Klinker üretimi esnasında oluşan karbon emisyonlarının yakalanarak tutulması ve sonrasında depolama veya farklı sektörlerde kullanımı için uzaklaştırılmasını kapsayan bir süreçtir. Çimento fabrikasında karbon emisyonları bu yöntemle sıfırlanabileceği gibi emisyonların bir kısmı da bu yöntemle tutularak karbon emisyonu azaltımına gidilebilecektir. Çimento fabrikasında açığa çıkan karbon emisyonları likit solventler yardımıyla, katı sorbentler yardımıyla ya da membran teknolojileri ile farklı yöntemler uygulanarak tutulabilmektedir.

Tutulan karbonlar için en ekonomik taşıma yöntemi boru hatlarıyla yapılan taşımadır. Diğer taraftan farklı endüstrilerde kullanılmak amacıyla tutulan karbonun sıvı forma getirilerek deniz ve karayolu ile taşıması da gerçekleştirilebilmektedir.

Tutulan karbonların yönetilmesi en az karbon tutulması kadar zor ve maliyetli bir iştir. Karbonların depolanması için yer altı doğal gaz yatakları ya da deniz dibi kullanılabilmektedir. Depolama konusunda uygun alan bulunması ve o alana taşınması projenin en önemli bileşenlerini oluşturmaktadır. Diğer taraftan, karbonlar petrokimya hammaddesinde üretim girdisi olarak kullanılabilmektedir. Hidrojen-CO_2 reaksiyonu ile hidrokarbon üretiminde belirli miktarlarda kullanımı uygun olabilmektedir.

Elektrifikasyon ve Hidrojen Kullanımı

Fırınlarda kullanılan yakıtlar yerine ısıl enerjinin elektrikle sağlanması veya hidrojen kullanılarak ısıl enerjinin sağlanması teknolojik araştırmalarda mümkün görünmektedir. Henüz pilot çalışma aşamalarında olan bu yöntemlerin 2030-2040 yılları arasında ulaşılabilir teknolojiler arasına girmesi beklenmektedir.

Isıl gücün elektrikle sağlanması durumunda elektrik tüketimi artarken fosil yakıtlardan gelen karbon sıfırlanacak ve bu durumda yakıt kaynaklı karbon emisyonları Kapsam 1 bazında %40 azalırken Kapsam 2 elektrik kullanımı bazlı artışa sebebiyet verecektir. Fosil yakıttan elektriğe geçiş baz alınarak emisyonun girdiği kapsam dikkate alınmazsa emisyonlarda %25'lik bir düşüş olması planlanmaktadır.

Hidrojenin kullanımı konusunda henüz çok gelişmiş veriler bulunmamakla birlikte birtakım çimento gruplarının fizibilite raporlarında karbon emisyonlarının yakıt kaynaklı kısımlarının %100 azaltılabileceği yönünde bilgiler bulunmaktadır.

Yatırım maliyeti diğer yeni teknolojilere göre düşük olmasına karşılık hidrojenin riskleri, kaynak kısıtları ve çok yüksek işletme maliyeleri teknolojiye ulaşımı zorlaştırmaktadır. Yaklaşık 1 milyon tCO_2 azaltımı için 30 milyon Euro yatırım bedeline karşılık ton başına 550 Euro'luk bir karbon azaltım işletme maliyeti oluşturmaktadır. Bu da mevcut ETS karbon ücretleri ve çimento satış fiyatları baz alındığında uygulanması imkansız bir teknolojil seçeneği görünümü sunmaktadır. 2030 yılı sonrası hidrojen kaynaklarındaki artış ile fiyatın ucuzlaması ve ETS karbon fiyatının artması öngörülmektedir. Böyle bir durumda hidrojenin uygulanabilir bir teknoloji olması mümkündür.

Yeni teknolojilere geçiş ile birlikte karbon emisyonlarının tamamının tutulması mümkün olacaktır. Ancak ihtiyaç duyulan yüksek Ar-Ge harcamaları ve yatırım bedellerinin yüksek olması nedeniyle çimento fabrikaları tüm karbon azaltım yöntemlerini uyguladıktan sonra kalan karbon emisyonlarını bu teknolojilerle tutmayı seçecektir. Bu da sektörde fabrikalar arasında değişiklik göstererek yaklaşık %40-%70 aralığında karbon emisyonlarının yeni teknolojilerle tutulacağına işaret etmektedir.

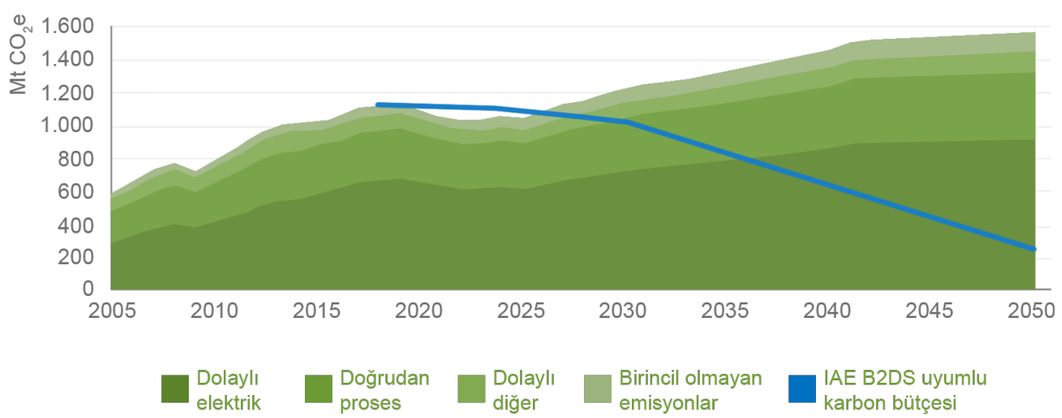
Çimento Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• Düşük emisyonlu teknolojilere geçişte yüksek yatırım maliyeti • Yüksek karbon emisyonları nedeniyle karbonun ücretlendirilmesi ile birlikte yüksek karbon maliyetlerine maruz kalma riski • Yeşil dönüşüm için yeterli finansman kaynaklarına erişememe • Emisyon azaltımı için kullanılan katkı ve alternatif hammaddelerde kaynakların kısıtlı olması ve yeşil hammadde diye nitelendirilen kaynaklara ulaşamama • Yeni ürün geliştirme konusunda AR-GE yatırımları için finans ve insan kaynağı riski • Rakip firmaların karbon emisyonundan yüksek kalınması durumunda pazar kaybı ve finansal zorluk yaşanması • Yeni ürünler ve düşük karbon beklentisine geçecek olan pazara uyum riski • Karbon fiyatlarının çok sık değişkenlik göstermesi nedeniyle karbon finansmanının yönetim riski • Karbon depolamanın yetersiz olması nedeniyle yakalanan karbonların yeni ürünlere çevrimi için tesis ve yatırımların yüksek maliyeti • Yakalanan karbonların depolanacağı alanların Türkiye'de kısıtlı ve genelde Güneydoğu Anadolu bölgesinde olması nedeniyle karbon depolama alanının yetersizliği	• Düşük emisyon teknolojisine yapılan yatırımın getirisi • İklim değişikliği ile mücadele kapsamında finansal varlıkların çeşitlerinin artırılması (yeşil tahviller, devlet teşvikleri, düşük krediler) • Yeşil hammadde kaynaklarını kullanarak yeni ürünler geliştirmek ve düşük karbonlu ürünlerle yeni pazarlara ulaşmak • Yeşil yakıt kaynaklarını kullanarak düşük karbonlu ürünler üretmek ve rakiplere karşı maaliyet avantajı oluşturmak • Düşük karbonlu ürünler geliştirerek yeni pazarlara erişim fırsatı • Düşük karbonlu ürünlere olan talep sayesinde gelir artışı • Ürün satışları dışında karbon ticareti ile gelir sağlanması fırsatı • Yeşil dönüşümün erken sağlanması ile karbon piyasalarına hızlı uyum ve finansal avantaj oluşturulması

5.2.3. Alüminyum Sektöründe Emisyon Azaltıcı Önlemler

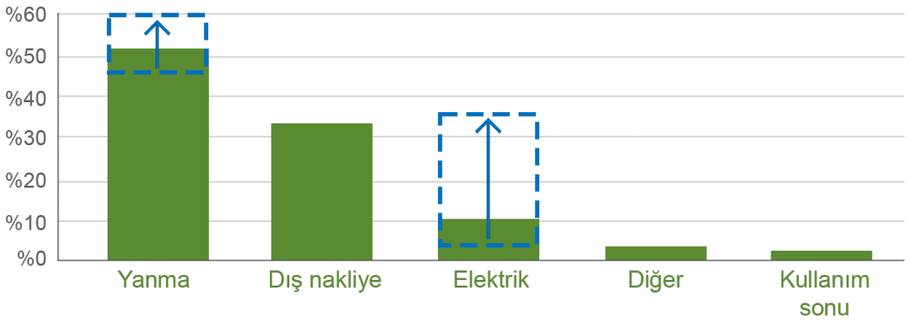
Alüminyum sektöründe geri dönüşüm başta olmak üzere önemli enerji tasarrufu sağlayan uygulamaların giderek daha fazla güçlenmesiyle birlikte küresel düzeyde emisyonların azaltılması hedeflenmektedir. Net sıfır emisyon hedefine ulaşabilmek için küresel alüminyum endüstrisinden kaynaklanan toplam CO_2 emisyonlarının mevcut 1,1 Gt/yıl düzeyinden %80 azalışla 2050 yılında 250 Mt/yıl'a düşmesi projekte edilmektedir (Şekil 79).[378]

Alüminyumun geri dönüşümü ile çok büyük bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır ve toplam enerji tüketimi birincil alüminyum üretimine göre %95 daha düşüktür. Bu nedenle sera gazı emisyonu da son derece düşük bir seviyededir. Bu yaklaşım ile bakıldığında, geri dönüşüm miktarlarının artırılması, alüminyum toplama, geri kazanım ve geri dönüşüm süreçlerinin ölçülebilir ve raporlanabilir bir şekilde kayıt altına alınabilmesi, toplama, atık ayrıştırma ve kapalı sistem geri dönüşüm süreçleri ile teknolojilerinin geliştirilmesi, Türkiye alüminyum sektörü açısından büyük fırsatlar içermektedir.



Şekil 79: Yıllara Göre Emisyon Azaltım Tahminleri[379]

378. International Aluminium Institute. (2021). Aluminium Sector Greenhouse Gas Pathways to 2050.
379. International Aluminium Institute. (2021). a.g.e.



Şekil 80: Yurt İçi Üretim Süreçlerinde Kategori Etkileri (İthal Edilen Alüminyumdaki Gömülü Emisyon Hariç)

Özellikle alaşım geliştirme ve geri dönüşüm yolu ile geri kazanım içeren faaliyetler nedeniyle yüksek sıcaklıklar gerektiren ergitme ve döküm proseslerinden dolayı yüksek miktarda enerji tüketilmekte ve bu durum alüminyum üretimi proseslerinde yüksek emisyona sebep olmaktadır. Alüminyum üretim tesislerinde, özellikle fırınlarda, gerçekleştirilecek enerji verimliliği çalışmaları hem enerji tüketiminin hem emisyon miktarlarının azaltılmasında büyük bir rol oynamakta hem de finansal ve çevresel etkiler bakımından pozitif bir çıktı sunmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılması daha iyi teknolojiye sahip fırın seçimi, yüksek otomasyon düzeyi, ergimiş metalin mekanik ya da elektromanyetik olarak karıştırılması gibi prosesler ile mümkündür. Alüminyum ergitme fırınlarında ve proseslerinde iyileştirmenin sınırı yoktur. TALSAD trafından hazırlanmış olan AB Yeşil Mutabakat Uyum Rehberi bu anlamda oldukça detaylı teknolojik yaklaşımları ve emisyon azaltıcı önlemleri ortaya koymaktadır. Şekil 80'de görüldüğü üzere bir uyum süreci açısından bakıldığında yanma kaynaklı emisyonlar ile nakliyeden kaynaklanan emisyonların azaltılması, Türkiye alüminyum sektörünün öncelikli olarak yapabileceği hususların başında yer almaktadır. Enerji verimliliğini ve dolayısıyla metal verimi ile üretkenliği etkileyen çok sayıda değişken söz konusudur. Alüminyum ergitme fırınlarında enerji verimliliğini artırmak için uygulanabilecek 10 ana başlık aşağıdaki gibidir.[380]

Yakıcı Seçimi ve Konumlandırılması: Yakıcıların optimal koşullarda çalıştırılması, ısı kayıplarını azaltmakta ve fırının ısıl verimliliğini artırmaktadır.
Baca Kayıplarının Azaltılması: Baca gazı sıcaklığı, fırının enerji verimliliğinin bir göstergesidir. Yüksek sıcaklıklar düşük verimlilik anlamına gelmektedir.
Hava/Yakıt Oranının Kontrolü: İdeal yanma için yakıt-hava oranının dengede olması gerekmektedir. Dengesizlikler enerji verimini düşürmektedir.
Fırın İç Basıncının Kontrolü ve Hava Kaçaklarının Önlenmesi: Negatif basınç ve hava kaçakları, enerji kaybına neden olmakta ve yanma reaksiyonunu etkilemektedir.
Atık Isının Değerlendirilmesi: Baca gazı sıcaklığı arttıkça, geri kazanılabilir enerji miktarı da artmaktadır. Bu atık ısının, şarjın ön-ısıtılmasında veya yakma havasının ön-ısıtılmasında kullanılması mümkündür.

380. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023b). a.g.e.

Yanma Havası Olarak Oksijence Zenginleştirilmiş Hava ya da Oksijen Kullanımı: Daha zengin yanma havası, daha düşük kayıplar ve daha yüksek ısı verimliliği sağlamaktadır.
Ergimiş Metal Banyosunun Karıştırılması: Metal sirkülasyonu, fırın verimliliğini artırmakta ve sıcaklık farkını azaltarak homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamaktadır.
Refrakter Kalitesi ve Uygulaması: Refrakter malzemelerin doğru seçimi ve uygulanması, enerji tasarrufu ve fırın verimliliği için oldukça önemlidir.
İyi İşletme Koşulları: Temiz ergiyik yüzeyi, doğru şarj miktarı ve yakıcı kontrolü, enerji verimliliği için kritiktir.
Proses Kontrol Sistemlerinin Kullanılması: Dijitalleşme ile desteklenen otomatik kontrol sistemleri, enerji verimliliğini artırma ve prosesin izlenmesini sağlama potansiyeline sahiptir.

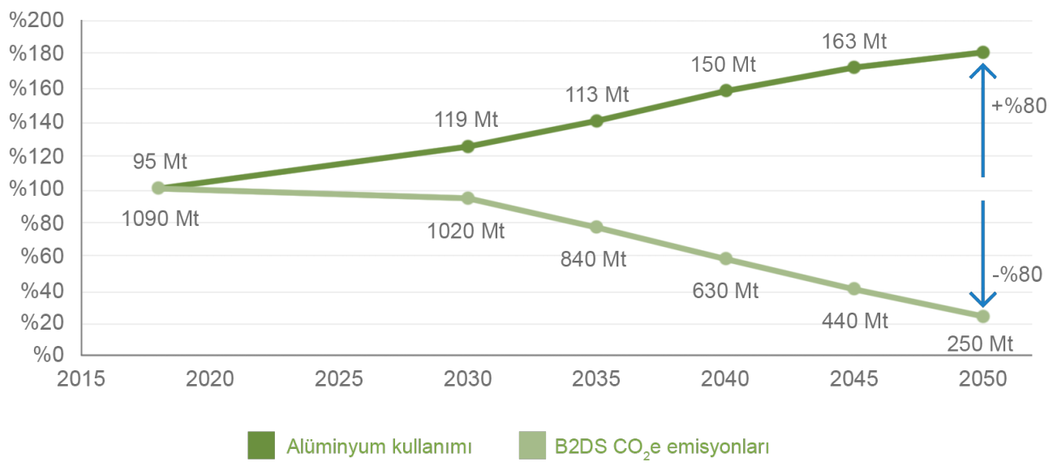
Bu başlıklar, alüminyum ergitme fırınlarında enerji verimliliğini artırmak, dolayısıyla emisyonları azaltmak için önemli stratejiler sunmaktadır. 2023 yılında TÜBİTAK'ın hazırlamış olduğu "Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası-Alüminyum Sektörü" raporunda bahsedildiği üzere, Türkiye alüminyum sektörünün yeşil dönüşümüne yönelik teknolojik ihtiyaçlar ve çözümler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır. [381]

1. Birincil Alüminyum Üretiminde Karbon Ayak İzi Azaltımı
   a. Alümina üretiminde enerji verimliliğinin artırılması, iyileştirilmiş hammaddelerin ve proseslerin kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi
   b. Alüminyum üretiminde yenilikçi proseslerin geliştirilmesi ve entegrasyonu
2. İkincil Alüminyum Üretiminde Hurda Ayıklama, Verimlilik Artışı
   a. İkincil alüminyum üretiminde alüminyum hurda ayıklama ve hazırlama için yenilikçi teknolojilerin/yöntemlerin geliştirilmesi ve üretim sürecine entegrasyonları
   b. İkincil alüminyumun üretiminde enerji verimliliğini artırmaya yönelik proseslerin ve yöntemlerin geliştirilmesi
3. Yarı Mamul İşlemede Enerji Verimliliği
   a. Döküm, haddeleme, ekstrüzyon, dövme, ısıl işlem ve yüzey işlem proseslerinin enerji verimliliklerinin artırılmasına yönelik uygulamaların geliştirilmesi
4. Alüminyum Parça Dökümünde Verimlilik Artışı
   a. Alüminyum parça dökümünde malzeme, makine ve sıvı metal proses teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması
   b. Alüminyum parça dökümünde proses tasarımı ve optimizasyonuna yönelik teknolojilerin geliştirilmesi
5. Alüminyum Sektöründe Optimizasyon, Enerji Girdisi, Verimlilik ve Atık Yönetimi
   a. Alüminyum sektöründe optimizasyon, enerji girdisi, verimlilik ve atık yönetimine yönelik uygulamaların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması

381. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. (2023). a.g.e.

Birincil alüminyum üretimi ile beraber, daha fazla geri dönüşüm ürünü kullanılması ve fosil yakıtlar yerine daha temiz enerji kaynaklarının tercih edilmesi sayesinde emisyonların küresel düzeyde 2030 yılında %30, 2050 yılında ise %80 azaltılabilmesi mümkündür (Şekil 81).

Geri dönüşüm sayesinde emisyonlar birincil alüminyum üretimine kıyasla yaklaşık %95 oranında azaltılabilmektedir. 1,5˚C senaryosu (business as usual-BAU) kapsamında 2050 yılında alüminyum sektöründen kaynaklanan toplam sera gazı emisyonlarının 53 Milyon tCO_2e (bugünkü değerinden 1,1 Milyar tCO_2e daha düşük) olması beklenirken 2˚C'nin Ötesinde Senaryosu'nda (B2DS) ise yaklaşık 250 Milyon tCO_2e olması beklenmektedir. 1.5˚C senaryosu kapsamında bu azalmaların yaklaşık dörtte birinin önümüzdeki 10 yıl içinde gerçekleşmesi öngörülmektedir. 2050 yılına kadar küresel ortalama sıcaklık artışını 2˚C'nin altında tutabilmek için alüminyum sektörünün toplam emisyonlarının 1,6 Milyar tCO_2e değerinden 250 Milyon tCO_2e seviyesine (ton başına emisyon miktarı olarak 16 tCO_2e/ton'dan 2,5 tCO_2e/ton'a) düşmesi gerekmektedir. 1,5˚C küresel ısınma hedefinin sağlanabilmesi için ise toplam alüminyum üretiminden kaynaklanan emisyonların 0,5 tCO_2e/ton'a düşmesi gerekmektedir.[382]



Şekil 81: B2D2 Senaryosu İçin Öngörülen Karbon Emisyonu [383]

382. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023b). a.g.e.
383. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023b). a.g.e.

5.2.3.1. Azaltım Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

EA, alüminyum değer zinciri boyunca hangi karbonsuzlaştırma teknolojilerinin ilgili olabileceğinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla, potansiyel azaltım yaklaşımlarını, değer zincirinde yer alan farklı süreçler için "karbonsuzlaştırma kümeleri" adı verilen gruplar belirleyerek incelemektedir. Kümeler, süreçte yer alan ana işlem faaliyetlerine ve bunlara karşılık gelen enerji ihtiyaçlarına dayanmaktadır (Tablo 25).[384]

Tablo 25: Alüminyum Değer Zincirinde Yer Alan Süreçler İçin Karbonsuzlaştırma Kümeleri [385]

Süreç	Karbonsuzlaştırma Kümeleri		
Alümina Arıtımı	Öğütme	Kalsinasyon	Elektrikli
İzabe Fırını	Anot Kullanımı		Elektrikli
Anot Üretimi	Fırın (Yüksek sıcaklık, >600°C)		Elektrikli
Dökümhane (Birincil)	Fırın (Yüksek sıcaklık, >600°C)		Elektrikli
Haddeleme	Fırın (Düşük sıcaklık, <600°C)		Elektrikli
Ekstrüzyon	Fırın (Düşük sıcaklık, <600°C)		Elektrikli
Geri Dönüşüm (Ergitme ve Arıtma)	Fırın (Yüksek sıcaklık, >600°C)		Elektrikli

Her karbonsuzlaştırma kümesi, çeşitli emisyon azaltım teknolojisi barındırmaktadır. Bazı kümeler sadece bir veya birkaç sürece özgüyken, çoğu seçenek tüm alüminyum değer zinciri boyunca tekrarlanmaktadır. Tablo 25'te listelenen her bir karbonsuzlaştırma kümesi için dikkate alınan geleneksel üretim teknolojisi ve uygulanabilir azaltım teknolojileri Tablo 26'da gösterilmektedir.

384. Avrupa Alüminyum Birliği. (2023). a.g.e.
385. Avrupa Alüminyum Birliği. (2023). a.g.e.

Tablo 26: Her Karbonsuzlaştırma Kümesi İçin Emisyon Azaltım Teknolojileri [386]

Karbonsuzlaştırma kümeleri	Emisyon azaltımı teknoloji seçenekleri
Öğütme (Buhar)	• Fosil yakıtlar (geleneksel) • Elektrikli kazan • Hidrojen kazanı • Konsantre Güneş Termal (Concentrated Solar Thermal – CST) • Mekanik Buhar Sıkıştırma (Mechanical Vapour Compression – MVR)
Kalsinasyon (fırın)	• Fosil yakıtlar (geleneksel) • Elektrikli fırın • Hidrojen fırını • Fosil yakıtlar + Karbon Yakalama ve Depolama (CCS)
Elektrik	• Şebeke tarafından sağlanan enerji • Enerji Satın Alma Sözleşmesi (Power Purchase Agreement – PPA)/ Tesisin kendi üretimi
Anot Kullanımı	• Karbon anot (geleneksel) • Karbon anot + CCS • İnert Anot
Fırın (Düşük sıcaklık, <600°C)	• Fosil yakıtlar (geleneksel) • Elektrikli fırın • Hidrojen fırını • Fosil yakıtlar + (CCS)
Fırın (Yüksek sıcaklık, >600°C)	• Fosil yakıtlar (geleneksel) • Elektrikli fırın • Hidrojen fırını • Fosil yakıtlar + (CCS)

Birincil Alüminyum Üretiminde Emisyon Azaltıcı Teknolojiler

Halihazırda, öğütme sürecinde gaz, petrol ve kömür kazanları tercih edilmektedir. Bu sürece ilişkin emisyon azaltım teknolojisi olarak 3 yeni kazan teknolojisi sunulmaktadır. Bunlar; elektrik kazanı, hidrojen kazanı ve güneş enerjisi kazanıdır. Elektrik kazanları şu an küresel ölçekte kullanılmaktadır, fakat hidrojen ve güneş enerjisi kazanları hala gelişim aşamasındadır ve 2027 yılında sürece dahil olması beklenmektedir.[387]

Kalsinasyon sürecinde mevcut durumda gaz ve petrol kalsinatörler tercih edilmektedir. Emisyonların azaltılması için 2 yeni kalsinatör teknolojisi olan hidrojen ve elektrik kalsinatörlerinin geliştirilmesi öngörülmektedir. Bu teknolojilerin ise 2030 yılında sürece dahil olması beklenmektedir.

386. Avrupa Alüminyum Birliği. (2023). a.g.e.
387. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023a). Türkiye Alüminyum Sektörü İçin Düşük Karbonlu ve İklim Dirençli Yol Haritası. Erişim adresi: https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/birimler/turkiye-aluminyum-sektoru-icin-dusuk-karbonlu-yol-haritasi.pdf

Ergitme sürecinde geleneksel kullanım Hall-Heroult (karbon anot) prosesidir. Burada ise 2 yeni teknolojinin hayata geçirilmesi mümkündür. Bunlardan biri, halihazırda kullanılan karbon anotlara karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojisinin entegre edilmesiyle %90 oranında emisyon azaltımını mümkün kılan bir teknolojidir. Diğeri ise inert anot kullanarak (karbon anottan farklı bir anot tipi) reaksiyonlardan kaynaklanan emisyonu sıfıra indirmeyi amaçlayan bir teknolojidir.

Söz konusu tüm teknolojilerin mevcut emisyon değerleri Tablo 27'de gösterilmektedir. İleride sürece dahil olması beklenen teknolojiler henüz kullanılmadığı için bu teknolojilere ait emisyon değerleri sıfır olarak verilmiştir.[388]

Tablo 27: Birincil Alüminyum Üretimi Teknolojilerinin Mevcut Emisyon Değerleri [389]

Öğütme Süreci	Ort. Emisyonlar (tCO_2 / tAl)	Kalsinasyon Süreci	Ort. Emisyonlar (tCO_2 / tAl)
Gaz Kazanı	0,95	Gaz Kalsinatör	0,7
Yağ Kazanı	1,37	Yağ Kalsinatör	0,49
Kömür Kazanı	1,65	Hidrojen Kalsinatör	0
Gaz Kazanı + MVR	0,28	Elektrik Kalsinatör	0
Yağ Kazanı + MVR	0,41		
Kömür Kazanı + MVR	0,5	**Ergitme Süreci**	
Elektrik Kazanı	0	HH Karbon Anot	2,93
Hidrojen Kazanı	0	Karbon Anot + CCS	1,97
Güneş Enerjisi Kazanı	0	İnert Anot	0,1

Alüminyum İşlemede Emisyon Azaltıcı Teknolojiler

Alüminyum işlemede 4 farklı fırın tipi kullanılmaktadır. Bunlar reverber fırın, pota fırın, döner fırın ve indüksiyon fırındır. Her ne kadar her fırının farklı bir üretim teknolojisi, kapasitesi ya da kullanım alanı olsa da halihazırda Türkiye'deki üretimin %80'i reverber fırınlarla yapılmaktadır. Farklı fırın tiplerinin ortalama emisyonları Tablo 28'de belirtilmektedir.[390]

388. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023a). a.g.e.
389. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023a). a.g.e.
390. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023a). a.g.e.

