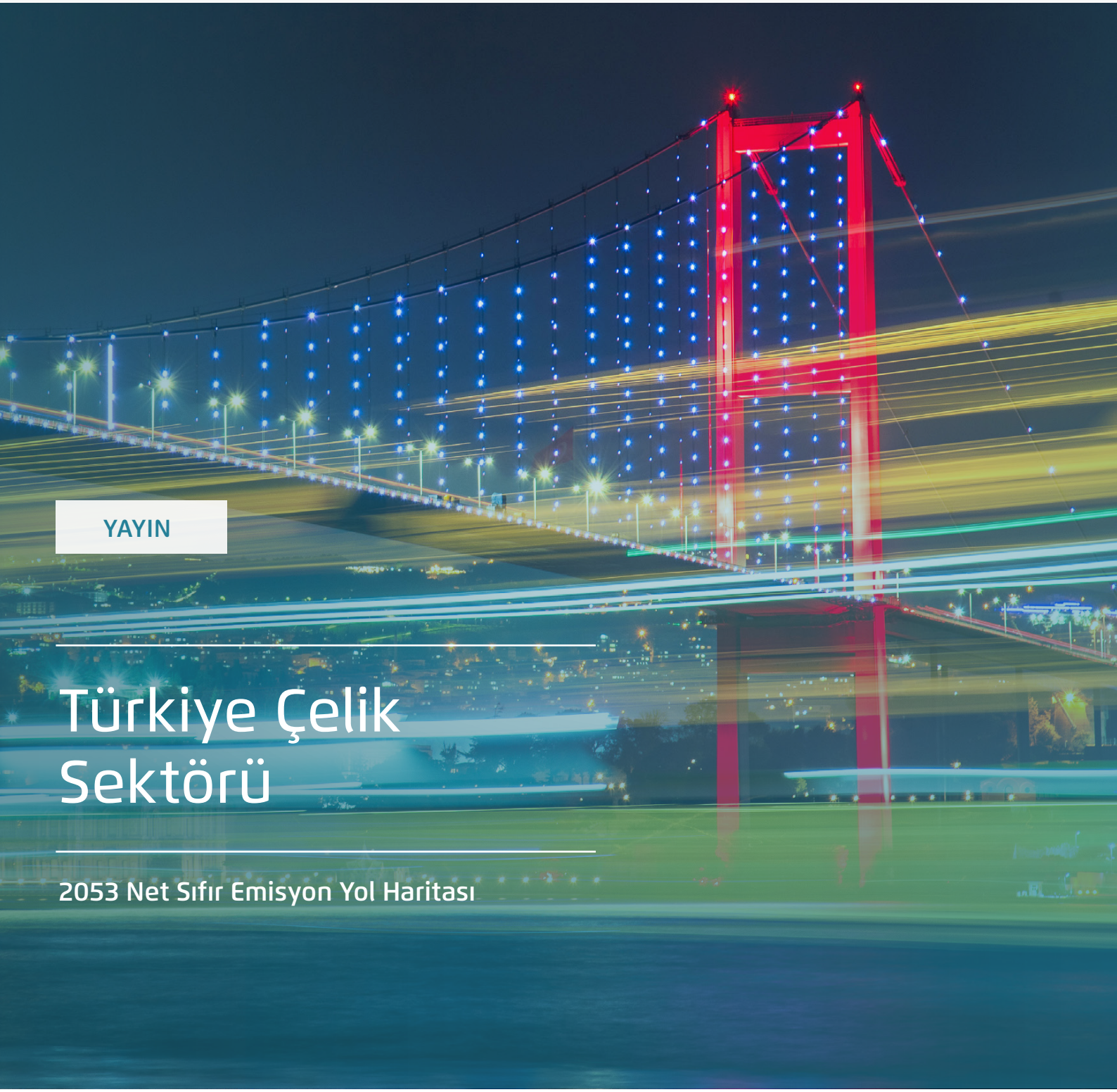
Agora Industry



YAYIN

Türkiye Çelik Sektörü

2053 Net Sıfır Emisyon Yol Haritası

İPM | İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
SABANCI ÜNİVERSİTESİ
STIFTUNG MERCATOR GİRİŞİMİ

SEFİA
Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Araştırmaları Derneği

Şu şekilde kaynak gösteriniz:

Agora Industry, Istanbul Politikalar Merkezi , SEFIA (2026): Türkiye Çelik Sektörü. 2053 Net Sıfır Emisyon Yol Haritası. URL: https://www.agora-industry.org/publications/transforming-tuerkiyes-steel-industry

Yayın
Türkiye Çelik Sektörü. 2053 Net Sıfır Emisyon Yol Haritası.

Yazan
Agora Industry
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2
10178 Berlin | Germany
www.agora-industry.org
info@agora-industrie.de

Proje ortağı
İstanbul Politikalar Merkezi
Bankalar Cad. No:2 Minerva Han
34420 Karakoy, Istanbul | Turkey
https://ipc.sabanciuniv.edu/
ipc@sabanciuniv.edu

SEFIA
Assembly One Tower
Oran Mah. Kudüs Cad. No:1
Çankaya, Ankara | Turkey
https://sefia.org/
info@sefia.org

Proje lideri
Ysanne Choksey | Ysanne.choksey@agora-industrie.de

Yazarlar
Ysanne Choksey, Emir Çolak (Agora Industry), Wido Witecka (bağımsız danışman)

Katkıda Bulunanlar
Bengisu Özenç (Sefia), Dursun Baş (İstanbul Politikalar Merkezi)

Teşekkürler
Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi, yalnızca diğer birçok meslektaşımızın özverili çabaları sayesinde mümkün olmuştur. Bu nedenle, aktif desteklerinden dolayı aşağıdaki kişilere teşekkür etmek isteriz: Alexandra Steinhardt, Anja Werner, Barbara Mayer, Karin Kritzinger, Susanne Liebsch (Agora Energiewende); Benjamin Görlach, Julian Parodi, Fabian Barrera, Josephine Schäfer, Julia Metz, Leandro Janke, Rodrigo Raposo Diniz Vieira (Agora Industry); Mustafa Berke, Tuğba Uğur (European Climate Foundation); Yael Taranto (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi); Muammer Bilgiç (bağımsız danışman). Bu proje süresince katılım gösteren tüm kamu ve özel sektör paydaşlarına teşekkür ederiz.

Önsöz

Değerli Okurumuz,

Küresel çelik sektörü, düşük emisyonlu üretime geçiş sürecinde köklü bir dönüşümden geçmektedir. Önde gelen ekonomilerin düşük emisyonlu çeliğin tedarikine yönelik taahhütleri, Avrupa Birliği'nin Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (SKDM) uygulamaya girmesi ve emisyonların ölçümünde ortak standartların geliştirilmesine yönelik uluslararası girişimler, sektörün üretim ve ticaret dinamiklerini yeniden şekillendirmektedir. Sanayinin karbonsuzlaşmasını hızlandırmayı amaçlayan uluslararası iş birliği çabaları da bu dönüşümün önemini giderek artırmaktadır.

Dünyanın yedinci büyük çelik üreticisi olan Türkiye için bu dönüşüm, sektörün rekabet gücünü korumak ve geliştirmek açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Sektörün karbonsuzlaşması, Türkiye'nin uluslararası pazarlardaki konumunu güçlendirmenin yanı sıra küresel kapasite fazlası, değişen ticaret koşulları ve çelik piyasasındaki arz-talep dengesizlikleri gibi yapısal sorunlara karşı daha dirençli bir sanayi yapısının oluşturulmasına katkı sağlayabilir.