Türkiye Alüminyum Sektörü İçin Düşük Karbonlu Yol Haritası[391] raporuna göre referans senaryolara teknolojik dönüşüm eklenmemiş olup azaltım senaryolarından biri olan LCP senaryosunda teknolojik dönüşüm, ileri düzey reverber fırınlara CCS entegrasyonu ve elektrikli reverber fırınlara dönüş olarak öngörülmektedir. FTS senaryosunda belirtilen teknolojik dönüşüm LCP senaryosu ile aynı olsa da LCP senaryosunda teknolojiler daha erken tarihlerde devreye girmektedir. 2053 yılında üretimde kullanılan fırınlara bakıldığında en yüksek pay en ileri seviye reverber+CCS ve elektrikli reverberdir. Ek olarak, reverber olmayan diğer fırınlarda da CCS entegrasyonu öngörülmektedir. Alüminyum işleme, birincil metali ve alüminyum hurdasını yarı mamul ve mamul alüminyum ürünlerine dönüştürme sürecini ifade etmektedir. Alüminyum işlemede en yüksek emisyon, fırınlarda gerçekleştirilen birincil metal ve hurdayı eritme işleminden kaynaklanmaktadır.[392]

Tablo 28: Fırın Tiplerine Göre Emisyon Değerleri ve Fırınların Senaryolar Bazında Dağılımı[393]

Fırınlar	Ortalama Emisyonlar (tCO_2/tAl)
Konvansiyonel Reverber	1,73
Gelişmiş Reverber	1,35
İleri Düzey Reverber	0,95
En İleri Düzey Reverber	0,53
Elektrikli Reverber	0,45
Döner Fırın	0,90
Pota Fırın	1,25
İndüksiyon Fırın	0,65

5.2.3.2. Sektörel Kısıtlar

Türkiye alüminyum sektörü yerel hammadde yetersizliği sebebiyle alternatif yurt dışı tedarikçilerinden ithalat yapmaktadır. 2023 yılında 2,2 milyon tonluk primer ve mamul ithalatı gerçekleşmiş olup buna ilave olarak hurda/ikincil alüminyum ithalatı yılda 200 bin ton düzeyinde gerçekleşmektedir. Türkiye'nin aynı Gümrük Birliği içerisinde yer aldığı ve en büyük pazarı olan AB ülkeleri ile ticaret ilişkilerinde yıllardır süregelen ve devam etmekte olan anti-damping ve anti-sübvansiyon gibi soruşturma süreçleri zaman zaman gündeme gelmektedir. Özellikle Avrupa'da yaşanan genel talep düşüş dönemlerinde yerel firmalar, pazar payı son yıllarda düzenli ve önemli artışlar gösteren Türkiye'nin artan üretim ve ihracatına karşı dönem dönem artan hassasiyetler oluşturmaktadır. Küresel olarak gelişen ticaret savaşları ile özellikle Çin ve Rusya'ya karşı gelişen bu tür yaptırımlar ve anti-damping uygulamaları bir taraftan Türkiye için fırsatlar yaratırken diğer taraftan özellikle Avrupa pazarında farklı hassasiyetlere neden olabilmektedir. Bu konular, tüm sektör adına TALSAD, İDDMİB ve ilgili tüm Bakanlıklar ile eşgüdüm içerisinde takip edilmektedir.

Ayrıca sektörde mevcut firmaların, SKDM kapsamında yapacakları ticaretlerde "Gümrük Tarifeleri ve Ticaret Genel Anlaşması" (General Agreement on Tariffs and Trade – GATT) hususlarına da dikkat etmesi gerekmektedir. Bu hususlar aşağıda özetlenmektedir.[394]

1. Ayrımcılık Yasağı: GATT, üye ülkeler arasında ayrımcılık yasağı ilkesine dayanmaktadır. Türkiye'nin, AB'ye ihracatı üzerindeki potansiyel ayrımcılık durumlarının değerlendirilmesi ve aynı şartlar altında, yerel ve yabancı ürünler arasında farklı muamele olup olmadığına dikkat edilmesi gerekmektedir.
2. Ulusal Muamele: İthal ürünlerin, bir kez iç pazara girdikten sonra yerli ürünlerle aynı şekilde muamele görmesi gerektiğini belirtmektedir. SKDM'nin bu ilkeyle uyumlu olup olmadığının değerlendirilmesi önemlidir.
3. Mütekabiliyet ve Karşılıklı Yarar: Türkiye'nin karbon düzenlemeleri konusunda AB ile müzakerelerde bulunma olasılığının ve bu müzakerelerin karşılıklı yararlar sağlama potansiyelinin değerlendirilmesi beklenmektedir.
4. İstisnalar ve Kısıtlamalar: Çevresel koruma gibi amaçlarla getirilen kısıtlamalar GATT kurallarıyla uyumlu olabilmektedir. Bu noktada, SKDM'nin bu istisna kapsamına girip girmediğinin incelenmesi gerekmektedir.

Türkiye alüminyum sektörünün karşılaştığı bir diğer husus ise SKDM kapsamında yer alan alüminyumun üretim süreçlerinde en yüksek karbona sahip hammaddeyi ithal etmekte olan Türkiye'nin düşük karbonlu hammadde tedarik gereksinimidir. AB ve ABD'nin, Türkiye'nin en büyük alüminyum hammadde tedarikçilerinden olan Rusya'ya karşı başlatmış olduğu yaptırımlar, alüminyum sektörünü de dolaylı olarak etkilemeye devam etmektedir. Bu süreçte ihracatın devam etmekte olduğu söz konusu ülkelerin Rusya'dan tedariki yapılan hammaddeye karşı yaptırım uygulaması, Türkiye'nin de ihraç ettiği yarı mamullerin üretiminde Rus menşeli hammaddeyi kullanamaması anlamına gelmekte ve alternatif tedarikçilere yönelme ihtiyacını ortaya koymaktadır. Türkiye'nin jeopolitik konumu gereğince alternatif hammadde tedarikçilerinin Rusya'dan tedariki devam eden hammaddeye oranla daha yüksek karbonlu üretim yapması ve 01 Ocak 2026 tarihi itibarıyla SKDM'nin mali yaptırımının başlayacak olması, Türkiye'nin AB'ye ihracatında daha yüksek karbon vergisi ile karşılaşması gibi riskleri de beraberinde taşımaktadır.

391. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023a). a.g.e.
392. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023a). a.g.e.
393. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023a). a.g.e.
394. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023c). İSTKA Risk Analizi Raporu.

Türkiye'de faaliyet gösteren bir alüminyum üreticisinin yurt dışından billet satın alarak üretim gerçekleştirmesi ve ürünlerini Avrupa'ya satması durumunda karşılaşabileceği olası kısıtlar ve riskler aşağıda açıklanmaktadır.[395]

1. Ek Maliyetler: SKDM uygulaması, ithal edilen alüminyum ürünlerine ek bir maliyet getirebilecektir. Bu durumun rekabetçiliği azaltarak ürünlerin Avrupa'da daha pahalı hale gelmesine neden olma riski mevcuttur.
2. Rekabetçilik Sorunları: Avrupa'da yerleşik firmaların Türkiye'de üretilen ürünlerden daha düşük karbon maliyetleriyle üretim yapabilecek olması, Türkiye'de üretilen ürünlerin Avrupa'daki pazarda rekabet gücünü kaybetmesine neden olabilecektir.
3. Tedarik Zinciri Riskleri: Malezya ya da Rusya'dan alınan alüminyumun yüksek emisyonlu olması risk teşkil etmektedir.
4. Veri ve Raporlama Zorlukları: SKDM'nin tam olarak nasıl uygulanacağına dair belirsizlikler olması, Türkiye'deki firmaların veri ve raporlama gereksinimlerini anlamasını ve uygulamasını zorlaştırmaktadır.
5. Uyum Riski: Türkiye'nin ulusal mevzuatının AB'nin karbon düzenlemeleriyle uyumlu olmaması, uyumsuzluk risklerini beraberinde getirmekte olup bu durum ek maliyetlere veya ticari engellere yol açabilmektedir.
6. Pazar Payı Kaybı: SKDM nedeniyle ek maliyetlerin oluşması veya rekabetçilikte yaşanacak olumsuz etkiler, Türkiye'de üretilen alüminyum ürünlerinin Avrupa pazarındaki payının azalması riskine yol açmaktadır.

Tüm bunlara ek olarak, Türkiye, atık yönetimi ve geri dönüşüm konusunda önemli adımlar atmış olmakla beraber gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında hala bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. İzleme ve kontrol sistemleri, kaliteli geri dönüşüm gibi konularda Türkiye'de de ilerlemeler kaydedilmekte olup özellikle büyük şehirlerde ve endüstriyel bölgelerde bu konuda çeşitli uygulamalar görülmekte, ancak teknolojik altyapı ve kaynaklar konusunda bazı sınırlamalar yaşanmaktadır. Atık yönetimi ve atıkların geri kazanılması gibi konularda önemli çalışmalar yaparak kendi tesisinde oluşan atığın kontrollü bir şekilde geri kazanımını sağlayan şirketler mevcuttur. Fakat bu firmalar dışında kalan işletmelerin tesislerinden çıkan atıkları nasıl değerlendirdiği hakkında belirsizlikler bulunmaktadır. Dünyanın döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik konusunda büyük adımlar atarak gelişmeye devam ettiği bu dönemde, Türkiye'nin alüminyum sektöründe de bu politikalara ayak uydurması büyük önem taşımaktadır. Finansal kaynakların sınırlı olması atık yönetimi ve geri dönüşüm teknolojilerinin yaygın olarak uygulanmasını zorlaştırma riskini beraberinde getirmektedir.

395. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023c). a.g.e.

Teknolojik uygulamalar, kısa vadede getirisi az olup işletmelerde uyum için uzun bir süreç gerektiren bir konu olması sebebiyle küçük ve orta ölçekli işletmelerde zorluklar yaşanmasına yol açmaktadır. Yasal ve düzenleyici çerçevenin belirsizliği, teknolojik uygulamaların benimsenmesini de etkilemektedir. Atık yönetimi ve geri dönüşüm teknolojilerinin dünya genelinde ve Türkiye'de sürekli olarak gelişen bir konu olması, çevresel sorumluluk, ekonomik avantajlar ve enerji verimliliği gibi nedenlerle bu teknolojilere olan talebin artması beklenmektedir. Türkiye'nin de bu konudaki çabalarını sürdürmesi ve teknolojik uygulamaları daha fazla benimsemesi, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynayacaktır.

Alüminyum Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• İkincil alüminyum üretiminde hurdada dışa bağımlılık • Elektrik bazlı üretim/ergitme teknolojilerinin uygulamasının düşük olması • Ulusal bir emisyon ticaret sisteminin bulunmaması • Türkiye alüminyum sektöründe KOBİ'lerin fazlalığı, yetişmiş eleman eksikliği ve yetkinlik sorunu • Birincil alüminyumda dışa bağımlılık • Uyum çalışmaları için finansmana erişim zorluğu • Ticaret savaşları – dış ticarete getirilen kısıtlama ve engeller • SKDM sonucu oluşabilecek ilave yüksek karbon fiyatının KOBİ'ler için rekabet kaybı yaratması • Eski teknolojiye sahip tesislerin dönüşümünün yeni tesislere göre daha zorlu olması • Alternatif hammadde teknolojileri konusunda Ar-Ge çalışmalarına duyulan ihtiyaç	• Birincil alüminyum üretiminin düşük olması nedeni ile tedarik planını düşük karbonlu ürünlere çevirebilme yeteneği • Gelişmiş ekonomilerle ticarete ve üretime yatkınlık • Yarı mamul üretiminde Doğrudan emisyonların genel AB ortlamasından düşük olması • Jeopolitik konum nedeni ile esnek ulaşım, tedarik ve erişim imkanları • Geri dönüşüm sektörünün güçlenmesi, kapasite ve yetkinlik artışı • AB mevzuatlarına yatkınlık ve SKDM üzerinde yoğun eğitim desteği • Yüksek kurulu kapasite ve yeni yatırımlar

5.2.4. Elektrik Üretiminde Emisyon Azaltıcı Önlemler

5.2.4.1. Azaltım Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

Yenilenebilir Enerji

Fosil yakıtlardan temiz enerji sistemlerine geçiş, iklim değişikliğiyle mücadelede en önemli unsurdur. Ancak yenilenebilir kaynakların değişkenliği ve kesintili karakteristiği net sıfır emisyona giden yolda istikrarlı ve güvenilir bir arzın sağlanması açısından zorluklara neden olmaktadır. %100 yenilenebilir sistemler için, iletimdeki iyileştirmeler, uzun süreli ve mevsimsel depolama ve düşük emisyonlu ve esnek üretim teknolojileri, elektrik talebini karşılamanın en ekonomik yolları olarak kabul edilmektedir. [396]

IRENA'nın analizine göre, Paris Anlaşması'nda belirtilen iklim hedefleri doğrultusunda enerji sektörünün karbonsuzlaştırılması, 2050 yılına kadar toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin %85'lik bir paya sahip olmasını gerektirmektedir. Bu süreçte güneş ve rüzgar enerjisi kapasitesi bugünkü 900 GW seviyelerinden 13.000 GW'a yükselecek ve üretilen toplam elektriğin %60'ını oluşturacaktır. Bu, 2017 seviyelerine göre yıllık rüzgâr kapasitesi ilavelerinin üç katına ve güneş enerjisi kapasitesi ilavelerinin iki katına çıkarılması anlamına gelmektedir. Ayrıca, üç ana nihai kullanım odağının (sanayi, binalar ve ulaşım) toplam enerji talebindeki elektrik payının 2015'teki yaklaşık %20 değerinden 2050'de %40'a çıkması gerekmektedir.[397, 398] Bu da elektrifikasyon çalışmalarının çok daha derinleşmesi ihtiyacına işaret etmektedir.

Düşük maliyetli yenilenebilir enerji üretimi çağında, enerji dönüşümünün başarısı, yüksek oranda değişken yenilenebilir enerji kaynağının mümkün olan en düşük maliyetle güç sistemlerine entegre edilmesine yönelik stratejilerin uygulanmasıyla mümkün olacaktır. Şu anda G20 ülkelerinde, rüzgar ve güneş gibi kesikli kaynaklardan sağlanan değişken yenilenebilir enerjinin (variable renewable energy – VRE) elektrik üretimindeki payı yaklaşık %10 seviyelerindedir. Özellikle Avrupa'daki bazı ülkeler, elektrik üretiminde çok daha yüksek VRE paylarına ulaşmıştır. 2017'de Danimarka'da söz konu pay %53'e, Güney Avustralya'da %48'e ve Litvanya, İrlanda, İspanya ve Almanya'da %20'nin üzerine çıkmıştır. Dünyanın en büyük üç enerji sistemi olan Çin, Hindistan ve ABD'nin 2022 yılına kadar VRE paylarını ikiye katlayarak yıllık üretimin %10'undan fazlasına çıkarması beklenmektedir.[399]

396. International Renewable Energy Agency. (2019). Innovation landscape for a renewable-powered future. Erişim adresi: https://www.irena.org/publications/2019/Feb/Innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future
397. International Renewable Energy Agency. (2019). a.g.e.
398. International Renewable Energy Agency. (2018). Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. Erişim adresi: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf
399. International Renewable Energy Agency. (2019). a.g.e.

Dijitalleşme

Geleneksel güç sistemlerinde arz tarafı, üretimi talebi takip edecek şekilde ayarlayarak esneklik sağlarken talep tarafı ise büyük ölçüde tepkisiz kalmakadır. Ortaya çıkan yenilikler sadece arz tarafı esnekliğini daha da artırmakla kalmamakta, aynı zamanda güç sisteminin tüm bölümlerinde bu tür esnekliği zaruri kılmaktadır.

Dijital izleme ve enerji üretiminde kontrol teknolojileri son zamanlarda güç sistemlerine daha derinlemesine nüfuz etmeye başlamıştır. Akıllı sayaçların daha yaygın kullanımı ve sensörler, IoT uygulaması ve yapay zeka ile büyük miktarda veri kullanımı sisteme yenilikler getirmektedir.
Dijitalleşmenin artan önemi aynı zamanda dağıtıklık (decentralisation) ve elektrifikasyondaki ilerlemelerden de kaynaklanmaktadır. Dağıtık enerji arayışları, başta çatı üstü PV olmak üzere çok sayıda yeni küçük üretim noktasıyla sonuçlanmaktadır. Ulaşım ve ısının elektrifikasyonu, elektrikli araçlar, ısı pompaları ve elektrikli kazanlar gibi büyük miktarlarda yeni yükleri içermektedir. Arz tarafındaki (dağıtık sistemler nedeniyle) ve talep tarafındaki (elektrifikasyon nedeniyle) tüm bu yeni varlıkların güç sistemleri üzerinde etkileri olmaktadır ve bu da enerji dönüşümünün başarısı için izleme, yönetim ve kontrolü çok önemli hale getirmektedir. Bu nedenle dijitalleşme, büyük miktarda verinin yönetilmesini ve çok sayıda küçük üretim birimine sahip sistemlerin optimize edilmesini sağlayarak enerji dönüşümünün önemli bir destekleyicisidir.[400]

Enerji Depolama

Genel olarak, güç çıkışlarını değiştirebilen veya ihtiyaç duyulduğunda devreye alınabilen en esnek teknolojiler hidroelektrik ve doğal gaz yakıtlı enerji santralleridir. Alternatif olarak, elektrik depolama sistemleri potansiyel bir seçenek olarak görülmektedir. Depolama sistemlerinin en önemli özelliği, sadece elektrik sağlayan enerji santrallerinin aksine, şebekeden fazla elektriği emebilmeleri ve daha sonra geri verebilmeleridir.

Enerji depolama teknolojileri elektrokimyasal, elektromekanik, elektriksel, termal ve termokimyasal olabilmektedir. Şebeke düzeyinde en iyi kurulmuş depolama teknolojisi pompaj depolamalı hidroelektrik (PDH) santralleridir. Basınçlı hava enerji depolaması ve PDH olgun teknolojiler olmakla beraber yakın gelecekte verimliliklerini artırmak pek olası görünmemektedir. Buna ek olarak, çevresel ve sosyal açıdan kabul edilebilir ve uygun maliyetli sahaların azlığı nedeniyle bazı bölgelerde yeni PDH santrallerinin geliştirilmesi potansiyeli sınırlıdır.

Enerji depolama, enerji verimliliğini ve güvenliğini artırma noktasında ihtiyaç fazlasının depolanarak elektrik şebekelerini dengelemeye yardımcı olması açısından yenilenebilir kaynakların sistem entegrasyonunu destekleyecektir. Rüzgar ve fotovoltaik güneş (PV), değişkenliklerine uyum sağlayan üretim gerektiren kesintili kaynaklardır. Yenilenebilir enerjinin öngörülemezliği, gelişmiş

400. International Renewable Energy Agency. (2019). a.g.e.

tahminlere olanak tanıyan bilgisayar teknikleri sayesinde giderek azalan bir başka konudur. Bununla birlikte, yenilenebilir enerjinin artan payı, şebeke operatörlerinin yüzleşmesi gereken yeni ve daha büyük zorlukları da beraberinde getirmektedir. Depolama, güç sistemlerinde özellikle yan hizmetler ve artık talep piklerinin karşılanmasını desteklemek için önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

Elektrifikasyon

IRENA'nın 2050'ye kadar küresel enerji dönüşümü analizi çalışmasında, Paris Anlaşması ile uyumlu bir enerji senaryosuna ulaşmak için, toplam nihai enerji tüketiminin bir payı olarak tüketilen elektriğin artacağı öngörülmektedir. Yakın zamanda yapılan diğer çalışmalar, %50 ila %60'lık bir artışın bile mümkün olabileceğini göstermektedir. Ulaşım, binalar ve sanayi gibi son kullanım sektörlerinde fosil yakıtların doğrudan veya dolaylı kullanımının yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrikle değiştirilmesi, yenilenebilir elektriğin düşen maliyetleri nedeniyle ivme kazanmaktadır.

Elektrifikasyon son kullanım sektörlerinin yenilenebilir elektrik yoluyla karbonsuzlaştırılması ve güç sistemlerine daha fazla yenilenebilir enerjinin entegre edilmesiyle olacağı öngörülmektedir.

2050 yılına kadar 1 milyardan fazla elektrikli aracın yollarda olacağı ve bunların tüketimi bugünkü küresel elektrik talebinin %10'undan fazlasına eşdeğer olacağı öngörülmektedir. Binalarda ise nihai enerji kullanımında elektriğin payının 2015'teki %31 seviyelerinden %56'ya, sanayide ise 2015'teki %27 seviyelerinden %43'e yükseleceği tahmin edilmektedir. Binalarda ısı pompası kullanımının önemli bir çözüm olacağı ve 2015 yılında 20 milyon olan sayılarının 2050 yılında 250 milyonun üzerine çıkması beklenmektedir. Yenilenebilir elektrikten hidrojen üretiminin de gelecekte önemli bir rol oynaması tahminler arasındadır.

Enerji Santrallerinde Enerji Verimliliği

Termik santrallerde enerji verimliliği uygulamaları çevresel etkileri azaltırken operasyonel ve finansal verimliğine katkı sağlamaktadır. Termik santrallerin verimliliğini etkileyen birçok farklı etken bulunmaktadır. Söz konusu etkenler coğrafi konuma özgü, tasarım ve işletme kaynaklı etkenler olarak sınıflandırılabilir.[401]

Coğrafi Konuma Özgü Etkenler

Termik santralin yer aldığı coğrafik konumun rakımı ve ortam sıcaklığı santralde verimliliğe önemli oranda etki etmektedir. Yüksek rakımlarda alçak rakımlara göre birim hacimdeki havanın basıncı ve oksijen miktarı daha azdır. Yanma havası ve sistemde kullanılan soğutma suyu, kazanın ışınım ile yaptığı kayıplar ve fanların çektiği güç ortam sıcaklığıyla doğrudan bağlantılı olduğu için santralin bulunduğu rakım, santralin verimliliğini doğrudan etkilemektedir. [402]

401. Düzgün, B. (2015). Fosil yakıtlı termik santrallerde mevcut durum değerlendirmesi ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik bir alan araştırması. Enerji ve Tabii Kaynaklar Uzmanlık Tezi.
402. Düzgün, B. (2015). a.g.e.

Coğrafi konuma bağlı diğer bir etken santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürün kalitesi ve kömürleşme derecesidir. Kömür özellikleri kazan tasarımından başlamak üzere santralin farklı parametrelerini de etkilemektedir. Her ne kadar yakıt türü değiştirilebilir olsa da yerine ikame edilecek yakıtın arzının sağlanması finansal ve lojistik açılardan değerlendirilmelidir.
Diğer taraftan, iklim değişikliği kaynaklı sıcaklık değişimlerinin de santral verimlilikleri üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmektedir. Yapılan bir araştırmada iklim değişikliğinin bugüne kadar nükleer, kömür, petrol ve doğal gaz santrallerinde ortalama termik santral kesintisini %0,75-%1 oranında artırdığı ve her bir santigrat derece ek ısınmayla birlikte, kesintinin pik talep sırasında %0,8-%1,2 oranında artacağı görülmüştür. Söz konusu küresel güç kaybını telafi etmek için ek 18-27 GW kapasite veya 40-60 ek ortalama büyüklükte enerji santrali gerekeceği tahmin edilmektedir.

Tasarım Kaynaklı Etkenler

Termik santralin tasarlandığı buhar parametreleri santralin verimliliğini belirleyen ana bileşendir. Santralin termal verimliliği buhar basıncı ve sıcaklığının artırılması ile sağlanabilmektedir. Günümüzde santrallerin buhar sıcaklığı ve basıncı teknolojileri, kritik altı (Sub Critical), süperkritik (Super Critical – SC) ve ultra-süperkritik (Ultra Super Critical – USC) olmak üzere 3 sınıfa ayrılmaktadır. SC ve USC teknolojileri yüksek verimlilik sağlamaktadır. IEA Temiz Kömür Merkezi'ne göre, mevcut kritik altı santrallerin SC/USC teknolojisi ile değiştirilmesiyle üretilen elektrik birimi başına CO_2 emisyonları %23 oranında azaltılabilmektedir. Özellikle, verimlilikteki %1'lik bir artış, tesisin ömrü boyunca emisyonları 2,4 milyon ton (Mt) CO_2, 2.000 ton NO_x, 2.000 ton SO_2 ve 500 ton partikül madde azaltmaktadır. Ayrıca, soğutma sisteminin tasarımı ile kazan, türbin ve generatör gibi ana parçaların verimliliği santralin verimliliğini etkilemektedir. Özellikle soğutma sistemi tasarımına yönelik olarak santralin deniz, göl veya yüksek debili bir nehir kenarında kurulması santral verimini ve net gücünü artırmaktadır.[403, 404]

İşletme Kaynaklı Etkenler

Termik santrallere getirilen salım konusundaki mevzuat kısıtlamaları farklı atık gaz temizleme yatırımlarının (Elektrostatik Çöktürücü – Electrostatic Precipitator (ESP), Baca Gazı Kükürt Giderme – Flue Gas Desulfurization (FGD)) hayata geçirilmesini gerektirmektedir. Fakat söz konusu kontrol sistemlerinin enerji ihtiyacı santral verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Ek olarak santralin yük – kapasite faktörü (santralin belli bir periyotta ürettiği toplam enerjinin tam kapasitede üretebileceği enerjiye bölümü) santralin verimini doğrudan etkilemektedir. Diğer bir deyişle, şebeke talebinin aşırı düşmesi sonucu santralin yüksüz durumda çalışması veya elektrik piyasasının durumuna göre santralin sık olarak devreye girip çıkması gibi durumlar buhar üretimi için gerekli olan ısıl enerji miktarının üretiminde kayıpları artırmaktadır.[405, 406]

403. Düzgün, B. (2015). a.g.e.
404. Xiaomei Tan et al. (t.y.). Supercritical and ultrasupercritical coal-fired power generation. Erişim adresi: https://www.bpastudies.org/index.php/bpastudies/article/view/170/318
405. Düzgün, B. (2015). a.g.e.
406. Takahashi, M. (2019). Technologies for Reducing Emissions in Coal-Fired Power Plants. Energy Issues World Bank. Erişim adresi: https://documents1.worldbank.org/curated/en/723411468762370493/pdf/263480Energy0issues0no1014.pdf

Elektrik Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• Elektrik üretiminin yeşil dönüşümü için gerekli finansman ihtiyacı • Yenilenebilir enerji santralleri ve dağıtık sistemlerde kullanılan makine ve ekipmanlarda dışa olan bağımlılık • Mevcut santral portföyü içerisinde yer alan fosil yakıtlı santrallerin görece uzun bir süre daha işletmede kalacak olması ve bunun Türkiye şebeke emisyon faktörü üzerinde yukarı yönlü etki yapması • SKDM kapsamında yer alan sektörlerin elektrik tüketimi kaynaklı emisyonlarını raporlama zorunluğu • Nüfus artışı ve gelişen sanayi sonucu elektrik talebindeki artış	• Türkiye'nin AB'ye elektrik ihracatının düşük seviyede olması • Türkiye'nin yüksek yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeline sahip olması • Mevzuat ve düzenlemede yıllar içerisinde yaşanan gelişmeler ile AB mevzuatına uyumlanma çalışmaları • Mevcut kurulu güç içerisindeki yenilenebilir kaynakların payındaki artış • Türkiye'nin yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine yönelik belirlediği hedeflerin iklim değişikliği ile mücadele ve sera gazı emisyonlarının azaltımına doğrudan etkisi • Yenilenebilir enerji santrallerinin düşük işletim maliyetleri • Sektördeki bilgi birikimi ve deneyim

5.2.5. Gübre Sektöründe Emisyon Azaltıcı Önlemler

5.2.5.1. Azaltım Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

Nitrik Asit Üretimi ve N_2O Emisyonlarının Azaltım Seçenekleri

Nitrik asit (HNO_3) kimya sektöründe çeşitli alanlarda kullanılan bir hammadde olmakla birlikte temel kullanım amacı kimyasal gübe üretimidir. Küresel ölçekte yıllık bazda üretilen nitrik asitin yaklaşık %75-80'i kimyasal gübre üretiminde kullanılmaktadır. Nitrik asit üretiminde önce amonyak oksitlenerek nitrik oksit (azot monoksit, NO) elde edilmekte, daha sonra NO bir kademe daha okside edilerek NO_2 (azot dioksit) oluşturulmakta ve son aşamada NO_2 gazı su ile absorblanarak nitrik asit (HNO_3) üretilmektedir. Bu noktada, nitrik asit üretiminde gübre sektörünün bir diğer temel hammaddesi olan amonyağın kullanılıyor olması önemli bir bilgidir. Üretim basamaklarında amonyağın oksidasyonu sonucunda N_2O emisyonları oluşmaktadır. N_2O emisyon miktarı nitrik asit üretim tesisinin tasarım detaylarına göre değişiklik gösterebilmekle birlikte herhangi bir tutucu filtre veya benzeri teknoloji kullanılmadığı durumda 1 ton nitrik asit üretimi sonucunda 7-10 kg N_2O emisyonu ortaya çıkmaktadır.[407] Nitroz oksit (N_2O) gazının küresel ısınma potansiyelinin 273 kg CO_2/N_2O[408] olduğu dikkate alındığında nitrik asit üretimi sonucunda ortaya çıkan N_2O emisyonlarının önemli bir sera gazı emisyonu kaynağı olduğu anlaşılmaktadır.

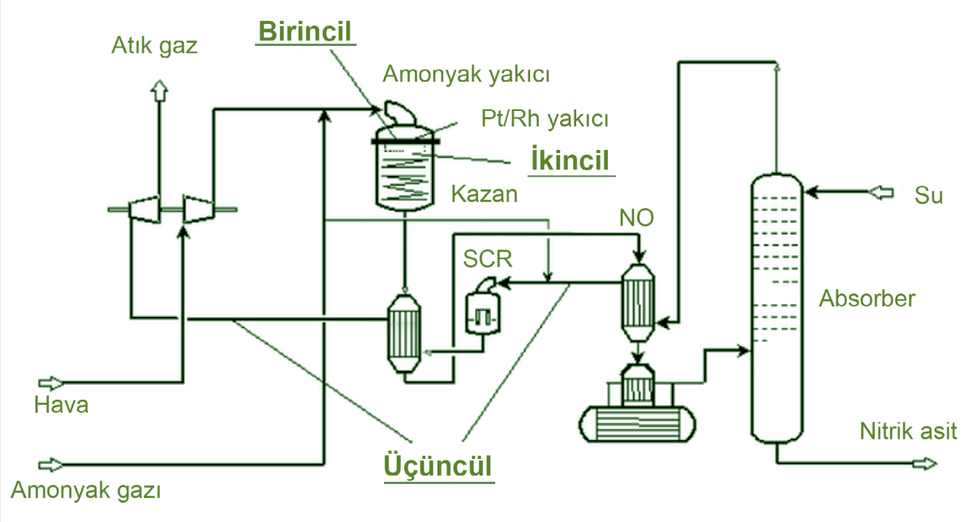
Nitrik asit üretiminden kaynaklanan N_2O emisyonlarının azaltımı için birincil, ikincil ve üçüncül teknolojik çözümler olarak sınıflandırılan üç ana teknoloji mevcuttur. Birincil ve ikincil teknolojiler amonyağın oksidasyonu aşamasında uygulanabilen teknolojiler iken üçüncül teknoloji nihai ürün olan nitrik asidin üretildiği aşamada, mevcut tasarıma ilave bir katalitik veya termal reaktörün kurulmasıyla artık baca gazındaki N_2O'nun azaltılmasını sağlamaktadır.

Birincil teknolojiler arasında yer alan optimize edilmiş bir oksidasyon reaktörü ile yüksek verimli birincil katalizörlerin kombinasyonu sayesinde %40'a kadar azaltım oranlarına ulaşılabilmektedir. İkincil teknoloji azaltım çözümleri ise birincil katalizörlere ilaveten tasarıma eklenmiş ikinci bir katalizörü ifade etmektedir ve %95'e varan azaltım potansiyeline sahiptir. Son olarak, üçüncül N_2O azaltım teknolojisi, artık gazın üretim prosesinden çıkmadan önce arıtılmasını mümkün kılan ayrı bir reaktörün kurulmasını içermektedir. Farklı teknoloji sağlayıcıları tarafından geniş bir yelpazede sunulabilen konfigürasyonlar sayesinde, artık gazın geniş bir sıcaklık aralığı için veya NO_x azaltımı ile kombinasyon halinde yüksek performans elde edilmesi ve tipik olarak %95'in üzerinde (%95-%99 aralığında) bir azaltım oranına ulaşılabilmesi sağlanmaktadır. Nitrik asit üretim sürecinde birincil, ikincil ve üçüncül teknolojilerin proses içerisindeki olası konumları Şekil 82'de gösterilmektedir.

407. Mainhardt, H. (t.y.) N_2O Emissions from Adipic Acid and Nitric Acid Prooduction. Erişim adresi: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3_2_Adipic_Acid_Nitric_Acid_Production.pdf

408. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Chapter 7: The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity-Supplementary Material. Erişim adresi: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_07_Supplementary_Material.pdf

Nitrik asit üretiminden kaynaklanan N_2O emisyonları, diğer sera gazlarıyla karşılaştırıldığında nispeten kolay ve düşük maliyetle azaltılabilmektedir. Teknik azaltım maliyetleri, kullanılan teknolojiye ve belirli tesis özelliklerine bağlı olarak genellikle 0,20 € ila 5,00 €/tCO_2e kadar düşük bir aralıkta değişmektedir. Birincil ve ikincil teknoloji katalizör kullanımı 0,20 € ile 1,00 €/tCO_2e aralığında bir maliyete sahipken üçüncül teknolojinin kullanımında maliyet 5,00 €/tCO_2e'ye kadar artış gösterebilmektedir.[409]



Şekil 82: Nitrik Asit Üretim Sürecinde Birincil, İkincil ve Üçüncül Katalizör Teknolojilerinin Tasarım Dahilindeki Konumları [410]

Türkiye'deki Nitrik Asit Üretim Tesislerinin N_2O Azaltım Potansiyeli

Bölüm 5.1.5.2 Tablo 18'de ifade edildiği üzere, Türkiye'de 2020 yılı itibarıyla nitrik asit üretimi kaynaklı sera gazı emisyonları yaklaşık 2 milyon tCO_2e civarındadır ve bu değer aynı yılın sektörel emisyonlarının yaklaşık %54'ünü oluşturmaktadır. Tesislerin kapasite kullanım oranlarına göre bu oran yıldan yıla değişiklik gösterebilmektedir, ancak tesislerin mevcut gübre üretim teknolojileri dolayısıyla nitrik asit üretiminden kaynaklanan N_2O emisyonlarının sektörün toplam emisyonları içerisindeki ağırlığı %50-%70 aralığında seyretmektedir.

409. Nitric Acid Climate Action Group. (t.y.). Nitrous oxide emissions from nitric acid production. Erişim adresi: https://www.nitricacidaction.org/transforming-the-sector/nitrous-oxide-emissions-from-nitric-acid-production/
410. International Renewable Energy Agency. (2020). Green Hydrogen: A Guide to Policy Making. Erişim adresi: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_Green_hydrogen_policy_2020.pdf

Amonyak Üretimi ve CO_2 Emisyonlarının Azaltım Seçenekleri

Amonyak üretimi küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %1'ini ve kimya sektörü emisyonlarının %33'ünü kapsamaktadır. Amonyağın birincil kullanım amacı nitrojen bazlı kimyasal gübre üretimi olup yıllık toplam amonyak üretiminin yaklaşık %70'i kimyasal gübre üretiminde kullanılmaktadır. Amonyak üretiminden kaynaklanan emisyonların küresel ölçekteki tesiri düşünüldüğünde, bunun büyük bir kısmının gübre sektörü ve bu sektöre ait tedarik zinciri operasyonları sebebiyle ortaya çıktığı görülmektedir.[411]

Geleneksel gri amonyak üretimi doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtların hem hammadde hem de yakıt olarak kullanılması ile yapılabilmektedir. Hammadde olarak fosil yakıt kullanımının amacı reformasyon ile hidrojen üretmektir. Hidrojen eldesi gerçekleştikten sonra hidrojenin havadaki nitrojen ile birleştirilmesi (Haber-Bosch prosesi) yoluyla amonyak üretilmektedir.

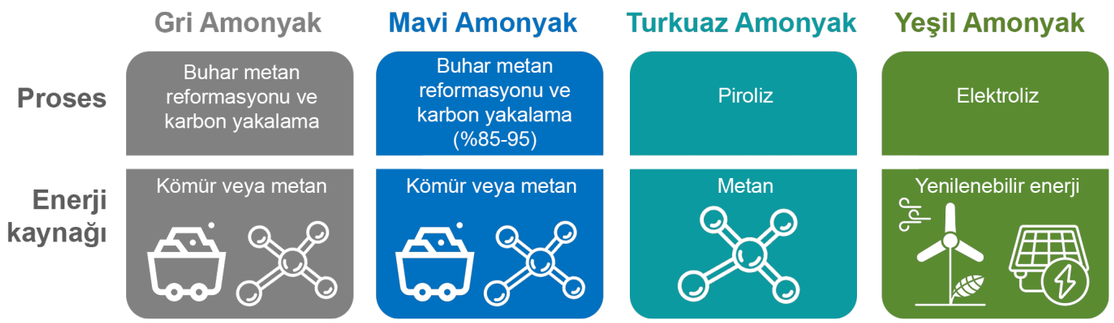
Amonyak üretiminden kaynaklanan emisyonların ortadan kaldırılabilmesi için hem proseste ihtiyaç duyulan hammadde (doğal gaz, vb) hem de geleneksel yakıt kaynağının (doğal gaz, kömür vb.) değiştirilmesi gerekmektedir. Geleneksel amonyak üretimi için kullanılan ve "gri" ya da "kahverengi" ifadesinin yanında, daha düşük emisyonlu amonyak üretim prosesleri için 3 farklı terminoloji kullanımı mevcuttur. (Şekil 83, Şekil 84)

- **Mavi Amonyak**: Geleneksel amonyak üretimi nihayetinde ortaya çıkan proses kaynaklı CO_2 emisyonlarının depolanarak veya depolanmadan doğrudan bir başka üretim hattında değerlendirilmesi durumunda kullanılan terminolojidir. (Örneğin, amonyak üretim tesisinden çıkan CO_2 emisyonlarının üre üretiminde hammadde olarak kullanılması.)

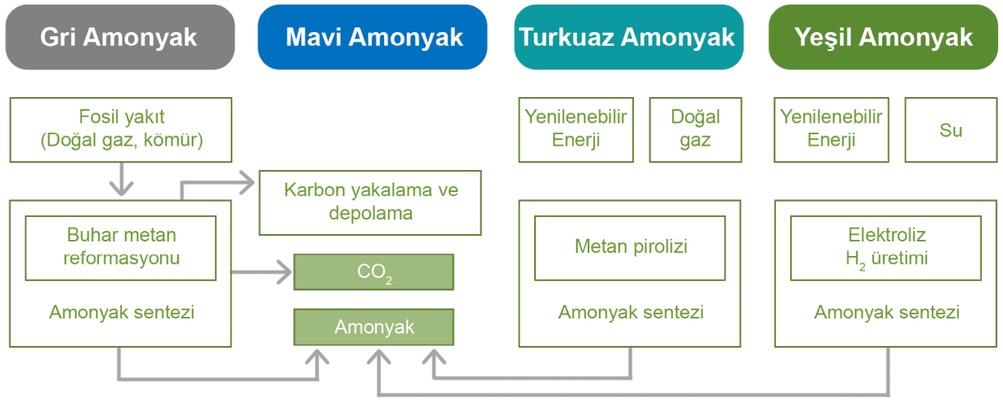
- **Yeşil Amonyak:** Suyun elektrolizi ile elde edilen amonyak türüdür. Burada, elektroliz reaksiyonunda ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır. Yeşil amonyak üretiminde öncelikli amaç yeşil hidrojen üretimi olmakla birlikte, yeşil hidrojen üretiminin ardından yeşil amonyak üretimi gerçekleştirilmektedir. Yeşil amonyak üretiminde hem hammadde kaynağı hem de prosesin ihtiyaç duyduğu enerji kaynağı fosil bazlı olmadığı için yeşil amonyak üretimine yönelik pilot ve küçük ölçekli üretim denemeleri giderek artış göstermektedir.

- **Turkuaz Hidrojen ile Üretilen Amonyak (Turkuaz Amonyak):** Fosil bazlı ya da biyobazlı CH_4 pirolizi ile elde edilen amonyak türüdür.

411. International Fertilizer Association. (2021). World Ammonia Statistics by Region 2021. ve US Geological Survey. (2021). Mineral Commodity Summaries 2021.



Şekil 83: Enerji ve Yakıt Kaynağına Göre Amonyak Türleri[412]



Şekil 84: Üretim Patikasındaki Farklılıklar Bazında Amonyak Türleri

Bölüm 5.1.5.2'de ifade edildiği üzere, 2020 yılında Türkiye'de doğal gazın gübre sektöründe hammadde olarak kullanılmasından kaynaklanan emisyonlar yaklaşık 218.000 tCO_2 iken yakıt olarak kullanılan doğal gaz kaynaklı emisyonlar yaklaşık 327.000 tCO_2'dir. Dolayısıyla, amonyak üretiminde doğal gazdan kaynaklı toplam emisyonlar 545.000 tCO_2 olarak ifade edilmektedir. Bir diğer ifadeyle, amonyak üretiminde doğal gaz kullanımından doğan emisyonlar, kapıdan kapıya üretim süreçlerinde ortaya çıkan emisyon miktarının yaklaşık %15'ine tekabül etmektedir. Türkiye'deki mevcut amonyak üretiminin gri amonyak olduğu düşünüldüğünde, yeşil amonyak üretimine geçilmesi durumunda sektör emisyonlarının %15-%20'sinin azaltılması mümkündür. Bu noktada nitrik asit ünitelerinde N_2O katalizör yatırımlarının (ikincil teknoloji yatırımları) yapılması ve amonyak ihtiyacının yeşil amonyak ile karşılanması durumunda Türkiye'de gübre sektöründeki üretim faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların %70 ve üzeri oranlarda azaltılması mümkündür.

412. International Renewable Energy Agency. (2020). a.g.e.

Belirli Ünite ve Ekipmanlarda Isı Enerjisi İhtiyacının Doğal Gaz Yerine Isı Pompası/Elektrifikasyon Teknolojisiyle Karşılanması

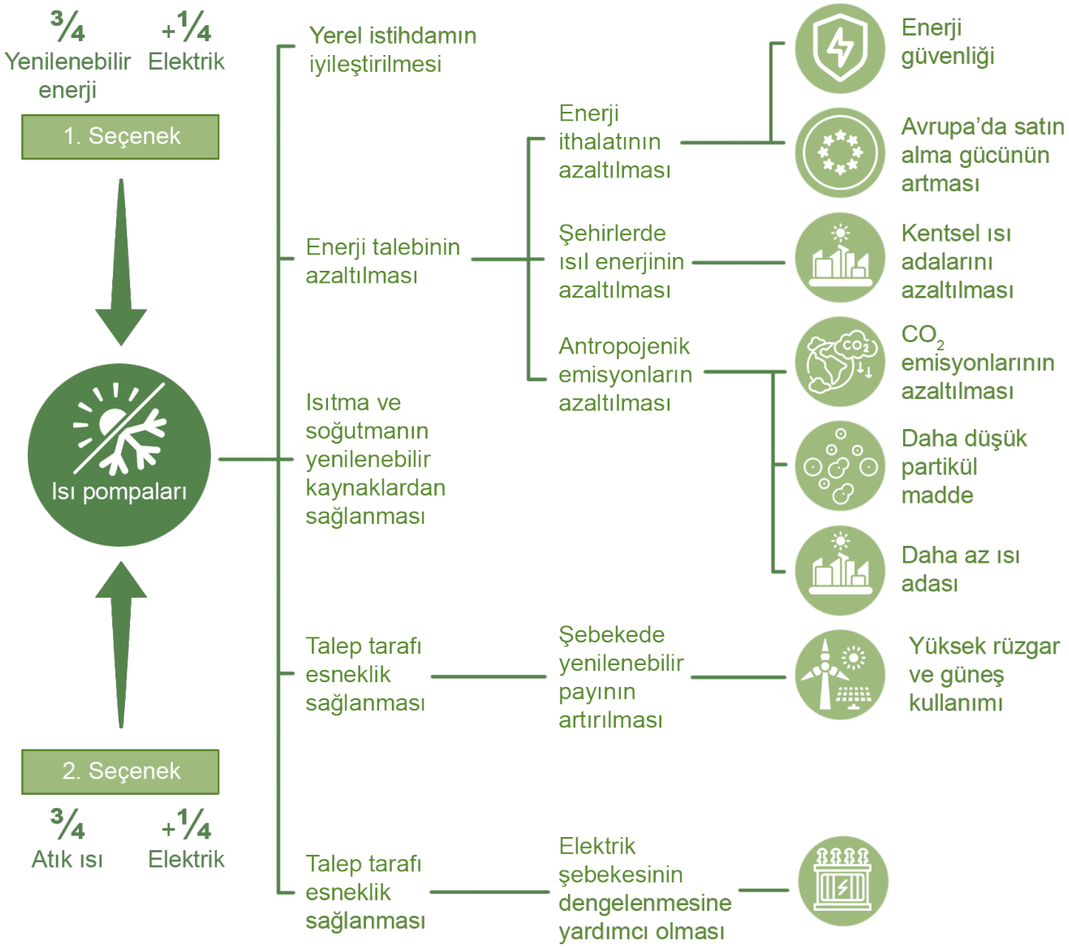
Gübre üretim tesislerinde doğal gaz kullanımına ihtiyaç duyulan yerler genel olarak start-up kazanları, amonyak ısıtma üniteleri, toz kurutma üniteleri, açık buhar ve sıcak su eldesine yönelik hizmet veren ünitelerdir. Söz konusu üretim ünitelerinde ve ekipmanlarda doğal gaz kullanımıyla elde edilmeye çalışılan maksimum sıcaklık 200OC değerinin altında olmakla birlikte söz konusu sıcaklığa ve ihtiyaç duyulacak güç değerlerine ısı pompası teknolojisi ile ulaşmak mümkündür. Günümüz teknolojisinde 190OC değerlerine kadar sıcak su üretebilen, ünite başına 0,75 MW kapasiteye sahip ve saatte 10 ton su buharı üretebilen ısı pompası teknolojileri mevcuttur.[413] Bu teknolojilerin performans katsayısı (Coefficient of Performance – COP) değerleri 1,5-1,8 aralığında değişkenlik göstermektedir.

Isı pompaları hava, su ve karadan (topraktan) beslenebilmektedir ve tesisin bulunduğu coğrafya göz önüne alındığında topraktan beslenecek bir ısı pompası teknolojisinin kullanılması mümkündür. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın sanayi tesislerine bu konuda fikir verebilecek çeşitli teknik yönlendirme dokümanları mevcuttur.[414] İlgili dokümanlarda Türkiye coğrafyasında, farklı bölgeler özelinde toprak nem durumu ve ısı tutma kapasitelerine yönelik bilgiler paylaşılmaktadır. Bu bilgiler, ısı pompası teknolojisine dair yapılacak araştırmaların ilk adımı olarak değerlendirilmektedir; keza üretici firmaların sahaya yönelik edinmek isteyecekleri ilk bilgiler, bölgenin coğrafi özellikleri ve ısı kapasitesidir. Tesislerde ısı pompası teknolojisinin kullanılabileceği alanlar aşağıda belirtilmektedir.

- Soğutma sularından Low Temperature (LT) ısı pompası ile kullanım/ısıtma/ön ısıtma/bölgesel ısıtma sıcak suyu üretimi
- Deniz suyu kaynaklı LT ısı pompası ile kullanım/ısıtma/ön ısıtma sıcak suyu üretimi
- Fosil yakıtla üretilen Low Pressure (LP) buharın Middle Temperature (MT) ısı pompası/elektrikle üretimi
- Kurutma işleminde MT ısı pompası/elektrik rezistans kullanımı

Bilhassa emisyon azaltımına yapabileceği önemli katkılara rağmen ısı pompalarının endüstriyel ölçekte kullanımı hala yeterince yaygın değildir. Günümüzde küresel endüstriyel ısının yalnızca %5'i ısı pompası teknolojisi ile sağlanmaktadır. 2030 yılına kadar 200°C'nin altındaki sıcaklıklardaki endüstriyel ve bölgesel ısıtma talebinin %10'undan fazlasını endüstriyel ısı pompalarının karşılaması beklenmektedir. Isı pompaları için en büyük talep merkezi AB ülkeleri ve Birleşik Krallık'tır. 2030 yılında bu bölgelerde söz konusu ısı pompalarının toplam bölgesel ısıtmanın yaklaşık %15'inden ve endüstriyel ısıtma işlemlerinin %20'sinden sorumlu olması beklenmektedir.[415]

413. Olvondo. (t.y.). The Technology What is a high temperature heat pump and how does it work? Erişim adresi: https://www.olvondote-ch.no/the-technology/
414. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023b). Isı Pompası Kılavuzu ve Fizibilite Aracı. Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=20350
415. McKinsey&Company. (2023). Global Energy Perspective 2023.



Şekil 85: Isı Pompası Teknolojisinin Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Kombine Şekilde İklim Değişilkiği İle Mücadele Çerçevesinde Sağlayabileceği Katkılar[416]

Isı pompalarının operasyonu esnasında önemli miktarda elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla endüstriyel boyutta bir ısı pompası teknolojisi yatırımı yapılmadan önce, yatırımın sera gazı emisyonu azaltımına katkı sunabilmesi için, fizibilite çalışmalarının ihtiyaç duyulacak elektrik enerjisi yenilenebilir kaynaklardan sağlanacak şekilde yapılması gerekmektedir. Karbon fiyatları fizibilite çalışmalarına yeni bir parametre olarak dahil edilmekte ve bu nedenle söz konusu yatırımların cezbediciliği ve ihtiyaca vereceği cevabın gücü her geçen gün artmaktadır.

416. European Heat Pump Association. (2023). Heat pumps: How they work and why they matter. Erişim adresi: https://www.ehpa.org/about-heat-pumps/

Gübre Kullanım Verimliliğinin Artırılması ile Organik ve Organomineral Gübre Kullanımının Artması

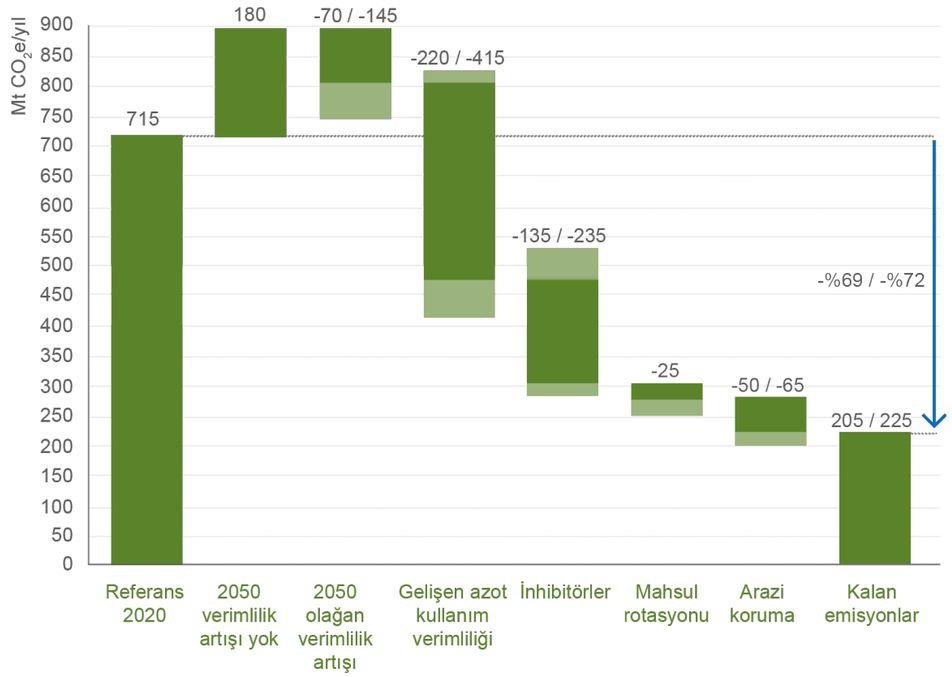
Gübre kullanım verimliliği; kimyevi veya organomineral gübre (yarı kimyevi) içerisindeki azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) elementleri ile bağlı bileşikleri başta olmak üzere gübredeki besin materyallerinin, tarım arazisine uygulanmaları esnasında ve sonrasında bitkiye ne kadar nüfuz edebildiklerini açıklayan bir kavramdır. İlgili literatürde gübre kullanım verimliliği, azot elementinin kullanım verimliliği üzerinden sayısal olarak izlenen bir indikatör olarak ifade edilmektedir. Takip amacıyla azot elementinin seçilmesinin nedeni, kimyevi gübre içerisinde ağırlıkça en çok bulunan ve tarımsal uygulamalarda en çok ihtiyaç duyulan bitki besin materyalinin azot olmasıdır.