Türkiye, bu dönüşümü başarıyla gerçekleştirmek için önemli avantajlara sahiptir. Güçlü sanayi altyapısı, yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirme potansiyeli, düşük emisyonlu üretime yönelik artan küresel talep ve ülkenin iklim hedefleri, çelik sektörünün dönüşümünü destekleyebilecek temel unsurlardır. Bununla birlikte, bu potansiyelin hayata geçirilmesi; öngörülebilir politika çerçevelerini, zamanında ve hedef odaklı yatırımları, uygun maliyetli temiz enerjiye erişimi ve uluslararası iş birliğini gerektirmektedir.

Bu rapor, Türkiye çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönelik bir yol haritası sunmaktadır. Farklı dönüşüm senaryolarını ve politika seçeneklerini değerlendiren çalışma, stratejik yatırımların, etkili politika araçlarının ve uluslararası iş birliğinin sektörün uzun vadeli rekabet gücünü korurken emisyonların azaltılmasına nasıl katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Amaç, Türkiye'nin sanayi kapasitesini ve rekabet avantajlarını gözeten, aynı zamanda iklim hedefleriyle uyumlu, dirençli ve sürdürülebilir bir çelik sektörünün gelişimine katkıda bulunmaktır.

Türkiye'nin COP31'e ev sahipliği yapmaya hazırlandığı bu dönemde, raporun çelik sektörünün geleceğine ilişkin politika tartışmalarına katkı sunmasını; karar alıcılar, sektör temsilcileri ve ilgili tüm paydaşlar için yol gösterici bir kaynak olmasını temenni ediyoruz.

Keyifli okumalar dileriz.

Julia Metz, *Direktör, Agora Industry*

Önsöz

Başlıca bulgular:

1 **Türkiye'nin çelik sektörü, sıfıra yakın emisyonlu üretime geçişi hızlandırarak ve küresel pazarlardaki rekabet gücünü artırarak dünyanın yedinci büyük çelik üreticisi konumunu daha da güçlendirebilir.** Bu dönüşüm, küresel kapasite fazlası, uluslararası ticaret dinamiklerindeki değişimler ve yurt içi çelik arzı ile talebi arasındaki dengesizlik gibi sorunlara karşı stratejik bir çözüm sunmaktadır. Çelik kullanan alt sektörlerde düşük emisyonlu ürünlere yönelik talebin artması ve uygun maliyetli yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması, sektörün bu fırsattan yararlanması için elverişli koşullar yaratmaktadır.

2 **Sıfıra yakın emisyonlu teknolojilere zamanında yapılacak yatırımlarla desteklenen iddialı bir karbonsuzlaşma stratejisinin benimsenmesi ve yerli hurda kullanımının artırılması, Türkiye çelik sektörünün rekabet gücünü ve dayanıklılığını güçlendirmek açısından kritik önem taşımaktadır.** Bu strateji, ithal edilen ve yurt içinde üretilen sıfıra yakın emisyonlu demir arasında dengeli bir yaklaşım benimsenmesine dayanmaktadır. Yurt içi üretim, birincil çelik üretiminde yaratılan katma değerin ülkede kalmasını sağlarken ithalat, ikincil çelik sektörünün ürün yelpazesinin çeşitlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu stratejik dönüşüm sayesinde sektörün yıllık emisyonları 2050 yılına kadar %92 oranında azaltılabilir ve Türkiye'nin iklim nötrlüğü hedeflerine önemli katkı sağlanabilir.

3 **Yurt içinde sıfıra yakın emisyonlu demir üretim kapasitesinin geliştirilmesi, bu alana yönelik özel politika destekleri gerektirmektedir.** Karbon fiyatı 50 avro/tCO_2 düzeyine ulaştığında, ithal doğal gaz bazlı demir, yurt içinde kömüre dayalı yüksek fırınlarda üretilen demirle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelmektedir. Yurt içinde doğal gaz veya hidrojen kullanılarak üretilen demirden elde edilen ham çelik ise sırasıyla 100 avro/ tCO_2 ve 140 avro/tCO_2 karbon fiyatlarında maliyet eşitliğine ulaşmaktadır. Yurt içi demir üretim kapasitesini destekleyecek hedef odaklı politikalar benimsenmediği takdirde Türkiye, düşük emisyonlu demir ithalatına giderek daha bağımlı hale gelebilir. Bu durum, çelik sektörünün uluslararası arz kısıtlarından ve mevcut sıcak briketlenmiş demir (HBI) arzına yönelik rekabetten daha fazla etkilenmesine neden olabilir.

4 **Başarılı bir dönüşüm, başta ulusal bir Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) ve Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) olmak üzere güçlü bir düzenleyici çerçevenin hayata geçirilmesine bağlıdır.** Karbon fiyatlandırmasından elde edilen gelirlerle finanse edilecek ve çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönelik önlemleri destekleyecek bir fon aracılığıyla hedef odaklı finansman araçları, sübvansiyonlar ve Karbon Fark Sözleşmeleri uygulanabilir. Ulusal bir SKDM'nin hayata geçirilmesi ve ETS mevzuatının geliştirilmesi, Türkiye'nin aksi takdirde AB'nin SKDM uygulaması kapsamında büyük ölçüde AB'ye aktarılacak olan yıllık 0,5 ila 1,5 milyar avroluk geliri ülke içinde tutmasını sağlayabilir. Bu kaynaklar, yeşil çeliğe geçiş için gerekli olan ve bu raporda 20 yıl boyunca yılda yaklaşık 1,5 milyar avro olarak hesaplanan yatırımların maliyetinin karşılanmasına katkıda bulunabilir.

İçerik

Terminoloji ile ilgili açıklama 6

Yönetici özeti 7

Giriş 12

1 Türkiye Çelik Sektörünün Mevcut Durumu 16
- 1.1 Üretim, Kapasite ve Üretim Yöntemleri 16
- 1.2 Küresel Ticaret Entegrasyonu ve Piyasa Yapısı 20
- 1.3 Hammaddeler (Hurda, Enerji ve Demir Cevheri) 20
- 1.4 Sektörün Emisyon Profili 23
- 1.5 Mevcut Dönüşüm Planlaması 27

2 Temel Etkenler: Türkiye Çelik Sektöründe Değişen Koşullar 28
- Küresel Çelik Üretiminde Kapasite Fazlası 28
- Hurda Piyasasında Daralan Arz 29
- AB İklim Düzenlemeleri ve İhracat Riskleri 30
- MENA: Dönüşüm Sürecindeki Bir Pazar 32

3 Türkiye'de Net Sıfır Emisyonlu Çelik Üretimine Yönelik Karbonsuzlaşma Yolları 34
- Senaryo Çerçevesi 34
- Politika Hedeflerine Göre Senaryolar 34
- Tüm Senaryolarda Kullanılan Temel Varsayımlar 36

4 Sonuçlar 38

5 Politika Önerileri 48
- Enerji ve Altyapı – elektrik şebekesinin karbonsuzlaşmasını ve daha temiz hammaddelere (çelik hurdası) erişimi desteklemek 48
- Arzın Artırılması – İklim nötr çelik üretim kapasitesinin genişletilmesi 50
- Talebin Artırılması – İklim dostu çelik için alıcıların ve pazar talebinin güçlendirilmesi 51
- ETS ve SKDM Tasarımı 53