Azot kullanım verimliliğine dair indikatör, hasat sırasında belirli bir alandan uzaklaştırılan azot miktarı ile o alana giren toplam azot miktarının oranını göstermektedir. Literatürde gübre/azot kullanım verimliliğinin artırılabilmesi için aşağıda yer alan 4 temel öneri mevcuttur.

- Araziye -ürün tipine göre- doğru gübrenin uygulanması
- Gübrenin yavaş salımlı olması
- Gübrenin uygulandığı tarihin/mevsimsel şartların optimize edilmesi ve buharlaşma kaynaklı kayıpların önüne geçilmesi
- Gübrenin -türüne göre- toprakta doğru noktaya uygulanması

Gübre kullanım verimliliğinin artması tarım arazilerinde yıllık bazda ihtiyaç duyulacak gübre miktarının, yani talebin azalmasını, dolayısıyla gübre üretim ihtiyacının da azalmasını sağlayacak bir faktördür. Uluslararası Gübre Sanayi Birliği (International Fertilizer Association – IFA), sektörün hem Kapsam 1 (üretim aşamasında ortaya çıkan emisyonlar) hem de Kapsam 3 (ürünün kullanımı esnasında ortaya çıkan emisyonlar) emisyonlarının azaltılabilmesi için gübre kullanım verimliliğinin artmasına özellikle önem atfetmektedir. İlgili kurumun Eylül 2022'de yayımladığı "Gübre Kullanımında Emisyon Azaltımı" adlı raporda, kullanım verimliliğinin artırılması ile beraber gübre kullanımından kaynaklanan emisyonların %70 seviyesinde azaltılmasının mümkün olduğu ifade edilmektedir (Şekil 86).[417]

417. International Fertilizer Association. (2022). a.g.e.



Şekil 86: Gübre Kullanım Verimliliğinin Kapsam 3 Emisyonlarının Azaltımına Potansiyel Etkisi [418]

Emisyon azaltımına yönelik önlemlerden bir diğeri organik ve organomineral gübre üretim ve kullanım miktarının artırılmasıdır. Söz konusu gübre grubunun azot kaynağını amonyak yerine organik kaynaklardan sağlaması ile amonyak ve amonyağa bağlı üretim süreçlerinde ortaya çıkan emisyonların azaltılması mümkündür. Bazı organomineral gübre türleri, piyasadan doğrudan satın alınan kimyevi gübrelerin %50-%60 oranında leonardit vb. bir malzeme ile karıştırılması yoluyla elde edilmektedir. Böylece kimyevi gübre, nihai kullanım alanına ağırlıkça yarı yarıya seyreltilerek transfer edilmekte ve dolayısıyla üretim süreçlerinden kaynaklı emisyonlar yarı yarıya azaltılabilmektedir.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 18 Mart 2024 tarihinde yayımlanan "Türkiye Gübre Sektörü İçin Düşük Karbonlu ve İklim Dirençli Yol Haritası" raporu kapsamında yapılan 2020-2050 projeksiyonu çalışmasına göre Türkiye'de gübre kullanım verimliliğinin %50-%55 bandına taşınması mümkündür. Söz konusu çalışma gübre kullanım verimliliğinin artması ile ihtiyaç duyulacak gübre kullanımının ve dolayısıyla gübre üretim miktarlarının düşmesini öngörmektedir.[419]

Buna ek olarak, organik ve organomineral gübre türlerinin kullanımının yaygınlaşması, tarımda gübre kullanım verimliliğini artıracak ve Türkiye'deki toplam gübre talebini azaltacak bir potansiyele sahiptir. Aynı çalışmaya göre gübre kullanım verimliliğine ilave olarak organik ve organomineral gübre kullanımının da artması ile kimyevi gübre üretiminden kaynaklı emisyonların %9-10 oranında azaltılması mümkündür.

Enerji Verimliliği, Yenilenebilir Enerji ve Elektrifikasyon

Türkiye'de gübre sektöründe üretim yapan büyük firmaların geçmişi 40-50 yıl öncesine dayanmaktadır ve 2000'li yıllarda yapılan özelleştirmeler ile bu üretim tesisleri özel sektöre devredilmiştir. Söz konusu özelleştirmeler sonrasında tesislerde bazı modernizasyon çalışmaları başlatılmış olsa da birçok tesis üretim faaliyetlerine eski teknolojik altyapılar ile devam etmektedir. Dolayısıyla, bu tesislerde enerji verimliliğine yönelik önemli fırsatlar mevcuttur.

Büyük gübre tesislerinde 15 yıl ve üzeri teknolojiye sahip pompa, fan ve kompresör kullanımları yaygındır. Elektrik motorlarına yönelik detaylı envanter eksikleri olmakla birlikte IE2 gibi enerji verimlilik sınıfı düşük motorların kullanımına devam edilen noktalar bulunmaktadır. Ayrıca, ünite tasarımlarının modernizasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, amonyak üretiminde son 10-15 yılın teknolojisine sahip olan bir tesiste enerji verimliliği açısından yakıt olarak doğal gaz kullanımı diğer amonyak üretim tesislerine kıyasla yaklaşık %15-%20 daha düşüktür.

"Türkiye Gübre Sektörü İçin Düşük Karbonlu ve İklim Dirençli Yol Haritası" raporuna göre gübre sektöründe enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı ve ısı pompası haricindeki elektrifikasyon çalışmaları sektörün toplam emisyonlarını %3-%4 civarında azaltma potansiyeline sahiptir. Söz konusu potansiyel özellikle elektrik motorlarında verimlilik, tesis içi atık ısıların geri kazanılması ve doğal gaz tüketiminin verimliliği ile ilişkilidir.[420]

Mevcut güncel teknoloji ile enerji verimliliği ve elektrifikasyon üzerine kısa vadede yapılabilecek uygulamalar aşağıdaki gibidir.

- Elektrik motorlarında IE4 dönüşümü
- 15 yıldan daha fazla yaşa sahip elektrik tahrikli turbo makinelerin (pompa, fan, kompresör) modernizasyonu
- Kondens geri dönüşüm oranının optimizasyonu ve flaş buhar geri kazanımı
- H_2SO_4 kurutma ve absorbsiyon kulelerinde atılan asit ısısından kullanım/ısıtma/ön ısıtma/ bölgesel ısıtma sıcak suyu üretimi
- Buhar tahrikli turbo makinelerin elektrifikasyonu

418. International Fertilizer Association. (2022. (2022). a.g.e.
419. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023b). Türkiye Gübre Sektörü İçin Düşük Karbonlu ve İklim Dirençli Yol Haritası.
420. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023b). a.g.e

5.2.5.2. Sektörel Kısıtlar

Emisyon azaltımı ile ilgili kısıtlar hem ekonomik hem çevresel hem de uygulama aşamasındaki zorluklara yönelik boyutlar taşımaktadır. Ekonomik kısıtların aşılabilmesi için sektörde yeni teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi ve CO_2 fiyatları üzerine odaklanılması gerekmektedir. Uygulama esnasında yaşanacak zorlukların ve uygulama neticesinde doğa ve diğer sektörler üzerinde oluşabilecek olumsuz etkilerin ise geniş yelpazeli paydaş katılımıyla ve detaylı bir şekilde çalışılması gerekmektedir.

Karbonsuzlaştırma teknolojilerine yatırım için finansman/teşvik eksikliği

Türkiye'deki gübre üreticileri hammadde bakımından (özellikle doğal gaz, amonyak ve fosfat kayası) yaklaşık %90 gibi büyük bir oranda yurt dışına bağımlıdır. Dolayısıyla tesislerin hangi kapasite ile çalıştırılacağı uluslararası gübre hammaddesi fiyatları ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin, uluslararası piyasadaki amonyak fiyatları ile yerli üretim maliyetinin rekabet edemediği dönemlerde amonyak üretim tesislerinin aylarca çalıştırılmadığı ve yerli üreticilerin al-sat modeline döndüğü dönemler yaşanmakta olup Türkiye'deki gübre üreticileri uluslararası piyasada kırılgan bir pozisyondadır. Bu kırılgan yapı itibarıyla gübre üreticilerinin şahsi çabalarla yeşil amonyak üretimi, ısı pompası, yenilenebilir enerji üretimi gibi büyük yatırımlar yapması risk teşkil etmektedir. Bu nedenle, düşük karbonlu yatırımlar için teşviklerin artırılması ve mevcut teşvik mekanizmalarından eski model ve yüksek emisyonlu üretim teknolojilerine yönelik olanların kaldırılması önem arz etmektedir.

Elektrik şebekesi gibi yeni altyapı yatırımlarında gecikme

Gübre sektöründe emisyon azaltımı; ulusal elektrik üretim ve iletim şebekelerine yatırım yapılması, yenilenebilir enerji üretiminin artırılması ve doğal gaz şebekesine hidrojen harmanlanması gibi hedeflerin gerçekleştirilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Elektrifikasyon ile emisyonların azaltılmasına dair çalışmalar şebekeden düşük/sıfır karbonlu elektriğe ve yerinde yenilenebilir enerji üretimine olan talebi artıracak, bu da daha fazla yenilenebilir enerji kaynağının şebekeye entegrasyonuna izin vermek için mevcut şebekelerin modernizasyonuna yönelik şebeke yatırımları gerektirecektir.

Yenilenebilir enerji, hidrojen vb. kaynakların yetersizliği

Yeşil amonyak, ısı pompası ve elektrifikasyon, organik/malzeme ve besin kullanım verimliliğinin mevcudiyeti, emisyon azaltımı uygulamaları açısından kritik önlemler arasında yer almaktadır. Azaltım teknolojileri için gerekli yatırım ihtiyacı miktarlarından da anlaşılabileceği üzere, yenilenebilir enerjiye önemli bir kaynak ayrılması gerekmektedir. Söz konusu kaynaklar üretimle ilişkili bölgelerde arazi ve su kullanım alışkanlıklarını da değiştirecektir. Bu noktada özellikle arazi ve su kaynakları başta olmak üzere çevre üzerinde olumsuz etkileri olabilecek önemli miktarda yatırımın doğal kaynaklar üzerine etkisi detaylı bir şekilde çalışılmalıdır.

Doğal kaynakların mevcudiyeti (örn. su, organik madde)

Organik ve organomineral gübre üretiminde hammmadde olarak kullanılabilecek organik kaynakların mevcudiyeti önem arz etmektedir. Örneğin, Türkiye'de biyogaz üretim tesislerinin bir kısmı organomineral gübre üretim operasyonuna başlamış olup gübre içeriğinde organik malzeme olarak anaerobik çürütücü çıkışı "digestate" kullanmaktadır. Sektörün devamlılığı için biyogaz tesislerinin bulundukları bölgede organik atık bularak çalışmaya devam edebilmesi ve biyogaz tesisi işletmelerinin karlılığını koruyabilmesi organik ve organomineral gübre üretimi açısından önemlidir.

Yeni önlemlerin (akıllı tarım, yavaş salımlı gübreler vb.) uygulanmasına direnç

Akıllı tarım teknikleri ancak gübrenin ürün olarak nihai tüketicide (çiftçide) değerlendirilebileceği bir konudur. Gübre kullanım verimliliği arttıkça gübre üretimine duyulan ihtiyaç da azalacak, böylece üretim kaynaklı mutlak emisyonlar dolaylı şekilde azaltılmış olacaktır. Bu noktada sektöre dair paydaşların akıllı tarım tekniklerini benimsemesi ve uygulamaya çalışması kritik rol oynayacaktır. Söz konusu paydaşlar tarafından kurgulanabilecek çiftçi eğitimleri benzeri çalışmalar gübre kullanım verimliliğinde önemli bir role sahip olmakla birlikte, bu çalışmaların uygulamada ne oranda hayata geçirilebileceği yine sektör paydaşlarının direnciyle orantılı olarak şekillenecektir.

Diğer sektörler üzerindeki etki

Yeni yatırımların uygulanmasının ve yeni gübre türlerinin (organik ve organomineral) daha yaygın kullanımının potansiyel etkileri gübre üretim maliyetini artıracak ve tarımsal gıda endüstrisi, tekstil (örneğin pamuk üretimi) vb. sektörler için talebin azalmasına ve/veya girdi maliyetinin artmasına neden olabilecek, hatta gıda güvenliğini etkileyebilecektir.

Düşük CO_2 fiyatları

Türkiye, pilot uygulama ile bir ulusal ETS başlatmayı ve belirli sektörlerde yıllık emisyonları 500.000 tCO_2e'nin üzerinde olan Kategori C tesislere bir süre ücretsiz tahsisat sağlamayı planlamaktadır. Türkiye'den AB'ye gübre ihracatının sınırlı olması, SKDM ile ilgili risklerin nispeten düşük olması ve gübre üretiminin AB'nin "karbon kaçağı" riski bulunan sektörler arasında yer alması nedeniyle alt değer zincirinde (tarım ve gıda üretimi) maliyet artışını önlemek amacıyla, pilot aşamada gübre tesislerine ücretsiz tahsisat yapılması olası görünmektedir. Ancak bu durum, karbonsuzlaştırma yatırımlarının gecikmesine ve sektörün karbonsuzlaşmasının yavaşlamasına neden olacaktır. Gübre tesislerinin çoğunun eski (45+ yıl) olduğu düşünüldüğünde, mevcut tesislerin tarihsel emisyon yoğunluklarının AB ortalamasına kıyasla daha yüksek olması mümkündür.

Gübre Sektöründe İklim Değişikliği, ETS ve SKDM ile İlişkili Risk ve Fırsatlar

Zayıf Yönler/Tehditler/Riskler	*Güçlü Yönler/Fırsatlar*
• Amonyak, doğal gaz gibi kritik girdilerde/ hammaddelerde yüksek oranda dışa bağımlılık • Hammadde fiyatlarındaki artışın Türkiye'deki gübre üretim tesislerinin kapasite kullanımını olumsuz yönde etkilemesi • Mevcut tesislerin büyük ölçüde eski ve düşük verimli olması • Uluslararası piyasada, büyük doğal gaz ihracatçısı ve gübre üreticisi ülkelerle rekabet dezavantajı • Gübre ihracatına getirilen dönemsel kısıtlamalar • Yeni teknolojilere yönelik yatırımların yavaş ilerlemesi • Uluslararası rekabet • Tarım arazilerinde azalma • Döviz kuru ve uluslararası emtia fiyatlarındaki dalgalanmalar • İklim/çevre konularında ulusal/uluslararası mevzuatta beklenen gelişmeler • Emisyon değerlerine yönelik müşteri talepleri	• Hammadde ve pazarlara olan coğrafi yakınlık • Gübre üreticisi olan firmaların, güçlü finansal, teknik ve kurumsal altyapısı • Yetkin insan kaynakları kapasitesi • Piyasa eğilimlerinin yakından takip edilmesi ve hızlı adaptasyon yeteneği • Türkiye ve yurt dışında artan gübre talebi • Azalan yenilenebilir enerji yatırım maliyetleri • Organik hammadde kaynaklarına erişim imkanı • Düşük karbonlu teknolojiler konusundaki gelişmeler • Yeşil dönüşüm konusunda finans/teşvik olanaklarının artması

5.3 . SKDM Kapsamındaki Sektörlerin Dönüşüm İhtiyaçlarının Genel Değerlendirmesi

Dönüşüm ihtiyaçları teknik ve operasyonel ihtiyaçlar olarak iki ana başlıkta incelenebilmektedir. Teknik açıdan bakıldığında, öncelikli olarak yüksek miktarda gömülü emisyona sahip hammadde kullanımının azaltılması gerekmektedir. Türkiye'nin, örneğin birincil alüminyumda dışa bağlı bir ithalat ülkesi olması nedeniyle, dışarıdan alınan alüminyumdaki gömülü emisyon miktarına ilişkin politikaların ve alternatif kaynakların hazırlanması gerekmektedir. Ayrıca, daha düşük emisyonlu kaynaklara daha fazla yönelinmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Üretim proseslerinde emisyon azaltımı planlamalarının yapılması da büyük bir önem taşımakta olup müstakilen proses bazlı çalışmaların başlatılması gerekmektedir. Ergitme yapan işletmelerde emisyonların azaltılmasına ergitme (yani yanma) kaynaklı emisyonlardan başlanmalıdır. Burada ciddi bir azaltım ihtiyacı bulunmaktadır ve enerji verimliliğinin sağlanması ile elektrikli fırınların kullanımına geçilmesine de öncülük edilmesi gerekmektedir. Diğer proseslerde de ölçümler yapılarak düzenli periyotlarla azaltıcı önlemlerin sağlanması için çalışmalar yapılmalı ve bu çalışmalar finansal parametreler içerisine yerleştirilmelidir.

> **"Organizasyonel, kültürel ve yönetimsel açıdan ihtiyaçlara bakıldığında ise şirketlerin kendi içerisinde sürdürülebilirlik kültürünü yaygınlaştırması, bu alanda uzmanlaşması, ölçüm yapan, raporlayan ve takip eden sistemler kurması oldukça önemlidir."**

Tüm bunların doğru ve düzenli bir biçimde yapılabilmesi için bu şirketlerde bir sürdürülebilirlik departmanı ya da biriminin kurulması önerilmektedir. Söz konusu adımların atılmaması halinde şirketler ileride yüksek vergiler ödemek zorunda kalacak, yatırım, banka kredileri ve benzeri konularda sorunlar yaşamaya başlayacaktır. Bu sebeple, sektörün bu süreçten en az zararla ve mümkünse kârla çıkabilmesi açısından tüm şirketlerin en kısa sürede politikalara uyum sağlaması hayati önem taşımaktadır.

Emisyon azaltımı için sadece teknolojik faaliyetler yeterli olmamaktadır. Emisyon değerlerinin dikkatli ve tutarlı bir şekilde takip edilmesi gerekmektedir.

"Sera gazı emisyon envanterlerinin tutarlı ve düzgün bir biçimde oluşturulması, tesis sınırları ve kapsamla ilgli tanımların yapılması, ihtiyaç duyulduğunda kaynak ve yutaklarla ilgili bilgilerin gözden geçirilmesi ve revize edilmesi, olası bütün değişiklikleri takip edecek şekilde insan kaynaklarının güçlendirilmesi gerek SKDM kapsamında yer alan gerekse de ileride bu kapsama girme olasılığı bulunan bütün sektörler için öncelikli konuların başında gelmektedir."

Üretim sürecinde ve tedarik zincirinde meydana gelen sera gazı emisyonlarının hesaplanmasına enerji tüketimi, malzeme kaynakları, atık yönetimi ve ulaşım gibi faktörler etki etmektedir. Mevcut durumun anlaşılmasına ve geleceğe yönelik çevresel hedefler belirlenmesine katkı sağlayacak bu faktörlere ilişkin olası önlemler aşağıda açıklanmaktadır.[421]

1. **Lojistik ve Taşımacılık Optimizasyonu:** Ürünlerin taşınması ve dağıtım süreçleri sırasında yakıt verimliliğini artırmak, emisyonların azaltılmasına da katkı sağlamaktadır. Bu doğrultuda şirketlerin rota optimizasyonu, taşıma araçlarının verimliliğini artırıcı teknoloji kullanımı ve alternatif taşımacılık yöntemlerini değerlendirmesi önerilmektedir.
2. **Enerji Verimliliği:** Üretim süreçlerinde enerji verimliliğini artırmak, karbon ayak izini azaltmada önemli bir adımdır. Şirketlerin enerji tüketimini optimize etmek için enerji verimli makineler kullanması, üretim hattını iyileştirmesi ve enerji yönetim sistemlerini benimsemesi artık yalnızca bir seçenek değil, büyük ölçüde bir zorunluluktur.
3. **Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm:** Atık miktarını azaltmak ve geri dönüşümü teşvik etmek, çevresel sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Üretim süreçlerinde atık miktarını minimize etmek için önlemler almak ve geri dönüşüm sistemleriyle iş birliği yapmak, bu alanda atılacak kritik adımlar arasında yer almaktadır.
4. **Emisyonların Raporlanması:** Emisyonların izlenmesi ve raporlanması, şirketlerin karbon ayak izini anlamak ve yönetmek açısından değerlidir. Şirketlerin gönüllü raporlama inisiyatiflerine katılması ve emisyonlarını düzenli olarak izlemesi, azaltıma dair ilerlemenin değerlendirilmesi ve hedeflere ulaşılması açısından önemli bir adımdır.
5. **Ürün Tasarımı ve İnovasyon:** Ürünlerin çevresel etkilerini azaltmak için tasarım sürecinin gözden geçirilmesi, daha enerji verimli ürünler tasarlanması, malzeme kullanımının optimize edilmesi ve ürünlerin ömrünün uzatılması; emisyonların azaltılmasına da katkı sağlamaktadır.
6. **Yeşil Tedarikçiler ve İş Birliği:** Şirketlerin çevresel sürdürülebilirlik konusunda benzer hedeflere sahip yeşil tedarikçilerle iş birliği yapması, çevre dostu malzemelerin veya bileşenlerin kullanılmasını ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin benimsenmesine katkı sağlamaktadır. Yeşil tedarikçilerle yapılan iş birlikleri, emisyonların azaltılmasında da belirleyici bir role sahiptir.
7. **Ürün Geri Dönüşümü ve Atık Yönetimi:** Üretilen ürünlerin geri dönüşüm süreçlerinin ve atık yönetiminin dikkate alınması, malzemelerin tekrar kullanılmasını ve atıkların azaltılmasını sağlamaktadır.
8. **Çalışan Farkındalığı ve Eğitimi:** Çalışanların çevresel sürdürülebilirlik konusunda farkındalığını artırmak için eğitim programları düzenlenmesi ile enerji verimliliği, atık yönetimi ve sürdürülebilir uygulamalar konusunda bilinçlenmesi, emisyonları yönetme çabalarına aktif katılımı mümkün kılmaktadır.
9. **Sürekli İyileştirme ve İzleme:** Emisyonları yönetmek için sürekli olarak stratejilerin gözden geçirilmesi, iyileştirme fırsatlarının değerlendirilmesi ve ilerlemenin izlenmesi gerekmektedir.

421. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2023c). a.g.e.

6. SKDM Sektörlerinde Yeşil Mutabakat'a Uyum Çalışmaları

Emisyon Azaltım Projeleri

İnovasyon Artırıcı Projeler

Dijital Dönüşüm Projeleri

Tedarik Zinciri Yönetimine Yönelik Projeler

6. SKDM Sektörlerinde Yeşil Mutabakat'a Uyum Çalışmaları

6.1. Emisyon Azaltım Projeleri

SKDM kapsamındaki sektörler başta olmak üzere şirketlerin AYM'ye uyum sağlaması, imalat sanayii ve dolayısıyla finansal sistem açısından önem arz etmektedir. AYM'ye uyum çalışmaları kapsamında özel sektörün katkıda bulunması beklenen konuların başında sera gazı emisyonlarının azaltılması gelmektedir. AYM'nin 2050 yılına kadar net sıfır sera gazı emisyonuna sahip bir ekonomi olma yönündeki nihai hedefi için karbon nötr iş yapış şekillerinin şirketlerin faaliyetlerine entegrasyonu hızlandırılmalıdır.

> **"Özellikle karbon yoğun olarak tanımlanan SKDM sektörlerinde gerçekleştirilen emisyon azaltmaya yönelik projeler, yeşil dönüşümü ivmelendirerek AYM'ye olan uyumu artırmaktadır."**

Emisyon azaltımına yönelik girişimlere başlamadan önceki en temel adım, şirketlerin emisyonlarını standartlara uygun, eksiksiz ve 3. taraflarca doğrulanmış şekilde hesaplamasıdır. Kurumların emisyon hesaplama altyapılarını oluşturması, hesaplama sınırlarını belirlemesi, sınırlar dahilindeki tüm emisyon kaynaklarını değerlendirmesi ve verilerin doğruluğunu teyit etmesi gerekmektedir. ISO 14064 Sera Gazı Emisyon Yönetim Sistemi[422] , GHG Protokolü[423] ve IPCC Yönergeleri[424] gibi emisyon hesaplama yaklaşımları, gerekli adımları tanımlayarak ve kurum içinde konuya sahiplik kazandırarak süreçlere yardımcı olmaktadır. Özellikle demir-çelik, alüminyum ve çimento gibi sektörlerdeki büyük oyuncular gelişmiş emisyon izleme ve raporlama sistemleri kullanmaktadır. Ayrıca bazı tesislerde kurulu Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemleri (Continuous Emission Monitoring Systems – CEMS)[425], üretim süreçlerinden elde edilen gerçek zamanlı verileri kullanarak şirketlerin emisyon değerlerinin kesintisiz izlenmesini sağlamakta ve emisyon azaltım hedeflerine yönelik ilerlemeyi takip etmesine destek olmaktadır.