6 Ek 58
- Modelleme Metodolojisi 58
- İstihdam ve Yatırım Tahminleri 60

Kaynakça 62

Terminoloji ile ilgili açıklama

İklim nötr, **sıfıra yakın emisyonlu** ve **net sıfır emisyonlu çelik** terimleri metin boyunca büyük ölçüde birbirinin yerine kullanılmaktadır. Bununla birlikte, "sıfıra yakın emisyonlu" ifadesi hidrojen bazlı doğrudan indirgenmiş demir (DRI) üretimi gibi teknolojileri tanımlamak için kullanılırken net sıfır ifadesi, 2050 yılına ilişkin nihai emisyon senaryosunu ifade etmektedir. Bu yaklaşım, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) aşağıdaki açıklamasına dayanmaktadır:

"'Sıfıra yakın emisyonlu' ifadesi, özellikle net sıfır emisyonlu bir enerji sistemiyle hâlihazırda uyumlu olan teknolojiler için kullanılmaktadır. Yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi ve zamanında devreye alınmasının beraberinde getirdiği yüksek riskler ve maliyetler göz önüne alındığında, bu teknolojilerin sunduğu performansın bugünden tanınması büyük önem taşımaktadır. Bu teknolojilerin şimdiden teşvik edilmesi, pazarda benimsenmelerini hızlandırabilir ve nihayetinde yaygınlaşmalarının önünü açabilir." (IEA, 2024)

Bu teknolojiler, doğal gaz bazlı DRI ve karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojisiyle donatılmış yüksek fırın–bazik oksijen fırını (BF-BOF) gibi **düşük emisyonlu** teknolojilerden ayrı değerlendirilmektedir. Düşük emisyonlu teknolojiler, emisyon azaltım önlemleri uygulanmayan BF-BOF yöntemlerine kıyasla emisyonları azaltabilmekle birlikte, net sıfır emisyonlu bir enerji sistemiyle uyumlu değildir.

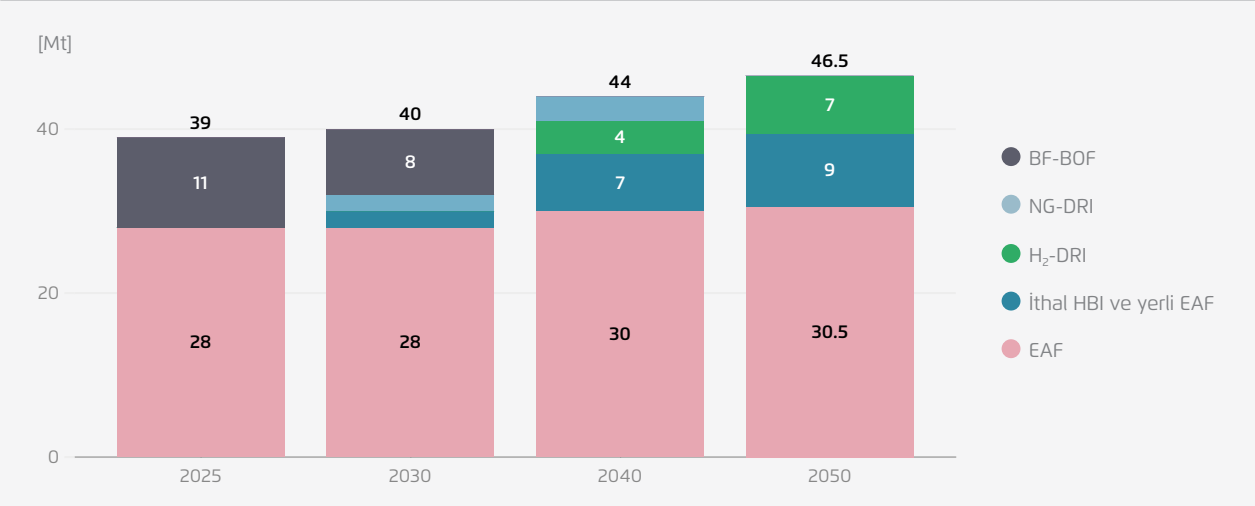
Yönetici özeti

Karbon emisyonlarının azaltılması, çelik sektörünün rekabet gücünü belirleyen temel unsurlardan biri haline gelirken Türkiye çelik sektörü kritik bir dönüm noktasında bulunuyor. Türkiye, 2053 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşmayı hedefliyor. Hurda bazlı elektrik ark ocağı (EAF) üretiminin yüksek payı sayesinde sektörün ortalama karbondioksit (CO_2) emisyon yoğunluğu görece düşük. Ancak sektörün ağırlıklı olarak uzun çelik ürünlerinin üretiminde ithal hurda kullanımına ve yüksek kaliteli yassı çelik ürünlerinde önemli ölçüde ithalata dayanan mevcut iş modeli; küresel kapasite fazlası, hurda piyasalarında arzın daralması, değişen küresel ticaret dinamikleri ve AB'nin iklim düzenlemeleri nedeniyle giderek artan bir baskıyla karşı karşıya.

Bu raporda, 2053 yılına kadar uzanan üç farklı karbonsuzlaşma senaryosu karşılaştırılıyor. Mevcut Eğilimler ve Kademeli Dönüşüm senaryolarında, politika desteğinin ve teknoloji yatırımlarının sınırlı kalması nedeniyle emisyonlar, yüksek seviyelerde seyrediyor. Yalnızca, erken dönemde yapılacak yatırımları, daha güçlü bir karbon fiyatlandırma politikasını ve hedefe yönelik politika desteklerini bir araya getiren **Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosu**, yurt içindeki birincil demir üretim kapasitesini ve ihracatta rekabet gücünü korurken, sektörün emisyonlarını sıfıra yakın bir seviyeye indirebiliyor.

Türkiye çelik sektörünün rekabet gücünü ve dayanıklılığını koruyabilmesi için karbonsuzlaşma sürecinin hızlandırılması gerekiyor. Türkiye'de 2025 yılında 38,1 milyon ton ham çelik üretilirken kapasite kullanım oranı %61,6 düzeyinde gerçekleşti. Küresel çelik sektöründeki kapasite fazlası, Çin ve Rusya gibi ülkelerdeki devlet desteklerinin küresel fiyatlar üzerinde yarattığı baskı ve uzun çelik ürünleri ağırlıklı üretim yapısı ile yüksek kaliteli yassı ürünlere yönelik artan talep arasındaki uyumsuzluk, sektörün mevcut iş modelini zayıflatıyor. AB'nin kendi çelik sektörünü karbonsuzlaştırmak amacıyla ürettiği hurdanın daha büyük bir bölümünü kendi sınırları içinde değerlendirmeye yönelmesi, Türkiye'deki elektrik ark ocaklarının temel hammaddesi olan hurdaya erişimi de zorlaştırıyor. Öte yandan, AB Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (SKDM)

Ham çelik üretimi: Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosu → Fig. A



Agora Industry (2026)

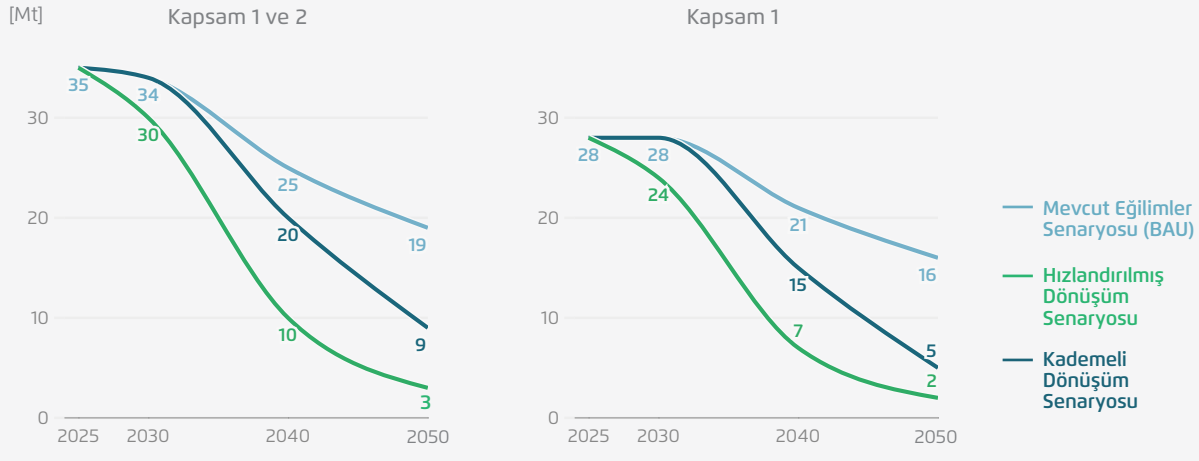
kademeli olarak uygulamaya konulması ve kapsamının ara ürünler ile nihai ürünleri içerecek şekilde genişletilmesi olasılığı, Türkiye'nin AB'ye yönelik çelik, otomotiv, makine ve beyaz eşya ihracatının karşı karşıya olduğu riskleri artırıyor.

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosu, çelik sektörünün emisyonlarını %92 oranında azaltabilir. Raporda, çelik sektörünün 2025 yılındaki Kapsam 1 ve 2 emisyonlarının toplam 35,2 milyon ton CO_2 olduğu tahmin ediliyor. Emisyonların 2050 yılına kadar Mevcut Eğilimler senaryosunda yaklaşık %45, Kademeli Dönüşüm senaryosunda %74, Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda ise %92 oranında azalacağı öngörülüyor. Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosu; yurt içinde üretilen hurdanın kullanımının artırılmasını, elektrik şebekesinin karbonsuzlaşmasının hızlandırılmasını, düşük emisyonlu sıcak briketlenmiş demir (HBI) ithalatını ve yurt içinde hidrojen bazlı doğrudan indirgenmiş demir (H_2-DRI) üretimini bir araya getiriyor. Bu senaryo, Türkiye'nin ulusal net sıfır hedefiyle uyumlu olarak sektörel emisyonların 2053 yılına kadar sıfıra yakın bir seviyeye indirilebildiği tek senaryo olarak öne çıkıyor.

Karbon fiyatlandırmasının tek başına uygulanması, ithal HBI kullanımına yönelimi artırabilir ve bu durum, yeni yerli üretim yatırımlarını olumsuz etkileyebilir. Yurt içindeki demir üretiminin sürdürülebilmesi için özel politika desteklerine ihtiyaç vardır. Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesinden ithal edilen doğal gaz bazlı sıcak briketlenmiş demir (NG-HBI), karbon fiyatının yaklaşık **50 avro/t CO_2** düzeyine ulaşması halinde, 2030 yılından önce yurt içindeki yüksek fırın–bazik oksijen fırını (BF-BOF) üretimiyle maliyet açısından rekabet edebilir hale geliyor. Yurt içinde doğal gaz bazlı doğrudan indirgenmiş demir (NG-DRI) üretimi yaklaşık **100 avro/t CO_2** düzeyinde rekabetçi hale gelirken, yurt içinde H_2-DRI üretiminin rekabet gücü kazanabilmesi için finansman risklerinin azaltılması ve karbon fiyatının yaklaşık **140 avro/t CO_2** düzeyine

Senaryo karşılaştırması: Türkiye çelik sektöründe CO_2 emisyonları

→ Fig. B



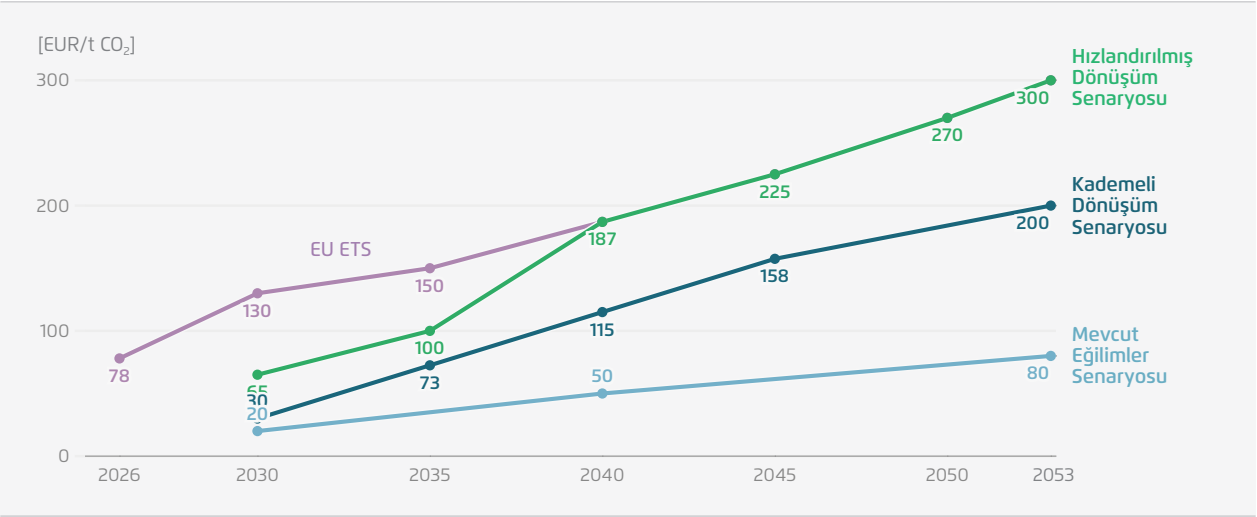
2025'e kıyasla CO_2 azaltımı	2030	2040	2050
Hızlandırılmış D.	–14%	–73%	–92%
Kademeli D	–4%	–45%	–74%
BAU	–4%	–29%	–45%

2025'e kıyasla CO_2 azaltımı	2030	2040	2050
Hızlandırılmış D.	–14%	–76%	–91%
Kademeli D	–1%	–47%	–81%
BAU	–1%	–26%	–44%

Agora Industry (2026)

Senaryolar bazında CO_2 fiyatı varsayımları

→ Fig. C



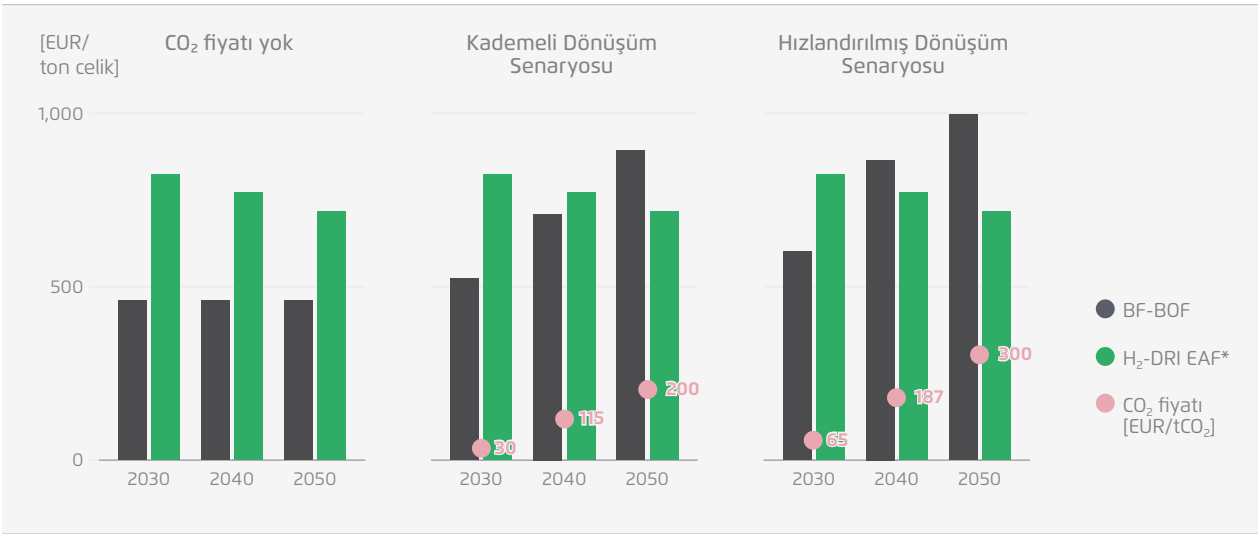
Agora Industry (2026)