422. International Organization for Standardization. (2018). ISO 14064-1:2018 Greenhouse Gases. Erişim adresi: https://www.iso.org/standard/66453.html
423. Greenhouse Gas Protocol. (t.y.). GHG Protocol. Erişim adresi: https://ghgprotocol.org/
424. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Erişim adresi: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/
425. United States Environmental Protection Agency. (t.y.). EMC: Continuous Emission Monitoring Systems. Erişim adresi: https://www.epa.gov/emc/emc-continuous-emission-monitoring-systems

Doğru sera gazı emisyonu envanterlerinin oluşturulması; temel emisyon kaynaklarının belirlenmesine, yüksek emisyona neden olan süreçlerin tespit edilmesine ve iklim politikaları doğrultusunda azaltıma yönelik yatırım stratejilerinin oluşturulmasına olanak tanımaktadır.[426] Emisyon azaltım hedeflerinin belirlenmesinde Bilim Temelli Hedefler Girişimi (SBTi), CDP ve TCFD gibi uluslararası insiyatifler şirketlere önemli katkılarda bulunmaktadır. SBTi, şirketlerin karbon emisyonlarını bilimsel verilere dayalı hedeflerle uyumlu hale getirerek 1,5°C veya 2°C iklim hedefleri doğrultusunda emisyon azaltım taahhütleri geliştirmelerine yardımcı olmaktadır. Hedef belirleme süreçlerinde teknik destek sağlayan SBTi, kurumları sürecin her aşamasında yönlendirmektedir.[427] SKDM sektörlerinden alüminyum, çimento, demir-çelik ve enerji için sektör spesifik emisyon profilleri ve azaltım potansiyellerine dayanan özel kılavuzlar bulunmaktadır.[428] CDP ve TCFD ise karbon emisyonlarının raporlanmasını teşvik ederek şirketlerin iklim değişikliği ile ilgili somut adımlar atmasında ve karbon azaltım stratejilerinin kamuoyuna sunulmasında itici güç olmaktadır.

Belirlenen hedeflerin yerine getirilebilmesi için kuruluşlar öncelikli olarak proseslerindeki potansiyelleri değerlendirmekte ve bu yönde projeler geliştirmektedir. Bu aşamada kuruluş tarafından kontrol edilen veya sahip olunan kaynakların yol açtığı doğrudan sera gazı emisyonlarının (Kapsam 1 emisyonları) ve elektrik, buhar, ısı veya soğutma enerjisi satın alımlarıyla ilişkili dolaylı sera gazı emisyonlarının (Kapsam 2 emisyonları)[429] azaltımı hem doğrudan kontrol sağlanabildiği hem de maliyet tasarrufuna yol açabildiği için öncelik kazanmaktadır. Bu iki temel emisyon türünde düşüş sağlanması çoğu kez belli proses yatırımları yapılması, enerji verimliliği projelerinin uygulanması, alternatif yakıt ve hammaddelerin kullanılması ve yenilikçi teknolojilerin süreçlere entegre edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bölüm 5'te detaylı olarak ele alınan azaltım seçeneklerinde görüldüğü üzere, enerji verimliliğinin artırılması, tüm sektörlerde sera gazı emisyonlarının azaltılmasında kullanılan yaklaşımların başında gelmektedir. Daha verimli ekipmanlara/proseslere/yardımcı tesislere geçilmesine, enerji yönetim sistemlerinin uygulanmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik projeler emisyon azaltımının yanı sıra işletme maliyetlerini de düşürerek ekonomik fayda sağlamaktadır.

Üretimde alternatif yakıt ve hammaddelerin kullanılması da etkili bir emisyon azaltım yöntemidir. Geleneksel fosil yakıtlar yerine biyoyakıtlar, atık yakıtları ve hidrojen gibi kaynakların kullanılması süreçlerdeki karbon ayak izini azaltmaktadır. Geri dönüştürülmüş veya organik hammaddelerin kullanımı ise hammadde üretim süreçlerinden kaynaklanan emisyonları ekarte etmektedir. Emisyon azaltımına yönelik projelerde kullanılan bir diğer etkili yaklaşım ise yenilikçi teknolojilerin üretim süreçlerine entegre edilmesidir. Atık ısı geri kazanım teknolojileri, karbon yakalama ve depolama sistemleri, akıllı sensörler ve otomasyon sistemleri süreç iyileştirmelerinde ve karbon ayak izini düşürmede faydalar sağlamaktadır.

426. Qian, Y., Li, Y., Hao, Y., Yu, T., & Hu, H. (2024). Greenhouse gas control in steel manufacturing: inventory, assurance, and strategic reduction review. Carbon Research, 3(1), 27. https://doi.org/10.1007/s44246-024-00118-z
427. Science Based Targets initiative . (t.y.). How it works. Erişim adresi: https://sciencebasedtargets.org/how-it-works
428. Science Based Targets initiative. (t.y.). Standards and guidance. Erişim adresi: https://sciencebasedtargets.org/standards-and-guidance
429. United States Environmental Protection Agency. (t.y.). Scope 1 and Scope 2 inventory guidance. Erişim adresi: https://www.epa.gov/climateleadership/scope-1-and-scope-2-inventory-guidance

6.2. İnovasyon Artırıcı Projeler ve Dijital Dönüşüm Projeleri

SKDM'ye uyum sağlamak ve AYM hedeflerine ulaşmak için inovasyon, tüm sektörler açısından küresel bir öncelik haline gelmiştir. Dünyanın önde gelen firmaları, bilgi teknolojileri (BT) altyapısı, Ar-Ge çalışmaları ve endüstriyel simbiyoz gibi alanlarda inovatif çözümler geliştirerek rekabetçiliğini korumakta ve sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmaktadır. Bu alanda kurumlara finansman desteği saylayan AB İnovasyon Fonu (EU Innovation Fund) da öne çıkmaktadır. İnovasyon Fonu, enerji ve sanayi odaklı iklim politikası için geliştirilmiş bir AB fonudur.[430]

Bu fon; Avrupa sanayiini karbonsuzlaştırmak, rekabet gücünü artırmak ve iklim nötrlüğe geçişi desteklemek için piyasaya çözümler sunmayı amaçlamaktadır. İnovasyon Fonu, AB'nin Paris Anlaşması kapsamındaki ve ekonomi genelindeki taahhütleri ile REPowerEU Planı, Hidrojen Bankası, Yeşil Mutabakat Sanayi Planı ve Net-Sıfır Sanayi Yasası'nda ortaya konan iklim ve enerji önceliklerini yerine getirmek için kilit bir finansman aracıdır. Gerek İnovasyon Fonu gerek bağımsız fonlar aracılığıyla ve gerekse de başka finansman yöntemleriyle yürütülen/yürütülmekte olan örnek projelerden bazıları aşağıdaki gibidir:

Almanya'daki bir çimento fabrikasında AB İnovasyon Fonu aracılığıyla başlatılan bir projede, yılda yaklaşık 700.000 tCO_2 yakalayacak bir karbon yakalama ve depolama sisteminin hayata geçirilmesi planlanmaktadır. Tesis aynı zamanda ısı enerjisi üretiminde fosil yakıt yerine biyokütle kullanacak olup Avrupa'da tamamen karbondan arındırılmış çimento ve klinker üretebilen ilk çimento tesislerinden biri olacaktır. Tesisin 2026 yılında inşaatına başlanması ve 2029 yılında işletmeye alınması planlanmaktadır.[431]

AB İnovasyon Fonu kapsamındaki bir diğer projede, İsveç'te bir demir-çelik firması; yeşil demir-çelik üretimi için yenilenebilir hidrojen kullanan entegre bir fabrika inşa etmeye hazırlanmaktadır. Üretilen yeşil çeliğin ilk on yıl boyunca sera gazı emisyonlarını 33,4 milyon tCO_2e veya ilgili ETS kıyas ölçütü (benchmark) değerlerine göre %87,3 oranında azaltması beklenmektedir. Üretilen hacim, AB'deki toplam yassı çelik üretiminin %5'ine eşit olacaktır. Fosil yakıtsız elektrik kullanarak yenilenebilir hidrojen üretimi de tesisin entegre bir parçası olacaktır. Üretilen hidrojen, 2030 yılına kadar piyasaya 5 milyon ton yeşil yüksek kaliteli çelik sunulmasını sağlayacaktır.[432]

430. European Commission. (2020a). a.g.e.
431. European Commission. (2024). Innovation Fund Project. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/assets/cinea/project_fiches/innovation_fund/101133005.pdf
432. European Commission. (2024). a.g.e.

İtalya'da bir gübre şirketi, emisyonlarını azaltmak amacıyla sürdürülebilir azot üretimi tekniklerini benimsemektedir. Tesis, yenilenebilir enerji ile karbon yakalama ve depolama yöntemiyle düşük emisyonlu amonyak üretmektedir. Bu sayede gıda sektörüne daha az karbon ayak izine sahip gübre ve nakliye sektörüne düşük emisyonlu yakıt sağlamaktadır. Azot üretimi emisyonlarının yüzde 95'ine kadarını ortadan kaldıran bu teknoloji sayesinde 2005 yılından bu yana şirket, Kapsam 1 emisyonlarını yaklaşık %44 oranında azaltmıştır.[433]

> **"Üretim süreçlerinin optimize edilmesinin sürdürülebilirlik kapsamındaki faydaları gün geçtikçe daha fazla ortaya çıkmaktadır. Dijitalleşmenin getirdiği yenilikler; özellikle veri analitiği ve IoT gibi teknolojiler, sera gazı emisyonlarının daha doğru ve şeffaf bir şekilde izlenmesini ve raporlanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda enerji verimliliğini artırarak emisyonları azaltmada önemli bir katkı sunmaktadır."**

İsveç merkezli global bir çimento şirketinin satışa yönelik tedarik zinciri faaliyetlerinde otomasyon süreçlerini iyileştirerek emisyon azaltımı sağlaması bu kapsamda yürütülen örnek çalışmalar arasında yer almaktadır. Ayrıca, küresel düzeyde faaliyet gösteren bir çelik şirketinde üretim süreçlerini iyileştirmek ve verimliliği artırmak için robotik, makine öğrenimi ve gelişmiş analiz yöntemleri kullanılmaktadır.

> **"Hem SKDM sektörlerinde hem de diğer sektörlerde hurda/fire azaltımından katkı kimyasallarının etkin dozda kullanımına, geri dönüştürülmüş ve/veya geri kazanılmış ürünlerin hammadde olarak daha fazla değerlendirilmesinden enerji tüketim karakteristiklerinin optimize edilmesine kadar birçok alanda dijital teknolojilerin ve inovatif çözümlerin süreçlere daha fazla dahil edildiği izlenmektedir."**

433. Yara International. (2023). Yara Integrated Report 2023. Erişim adresi: https://www.yara.com/siteassets/investors/057-reports-and-presentations/annual-reports/2023/yara-integrated-report-2023.pdf

"Türkiye'deki iyi uygulamalarda veri toplama analitiğinin derinleşmekte olduğu; bazı örneklerde robotik teknolojilerin süreçlere entegre edildiği; süzme sayaçların, gelişmiş sensörlerin ve panoların, enerji yönetim kontrol sistemleriyle ilgili dijital bileşenlerin ve bağlantı elemanlarının yaygınlaştığı; entegre sistem planlaması ve üretim/kaynak yönetim yaklaşımlarında aktif biçimde kullanılan yazılım ve algoritmaların emisyon izlemelerinde de değerlendirilebilecek şekilde modifiye edildiği gözlenmektedir."

Ancak sayılan bu görece ileri, bir kısmı dijital ve bir kısmı aynı zamanda inovatif teknolojilerin bütün sektörlere eşit/orantılı biçimde yayıldığını söylemek mümkün değildir. Sektörel ihtiyaç analizleri, şirketlerin teknik kabiliyetleri, dönüşüm ihtiyaçları ve elbette mali kaynaklar dikkate alınarak bu alanlardaki yatırım ihtiyaçlarının belirlenmesi, öncelik sırasına konulması ve bir sıra dahilinde hayata geçirilmesi önemini korumaktadır.

6.3. Tedarik Zinciri Yönetimine Yönelik Projeler

Bir şirketin iklim üzerindeki etkisi, kendi doğrudan faaliyetlerinin ötesine uzanmaktadır. Bu sebeple AYM; kaynak verimliliğini, karbonsuzlaşmayı, inovasyonu ve sosyal adaleti teşvik eden yapısıyla, hem SKDM sektörlerinde faaliyet gösteren firmaları hem de emisyon yoğun olsun ya da olmasın küresel tedarik zincirlerinin orta/üst kademesinde bulunan firmaları sürdürülebilir değer zincirleri oluşturmaya yönlendirmektedir.

"Sürdürülebilir tedarik zinciri yaklaşımı, işletmeleri daha sürdürülebilir uygulamalara yönlendirirken kendi iç süreçlerinden kaynaklanan etkilerin yanında değer zincirinde yer alan tüm paydaşların etkilerinin de sürece dahil edilmesini beklemektedir.[434] Şirketler, yeni düzenlemelere uyum sağlamak için tedarik zincirlerini yeniden şekillendirirken paydaşlarından yüksek etik standartlar, insan haklarına saygı, çevresel sürdürülebilirlik, üstün iş sağlığı ve güvenliği (İSG) normları, sürdürülebilir malzeme ve teknoloji kullanımı gibi uygulamaları benimsemelerini beklemektedir."

Bu süreç hem firmaların hem de tedarikçilerinin çevresel, sosyal ve ekonomik performansını geliştirerek yeşil dönüşüme ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sağlamaktadır.

Tedarik zinciri yönetimi, özellikle kuruluşun doğrudan sahip olmadığı veya kontrol edemediği Kapsam 3 emisyonlarının[435] azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Kapsam 3 emisyonlarının ölçülmesi, raporlanması ve azaltılması, değer zincirindeki tüm süreçlerin sürdürülebilir hale getirilmesiyle mümkündür.[436] Şirketler, tedarik zincirindeki hem yukarı yönlü (hammadde tedariki) hem de aşağı yönlü (ürün kullanımı ve bertarafı) emisyonları izlemek için blockchain[437] ve IoT[438] gibi teknolojilerden yararlanmaktadır.

434. Sedex. (t.y.). What is supply chain sustainability and why is it important? Erişim adresi: https://www.sedex.com/blog/what-is-supply-chain-sustainability-and-why-is-it-important/
435. United States Environmental Protection Agency. (t.y.). Scope 3 inventory guidance. Erişim adresi: https://www.epa.gov/climateleadership/scope-3-inventory-guidance#:~:tex
436. British Retail Consortium Climate Action Roadmap. (2022). Monitor, measure, and report supply chain Scope 3 emissions. Erişim adresi: https://brc.org.uk/media/679152/monitor-measure-and-report-supply-chain-scope-3-emissions_final.pdf
437. Munir, M. A., Habib, M. S., Hussain, A., Shahbaz, M. A., Qamar, A., Masood, T., & Salman, C. A. (2022). Blockchain adoption for sustainable supply chain management: Economic, environmental, and social perspectives. Frontiers in Energy Research, 10, 899632. https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.899632
438. Khan, Y., Su'ud, M. B. M., Alam, M. M., Ahmad, S. F., Ahmad, A. Y. B., & Khan, N. (2022). Application of Internet of Things (IoT) in sustainable supply chain management. Sustainability, 15(1), 694. https://doi.org/10.3390/su15010694

Değer zincirindeki emisyonun azaltımına yönelik projeler arasında tedarikçilerin emisyonlarının ve şirketlerin belirlediği sürdürülebilirlik kriterlerine uyumlarının denetlenmesine, operasyonlarda kullanılan hammaddelerin sürdürülebilir kaynaklardan temin edilmesine ve lojistik süreçlerinde emisyon azaltıcı önlemler alınmasına yönelik uygulamalar öne çıkmaktadır. Daha düşük emisyonlu taşımacılık yöntemlerinin ve modlarının kullanılması ile tedarik zincirinde enerji verimliliği sağlanması da bu çabaların bir parçasıdır.[439] Bu yönüyle değerlendirildiğinde, hem ulusal ulaşım politikalarının ve ulaştırma altyapısının hem de şirketlerin taşıma faaliyetlerindeki yaratıcı çözümlerinin (rota optimizasyonu, çok katlı kamyonlar, toplulaştırılmış dağıtım noktaları, lojistik merkezleri vb.) tedarik zinciri bağlamında bundan sonra daha çok ele alınacağını söylemek mümkündür.

Değer zinciri yönetiminde emisyon azaltımının yanı sıra sosyal konular da büyük önem taşımaktadır. Uluslararası tedarik zincirleri gelişmekte olan ülkelere önemli ölçüde fayda sağlarken, aynı zamanda çeşitli olumsuz sosyal etkilere de sebep olabilmektedir. Bu olumsuz etkiler arasında çocuk işçiliği, zorla çalıştırma, adil olmayan rekabet, eşitsizlik, güvensiz ve kötü çalışma koşulları, insan hakları ihlalleri, yolsuzluk ve etik problemler gibi kritik konular yer almaktadır.[440] Şirketler bu sorunlarla başa çıkmak için tedarikçilere yönelik uygulamaları ve insan hakları konularındaki beklentilerini özetledikleri davranış kodları geliştirmekte, tedarikçilerden bu kodu imzalayıp uygulama taahhüdünde bulunmalarını istemektedir. Ayrıca, tedarikçilerin yaklaşımlarına ilişkin denetimler gerçekleştirilerek uyum eksiklikleri için düzeltici eylem planları ve iş ilişkilerinin sona erdirilmesi gibi seçenekler uygulanmaktadır.[441]

Tedarikçilere eğitim verilmesi de yaygın rastlanan uygulamalar arasında yer almaktadır. Tedarikçi eğitimleri tedarikçilerin gelişimini desteklerken aynı zamanda kurumların sürdürülebilirlik standartlarına uyumunu artırmaktadır. Bu eğitimler çevresel sürdürülebilirlik, İSG, etik ve uyum gibi alanları kapsayarak tedarikçilerin bilgi ve becerilerini geliştirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, emisyonların azaltılması, atık yönetimi, enerji verimliliği, güvenli çalışma koşullarının oluşturulması ve insan hakları gibi konularda verilen eğitimler, tedarikçilerin sürdürülebilirlik uygulamalarını benimsemesini ve operasyonel verimliliğini artırmasını desteklemektedir.[442] Eğitimler, şirketlerin hem kendi sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına hem de tedarik zincirleriyle güçlü ve sürdürülebilir ilişkiler kurmasına yardımcı olmaktadır.

439. World Economic Forum. (2023). Emissions measurement in supply chains: Business realities and challenges. Erişim adresi: https://www.weforum.org/publications/emissions-measurement-in-supply-chains-business-realities-and-challenges/
440. Fernando, Y., Halili, M., Tseng, M. L., Tseng, J. W., & Lim, M. K. (2022). Sustainable social supply chain practices and firm social performance: Framework and empirical evidence. Sustainable Production and Consumption, 32, 160-172. https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.020
441. EcoVadis. (t.y.). Supplier code of conduct. Erişim adresi: https://ecovadis.com/glossary/supplier-code-conduct/
442. Supply Chain Sustainability School. (t.y.). About the School. Erişim adresi: https://www.supplychainschool.org.au/about/

Şirketler her ne kadar değer zincirlerini gönüllü olarak sorumlu bir şekilde yönetmeye teşvik etseler de bu gönüllü yaklaşım, küresel tedarik zincirleriyle ilgili önemli sorunları ele almada yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda giderek artan sayıda çok uluslu firma, yalnızca sosyal ve çevresel standartlara uyan tedarikçilerle çalışma taahhütünde bulunmaktadır. Standartlara uygunluğun denetlenmesi için ise firmanın kendi denetimleri yerine 3. taraf platformların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

> **"Achilles, Ecovadis, Fair Factories Clearinghouse, Intertek, NQC, Sedex ve Supply Shift gibi platformlar, tedarikçi değerlendirmeleri için bağımsız ve standartlaştırılmış denetimler gerçekleştirmekte ve toplanan verileri müşterileri ile paylaşmaktadır.[443] Bu platformlar yatırımcı ve müşteri taleplerine yanıt verilmesine ve tedarik zincirindeki sürdürülebilirlik performansının artırılmasına destek sağlamaktadır."**

1 Ocak 2023'te yürürlüğe giren Alman Tedarik Zinciri Yasası[444] da bu konunun henüz ulusal ölçekte uygulansa da kuvvetle muhtemel daha da yaygınlaşacağının ve bölgesel düzenlemelere evrileceğinin somut bir göstergesi niteliğindedir. Söz konusu Yasa, kapsam dahilindeki Alman şirketlerinin hem kendi faaliyetlerinde hem de tedarik zincirlerinde yaşanabilecek insan hakları ve çevre ihlallerinin önüne geçebilmek için bazı yükümlülükler getirmektedir. Türkiye'nin Almanya ile içinde bulunduğu ticari ilişkileri göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'de faaliyet gösteren şirketlerin de Alman Tedarik Zinciri Yasası'ndan etkilenmesi olası görünmektedir.

443. German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety. (2017). Step-by-Step Guide to Sustainable Supply Chain Management . Erişim adresi: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/nachhaltige_lieferkette_en_bf.pdf
444. German Government. (2023). The German Act on Corporate Due Diligence Obligations in Supply Chains. Erişim adresi: https://www.bmz.de/resource/blob/154774/lieferkettengesetz-faktenpapier-partnerlaender-eng-bf.pdf

7. Yeşil Dönüşümde Finans Sektörünün Rolü

Önemli Düzenlemeler

Yeşil Dönüşüm İçin Sektörler İtibarıyla Olası

Yatırım İhtiyaçları

Yeşil Dönüşüm İçin Sektör Bağımsız Yatırım İhtiyaçları

7. Yeşil Dönüşümde Finans Sektörünün Rolü

Sanayileşmenin,liberal-kapitalist üretim modellerinin ve tüketim odaklı ekonominin etkisiyle endüstriler artan bir taleple karşı karşıya kalmakta ve çeşitlenen faaliyetler sera gazı emisyonlarını yükselterek geniş çaplı iklim krizini körüklemektedir.[445] Söz konusu olumsuz etkilerin azaltılması ve yeşil dönüşümün ivmelenmesi için çevresel açıdan sürdürülebilir olan ekonomik modellere geçiş bir zorunluluk haline gelmektedir. ,Ekonomik faaliyetlerin şekillendirilmesinde önemli bir konumda olan finans sektörü, yeşil dönüşümün hem katalizörü hem de destekleyicisi olarak sürdürülebilir gelecek arayışında kilit bir rol oynamaktadır. [446]

7.1. Sektörel Bakış ve Önemli Düzenlemeler

> **"Ekosistemi olumsuz etkileyen uygulamaların azaltılmasına yardımcı olacak kriterlerin belirlenmesi, uygulanması ve tüm değer zincirlerinde sürdürülebilirliğe geçişinin hızlandırılması için finans sektörünün payı ve etkisi büyüktür."[447]**

Bu sebeple devletler ve düzenleyici kuruluşlar, finans sektörünü kullanarak yeşil dönüşümü teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Finans sektörünün yeşil dönüşümde merkezi bir konumda olmasının ve lokomotif görevi görmesinin temel nedenleri yanda verilmektedir.

445. Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu. (t.y.). Financing the Green Transition Opportunities and Challanges. Erişim adresi: https://www.bddk.org.tr/KurumHakkinda/EkGetir/19?ekId=146

446. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). IPCC AR6 WGIII Chapter 15. Erişim adresi: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter15.pdf

447. Tsai, R.M. (2023). How the financial sector can spur the industrial economy's green transition. Erişim adresi: https://www.weforum.org/agenda/2023/01/davos23-financial-sector-sustainable-development-stakeholder-capitalism/

Sermaye Tahsisi: Finans kuruluşları büyük miktarda sermayeyi kontrol etmektedir. Bu sermayenin çevresel açıdan sürdürülebilir projelere yönlendirilmesinde ve çevreye zarar veren faaliyetlerden uzaklaştırılmasında finans sektörünün belirleyici bir işlevi bulunmaktadır. Bankalar ve yatırım fonları yenilenebilir enerji çalışmalarını, enerji verimliliği sağlayan altyapıyı ve diğer sürdürülebilir girişimleri finanse ederek düşük karbon ekonomisine geçişi önemli ölçüde hızlandırmaktadır.

Risk Yönetimi: İklim değişikliği beraberinde fiziksel riskleri ve düşük karbonlu ekonomiye geçiş esnasında karşılaşılan geçiş risklerini de getirmektedir. Sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesi ve çevreye duyarlı yatırımlar yapılması finans sektörünün bu risklerle karşı karşıya kalma riskini azaltmaktadır. Çevresel, sosyal ve yönetişimsel (ÇSY) kriterlerin yatırım kararlarına entegre edilmesi ise riskleri azaltmanın ötesine geçerek yatırım yapılan şirketlerin davranışlarını da yönlendirmektedir.[448]

İnovatif Finansal Ürünler: Sektör tarafından geliştirilen yeşil tahviller, sürdürülebilirlik bağlantılı krediler ve diğer ÇSY odaklı finansal ürünler, yeşil dönüşüm için finansman sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Sürdürülebilirlikle bağlantılı performans hedeflerine destekleyici koşullar sunan bu ürünler, şirketlerin ÇSY yaklaşımını da güçlendirmektedir.[449]

Düzenleyici Etki: Mali düzenleyiciler ve merkez bankaları, ülkelerin konumlanmalarıyla paralel olarak iklimle ilgili risklerin önemini ve finans sektörünün bu riskleri değerlendirme sorumluluğunu dikkate almaktadır. İklim senaryolarına karşı stres testleri, iklimle ilgili açıklamalar için raporlama standartları, yeşil ve sürdürülebilir finansman için kılavuzlar gibi çeşitli düzenlemeler, finans kurumlarını sürdürülebilirliğe doğru yönlendirmektedir. Bu düzenleyici ortam, tüm sektörlerde yeşil uygulamaların benimsenmesini hızlandırmaktadır.

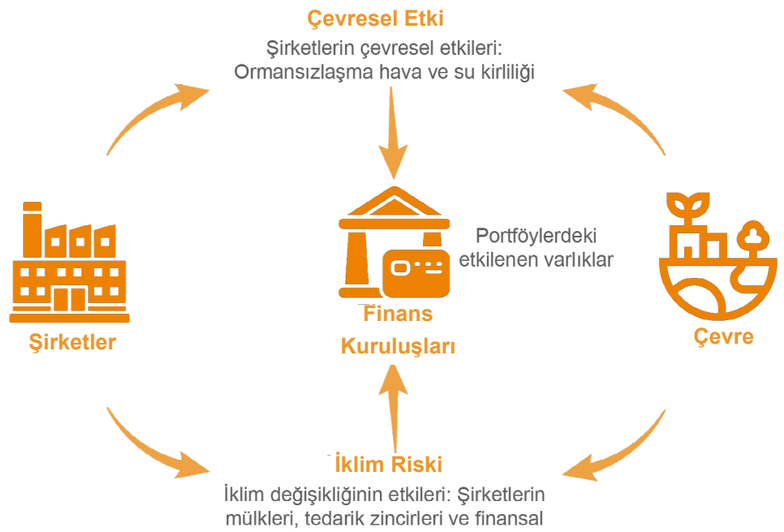
Paydaş Beklentileri: Sürdürülebilir girişimler yatırımcıların ve müşterilerin artan çevre bilinci sebebiyle marka itibarını da pozitif yönde etkilemektedir. Şirketler hem normal yatırım planlarında hem de yeşil dönüşüm yolculuğunda sürdürülebilir iş modellerine, dirençli varlık tabanlarına ve sorumlu tedarik zincirlerine geçebilmek için yüksek sermayelere ihtiyaç duymaktadır.[450]

448. International Monetary Fund. (2024). Publication on financial stability. Erişim adresi: https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/DP/2024/English/PFSGFEA.ashx

449. European Investment Bank. (2015). Innovative climate finance products. Erişim adresi: https://www.climateaction.org/images/uploads/documents/innovative_climate_finance_products_en.pdf

450. Bank for International Settlements. (2022). Speech on sustainable finance. Erişim adresi: https://www.bis.org/speeches/sp220607.pdf

"Sayılan etkenler doğrultusunda finans sektörü sahip olduğu güç ile reel sektörü yeşil dönüşüme yönlendirmek (hatta zorlamak) ve özünde yapısal nitelikli bir değişim için gerekli finansal kaynakları harekete geçirmek görevlerini yerine getirmektedir."