ulaşması gerekiyor. Tamamlayıcı politika araçlarının bulunmadığı koşullarda, karbon fiyatlandırması tek başına üretim artışını ve yatırımları ithal HBI kullanımına yönlendirecektir. Bu durum, Türkiye'nin uluslararası arz koşullarına ve sınırlı HBI arzına yönelik küresel rekabete bağımlılığını artırarak sektörün stratejik rekabet gücünü riske atacaktır.

Türkiye'nin ithal edilen ve yurt içinde üretilen sıfıra yakın emisyonlu demir arasında dengeli ve stratejik bir yaklaşım benimsemesi gerekiyor. İthal HBI, elektrik ark ocaklarında çelik üretimi için maliyet açısından avantajlı bir girdi sağlayabilir ve ithal hurdaya bağımlılığı azaltabilir. Ancak HBI ithalatına aşırı bağımlılık, yurt içindeki birincil demir üretim kapasitesini zayıflatabilir ve sektörü jeopolitik gerilimlere, uluslararası arz kısıtlarına ve HBI tedarikinde

Farklı CO_2 fiyat senaryoları altında Türkiye'de BF-BOF ve H_2-DRI EAF üretiminin maliyet karşılaştırması

→ Fig. D



Agora Industry (2026). * Türkiye'deki H2-DRI EAF için iskonto oranı %5 olarak alınmıştır

AB'deki alıcılarla artan rekabete karşı daha kırılgan hale getirebilir. Buna karşılık, yurt içinde H_2-DRI üretimi, katma değerin ülkede kalmasını sağlayabilir ve uzun vadeli hammadde arz güvenliğini güçlendirebilir.

Yatırım planlaması, yüksek fırınların yenileme ve devreden çıkarılma takvimleriyle uyumlu olmalıdır. Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda, BF-BOF üretiminden diğer teknolojilere geçiş 2040 yılı civarında tamamlanıyor. Mevcut BF-BOF tesislerinin, temel ekipmanlarının yenilenmesi veya devreden çıkarılması gereken dönemler dikkate alınarak kademeli biçimde H_2-DRI-EAF teknolojisine dönüştürülmesi, ticari riskleri azaltacak ve ekonomik ömrünü tamamlamadan atıl hale gelebilecek yatırımların önüne geçecektir. İmtiyazlı finansman olanaklarıyla ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin (WACC) %9'dan yaklaşık %5'e düşürülmesi de yurt içinde H_2-DRI üretiminin rekabet gücünü önemli ölçüde artıracaktır.

ETS ve CBAM, yatırımları teşvik edecek şekilde tasarlanabilir. Türkiye'de Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) ile ulusal bir Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (SKDM) birlikte uygulanması ve emisyon tahsisatlarının %60'ının ücretsiz verilmesi halinde, demir-çelik sektöründen yılda yaklaşık **0,5–1,5 milyar avro** karbon geliri elde edilebilir. Bu gelirler, sektörün karbonsuzlaşmasına yönelik önlemlerin finansmanında kullanılabilir ve hızlandırılmış dönüşüm senaryosunun hayata geçirilmesi için gereken **20 yıl boyunca yılda 1,5 milyar avroluk** yatırımın harekete geçirilmesine katkı sağlayabilir.

Değer zincirinin tamamını kapsayan, eşgüdümlü bir politika çerçevesine ihtiyaç vardır. Bu kapsamda öncelik verilmesi gereken adımlar şunlardır:

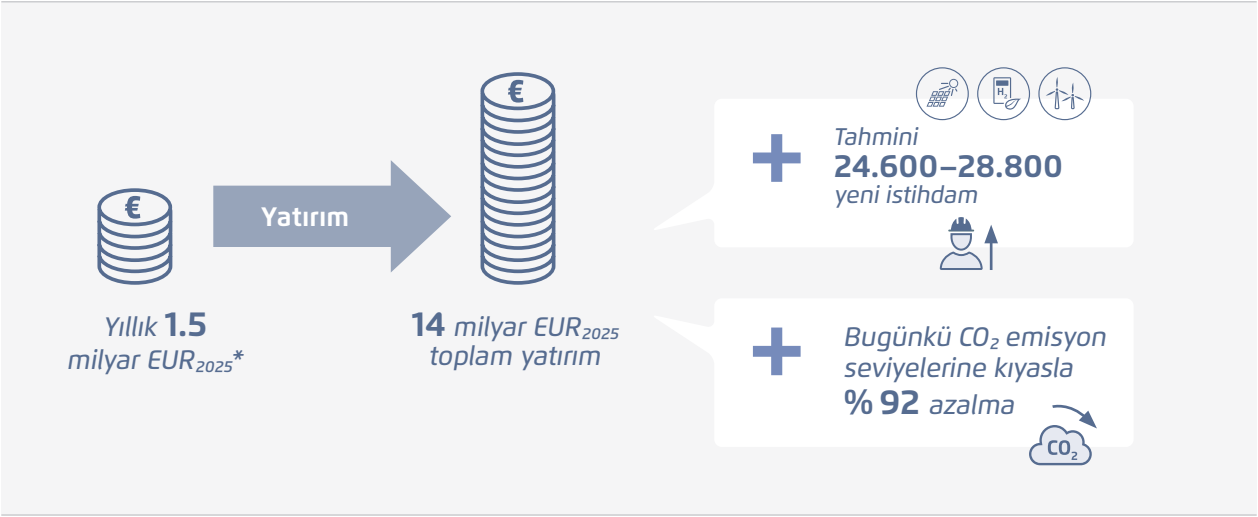
- → Türkiye'deki ETS'nin geliştirilmesi, Türkiye'nin kendi SKDM'sini uygulamaya konulması ve ücretsiz emisyon tahsisatlarının kademeli olarak azaltılması;
- → Karbon gelirleriyle finanse edilen bir Yeşil Çelik Karbonsuzlaşma Fonu'nun kurulması;
- → Karbon Fark Sözleşmeleri, imtiyazlı finansman, kamu garantileri ve karma finansman araçlarının kullanılması;
- → Hidrojen ve çelik sektörlerine yönelik karbonsuzlaşma planlarının uyumlaştırılması ve yenilenebilir hidrojen üretimi ile sanayi talebinin bir araya getirilebileceği fırsatların belirlenmesi;
- → Yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması, elektrik şebekesinin güçlendirilmesi ve iletim altyapısının genişletilmesine yönelik çalışmaların hızlandırılması;
- → Yurt içinde toplanan hurda miktarının bugünkü yaklaşık 10 milyon ton seviyesinden 2050 yılına kadar yaklaşık 26 milyon tona çıkarılması;
- → Uluslararası standartlarla uyumlu bir Yeşil Çelik Standardı'nın benimsenmesi;
- → Zorunlu yeşil kamu alımları, asgari kullanım kotaları ve uzun vadeli alım anlaşmaları yoluyla yeşil çeliğe talep yaratılması.

Yeşil çelik kullanımından kaynaklanan ilave maliyetin nihai tüketici ürünlerinin fiyatlarına etkisi sınırlı kalmaktadır. Bu durum, düşük emisyonlu çelik talebinin teşviki için elverişli bir zemin oluşturmaktadır. Kademeli Dönüşüm senaryosunda, 2030 yılında karbon fiyatının 30 avro/t CO_2, geleneksel çelik ile yeşil çelik arasındaki maliyet farkının ise ton başına 300 avro olduğu varsayıldığında, yeşil çelik kullanımı elektrikli bir otomobilin fiyatını yaklaşık 270 avro (%0,9), bir çamaşır makinesinin fiyatını 8 avro (%1,3), ev tipi bir klimanın fiyatını ise 9 avro (%0,8) artıracaktır. Nihai ürün fiyatları üzerindeki bu sınırlı etki, zorunlu yeşil kamu alımları, asgari kullanım kotaları ve uzun vadeli alım anlaşmaları yoluyla düşük emisyonlu çeliğe yönelik talebin teşvik edilmesini destekleyen önemli bir gerekçe sunmaktadır.

Çelik sektörünün karbonsuzlaşmasının hızlandırılması, Türkiye için stratejik bir fırsat sunuyor.

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosu, Türkiye'nin ithal hurdaya ve fosil yakıt bazlı girdilere bağımlılığını azaltırken yurt içindeki birincil demir üretim kapasitesini koruyabileceğini ve iklim gereklilikle-rinin giderek sıkılaştığı ihracat pazarlarında rekabet gücünü artırabileceğini gösteriyor. Bu dönüşüm aynı

Hızlandırılmış Dönüşüm Senaryosu ve Türkiye için fırsatlar → Fig. E



Agora Industry (2026). Yatırım tahminleri, Hızlandırılmış Dönüşüm Senaryosu kapsamında 20 yıllık bir dönemi esas almaktadır. Toplam ve yıllık yatırım tutarları, gelecekte yapılacak yatırımların %9 iskonto oranı kullanılarak bugünkü değere indirgenmesiyle hesaplanmıştır. Tahmini 24.600–28.800 kişilik istihdam, güneş enerjisi (GES), rüzgâr enerjisi, elektrolizörler ve hidrojen bazlı doğrudan indirgenmiş demir (H_2-DRI) faaliyetlerinde inşaat ve kurulum aşamalarındaki geçici istihdam ile işletme ve bakım aşamalarındaki sürekli istihdamı kapsamaktadır. Geçici istihdam, 20 yıllık proje ömrü üzerinden yıllık ortalamaya dönüştürülerek hesaplanmıştır.

zamanda güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, elektrolizör, H_2-DRI ve EAF değer zincirlerinde yaklaşık **24.600–28.800 kişilik istihdamı** destekleyebilir.

Politika açısından asıl mesele, Türkiye çelik sektörünün değişen koşullara uyum sağlayıp sağlamayacağı değil, bu dönüşümün ne kadar hızlı ve hangi teknolojilerle gerçekleştirileceğidir. İthalata dayalı bir dönüşüm yolu kısa vadede daha düşük maliyetler sunabilir, ancak uluslararası sıcak briketlenmiş demir (HBI) arzına bağımlılığı artırır. Buna karşılık, yurt içinde sıfıra yakın emisyonlu demir üretimini, ithal HBI kullanımını, yerli hurda kullanımının artırılmasını, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini ve elektrik şebekesinin kademeli olarak karbonsuzlaştırılmasını bir araya getiren eşgüdümlü bir dönüşüm yolu, Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefine ulaşması için daha dayanıklı bir seçenek sunmaktadır.

Giriş

Türkiye çelik sektörü, endüstriyel karbonsuzlaşma sürecinde kritik bir dönüm noktasında bulunmaktadır. Büyük ölçüde ithal hurda girdilerine dayalı uzun çelik ürünlerinin ihraç edilmesine ve otomotiv, makine ve beyaz eşya gibi alt sektörlerin ihtiyaç duyduğu yassı çelik ürünlerinin büyük miktarlarda ithal edilmesine dayanan mevcut iş modeli, geçmişte ekonomik açıdan rasyonel bir tercih olarak görülse de küresel ticaret yapısındaki değişimler ve başta Avrupa Birliği (AB) ülkeleri olmak üzere başlıca tedarik pazarlarından sağlanabilecek hurda miktarının azalması ihtimali nedeniyle giderek sürdürülemez hale gelmektedir.

Bu raporda sunulan analiz, Türkiye çelik sektörünün gelecekteki rekabet gücünü koruyabilmesi için net bir karbonsuzlaşma stratejisi doğrultusunda yatırımlara zaman kaybetmeden başlaması gerektiğini ortaya koyuyor. Raporda, Türk çelik üreticilerinin rekabet güçlerini ve ihracat pazarlarını koruyarak sıfıra yakın emisyonlu teknolojilere geçiş yapmalarını sağlayacak maliyet etkin bir yol haritası oluşturmak amacıyla tekno-ekonomik modellemeden yararlanılıyor. Bu kapsamda, farklı karbonsuzlaşma senaryoları ve bunların hayata geçirilmesini destekleyecek politika bileşimleri değerlendiriliyor.

Türkiye'nin toplam çelik ihracatının %21'i AB ülkelerine yapılmaktadır. Bu oran, AB'yi Türkiye çelik sektörünün en büyük ticaret ortağı konumuna getirmektedir. Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) kapsamında uygulanan karbon fiyatları, AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) fiyatlarıyla birlikte artması beklenmektedir. Ücretsiz emisyon tahsisatlarının sağladığı koruma azaldıkça, Türkiye'de entegre yüksek fırın veya elektrik ark ocağı yöntemleriyle üretilen çelik, AB pazarında karbon yoğunluğu daha düşük ürünlere kıyasla giderek artan karbon maliyetleriyle karşı karşıya kalacaktır. AB pazarına bağımlılıktan kaynaklanan riskler, çelik kullanan otomotiv, makine ve beyaz eşya sektörleri için de geçerlidir. Bu sektörlerde üretilen ürünlerin sırasıyla %54'ü, %23'ü ve %48'i AB'ye ihraç edilmektedir.[1] Çelik sektöründe olduğu gibi, SKDM kapsamının 2020'li yılların sonlarına doğru ara ve nihai ürünleri de içerecek şekilde genişletilmesi, bu ürünlerin de rekabet gücünü olumsuz etkileyecektir.

Benzer şekilde, Türkiye'de karbon fiyatlandırmasının uygulamaya konulması, emisyon yoğunluğu yüksek çelik üretim yöntemlerinin ithal ürünlerle rekabet gücünü etkileyecektir. Ulusal ETS mevzuatı 2026 yılında kabul edilmiştir. Karbon Piyasası Kurulu, 2027 yılında başlayacak ETS pilot uygulamasına çelik sektörünü de dahil etmiştir. Pilot dönemde sanayi sektörlerine emisyon tahsisatlarının tamamı ücretsiz olarak verilecektir.[2]

Bu raporda, çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönelik senaryolar oluşturulurken karbon fiyatlandırmasının uygulamaya konulması temel bir varsayım olarak ele alınmıştır. Analiz sonuçları, karbon fiyatının 50 avro/ton CO_2 düzeyine ulaşması ve sanayiye ücretsiz emisyon tahsisatı sağlanmaması durumunda, entegre yüksek fırın yöntemiyle üretilen çeliğin, Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesinden ithal edilen doğal gaz bazlı sıcak briketlenmiş demir (NG-HBI) kullanılarak üretilen çelikle maliyet açısından rekabet edemeyeceğini göstermektedir.