Şekil 87: Finansal Kuruluşlar ve Reel Sektör Arasındaki Çevresel ve İklim Temelli İlişki Dinamiği [451]

Finans sektörünün işlevini beklenen çerçevede yerine getirmesi ve yeşil dönüşüme etkili bir şekilde katkıda bulunmasını sağlamak için uluslararası etkinliğe sahip çeşitli düzenlemeler, çerçeveler, girişimler ve araçlar tasarlanmıştır. Aşağıda bunların başlıcaları sayılmaktadır.

AB Taksonomisi: Çevresel açıdan sürdürülebilir ekonomik faaliyetlere yönelik yatırımları yönlendirmek amacıyla AB tarafından oluşturulan bir sınıflandırma sistemidir. Hangi faaliyetlerin çevresel açıdan sürdürülebilir olarak değerlendirilebileceğini tanımlayarak yatırımcıların ve şirketlerin AYM ile uyumlu ve daha bilinçli kararlar almasına yardımcı olmaktadır.[452]

Yeşil Varlık Oranı (Green Asset Ratio-GAR): AB'nin sürdürülebilir finans düzenlemelerinin bir parçası olarak tanıtılan GAR, finansal kuruluşların AB Taksonomisi tarafından tanımlanan şekilde çevresel olarak sürdürülebilir olan bankacılık ve yatırım faaliyetlerinin oranını açıklamak için kullandıkları bir göstergedir.[453]

451. The European Space Agency. (2023). Finance for green transition. Erişim adresi: https://business.esa.int/funding/finance-for-green-transition
452. European Commission. (2023). EU taxonomy for sustainable activities. Erişim adresi: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en
453. Türkiye Bankalar Birliği. (2021). Yeşil Varlık Oranı Bilgi Notu. Erişim adresi: https://www.tbb.org.tr/Content/Upload/Dokuman/7736/Bilgi_Notu-Yesil_Varlik_Orani.pdf

Sürdürülebilir Finans Bilgilendirme Tüzüğü (Sustainable Finance Disclosure Regulation – SFDR): Finansal piyasa katılımcılarının ÇSY faktörlerini risk süreçlerine ve yatırım kararlarına nasıl entegre ettiklerini açıklamalarını gerektiren bir AB düzenlemesidir. SFDR, piyasadaki şeffaflığı artırmayı ve yatırımcıların finansal ürünleri sürdürülebilirlik özelliklerine göre karşılaştırabilmelerini sağlamayı amaçlamaktadır.[454]

Sürdürülebilir Finans Çerçeveleri: Birçok ülke ve bölge sürdürülebilir finansmanı teşvik etmek için çerçeveler geliştirmiştir. Bu çerçeveler finans kuruluşlarına ÇSY kriterlerinin faaliyetlere dahil edilmesi konusunda rehberlik etmektedir.

Yeşil Tahvil ve Kredi İlkeleri: Uluslararası Sermaye Piyasaları Birliği'nin (International Capital Market Association – ICMA) Yeşil Tahvil İlkeleri [455] ve Yeşil Kredi İlkeleri [456] gibi düzenlemeleri, yeşil borçlanma araçlarına ilişkin rehberlik sunmaktadır. Bu standartlar, yeşil tahvil ve kredilerin çevresel faydalar sağlayan projelere yönlendirilmesini sağlamakta ve bu süreçte piyasa şeffaflığı ile açıklık ve dürüstlüğü teşvik etmektedir.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı Finans Girişimi (United Nations Environment Programme Finance Initiative – UNEP FI): UNEP FI, sürdürülebilir kalkınma için özel sektör finansmanını harekete geçirmek amacıyla Birleşmiş Milletler ile küresel finans sektörü arasında kurulan bir ortaklıktır. Sürdürülebilirliği finansal operasyonlara entegre etmek için Sorumlu Bankacılık Prensipleri (Principles for Responsible Banking – PRB) gibi çerçeveler sunmaktadır.[457]

Ekvator Prensipleri: Finansal kuruluşlar tarafından proje finansmanındaki çevresel ve sosyal risklerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesi için benimsenen risk yönetimi çerçevesidir. Finanse edilen projelerin sosyal açıdan sorumlu bir şekilde geliştirilmesine ve sağlam çevre yönetimi uygulamalarını yansıtmasına yardımcı olmaktadır.

Uluslararası Finans Kurumu (International Finance Corporation – IFC) Performans Standartları: IFC tarafından geliştirilen bu standartlar, finans kurumları için çevresel ve sosyal risk yönetimi konusunda rehberlik sağlamaktadır. Standartlar çevresel sürdürülebilirlik, doğal yaşam alanlarının korunması, toplum sağlığı, güvenliği ve emniyeti, yerel toplulukların hakları ve kültürel

454. European Commission. (2024). Sustainability-related disclosure in the financial services sector. Erişim adresi: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/disclosures/sustainability-related-disclosure-financial-services-sector_en
455. International Capital Market Association. (2021). Green Bond Principles. Erişim adresi: https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelines-and-handbooks/green-bond-principles-gbp/
456. Loan Market Association. (2018). Green Loan Principles. Erişim adresi: https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/LMA_Green_Loan_Principles_Booklet-220318.pdf
457. United Nations Environment Programme Finance Initiative. (t.y.). About Us. Erişim adresi: https://www.unepfi.org/about/
International Finance Corporation. (2012). IFC Performance Standards. Erişim adresi: https://www.ifc.org/en/insights-reports/2012/ifc-performance-standards

mirasın korunması gibi çeşitli alanları kapsamaktadır. Finanse edilen projelerin bu küresel ölçütleri karşılamasını sağlamak amacıyla uluslararası finans alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.[458]

TCFD: Finansal İstikrar Kurulu (Financial Stability Board – FSB) tarafından oluşturulan TCFD, şirketlerin ve finansal kurumların iklimle ilgili finansal riskleri ve fırsatları açıklamaları için bir çerçeve sunmaktadır. "IFRS S2: İklimle İlgili Açıklamalar" standardının TCFD tavsiyelerine tam uyumlu kurgulanmasının ardından TCFD görevini tamamlamıştır.[459]

Sürdürülebilirlik Muhasebesi Standartları Kurulu (Sustainability Accounting Standards Board – SASB): SASB, şirketlerin ve finansal kurumların yatırımcılara önemli ve karar vermeye katkı sağlayacak sürdürülebilirlik bilgilerini açıklamalarına yardımcı standartlar geliştirmektedir. Finansal muhasebe standartlarıyla uyumlu şekilde kurgulanan SASB standartları, ÇSY faktörlerinin finansal performans üzerindeki etkilerinin belirlenmesine olanak tanımaktadır.[460]

Finansal Sistemi Yeşillendirme Ağı (Network for Greening the Financial System – NGFS): Merkez bankaları ile finansal düzenleyicilerden oluşan uluslararası bir kuruluş olan NGFS, iyi uygulamaları paylaşmayı, finans sektöründe çevre ve iklim riski yönetiminin geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.[461]

ISSB Standartları: ISSB tarafından geliştirilen IFRS S1 ve IFRS S2 standartları iklim riskleri de dahil olmak üzere sürdürülebilirlik konularının finansal etkilerini değerlendirmek ve açıklamak için küresel bir temel oluşturmaktadır.[462]

Bu düzenlemeler, sektördeki faaliyetlere sadece rehberlik etmekle kalmayıp finansal akışları sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu hale getirmektedir. Özellikle taksonomi çalışmaları ve GAR gibi düzenleyici çerçeveler, finansal kurumlara portföylerini sürdürülebilir uygulamalarla uyumlu hale getirme yolunda rehberlik ederken, çevresel sürdürülebilirliğin ekonomik faaliyetlere entegrasyonunu genişleterek yeşil dönüşümü sürdürülebilir bir şekilde desteklemektedir.

458. International Finance Corporation. (2012). IFC Performance Standards. Erişim adresi: https://www.ifc.org/en/insights-reports/2012/ifc-performance-standards
459. Task Force on Climate-related Financial Disclosures. (t.y.). About TCFD. Erişim adresi: https://www.fsb-tcfd.org/about/
460. Sustainability Accounting Standards Board. (t.y.). About SASB. Erişim adresi: https://sasb.ifrs.org/about/
461. Network for Greening the Financial System (t.y.). Origin and purpose. Erişim adresi: https://www.ngfs.net/en/about-us/governance/origin-and-purpose
462. International Financial Reporting Standards. (t.y.). About the International Sustainability Standards Board. Erişim adresi: https://www.ifrs.org/groups/international-sustainability-standards-board/

7.1.1. Taksonomi Çalışmaları

AB'nin iklim ve enerji hedeflerini karşılamak ve AYM'nin hedeflerine ulaşmak için yatırımları sürdürülebilir proje ve faaliyetlere yönlendirmek hayati önem taşımaktadır. Bunu başarmak için ortak bir dile ve neyin "sürdürülebilir" olduğuna dair net bir tanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir büyümenin finansmanına ilişkin bir eylem planı, sürdürülebilir ekonomik faaliyetler için ortak bir sınıflandırma sistemi ya da bir "AB taksonomisi" oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Taksonomi, çeşitli ekonomik faaliyetlerin çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine göre sınıflandırılmasını sağlayan sistematik bir çerçevedir. Yatırımcılara, şirketlere ve politika yapıcılara yol göstererek sürdürülebilir yatırımların teşvik edilmesini ve yeşil ekonomiye geçişin hızlandırılmasını amaçlayan taksonomi, çevresel etkilerin bilimsel ve nesnel bir şekilde değerlendirilmesini sağlamakta ve hangi faaliyetlerin "sürdürülebilir" olarak tanımlanacağını belirlemektedir.

Taksonomi sistemleri, dünya genelinde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. En yaygın ve kapsamlı taksonomi örneklerinden biri 12 Temmuz 2020'de yürürlüğe giren AB Taksonomisi'dir. AB Taksonomisi, sürdürülebilir yatırımların belirlenmesi ve teşvik edilmesi amacıyla geliştirilmiştir ve küresel sürdürülebilirlik standartlarına önemli katkılar sunmaktadır. AB Taksonomi Tüzüğü kapsamında, bir ekonomik faaliyetin çevresel açıdan sürdürülebilir olarak tanımlanabilmesi için aşağıda listelenen altı çevresel hedef ortaya konulmuştur.[463]

1. İklim değişikliğinin azaltılması
2. İklim değişikliğine uyum
3. Su ve deniz kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımı
4. Döngüsel ekonomiye geçiş
5. Kirliliğin önlenmesi ve kontrolü
6. Biyoçeşitlilik ve ekosistemlerin korunması

Bu düzenleme, yatırımcıların, şirketlerin ve politika yapıcıların çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine göre değerlendirme yapmasını kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. AB Taksonomisi, sürdürülebilir yatırımların teşvik edilmesini ve Avrupa'nın 2050 yılına kadar karbon nötr olma hedefini desteklemektedir. [464]

Türkiye'de yeşil dönüşümün gerçekleşmesi için gerekli finansman kaynaklarının yeşil yatırımlarla buluşturulması; sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğinin etkilerine uyum

463. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (t.y.). Taksonomi. Erişim adresi: https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/surdurulebilir-finansman/taksonomi
464. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı, Agence Française de Développement & Frankfurt School of Finance and Management. (2023a). a.g.e.

sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, finans sektörüne önemli sorumluluklar düşmektedir. İklim değişikliği ve düşük karbon ekonomisine geçiş süreçlerinde, finans sektörü hem karşı karşıya kaldığı riskler ve fırsatlar hem de bu geçişte üstlendiği yönlendirici ve teşvik edici rol nedeniyle kritik bir pozisyondadır. Türkiye'nin sürdürülebilir ve kaynak etkin bir ekonomiye geçişini kolaylaştırmak ve AYM'ye uyum sağlamak amacıyla hazırlanan Yeşil Mutabakat Eylem Planı'nda yer verilen ana başlıklar arasında yeşil finansman da bulunmaktadır.[465]

Türkiye'de Raporlama Kılavuzlarının Hazırlanması ve Yeşil Taksonominin Potansiyel Kullanıcılarının ve Faydalanıcıların Belirlenmesi Projesi

2022 yılında başlatılan bu proje, Türkiye'nin iklim hedeflerine ulaşabilmesi için ulusal taksonomi konusundaki teknik kapasitenin güçlendirilmesini amaçlamaktadır. Projenin ana faaliyetleri arasında diğer ülkelerdeki başarılı taksonomi örneklerinin incelenmesi, finansal sistemdeki potansiyel kullanıcılar ile ilgili piyasalardaki faydaların analiz edilmesi, yeşil taksonomi kapsamında raporlama kılavuzları oluşturulması ve teknik uzman grubunun kurumsal yapılanmasına yönelik öneriler geliştirilmesi yer almaktadır.[466] Fransız Kalkınma Ajansı'nın (Agence Française de Développement – AFD) hibe desteğiyle finanse edilen proje, küresel uygulamaların ve örneklerin analizi, yeşil taksonominin potansiyel kullanıcılarının belirlenmesi, raporlama ve açıklama standartlarının değerlendirilmesi ve çalıştayların düzenlenmesi gibi çeşitli bileşenleri içermektedir.

Yeşil Sınıflandırma Bağlamında Türkiye'nin Politika ve Hukuk Öncelikleri

Hacettepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi ile iş birliği içinde ve TÜBİTAK tarafından finanse edilen "Yeşil Sınıflandırma Bağlamında Türkiye'nin Politika ve Hukuk Öncelikleri Projesi", AB yeşil sınıflandırma (taksonomi) örneği üzerinden Türkiye'nin kısa vadeli politika ve hukuk önceliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır.[467] Projenin sonuçlarının, Türkiye'de yeşil taksonomi için politika ve mevzuat oluşturma süreçlerine önemli katkılar sağlaması hedeflenmektedir.

Taksonomi Teknik Uzman Grubu

Ulusal taksonomiye yönelik çalışmalar kapsamında, Türkiye'de ulusal ve uluslararası alanda iklim ve diğer sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu ekonomik faaliyetlerin belirlenmesi, sürdürülebilir yatırımlara finansman akışının teşvik edilmesi ve piyasada sürdürülebilir faaliyetlerle ilgili şeffaflığın sağlanması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, Ulusal Taksonomi Teknik Uzman Grubu ve ilgili yapıların oluşturulmasıyle çalışmasına yönelik usul ve esaslara dair bir yönerge yayımlanmıştır. [468] Gerçekleştirilen ilk Teknik Uzman Grubu toplantısında aşağıdaki çıktılar paylaşılmıştır: [469]

- Taksonominin amaçları arasında iklim değişikliği finansmanını harekete geçirmek, iklim değişikliği ile mücadele kapsamındaki yatırım alanlarına ve/veya faaliyetlerine ilişkin ilkeleri ve kriterleri belirlemek, ekonomik ve finansal faaliyetlere rehberlik eden sınıflandırma sistemlerini kurmak yer almaktadır.
- Geliştirilecek ulusal taksonomi, Türkiye'nin önceliklerini göz önünde bulundururken aynı zamanda AYM sürecine destek olacak şekilde AB taksonomisi ile uyumlu bir yapıda tasarlanacaktır.
- Taksonomi, ekonomik faaliyetler için teknik tarama kriterlerini belirleyecektir.
- Taksonomi, öncelikli olarak sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğine uyum konularına odaklanmalıdır.
- İlerleyen süreçte sektör bazlı alt çalışma gruplarının kurulması ve çalışmalarının yürütülmesi planlanmaktadır.
- Bu alt çalışma gruplarında gerektiğinde sektör uzmanlarının görüşüne başvurulacaktır.

Taksonomi çalışmaları devam etmekte olup Taksonomi'nin ilk iki maddesine ilişkin mevzuatın tamamlanması ve uygulanabilir hale getirilmesinin, 2025 yılının 4. çeyreğini bulması öngörülmektedir. Diğer dört alana ilişkin alt grupların kurulması ve teknik tarama kriterlerinin belirlenmesinin 2025 yılının 3. çeyreğinde başlayıp 2026 yılının 2. çeyreğine kadar sürmesi planlanmaktadır.

Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları

AB Komisyonu, taksonomi çalışmaları kapsamında küresel anlamda sürdürülebilirlik bilgi akışını iyileştirmeye yönelik olarak 21 Nisan 2021'de CSRD teklifini sunmuştur.[470] Bu teklif güvene dayalı görevler, yatırım ve sigorta danışmanlığı alanlarında değişiklik yapan altı adet Yetki Devrine Dayanan Tasarruf ile birlikte, finans firmalarının prosedürlerine ve müşterilere verdikleri yatırım tavsiyelerine sürdürülebilirlik unsurlarının dahil edilmesini sağlamaktadır. 5 Ocak 2023 tarihinde yürürlüğe giren CSRD, AB'nin iklim hedeflerine uygun olarak şirketlerin çevre, insan hakları ve sosyal standartlar üzerindeki etkilerine ilişkin daha ayrıntılı raporlamasını gerekli kılmaktadır.

AYM ile birlikte kurumsal sürdürülebilirlik raporlarının önem kazanması üzerine, ülkemizde de Kamu Gözetimi Kurumu (KGK), 4 Haziran 2022 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan kanun değişikliği ile belirlediği işletmeler ve kuruluşlar için uygulamada birliği sağlamak ve sürdürülebilirliğe ilişkin raporlamaların uluslararası alanda geçerliliğini temin etmek amacıyla Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları'nı belirleme ve yayımlama yetkisini almıştır.[471] Söz konusu yetki kapsamında KGK, Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları'nın uluslararası dayanağı olarak IFRS bünyesinde oluşturulan ISSB tarafından yayımlanan uluslararası standartları (IFRS S1 ve S2) benimsemiş ve Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları'na (TSRS) ilişkin uygulama kapsamı 29 Aralık 2023 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlanmıştır.[472] TSRS, 2 farklı

465. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2021). a.g.e.
466. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). a.g.e.
467. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2022). YMEP 2022 Faaliyet Raporu. Erişim adresi: https://ticaret.gov.tr/data/643ffd6a13b8767b208ca8e4/YMEP%202022%20Faaliyet%20Raporu.pdf
468. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). Ulusal Taksonomi Teknik Uzman Grubu ve İlgili Yapıların Oluşturulması ve Çalışma Usul ve Esaslarına Dair Yönerge. Erişim adresi: https://www.iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/ulusal-taksonomi-uzman-grubu-yonergesi_20230417111624.pdf
469. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023a). a.g.e.
470. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (t.y.). a.g.e.
471. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2022). a.g.e.
472. Kamu Gözetimi Kurumu. (2023). Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları ve TSRS'lerin Uygulama Kapsamı Resmi Gazete'de Yayımlanmıştır. Erişim adresi: https://www.kgk.gov.tr/Portalv2Uploads/files/Duyurular/v2

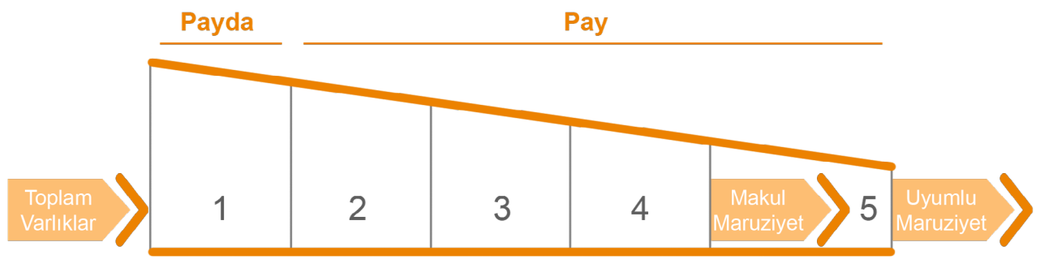
raporlamadan oluşmaktadır. "TSRS 1-Sürdürülebilirlikle İlgili Finansal Bilgilerin Açıklanmasına İlişkin Genel Hükümler"in amacı işletmelerin, genel amaçlı finansal raporların asli kullanıcıları açısından işletmeye kaynak sağlama kararı verirken faydalı olacak sürdürülebilirlikle ilgili risklerini ve fırsatlarını açıklamasını zorunlu kılmaktır. "TSRS 2- İklimle İlgili Açıklamalar"ın amacı ise, aynı kullanıcıların iklimle ilgili risklere ve fırsatlara ilişkin bilgileri açıklamasını sağlamaktır.[473] Tasarruf Mevduatı Sigorta Fonu (TSMF) bünyesinde yer alanlar dışındaki tüm bankaların, herhangi bir eşik değere tabi olmaksızın, sürdürülebilirlik raporlarının hazırlanmasında TSRS'leri uygulaması gerekmektedir. İlk raporlama, 2024 faaliyetlerini içerecek şekilde 2025 yılında yapılacaktır.

7.1.2. Yeşil Varlık Oranı

GAR, Avrupa Bankacılık Otoritesi'nin (European Banking Authority – EBA) finans kuruluşlarının finansman faaliyetlerinin sürdürülebilirlikle ne ölçüde uyumlu olduğunu belirlemek için tasarlamış olduğu ve AB Taksonomi Tüzüğünde tanımlanan anahtar performans göstergelerinden (APG) biridir.[474] Tüzüğün bildirim yükümlülüklerine ilişkin 8. maddesi kapsamında oluşturulan GAR'ın temel amacı, finansal işletmelerin AB çevre ve iklim hedeflerine olan katkısını anlamlandırmalarında paydaşlara yardımcı olmaktır.[475] Ortaya çıktığı günden itibaren sürdürülebilir finansmana ilişkin düzenleyici gündemin önemli maddelerinden biri haline gelen GAR, özellikle AB Taksonomisi ve AYM kapsamında, dolayısıyla finans sektörünün yeşil dönüşümünde kritik bir role sahiptir.

Çevresel sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi açısından birincil APG olarak tanımlanan metrik[476], kuruluşun bilançosundaki AB Taksonomisi ile uyumlu varlıkların (iklim dostu kredilerin, avansların ve borçlanma senetlerinin) miktarının toplam varlıklara kıyaslanması ile hesaplanmaktadır.[477] Hesaplamanın ilk adımında denklemin paydası, yani kuruluşun brüt varlıkları belirlenmektedir. Bu adımda merkezi ve bölgesel hükümetler, merkez bankaları ve devlet üstü kurumlar ile gerçekleştirilen alım-satım amaçlı finansal varlıklar hesaba dahil edilmemektedir. İkinci adımda türev ürünler, talebe bağlı gelişen bankalar arası krediler ve Finansal Olmayan Raporlama Direktifi'ne (Non-Financial Reporting Directive – NFRD) tabi olmayan işletmelere verilen krediler hariç tutulmaktadır. Üçüncü ve dördüncü adımlarda AB Taksonomisi kapsamında belirlenen hedeflerin uygunluğunun değerlendirilmesinin ve kapsama yönelik eleme işleminin yapılmasının ardından denklemin pay kısmı oluşmaktadır. Beşinci ve son adımda hesaplama gerçekleştirilmektedir.[478]

473. Kamu Gözetimi Kurumu. (2023). a.g.e.
474. European Banking Authority (EBA). (2022). EBA advises the Commission on KPIs and transparency for institutions. Erişim adresi: https://www.eba.europa.eu/publications-and-media/press-releases/eba-advises-commission-kpis-transparency-institutions
475. European Parliament. & The Council of European Union (2020). Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council. Erişim adresi: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32020R0852
476. Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu. (2023). Yeşil Varlık Oranı Hakkında Tebliğ Taslağı. Erişim adresi: https://www.bddk.gov.tr/Mevzuat/DokumanGetir/1195
477. Türkiye Bankalar Birliği. (2021). a.g.e.
478. Accenture. (2023). Countdown to the Green Asset Ratio. Erişim adresi: https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/r3-3/pdf/pdf-180/accenture-eu-taxonomy-sustainability-banking.pdf



Şekil 88: GAR Hesaplamasına İlişkin Adımlar [479]

GAR hesaplamasına dahil edilmeyen maruziyetler, finans kuruluşlarının iş modellerine, müşteri portföylerine ve coğrafi etki alanlarına bağlı olarak GAR değerlerinde farklılaşmaya yol açmaktadır. KOBİ'leri ve AB üyesi olmayan ülkelerdeki müşterileri finanse eden bankalar, ağırlıklı olarak büyük işletmeleri finanse eden bankalara kıyasla yapısal olarak daha düşük yeşil varlık oranları sunacaktır. Bu nedenle farklı kurumlar arasında GAR rakamlarının basit bir karşılaştırması yanıltıcı olabilmektedir.[480] GAR'ın sınırlamalarını ele almak için EBA, Bankacılık Hesapları Taksonomi Uyum Oranı - (Banking Book Taxonomy Alignment Ratio – BTAR) adlı genişletilmiş bir APG açıklamıştır. BTAR, KOBİ'lere ve NFRD açıklama yükümlülüklerine tabi olmayan şirketlere yönelik risklerin taksonomi uyumu hakkında ek bilgi sağlamaktadır. Ocak 2024 itibarıyla AB içerisinde bulunan finans kuruluşları, GAR ve BTAR oranlarını açıklamaya başlamıştır.[481]

Türkiye'deki finans sektörü AB düzenlemelerine hızlı tepkiler vermekte ve güçlü bir istekle konuyu takip etmektedir. BDDK tarafından Ekim 2023'te yayımlanan Yeşil Varlık Oranı Hakkında Tebliğ Taslağı[482] hem ulusal taksonomi hem de SKDM'ye uyum açısından önem arz etmektedir. Belgede, Türkiye'de bankaların çevresel sürdürülebilir ekonomik faaliyetlerin finansmanına katkısını ölçmek için GAR'ın ve diğer APG'lerin hesaplanması ve raporlanmasına ilişkin usul ve esaslar açıklanmaktadır. Düzenleme ile Türkiye'nin sürdürülebilir bankacılık, yeşil finansman, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi gibi alanlarda attığı adımlarla SKDM'ye uyum sürecinin kolaylaştırılması hedeflenmektedir. Bu çerçevede, yeşil dönüşümü hızlandırmak için finans sektörünün çevresel sürdürülebilirliğe yönelik yatırımları teşvik etmesi, karbon emisyonlarını azaltacak teknolojilere ve yenilenebilir enerji projelerine yatırım yapması beklenmektedir. Kredi kuruluşlarının bilançolarında çevresel hedefleri gözeterek hareket etmek zorunda kalması, üretim ekonomisinin tüm alanlarında iklim dostu yatırımların artmasına olanak tanıyacaktır.