Öte yandan, düşük maliyetli hurdaya kolay erişim de giderek zorlaşmaktadır. GMK Center, 2025 yılında yayımladığı raporda, hurda ihracatına kısıtlama getiren ülkelerin sayısında önemli bir artış yaşandığına dikkat çekmektedir.[3] Bu ülkeler arasında, Türkiye'nin en büyük hurda çelik tedarik kaynağı olan AB de bulunmaktadır. AB'nin atık sevkiyatlarına ilişkin

1 OSD, TÜRKBESD ve Invest in Türkiye verilerine dayalı hesaplamalar. https://en.turkbesd.org/; https://www.invest.gov.tr/en/pages/home-page.aspx

2 https://iklim.gov.tr/tr-ets-pilot-uygulama-donemine-yonelik-karbon-piyasasi-kurulu-toplanti-kararlarina-kpk-2026-1-iliskin-duyuru-duyuru-45

3 GMK Center (2025). "48 Countries Have Already Restricted Scrap Exports", https://gmk.center/en/infographic/48-countries-have-already-restricted-scrap-exports/.

mevzuatında 2024 yılında yapılan değişikliklerle, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi olmayan ülkelere yönelik hurda ihracatına ilave kısıtlamalar getirilmiştir.[4] Ayrıca, Avrupa Komisyonu tarafından önerilen Sanayi Hızlandırma Yasası kapsamında, AB içindeki elektrik ark ocağı (EAF) üretimini desteklemek amacıyla hurda ihracatının daha da kısıtlanması yönünde baskılar bulunmaktadır. Hurda fiyatlarındaki artışın yüksek emisyonlu ürünlerin rekabet gücündeki düşüşle birleşmesi, Türkiye'deki çelik üreticilerinin konumunu zayıflatan ve ciddi endişe yaratan bir dizi risk oluşturmaktadır.

Türkiye'de birincil çelik üretimi, üç entegre yüksek fırın tesisinde gerçekleştirilmektedir. Bu tesislerin verimliliğini artırmak ve yüzyılın ortasına kadar emisyonlarını azaltmak için modernizasyon çalışmalarına ve önemli miktarda yeni yatırıma ihtiyaç duyulacaktır. Bu durum, yatırımların sektörün uzun vadeli rekabet gücünü koruyacak şekilde yönlendirilmesi açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Son olarak, Türkiye'nin Ulusal Katkı Beyanı (NDC) da sektörel politikaların şekillenmesinde giderek daha belirleyici bir rol oynamaktadır.[5] Türkiye, emisyonlarını 2035 yılına kadar %40 oranında azaltmayı ve 2053 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşmayı hedeflemektedir.[6] Bu çerçevede, çelik sektörünün ulusal sera gazı emisyonlarındaki payı ve daha geniş kapsamlı endüstriyel dönüşüm sürecindeki rolü dikkate alındığında, sektörün karbonsuzlaşması Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefine ulaşması açısından büyük önem taşımaktadır.

Türkiye çelik sektörü, bu zorlukların üstesinden gelebilecek güçlü bir konumdadır. Türkiye'de çeliğin %70'i hâlihazırda 41 elektrik ark ocağı ve indüksiyon fırınında hurdaya dayalı yöntemlerle üretilmektedir. Ülkenin yüksek yenilenebilir enerji potansiyeli de yeşil çelik üretiminde öncü bir konuma gelmesi ve imalat ile yenilenebilir enerji sektörlerinde binlerce yeni istihdam yaratması için önemli fırsatlar sunmaktadır. Ayrıca, Türkiye'nin Kasım 2026'da Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin 31. Taraflar Konferansı'na (COP31) ev sahipliği yapacak olması ve 2026-2027 döneminde İklim Kulübü'nün eş başkanlığını üstlenmesi, ulusal karbonsuzlaşma hedeflerine yeni bir ivme kazandırmış ve ülkenin küresel iklim diplomasisindeki konumunu güçlendirmiştir. Türkiye, yeşil yatırımları teşvik etmek ve Türkiye'nin Yeşil Mutabakatı ile AB Taksonomisi ilkelerine uyumu sağlamak amacıyla Yeşil Taksonomi Yönetmeliği'ni de yürürlüğe koymuştur.[7]

Türkiye'nin Ulusal Katkı Beyanı (NDC) kapsamındaki hedeflerine ulaşmasını destekleyen çeşitli girişimler, aynı zamanda endüstriyel karbonsuzlaşma için bir politika zemini oluşturmaktadır. Çok taraflı kalkınma bankaları da bu süreci desteklemek amacıyla giderek daha fazla imtiyazlı finansman sağlamaktadır. Türkiye, İklim Yatırım Fonları'nın Endüstriyel Karbonsuzlaştırma Programı'na katılmak üzere seçilen yedi ülkeden biri olmuştur. Program kapsamında Türkiye için 250 milyon ABD dolarına kadar yatırım öngörülmektedir. Çelik sektörü, ekonomik önemi ve yüksek emisyon yoğunluğu nedeniyle çimento, alüminyum ve gübre sektörleriyle birlikte öncelikli sektörler arasında yer almaktadır. Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD). Dünya Bankası ve Uluslararası Finans Kurumu (IFC) ile birlikte, 2030 yılına kadar endüstriyel karbonsuzlaşma projeleri için 5 milyar

4 https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-shipments_en

5 https://unfccc.int/node/652920. Türkiye, net sıfır emisyon hedefini 2021 yılında açıklamış, ardından Nisan 2023'te yayımladığı güncellenmiş Ulusal Katkı Beyanı ile iklim hedeflerini güçlendirmiştir.

6 Ulusal Katkı Beyanı, Türkiye'nin nüfusu ve ekonomisinin büyümeye devam ettiğini dikkate alarak emisyonların en geç 2038 yılında zirveye ulaşmasını öngörmektedir. Bu tarihten önce, 2030 yılına kadar emisyonların herhangi bir kısıtlama uygulanmayan büyüme senaryosuna kıyasla %41 azaltılması hedeflenmektedir. Başka bir ifadeyle, emisyonların mevcut eğilimlerin devam ettiği senaryoda ulaşacağı düzeyin %41 altında kalması amaçlanmaktadır. 2038 sonrasında emisyon azaltımlarının doğrudan sektörlerde gerçekleştirilecek dönüşümlerle sağlanması gerekecektir. Bu kapsamda elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payının daha da artırılması, kömüre dayalı tesislerin kapatılması, doğal gazın yakıt olarak kullanımının aşamalı biçimde sonlandırılması ve binek araçlar ile uzun mesafeli taşımacılıkta elektrifikasyonun teşvik edilmesi öngörülmektedir.

7 https://www.esin.av.tr/2026/09/29/turkiye-publishes-green-taxonomy-regulation/

avronun üzerinde finansman sağlamayı hedefleyen Türkiye Endüstriyel Karbonsuzlaştırma Yatırım Platformu'nu (TDIP) desteklemektedir.

Bu girişimler, endüstriyel karbonsuzlaşmanın finansmanı için yeni fırsatlar yaratmaktadır. Bununla birlikte, yapılacak yatırımların Türkiye çelik sektörünün uzun vadeli rekabet gücünü desteklemesi açısından uygun teknolojik dönüşüm yollarının seçilmesi kritik önem taşımaktadır.