479. Accenture. (2023). a.g.e.
480. Avermaete, D. (2024). Green Asset Ratio: managing expectations. Erişim adresi: https://www.europeanfiles.eu/energy/green-asset-ratio-managing-expectations
481. European Banking Authority. (2022). Final draft implementing technical standards on prudential disclosures on ESG risks in accordance with Article 449a CRR. Erişim adresi: https://www.eba.europa.eu/sites/default/files/document_library/Publications
482. Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu. (2023). a.g.e.

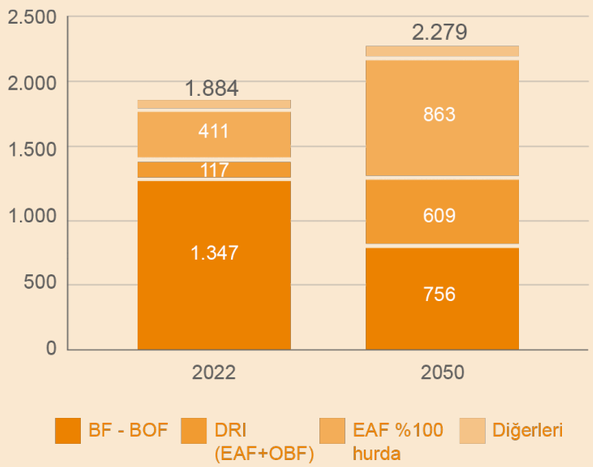
7.2. Yeşil Dönüşüm İçin Sektörler İtibarıyla Olası Yatırım İhtiyaçları

Demir-Çelik:

Günümüzde dünyada 8 milyar insan yılda yaklaşık 1,8 milyar ton çelik tüketmektedir. Bu, her yıl kişi başına yaklaşık 222 kg çelik tüketildiği anlamına gelmektedir. Ancak, kişi başına çelik tüketiminde çok büyük bölgesel farklılıklar bulunmaktadır. Kişi başına düşen çelik kullanımı Avrupa'da 310 kg iken Afrika'da yaklaşık 30 kg'dır ve bölgeler arasında büyük değişkenlik göstermektedir.

Birleşmiş Milletler, 2050 yılında yaklaşık 10 milyarlık bir küresel nüfus öngörmektedir. Bugünün kişi başına düşen çelik kullanımı verisinden hareketle nüfus artışı yıllık yaklaşık 2,2 milyar tonluk bir çelik üretimini gerektirecektir. Bununla birlikte, birçok tahmin, Hindistan veya Afrika gibi kalabalık bölgelerde kişi başına düşen çelik talebinde bir artış öngörmektedir. Bu öngörünün gerçekleşmesi durumunda çelik üretimi yılda yaklaşık 2,75 milyar ton seviyelerine kadar çıkabilecektir.

Aynı zamanda, enerji şebekelerinin yenilenebilir enerjilere dönüşümü çeliğe olan talebi değiştirecektir. Şu anda, çeliğin sadece %1 ila %3'ü enerji altyapısı için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu rakamın, özellikle rüzgar türbinlerinin veya fotovoltaik sistemlerin inşası için %10'u aşarak önemli ölçüde artması beklenmektedir. Gelişen elektrifikasyon trendi, silikon çeliklere olan talebi de artıracaktır.



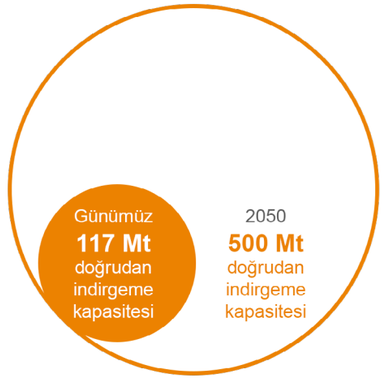
Şekil 89: 2050 Yılında Çelik Üretimi (Milyon Ton/Yıl)

Tüm senaryolar, en azından orta vadede, doğrudan azaltma için bir indirgeyici olarak doğal gazın yerini yeşil hidrojenin alacağını öngörmektedir. Çelik üretimi, hidrojen kullanımının en verimli olduğu alandır, çünkü her ton hidrojen yaklaşık 28 tCO_2 tasarruf sağlamaktadır.

Elektroliz yoluyla endüstriyel ölçekte yeşil hidrojen üretimi, rüzgar ve güneş enerjisi altyapısının önemli ölçüde artırılmasını gerektirmektedir. BOF kapasitesinin yeşil hidrojen bazlı doğrudan indirgemeye tamamen dönüştürülmesi, günümüzün küresel elektrik tüketiminin yaklaşık %20'sine tekabül eden yaklaşık 4.600 TWh elektrik enerjisinin ek üretimini gerektirecektir. Sadece bu rakam bile önümüzdeki zorluğun boyutunu göstermektedir. Ek olarak, coğrafi kısıtlamalar, her yerde bulunan yeşil hidrojen mevcudiyetini olanaksız ve amonyağı daha uygun bir hidrojen taşıyıcısı haline getirmektedir.

Bu karmaşıklıklar göz önüne alındığında, tahminler doğrudan azaltma kapasitesinin bugünkü 117 milyon tondan 2050 yılına kadar yaklaşık 500 milyon tona çıkmasını öngörmektedir. Bunun gerçekleşmesi için başka bir darboğaz olan tesis mühendisliğinin çözülmesi gerekmektedir. Son yıllarda, her yıl küresel olarak ortalama iki yeni tam ölçekli doğrudan indirgeme tesisi inşa edilmiştir. Yıllık yaklaşık 15 milyon tonluk bir kapasite artışı elde etmek için, yılda altı ila sekiz DRI tesisinin inşası gerekmektedir.

Ek olarak, her ne kadar şu anda geliştirilmekte olan demir cevheri elektrolizi gibi yeni süreçlerin ortaya çıktığı görülse de iyimser varsayımlar altında bile, 2050 yılına kadar bu yeni rotalarda 50 ila 100 milyon tondan fazla kapasite beklenmesi gerçekçi olmayacaktır.



Şekil 90: 2050 Yılı Doğrudan İndirgeme Yoluyla Demir Üretim Beklentisi

Yine de tüm tahminler, BOF rotasının önümüzdeki otuz yıl boyunca önemli bir rol oynamaya devam edeceğini de göstermektedir. 2050 yılına gelindiğinde, dünya ham çeliğinin neredeyse %40'ı (yaklaşık 850 milyon ton) konvansiyonel yöntemle üretilecektir. Bu nedenle, BOF'ların düşük CO_2 emisyonlu operasyona dönüştürülmesi, çelik endüstrisini karbondan arındırmanın temel zorluğudur.[483]

483. SMS Group. (2024). The steel industry in 2050. Erişim adresi: https://www.sms-group.com/pl-pl/insights/all-insights/the-steel-industry-in-2050?id=4101

İlgili bölümlerde uzun ve ayrıntılı biçimde açıklandığı üzere, Türkiye demir-çelik sektörü hem belli kırılganlıklara hem de kendisine özgü zorluk ve fırsatlara sahiptir. Bir yandan ülkenin güçlü talebinin devam etmesi, diğer yandan sektörün ihracatta önemli bir paya sahip olması, yeni yatırımlar için üretime ara verilmesi olanağını azaltmaktadır. Bununla birlikte, demir-çelik sektörünün Türkiye özelinde SKDM'den en güçlü biçimde etkilenecek sektör olması, belli adımarın atılmasını zorunlu hale getirmektedir. Diğer yandan, entegre üretim tesisleriyle hurdadan çelik üreten tesislerin yapısal farklılıkları, ton başına çelik için üretilen emisyon miktarlarını da farklılaştırmaktadır. Tam bu noktada, kurulacak bir ETS'de hem ülkenin çelik sektörünün yurtdışı kaynaklı karbon vergilerine karşı hazırlıklı kılınması, hem de oluşacak emisyon piyasasında dengesizliklere yol açılmaması gibi dikkat gerektiren bir denklem söz konusudur.

Özellikle BOF tesislerde emisyon azaltmaya yönelik projelerin çok büyük montanlı olacağı öngörülmektedir. Yüksek fırın yatırımlarının doğası gereği yüksek maliyetli olduğu bilinmektedir, ancak ilgili bölümlerde ayrıntıları açıklanan diğer yatırım ihtiyaçlarının da belirli büyüklüklerin üzerinde seyredeceği değerlendirilmektedir. Demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren diğer tesislerdeki yatırım ihtiyaçlarının ise entegre tesislere kıyasla görece daha düşük, ama SKDM sektörlerindeki benzerlerinden daha yüksek olacağı tahmin edilmektedir.

Alüminyum:

Dünyadaki trendlere paralel biçimde Türkiye alüminyum sektörü, ulusal ve uluslararası çevresel hedeflere uyum sağlamak için önemli bir teknolojik dönüşüme ihtiyaç duymaktadır. . Teknolojik dönüşümün başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için alüminyum sektörünün mevcut altyapısını modernize etmek ve yenilikçi teknolojilere yatırım yapmak gerekmektedir. Bu kapsamda, gaz kazanlarının kullanımını azaltmak, doğal gaz ile çalışan fırınlarda karbon yakalama sistemi entegrasyonunu sağlamak ve elektrikli fırınlara geçiş gibi adımların atılması beklenmektedir.

"Türkiye Alüminyum Sektörü İçin Düşük Karbonlu Yol Haritası" [484] raporuna göre, birincil alüminyum üretiminde emisyon azaltımı için gereken teknolojik dönüşüm tahmini 500 milyon ABD Doları yatırım gerektirmektedir. İnert anot teknolojisi ise 400 milyon ABD Doları ile en fazla yatırım gerektiren teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Azaltım senaryoları incelendiğinde LCP için toplam yatırımın net bugünkü değeri 176 milyon ABD Doları olurken, FTS için bu tutar 249 milyon ABD Doları olarak öngörülmektedir. Dolayısıyla, söz konusu teknolojik dönüşüm sürecinin maliyeti oldukça yüksektir ve bu maliyetin karşılanması için uygun finansman mekanizmalarının geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu noktada, sektör paydaşları ve politika yapıcıların iş birliği içinde olması ve yeni finansal kaynakların sağlanması önem arz etmektedir.

484. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023a). a.g.e.

Ayrıca, büyük ölçekli yatırım planlarının hayata geçirilmesi için hızlı ve etkili adımlar atılmalıdır. Kamu teşviklerinin sunulması, yenilenebilir lisanssız enerji yatırımlarına kolaylık sağlanması ve özel sermayenin harekete geçirilmesi gibi teşvik edici unsurların geliştirilmesi, düşük emisyonlu teknolojilerin benimsenmesini ve yaygınlaştırılmasını destekleyecektir.

Çimento:

Çimento sektöründe emisyon azaltımı için öncelikli ve kritik bir uygulaama olarak birincil yakıtlara ikame alternatif yakıtların kullanımı öne çıkmaktadır. Birincil yakıtların genellikle yurt dışından tedarik edilmesinin yanında ülkemizde atıkların geri kazanımının tam anlamıyla yerleşmiş olmaması bir kısıt olarak karşımıza çıkmakta ve farklı paydaşların beraber çalışmasını gerektirmektedir. Diğer taraftan çimento üretim proseslerinin alternatif yakıt kullanıma uygun hale getirtilmesi için gerçekleştirilen Ar-Ge çalışmaları da görece eski çimento tesisleri için kritik bir yatırım kalemi olarak ortaya çıkmaktadır. Çimento üretim prosesinde gerçekleştirilecek enerji verimliliği çalışmaları da tesislerin ısıl enerjisindeki verimliliği %30, elektrik enerjisi verimliliğini ise %20'ye kadar iyileştirebilmektedir.

"Türkiye Çimento Sektörü İçin Düşük Karbonlu Yol Haritası" [485] raporuna göre, çimento sektörünün karbondan arındırılması için gereken toplam yatırım değerinin yaklaşık 29,8 milyar ABD Doları olduğu tahmin edilmektedir. Emisyon azaltım seçeneklerinde en yüksek yatırım kalemi, 27 milyar ABD Doları ile CCUS teknolojileridir. Diğer azaltım seçenekleri olan termal verimlilik, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve hidrojen uygulamalarının ise sırasıyla yaklaşık 60 milyon, 1,22 milyar, 86 milyon ve 8 milyon ABD Doları civarında yatırım gereksinimi olduğu ifade edilmektedir.

Gübre:

Gübre sektörüne yönelik emisyonların sıfır emisyon seviyelerine çekilmesi için uygulanabilir önlemlere yönelik yatırım ihtiyacı Tablo 29 ve Tablo 30'da sunulmaktadır. Söz konusu veriler **"Türkiye Gübre Sektörü İçin Düşük Karbonlu ve İklim Dirençli Yol Haritası"** [486] projesinin çıktılarına dayanmaktadır.

Buna göre, emisyon azaltım önlemleri/teknolojileri arasında en düşük yatırım maliyetiyle en yüksek oranda emisyon azaltımı sağlayacak teknoloji N_2O katalizör yatırımlarıdır (Tablo 30). Söz konusu teknoloji, yeni bir tesis kurulumuna gerek duyulmadan mevcut nitrik asit üretim ünitelerine iki adet katalizör ilave edilmesiyle uygulanabilmekte ve dolayısıyla diğer önlemlere kıyasla büyük yatırım ihtiyaçları doğurmamaktadır. Bu uygulama ayrıca sektörün en büyük emisyon kaynağı olan N_2O emisyonlarını %95 oranında azaltım potansiyeline sahip olduğu için 1 ton CO_2 azaltımı başına gereken yatırım miktarı açısından öncelikli ve cezbedici bir yatırım kalemi olarak dikkat çekmektedir. N_2O katalizör yatırımından sonra azaltıma en büyük katkıyı sunma potansiyeline sahip yeşil ve mavi amonyak yatırımları ise ikinci cazip yatırım kalemi olarak öne çıkmaktadır.

485. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023b). a.g.e.
486. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023b). a.g.e.

Tablo 29: Emisyon Azaltıcı Önlemlerin/Teknolojilerin Nominal Değer İle Yatırım İhtiyacı

Emisyon Azaltıcı Önlem/Teknoloji	Yatırım İhtiyacı (milyon ABD Doları)
N_2O Katalizör Sistemlerinin Kurulması	13
Yeşil ve Mavi Amonyak Yatırımları	855
Gübre Kullanım Verimliliği ile Organik ve Organomineral Gübre Kullanımı	1.290
Yenilenebilir Enerji	1.560
Isı Pompası ve Diğer Elektrifikasyon Yatırımları	1.325
Enerji Verimliliği	290
Toplam	**~ 5.300**
İndüksiyon Fırın	0,65

Not: Veriler yuvarlanarak ifade edilmiştir.

Tablo 30: Emisyon Azaltıcı Önlemlerin/Teknolojilerin Ton CO_2 Başına Yatırım İhtiyacı

Emisyon Azaltıcı Önlem/Teknoloji	CAPEX (ABD Doları/ton CO_2e)
N_2O Katalizör Sistemlerinin Kurulması	0,2
Yeşil ve Mavi Amonyak Yatırımları	55
Gübre Kullanım Verimliliği ile Organik ve Organomineral Gübre Kullanımı	155
Yenilenebilir Enerji	1.725
Isı Pompası ve Diğer Elektrifikasyon Yatırımları	1.366
Enerji Verimliliği	103

2021 yılında **T.C. Ticaret Bakanlığı tarafından yayımlanan Yeşil Mutabakat Eylem Planı**[487] içerisinde yer alan "çevre ve iklim değişikliği ile bağlantılı olarak uluslararası/AB ve ulusal tüm destek/finansman imkânlarına ilişkin bilgilerin derlenmesi" eylemi kapsamında, 1 Nisan 2024 tarihinde **Yeşil Dönüşüme Yönelik Hedeflere Erişimde Kullanılabilecek Finansman İmkanları**[488] belgesi yayımlanmış olup bu belgenin üç aylık dönemler halinde güncellenmesi beklenmektedir.

Bu hususta şirketlerin çevresel sürdürülebilirlik konusunda ekonomik destek alabilmeleri için raporlama yapması gerekmektedir. Özellikle 500'den fazla çalışanı olup borsada işlem gören şirketlerin sürdürülebilirlik politikaları ve uygulamaları hakkında raporlama yapmaları istenmesine rağmen 2023 yılı itibarıyla tüm şirketlerin Finansal Olmayan Raporlama Direktifi'ni esas alarak sürdürülebilirlik raporu hazırlaması faydalı olacaktır.

> **"Bankaların raporlama yükümlülüğü kapsamında yatırım faaliyetlerini kamuya açıklamak zorunda olmasının domino etkisi yaratarak müşterileri de etkileyeceği ve bankaların giderek daha fazla veri talep edeceği görülmektedir."**

487. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2021). a.g.e.
488. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı (2024). Yeşil Mutabakata Yönelik Finansman İmkanları.

7.3. Yeşil Dönüşüm İçin Sektör Bağımsız Yatırım İhtiyaçları

Yeşil dönüşüm sadece üretim süreçleriyle ilgili yatırım ihtiyaçlarını değil, aynı zamanda geçişi destekleyici çeşitli yatırımları da barındırmaktadır. Bu yatırımlar sektöre özgü doğrudan operasyonel harcamaların ötesine geçerek çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik standartlarına uyumu artıracak çeşitli sertifikasyon ve denetleme süreçlerinin alınmasını, etkin atık yönetimi sağlanmasını, veri toplama ve analiz altyapısının oluşturulmasını, genel verimliliğin artırılmasını, kurum içi Ar-Ge ve inovasyon çalışmalarının desteklenmesini, eğitim ve farkındalık ihtiyaçlarını kapsamaktadır. İşletmelerin yeşil dönüşümü sürdürülebilir kılmak için bu sektör bağımsız yatırım ihtiyaçlarını değerlendirmesi ve hayata geçirmesi önem taşımaktadır.

Sürdürülebilirlik konulu sertifikasyon ve standardizasyon süreçlerine tabi olup standartlara uyum sağlamak; işletmelerin eksiklerini tespit etmesine, ilgili konularda harekete geçmesine ve performanslarını belgeleyerek itibarlarını artırmasına yardımcı olmaktadır. Çevre yönetimi, kalite yönetimi, iş sağlığı ve güvenliği, karbon ayak izi yönetimi, enerji yönetimi, su yönetimi, müşteri yönetimi, yeşil bina uygulamaları ve sosyal alanlar [489] da dahil olmak üzere birçok konuda belgelendirme uygulamaları bulunmaktadır. Sistemlerin kurulum süreçlerinde şirketler en iyi uygulamalara yönlendirilmekte ve iş yapış şekillerini kolaylaştırmak için oluşturulan politika ve prosedürlerle desteklenmektedir. Bu belgeler şirketlerin uluslararası beklentilere uyum sağlamasına katkıda bulunurken süreçlerin takibi, hedeflerin belirlenmesi, eylem adımlarının netleştirilmesi, konuya şirket içinde sahiplik kazandırılması, ilerlemenin izlenmesi ve denetlenmesi gibi faydalar işletmelere farkındalık ve gelişim fırsatı sunmaktadır.

En yaygın kullanılan sertifikalandırma organizasyonu Uluslararası Standartlar Örgütü (International Organization for Standardization – ISO), küresel uzmanları bir araya getirerek ürün yapımından süreç yönetimine kadar her türlü alanda en iyi yöntemler üzerinde standartlar sunmaktadır.[490] ISO'ya ek olarak, sürdürülebilir ormancılık uygulamalarını belgelendiren FSC [491], yeşil bina tasarımı, inşası ve işletimi için bir çerçeve sağlayan Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED)[492] ve sürdürülebilirlik raporlaması için standartlar belirleyen Küresel Raporlama Girişimi (Global Reporting Initiative – GRI)[493] bulunmaktadır.

489. International Organization for Standardization. (t.y.). Popular standards. Erişim adresi: https://www.iso.org/popular-standards.html
490. International Organization for Standardization. (t.y.). About us. Erişim adresi: https://www.iso.org/about-us.html
491. Forest Stewardship Council. (t.y.). About us. Erişim adresi: https://fsc.org/en/about-us
492. United States Green Building Council. (t.y.). LEED. Erişim adresi: https://www.usgbc.org/leed
493. Global Reporting Initiative. (t.y.). About GRI. Erişim adresi: https://www.globalreporting.org/about-gri/

Çeşitli sertifikasyon ve standartlara yapılan yatırımlar, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını kolaylaştırarak çevresel ve ekonomik performansın geliştirilmesine ve belgelendirilmesine olanak tanımaktadır.

Üçüncü taraflarca gerçekleştirilen gelişime yönelik denetimler de yeşil dönüşümü destekleyen yatırım ihtiyaçları arasında yer almaktadır. Denetimler şirketlerin sürdürülebilirlik performansını objektif bir bakış açısıyla değerlendirmesini mümkün kılmaktadır. Bağımsız denetim firmaları tarafından gerçekleştirilen bu değerlendirmeler işletmelerin çevre politikalarına[494], sürdürülebilirlik hedeflerine[495] ve sosyal uygulamalara[496] ne kadar uyduğunu sistematik olarak inceleyerek iyileştirme alanlarını ve fırsatları belirlemekte, riskleri azaltmakta, yasal ve düzenleyici gerekliliklere uyum sağlamaları için işletmelere yardımcı olmaktadır. Ayrıca, bu denetimler şeffaflığı ve hesap verebilirliği artırarak müşteri ve yatırımcı beklentilerini karşılama ve paydaşlarla güven oluşturma konusunda da kritik bir rol oynamaktadır.

Sertifikasyon ve denetleme süreçlerinin bir sonucu olarak kaynak tüketimi, atık yönetimi ve enerji verimliliği gibi konularda gerçekleştirilen iyi uygulamalar işletmelerde başlangıçta yatırım ihtiyacı doğurmakla birlikte, belirli bir süre sonra ekonomik fayda sağlayarak yatırımı karlı bir hale getirmektedir. Tüketim verilerinin izlenmesini ve kaçakların engellenmesini destekleyen akıllı BT altyapıları; verileri toplamak, depolamak, analiz etmek ve daha iyi karar verme süreçleri oluşturmak için kullanılmaktadır.[497] Üretim süreçleri haricindeki operasyonların dijitalleşmesine yönelik yatırımlar işletmelerin sürdürülebilirlik performansını önemli ölçüde iyileştirmektedir. Bunun yanı sıra azalan süreç etkinliği işletmelere rekabet avantajı kazandırmakta ve uzun vadede fırsatlar sunmaktadır. Kurum içi Ar-Ge ve inovasyon çalışmaları yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesine ve uygulanmasına, çevresel etkilerin azaltılmasına ve işletmelerin pazar payını genişletmesine katkıda bulunmaktadır.[498]

Yeşil dönüşümün başarısı için çalışanlara eğitim sağlamak ve farkındalık yaratma faaliyetlerinde bulunmak da yatırım yapılması gereken bir diğer konudur. Çalışanların sürdürülebilirlik ve yeşil dönüşüm konusunda bilinçlendirilmesi, işletme içi kültürün bu yönde geliştirilmesi ve yeşil uygulamalara katılımın artırılması, dönüşüm sürecinin etkinliğini ve sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Eğitim programları ve iç iletişim kampanyaları, çalışanların yeşil dönüşüm süreçlerine aktif katılımını teşvik etmektedir.[499]

494. Environment Protection Authority Victoria. (t.y.). Environmental audits. Erişim adresi: https://www.epa.vic.gov.au/for-business/find-a-topic/environmental-audit-system/environmental-audits
495. International Auditing and Assurance Standards Board. (t.y.). Understanding International Standard on Sustainability Assurance 5000. Erişim adresi: https://www.iaasb.org/focus-areas/understanding-international-standard-sustainability-assurance-5000
496. United States Department of Labor. (t.y.). Comply Chain: Steps to a Social Compliance System. Erişim adresi: https://www.dol.gov/agencies/ilab/comply-chain/steps-to-a-social-compliance-system/step-5-monitor-compliance
497. Narayana, T. L., Venkatesh, C., Kiran, A., Kumar, A., Khan, S. B., Almusharraf, A., & Quasim, M. T. (2024). Advances in real time smart monitoring of environmental parameters using IoT and sensors. Heliyon, 10(7). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28195
498. European Commission. (2022). Strategic Research and Innovation Plan 2022: Chapter 3. Erişim adresi: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2022-07/ec_rtd_srip-2022-report-chapter-3.pdf
499. Genghini, L. (2023). Green Upskilling: Why Companies Need to Train Employees to Meet the Demand of a Sustainable Economy. Erişim adresi: https://2030.builders/green-upskilling-why-companies-need-to-train-employees

Sonuç ve Değerlendirme

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Kökleri -sanayileşmenin çevresel yansımalarına ilişkin farkındalığı önemli ölçüde yükseltmiş- 1960'lı ve 1970'li yıllardaki çevre hareketlerine kadar uzanan ve özünde iklim değişikliğiyle mücadelenin yer aldığı yeşil dönüşüm; sadece küresel ısınmayı ve çevresel bozulmayı durdurmayı değil, aynı zamanda istihdam yaratarak ekonomik büyümeyi teşvik etmeyi, mevcut sistemleri iklim değişikliğiyle uyumlu kılmayı ve toplumları dirençli hale getirmeyi de hedeflemektedir.

UNFCCC ile başlayan iklim değişikliğine karşı mücadele çalışmaları yıllar içerisinde başka girişimlerle ve düzenlemelerle desteklenmiştir. 2015 yılında COP21'de imzalanıp bir yıl aradan sonra yürürlüğe giren Paris Anlaşması, yeşil dönüşüm arayışlarında önemli bir milat olarak kabul edilmektedir. Avrupa'nın yeni kalkınma modeli olarak hayata geçirilen Avrupa Yeşil Mutabakatı ise, AB'nin Paris Anlaşması taahhütlerini hayata geçirmek için kurguladığı esaslı bir dönüşüm stratejisidir.

> **AB'nin 2030 ve 2050 iklim hedeflerinin güçlendirilmesi, temiz, uygun fiyatlı ve güvenli enerji temin edilmesi, inşaat ve renovasyon faaliyetlerinin enerji ve kaynak verimli şekilde gerçekleştirilmesi, temiz ve döngüsel bir ekonomi için sanayinin harekete geçirilmesi gibi politika alanlarına sahip olan AYM, Türkiye'yi de yakından ilgilendirmektedir. Özellikle AB ETS'nin giderek sıkılaşan kuralları nedeniyle emisyonlarını azaltamayan firmalar için karbon maliyetlerinin artmasıyla meydana gelen karbon kaçağı riskini minimize etmek ve çevre düzenlemeleri daha zayıf olan ülkelere karşı rekabet dezavantajlarının önlemek amacıyla geliştirilen SKDM'nin Türkiye'ye önemli yansımaları olması beklenmektedir.**

SKDM kapsamındaki sektörlerde alınabilecek emisyon azaltım önlemleri olabilecek en kısa ve rafine haliyle sonraki sayfalarda özetlenmektedir.

Çelik Sektörü:

- Kok üretimine yönelik azaltım teknolojileri (kok kuru söndürme, kömür nem kontrolü, süper kok fırını, yüksek basınçlı amonyak likör aspirasyon sistemi, hidrojen üretimi vb.)
- Kok üretimine yönelik azaltım teknolojileri (peletlerdeki hammaddelerin ayrıştırılması, granülasyonu güçlendiren ekipman, biyokütle, ısı geri kazanımı, yüksek verimli (COG) çok yarıklı brü-lörlü ateşleme fırını, atık gaz arıtma, egzoz gazı arıtımı vb.)
- Yüksek fırınlarda pik üretimine yönelik azaltım teknolojileri (üst basınç geri kazanımlı türbin, yüksek fırın şarj dağılımını iyileştirme, PCI sistemi, yakıt enjeksiyonu, ısı geri kazanımı, biyokömür kullanımı vb.)
- DRI sürecine yönelik azaltım teknolojileri (doğrudan indirgeme prosesleri MIDREX®, FASTMET®, Aumelt Ausiron®, HIsmelt®, CCF, DIOS ve COREX, FINEX, HyREX prosesleri, Tmk3 demir üretim prosesi vb.)
- BOF'lara yönelik azaltım teknolojieri (egzoz gazının yakıt olarak kullanılması, BOF egzoz gazından ısı geri kazanımı, otomasyon çalışmaları, BOF tabandan karıştırma, HBI/DRI tüketimi vb.)
- EAF'ye yönelik azaltım teknolojileri (yüksek sıcaklıkta sürekli hurda ön ısıtma EAF, orta sıcaklıkta toplu hurda ön ısıtma EAF, yüksek verimli oksi-yakıt brülörü/lansler, EBT, cüruf optimizasyonu, tabandan gaz enjeksiyonu ile karıştırma, polimer enjeksiyon teknolojisi, ısı geri kazanımı, pota ön ısıtması için düşük NO_x rejeneratif brülör sistemi vb.)
- Döküm sürecine yönelik azaltım teknolojileri (Castrip teknolojisi, ince slab döküm-net şekle yakın döküm vb.)
- Hadde tav fırınlarına yönelik azaltım teknolojileri (proses kontrolü, düşük NO_x rejeneratif brülör sistemi, yüksek sıcaklık reküperatörleri, yalıtım için fiber blok, oksijen zenginleştirme vb.)
- Haddeleme ve tamamlamaya yönelik azaltım teknolojileri (döküm ve haddehane entegrasyonu, sıcak şarj vb.)
- Diğer teknolojiler (Inverter (VVF) elektrik motorları için sürücü kullanımı, enerji izleme ve yönetim sistemleri, kojenerasyon, basınçlı hava dağıtım basıncı optimizasyonu yönetimi, buhar basın-cı düşürme hattına buhar türbini montajı ile güç geri kazanımı vb.)
- CC-CCUS teknolojileri
- Hidrojen bazlı DRI teknolojisi

Çimento sektörü:

- Alternatif yakıt kaynaklarına geçiş (Atık yakılmasına uygun proses şartlarının sağlanması, ATY kullanımı, biyokütle ve ÖTL için atık kırma ve atıktan yakıt hazırlama tesisi, MBT tesisleri, evsel ETY üretimi, çamur kurutma tesisleri vb.)
- Endüstriyel simbiyoz gereklerini de dikkate alarak alternatif hammadde kullanımı
- Çimento içerisinde kullanılacak klinker oranının düşürülmesi
- Kalsine kil de dahil olmak üzere klinkere alternatif ürünlerin üretilmesi
- Yardımcı tesislerde ve farin öğütme değirmenleri, fırınlar, kırıcılar, soğutma sistemleri dahil tüm üretim süreçlerinde enerji verimliliğinin artırılması
- Yeni teknolojilere geçiş
- CCUS teknolojileri
- Elektrifikasyon ve hidrojen kullanımı

Alüminyum sektörü:

- Ergitme fırınlarında enerji verimliliği uygulamaları (Yakıcı seçimi ve konumlandırılması, hava/yakıt oranının kontrolü, fırın iç basıncının kontrolü ve hava kaçaklarının önlenmesi, atık ısının değerlendirilmesi, proses kontrol sistemleri vb.)
- Alümina üretiminde enerji verimliliğinin artırılması, iyileştirilmiş hammaddelerin ve proseslerin kullanılmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi
- Birincil alüminyum üretiminde öğütme süreçlerinde elektrik kazanı, hidrojen kazanı ve güneş enerjisi kazanına geçilmesi
- Hidrojen ve elektrik kalsinatörlerinin geliştirilmesi
- Ergitmede geleneksel karbon anotlara CCUS teknolojilerinin entegre edilmesi veya inert anot kullanılması
- İkincil alüminyum süreçlerinde farklı fırın tiplerine geçilmesi
- Alüminyum üretiminde yenilikçi proseslerin geliştirilmesi ve entegrasyonu
- İkincil alüminyum üretiminde hurda ayıklama, verimlilik artışı
- Yarı mamul işlemede enerji verimliliği
- Alüminyum parça dökümünde verimlilik artışı
- Optimizasyon, enerji girdisi, verimlilik ve atık yönetimi

Elektrik sektörü:

- Elektrik üretimi:
- Yenilenebilir enerji
- Dijitalleşme
- Enerji depolama
- Elektrifikasyon

Gübre sektörü:

- Gübre sektörü:
- Optimize edilmiş oksidasyon reaktörü ile yüksek verimli birincil katalizörlerin kombinasyonu (birincil teknolojiler)
- Birincil katalizörlere ilave olarak tasarıma ikinci katalizör eklenmesi (ikincil teknolojiler)
- Artık gazın üretim prosesinden çıkmadan önce arıtılmasını mümkün kılan ayrı bir reaktörün kurulması (üçüncül teknolojiler)
- Alternatif hammadde ve yakıtlar kullanılması
- Yeşil amonyak üretimi
- Belirli ünite ve ekipmanlarda ısı enerjisi ihtiyacının doğal gaz yerine ısı pompası/elektrifikasyon teknolojisiyle karşılanması
- Gübre kullanım verimliliğinin artırılması ile organik ve organomineral gübre kullanımının artması
- Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve elektrifikasyon

"Sektörler özelinde yapılan değerlendirmelerde öne çıkan azaltım seçenekleri; üretim süreçlerine özgü teknoloji değişimleri ile birlikte enerji verimliliği, atık ısının geri kazanılması, proses kontrolü ve optimizasyonu gibi ortak uygulamaları da içermektedir. Bunların yanında, değişimi ve dönüşümü destekleyen sektör bağımsız gereklilikler de mevcut olup bunlardan bazıları yönetim sistemlerinin kurulması, sertifikasyon ve standardizasyon süreçleri, organizasyon yapısının şekillendirilmesi, izleme, kontrol ve denetim, farkındalık artırma ve bilinçlendirme çalışmaları olarak ifade edilmektedir."

SKDM sektörlerinde emisyonların azaltılması ve AYM'ye uyum çerçevesinde gerçekleştirilebilecek ilave faaliyetler arasında ayrıca inovasyon artırıcı projeler ve dijital dönüşüm projeleri ile tedarik zinciri yönetimine yönelik projeler yer almaktadır. Bu noktada altı çizilmesi gereken hususlardan biri de KOBİ'lerin değer zincirindeki yerinin ve öneminin göz ardı edilmemesi gerektiğidir. Gerek halihazırda sınırlı sayıda sektöre ve firmaya odaklanılan SKDM'nin raporlama yükümlülükleri gerekse yeşil dönüşüm için emisyon azaltımı çabaları açısından, değer zincirinde önemli yere sahip KOBİ'lerin de dolaylı etkilere maruz kalması söz konusudur. Bu nedenle, SKDM sektörleri başta olmak üzere emisyon yoğun sektörlerle yakın tedarik ilişkileri içerisinde bulunan veya ihracata sahip olan KOBİ'lerin kapasitesinin geliştirilmesi de önem arz etmektedir.

AYM'nin odaklandığı politikaların çeşitliliği de göstermektedir ki yeşil dönüşüm ve düşük karbonlu kalkınma farklı temaların uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Artan nüfus artışı ve kentleşme oranları, kaynak tüketimini ve buna bağlı atık miktarını da artırmaktadır. Kaynakların sınırsız olmaması ve atıkların bertarafı için sonsuz alana sahip bulunulmaması, geleneksel doğrusal (lineer) iş modellerinden döngüsel bir ekonomiye geçişe duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Bu noktada, inovatif bir yaklaşımla ekonomik büyümeyi kaynak tüketiminden ve çevresel bozulmadan ayırmayı amaçlayan döngüsel ekonomi ve etkin atık yönetimi uygulamaları önem kazanmaktadır.

Yeşil dönüşümün tematik yansımalarında öne çıkan diğer kavramlar arasında kapsayıcı ve sürdürülebilir değer zinciri yönetimi ile tüketici odaklı yeşil uygulamalar yer almaktadır. Tüketicilerin çevre sorunları konusundaki bilinç düzeyi arttıkça çevresel kaygıları da aynı oranda artmakta, bu kaygılar tüketicilerin yaşam tarzlarında ve satın alma davranışlarında sürdürülebilirlik kavramına önem vererek hareket etmelerini beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla tedarik zincirinin çevresel sürdürülebilirliği için dayanıklı, yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir, enerji verimli ve çevreyi en az kirleten alternatiflerin tedariki teşvik ve tercih edilmektedir. Bu yaklaşımları benimseyen işletmeler ayrıca, tüm paydaşlarının kendileriyle ve birbirleriyle olan ilişkisini başarılı bir şekilde tanımlayabilmekte ve yönetmekte, aynı zamanda tüketiciler nezdindeki itibarlarını artırmaktadır.

"İklim değişikliğiyle mücadele ve yeşil dönüşüm uygulamalarının hayata geçirilmesinde en önemli rollerden birisi finans sektörüne düşmektedir. Nitekim, özellikle SKDM sektörlerinde yeşil dönüşüm için olası yatırım ihtiyaçlarına bakıldığında oldukça büyük bir finansman ihtiyacı olduğu görülmektedir."

Örneğin, gübre sektöründe yeşil ve mavi amonyak üretimine yönelik sistemlerin kurulması için yaklaşık yatırım ihtiyacının 855 milyon ABD Doları olduğu tahmin edilmektedir. Benzer şekilde, birincil alüminyum üretiminde emisyon azaltımı için gereken teknolojik dönüşüm yaklaşık 500 milyon ABD Doları yatırım gerektirmektedir. Gübre üretiminin dış piyasalardaki enerji ve hammadde fiyatlarına çok bağlı olması, yatırım kararlarını geciktirebilecek bir etmendir; ancak tarım sektöründeki gelişmeler ve gıda tedarikinin giderek stratejik bir nitelik arz etmesi, projektörlerin bu alandaki yatırımlara yönelmesini beraberinde getirebilecektir. Güçlü bir üretim performansı sergileyen ikincil alüminyum sektöründe de hurda bazlı üretim başta olmak üzere birbiri ardı sıra gelecek dönüşüm yatırımları için ciddi bir finansman ihtiyacı söz konusudur. Demir-çelik sektöründe, entegre tesislerdeki dönüşüm yatırımlarının şu ana kadar sayılan sektörlerdeki yatırımlardan çok daha büyük olacağı, elektrik ark ocaklı tesisler ile haddehane ve dökümhanelerdeki yatırımların da toplamda önemli bir yekun tutacağı bugünden anlaşılmaktadır. Elektrik sektöründe Türkiye finans sektörünün yenilenebilir enerji özelinde elde ettiği birikim ve deneyimin, yatırım ve finansman süreçlerinin yürütülmesini kolaylaştıracağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, elektrik depolama, hibrid elektrik üretim tesisleri ve hidrojen gibi yenilikçi teknolojiler açısından kapasite gelişim ihtiyacının süreceği öngörülmektedir.

"Özetlemek gerekirse, emisyonların azaltılmasına yardımcı olacak yatırımlarda kriterlerin belirlenmesi, uygulanması ve değer zincirinin sürdürülebilirliğe geçişinin hızlandırılması için finansmanın etkisi büyüktür. Özellikle sermaye tahsisi, risk yönetimi, yeşil tahvil gibi inovatif finansal ürünler ve paydaş beklentileri açısından bakıldığında finans sektörü, sahip olduğu yönlendirici etki ile düşük karbonlu kalkınma açısından hayati bir görev üstlenmektedir."

Ekler

Ek 1. AYM ile İlgili Diğer Düzenlemeler

Bina ve Karayolu Taşımacılığı Yakıtları İçin Yeni AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS II)

ETS Direktifi'nin 2023 revizyonlarının bir parçası olarak, mevcut AB ETS'den ayrı olarak ETS 2 adında yeni bir emisyon ticaret sistemi oluşturulması planlanmaktadır. Bu yeni sistem binalarda, karayolu taşımacılığında ve ek sektörlerde (çoğunlukla mevcut AB ETS kapsamında olmayan küçük sanayi) yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO_2 emisyonlarını kapsayacaktır. ETS 2'nin 2027 yılında faaliyete geçmesi planlanmaktadır. Mevcut AB ETS gibi bir "üst sınır ve ticaret" sistemi olmasına rağmen ETS 2, emisyonları yukarı yönlü olarak kapsayacaktır. Emisyonlarını karşılamak için tahsisat satın almaları ve teslim etmeleri gerekenler, haneler veya otomobil kullanıcıları gibi son kullanıcılar yerine yakıt tedarikçileri olacaktır. ETS 2 üst sınırı, emisyonları 2030 yılına kadar 2005 seviyelerine kıyasla %42 oranında azaltacak şekilde belirlenecektir.[500]

NER 300 Programı

Adını AB ETS'nin üçüncü aşaması için oluşturulan Yeni Girenler Rezervi'nden (New Entrants' Reserve – NER) gerçekleştirilen 300 milyon emisyon tahsisatının satışından alan bir programdır. Satışlardan elde edilen fonlar, sırasıyla 200 ve 100 milyon tahsisatı kapsayan iki tur teklif çağrısı yoluyla seçilen projelere dağıtılmıştır. NER 300 Programı, yenilikçi düşük karbon teknolojileri için yaklaşık 2 milyar Euro'yu bir araya getiren bir finansman programı olup AB içerisinde ticari ölçekte çevresel açıdan güvenli karbon yakalama ve depolama ve yenilikçi yenilenebilir enerji teknolojilerinin sergilenmesine odaklanmaktadır.[501]

Otomobil ve Kamyonetler İçin CO_2 Emisyon Standartları

2020 yılında, yeni binek otomobiller ve kamyonetler için CO_2 emisyon performans standartlarını belirleyen (AB) 2019/631 sayılı Regülasyon yürürlüğe girmiştir. Mart 2023 tarihinde AB, hafif hizmet araçları CO_2 standartlarında çığır açan bu değişikliği yapmıştır. AB, 2035 yılından itibaren yeni tescil edilen tüm otomobil ve kamyonetler için %100 CO_2 emisyonu azaltma hedefi getiren dünyadaki ilk büyük bölge olmayı hedeflemektedir. Buna ek olarak, 2021 yılı baz alınarak 2030 yılı için mevcut CO_2 azaltma hedefi otomobiller için %55 ve kamyonetler için %50 olarak güçlendirilmiştir.[502]

500. European Commission. (t.y.). ETS2: buildings, road transport and additional sectors. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets-2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en
501. European Commission. (t.y.). NER 300 programme. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/ner-300-programme_en
502. European Commission. (t.y.). CO emission performance standards for cars and vans. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en

LIFE İklim Değişikliğinin Azaltılması ve Uyum Programı

LIFE Programı, AYM'nin bir parçası olarak ve AB'nin iklim politikasının uygulanmasını destekleyerek gelecekte karşılaşılabilecek iklim sorunlarına hazırlanmak üzere tasarlanan bir finansman mekanizmasıdır. Doğa ve biyoçeşitlilik, döngüsel ekonomi ve yaşam kalitesi, iklim değişikliğinin azaltılması ve uyum, temiz enerjiye geçiş olmak dört alt program halinde planlanmıştır. Bu programlar için 2021-2027 yılları arasında yapılacak yatırım ve projelerde kullanılmak üzere 905 milyon Euro ayrılmıştır.[503]

Enerji Vergilendirme Direktifi

AB'nin enerji vergilendirmesine yönelik ortak çerçevesi niteliğindeki Enerji Vergilendirme Direktifi, sosyal açıdan adil bir yeşil dönüşümün bir parçası olarak daha temiz enerjiye, daha sürdürülebilir sanayiye ve daha çevre dostu tercihlere geçişi teşvik ederek AB'nin iklim politikası dahilindeki hedeflerine ulaşılması sürecini desteklemekte ve tamamlamaktadır. Direktif'in ortaya koyduğu kurallar, AB'de motor ve ısınma yakıtları ile elektriğin vergilendirilmesinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini yansıtmaktadır.[504]

Onarım Hakkı Direktifi

Avrupa Komisyonu, tüketicilere tasarruf sağlamak ve israfı azaltmak, kullanımdaki ürünlerin onarımını teşvik etmek ve AYM hedeflerini desteklemek için 2023 yılında Onarım Hakkı Direktifi'ni kabul etmiştir. Tüketicilerin sahip oldukları ürünleri değiştirmek yerine tamir edilmesinin daha kolay ve daha uygun maliyetli hale getirilmesi, onarım/tamirat sektörünün canlandırılması, üreticilerin ve satıcıların daha sürdürülebilir iş modellerine teşvik edilmesi hedeflenmektedir.[505]

Yeşil Beyanlar Direktifi

Avrupa Komisyonu, 2023 yılında Yeşil Beyanlar Direktifi teklifini kabul etmiştir. Bu direktif, temelde yeşil dönüşüm sürecinde tüketicilerin aldıkları ürünler hakkında güvenilir, karşılaştırılabilir ve doğrulanabilir çevresel bilgiler alabilmesini hedeflemektedir. Bu doğrultuda, şirketlerin çevresel iddialarının ve etiketlerinin bağımsız ve akredite doğrulayıcı kuruluşlar tarafından kontrol edilmesi, çevresel etiketleme programlarının daha sağlam, şeffaf ve güvenilir olmalarını sağlamak için yeni kuralların tanımlanması direktifte yer alan odak çalışma alanlarıdır.[506]

503. European Commission. (t.y.). LIFE Climate Change Mitigation and Adaptation. Erişim adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/life-climate-change-mitigation-and-adaptation_en
504. European Commission. (t.y.). Energy taxation. Erişim adresi: https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-taxation_en
505. European Commission. (2023). Right to repair: Commission introduces new consumer rights for easy and attractive repairs. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1794
506. European Commission. (t.y.). Green claims. Erişim adresi: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims_en

Alternatif Yakıtlar Altyapı Yönetmeliği (Alternative Fuels Infrastructure Regulation – AFIR)

Temmuz 2021'de AB'nin "55'e Uyum" programının bir parçası olarak Avrupa Komisyonu tarafından önerilen AFIR için Avrupa Komisyonu, Avrupa Parlamentosu ve AB Konseyi temsilcileri Mart 2023 tarihinde uzlaşma sağlamıştır. Bu yönetmelik ile AB genelinde karayolu sektörü için elektrikli şarj ve hidrojen yakıt ikmali altyapısı, deniz ve iç su yolu limanlarında kıyı tarafı elektrik tedariki ve sabit hava taşıtlarına elektrik tedariki için 2025 veya 2030'da karşılanması gereken zorunlu konuşlandırma hedefleri belirlenmiştir.[507]

ReFuel AB Havacılık Yönetmeliği

ReFuelEU Havacılık Yönetmeliği kapsamında, havacılık yakıtı tedarikçileri, 2025 yılında %2'lik minimum karışımdan başlayarak ve 2050 yılında %70e yükselerek, artan miktarlarda sürdürülebilir havacılık yakıtlarını kerosen ile karıştırmak zorunda olacaktır. Yönetmeliğin havacılık CO_2 emisyonlarını 2050 yılına kadar "eylemsizlik" senaryosuna kıyasla yaklaşık üçte iki oranında azaltması ve hava kalitesini iyileştirmesi beklenmektedir.[508]

Deniz Taşımacılığında Yenilenebilir ve Düşük Karbonlu Yakıtların Kullanılması (FuelEU Maritime) Yönetmeliği

AB'nin iklim hedeflerine katkı sunulabilmesi için uluslararası deniz taşımacılığı yakıt karışımının %86-88'i yenilenebilir ve düşük karbonlu yakıtlarla (RLF) ikame edilmelidir. Bu yönetmelik, yakıt geçişi sırasında talebi artırmayı ve operatörler ile limanlar arasındaki rekabeti azaltmayı amaçlamaktadır. Yönetmeliğin iki temel hedef alanı iki saatten fazla süren seferler için bir AB limanında karadan güç kaynağı (OPS) veya eşdeğer çevresel faydalar sunan diğer teknolojilerin zorunlu kullanımı ve gemide kullanılan enerji üzerindeki sera gazı yoğunluğu sınırlarıdır.[509]

Çaba Paylaşımı Yönetmeliği

Çaba Paylaşımı Yönetmeliği, yurt içi ulaşım (havacılık hariç), binalar, tarım, küçük sanayi ve atık alan ve sektörlerinde her AB Üye Devleti için 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik ulusal bir hedef belirlemektedir. Bu yönetmelik kapsamındaki emisyonlar, toplam yerel AB emisyonlarının neredeyse %60'ını oluşturmaktadır. İlk olarak 2018 yılında kabul edilen Çaba Paylaşımı Yönetmeliği, 2023 yılında revize edilmiştir. Yeni ulusal hedefleriyle Üye Devletler, yönetmelik kapsamındaki sektörlerde 2005 yılı seviyelerine kıyasla AB düzeyinde %40'lık bir emisyon azaltımına toplu olarak katkıda bulunacaklardır. Bu revizyon, AB'nin emisyonlarını 2030 yılına kadar (1990 seviyelerine kıyasla) %55 oranında azaltmayı ve AYM'nin gerekliliklerini sağlamayı amaçlayan bir teklif paketinin parçası olarak kabul edilmiştir.[510]

Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (AKAKDO) Yönetmeliği

AKAKDO Yönetmeliği, 2023 yılında 2030 yılına kadar olan dönem için arazi kullanım sektörünün AB'nin iklim hedeflerine nasıl katkıda bulunacağını belirlemek için revize edilmiştir. Bu kapsamda, 2030 yılına kadar 310 milyon tCO_2e ayrı bir arazi bazlı net karbon uzaklaştırma hedefine sahiptir. AB çapındaki bu hedef, AKAKDO sektörü için iddialı, adil ve bağlayıcı net karbon giderimi ulusal hedefleri aracılığıyla uygulanacaktır.[511]

AYM ile bağlantılı diğer yasal düzenlemeler aşağıdaki gibidir:

- Trans-Avrupa Enerji Altyapısına İlişkin Kılavuz İlkeler Hakkında Yönetmelik
- Trans-Avrupa Ulaştırma Ağı Yönetmeliği
- Sera Gazı Emisyonlarının ve AKAKDO'dan Kaynaklanan Uzaklaştırmaların Dahil Edilmesine İlişkin Yönetmeliğin Revizyonu
- Araçlardan Kaynaklanan CO_2 Emisyonunun Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik
- Batarya ve Atık Pillere İlişkin Yönetmelik
- Alternatif Yakıtlar Altyapısının Yaygınlaştırılmasına İlişkin Direktif
- Gaz İçin Üçüncü Enerji Paketi
- Doğa Koruma Paketi

507. European Commission. (2023). European Green Deal: ambitious new law agreed to deploy sufficient alternative fuels infrastructure. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_1867
508. European Commission. (2023). Final adoption of ReFuelEU Aviation completes 'Fit for 55' legislation, putting EU on track to exceed 2030 targets. Erişim adresi: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/final-adoption-refueleu-aviation-completes-fit-55-legislation-putting-eu-track-exceed-2030-targets-2023-10-09_en#:~:text=Under%20the%20ReFuelEU%20Aviation%20Regulation,rising%20to%2070%25%20in%202050.
509. European Commission. (2021). Regulation of The European Parliament and of The Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021PC0562

510. European Commission. (t.y.). Effort sharing 2021-2030: targets and flexibilities. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/effort-sharing-member-states-emission-targets/effort-sharing-2021-2030-targets-and-flexibilities_en
511. European Commission. (t.y.). Land use sector. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/land-use-sector_en

YEŞİL DÖNÜŞÜM ve SKDM

Değerlendirme Raporu

2024

Türkiye Bankalar Birliği

Genel Sekreterlik

Adres: Nispetiye Cad. Akmerkez, B3 Blok, Kat 13, 34340 Etiler/İstanbul
Telefon: 0212 282 09 73
Faks: 0212 282 09 46
e-Posta: tbb@hs05.kep.tr

Eğitim Merkezi

Adres: Nispetiye Cad. Akmerkez, B3 Blok, Kat 13, 34340 Etiler/İstanbul
e-Posta: egitim@tbb.org.tr
Telefon: 0212 282 09 88
Faks: 0212 282 09 46

Çağrı Merkezleri

Bireysel Müşteri Hakem Heyeti: 0850 222 28 22
Risk Merkezi: 444 99 69