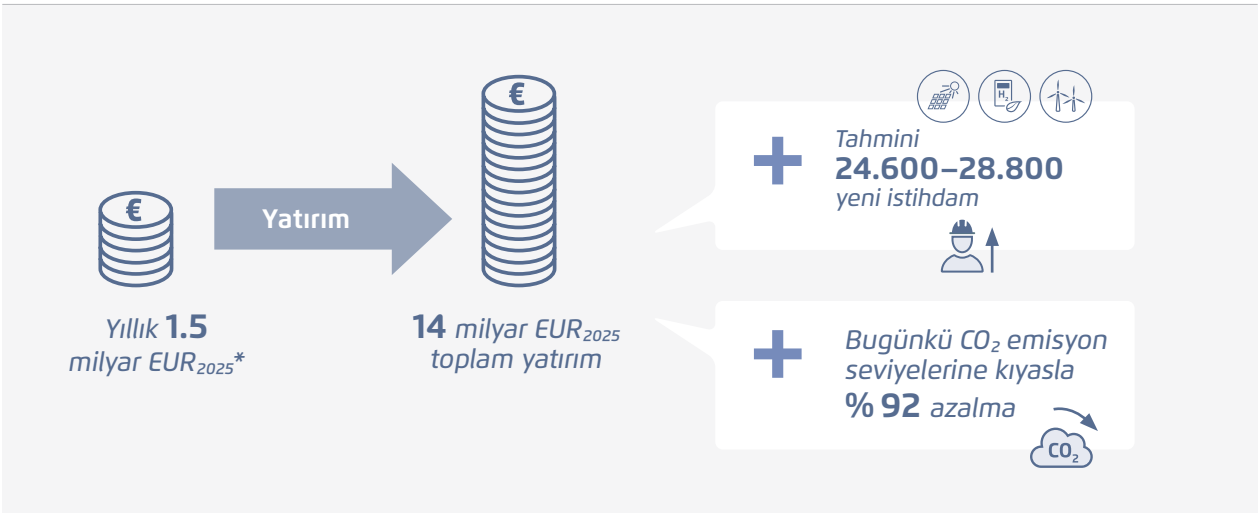
Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (STB). Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) ve Pricewaterhouse-Coopers (PwC) tarafından 2023 yılında hazırlanan bir raporda[8] çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönelik farklı teknolojik dönüşüm yolları değerlendirilmiştir. Bunlar arasında, karbon yakalama ve depolama teknolojisinin olgunlaşmasına ve yaygınlaşmasına bağlı olarak yüksek fırın-bazik oksijen fırını (BF-BOF) yöntemiyle üretimin 2053 sonrasında da sürdürülmesini öngören bir "en düşük maliyetli" senaryo da bulunmaktadır. Ancak, bu raporun yayımlanmasından bu yana yaşanan gelişmeler, CCS teknolojisinde kayda değer bir ilerleme kaydedilmediğini göstermektedir. Buna karşılık, net sıfır emisyonlu demir üretimine yatırım yapan çelik üreticileri, elektrik ark ocağı (EAF) veya ergitme-bazik oksijen fırını (Smelt-BOF) yöntemleriyle birlikte hidrojen bazlı doğrudan indirgenmiş demir (H_2-DRI) teknolojisini tercih etmektedir. Bu gelişmeler ışığında, mevcut raporda sunulan analiz, Türkiye'nin AB ihracat pazarındaki payını koruyabilmesi için rekabetçi ve karbonsuz demir üretim kapasitesini zamanında geliştirmesi ve sürdürmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, entegre yüksek fırın teknolojilerinden daha erken bir aşamada uzaklaşılmasının önemi vurgulanmaktadır.

Bu raporda, en iddialı senaryo olan "Hızlandırılmış Dönüşüm" senaryosunun hayata geçirilmesi için 20 yıl boyunca yılda yaklaşık 1,5 milyar avro yatırım yapılması gerektiği tahmin edilmektedir. Bu yatırımlar, düşük emisyonlu demir üretim teknolojilerinin devreye alınması da dahil olmak üzere Türkiye çelik sektörünün dönüşümünü destekleyecektir. Çelik sektörünün yanı sıra, Türkiye'nin enerji dönüşümü

8 EBRD/MoIT (2023). A Low Carbon Pathway for the Steel Sector in the Republic of Türkiye.

Hızlandırılmış Dönüşüm Senaryosu ve Türkiye için fırsatlar

→ Fig. 1



Agora Industry (2026). Yatırım tahminleri, Hızlandırılmış Dönüşüm Senaryosu kapsamında 20 yıllık bir dönemi esas almaktadır. Toplam ve yıllık yatırım tutarları, gelecekte yapılacak yatırımların %9 iskonto oranı kullanılarak bugünkü değere indirgenmesiyle hesaplanmıştır. Tahmini 24.600–28.800 kişilik istihdam, güneş enerjisi (GES), rüzgâr enerjisi, elektrolizörler ve hidrojen bazlı doğrudan indirgenmiş demir (H_2-DRI) faaliyetlerinde inşaat ve kurulum aşamalarındaki geçici istihdam ile işletme ve bakım aşamalarındaki sürekli istihdamı kapsamaktadır. Geçici istihdam, 20 yıllık proje ömrü üzerinden yıllık ortalamaya dönüştürülerek hesaplanmıştır.

için gereken yatırımlar da önemli boyutlara ulaşmaktadır. Elektrik sektörünün 2053 yılına yönelik dönüşüm hedeflerine ulaşabilmesi için yıllık yaklaşık 14 milyar avro yatırım yapılması gerektiği tahmin edilmektedir.[9]

"Hızlandırılmış Dönüşüm" senaryosu, emisyonların azaltılmasının yanı sıra, H_2-DRI üretim kapasitesinin devreye alınması ve bağlantılı sektörlerdeki faaliyetler yoluyla 28.800'e yakın istihdam yaratılmasını da destekleyebilir.[10] Bu dönüşüm, elverişli bir politika ve finansman çerçevesiyle desteklenen kamu ve özel sektör yatırımlarını gerektirmektedir. Türkiye'nin yeni emisyon ticaret sisteminden elde edilecek gelirler, düşük karbonlu teknolojilerin yaygınlaştırılmasını desteklemek ve özel sektör yatırımlarını harekete geçirmek için ilave bir kamu finansman kaynağı sağlayabilir. Türkiye'nin, AB pazarlarına erişim için her yıl Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) kapsamında ödeme yapmak yerine karbon fiyatlandırmasından elde edilen gelirlerin daha büyük bir bölümünü ülke içinde tutabilmesi için ulusal ETS mevzuatını daha da geliştirmesi gerekmektedir.

Türkiye, yıllardır farklı coğrafi bölgeler arasında köprü kuran bir ülke olarak tanınmaktadır. Şimdi ise mevcut çelik tesislerini ve iş modellerini, sektörün geleceğini şekillendirecek net sıfır emisyonlu üretim yöntemleriyle buluşturarak yeni bir köprü kurma fırsatına sahiptir. Böylece Türkiye, ticaret ve iklim diplomasisindeki merkezi konumunu güçlendirebilir ve COP başkanlığının ötesine geçerek etkisi önümüzdeki on yıllar boyunca sürecek kalıcı bir miras bırakabilir.

9 SHURA (2023)

10 İstihdam ve yatırım tahminlerinde kullanılan metodoloji, raporun ekinde açıklanmaktadır.

1 Türkiye Çelik Sektörünün Mevcut Durumu

Bu bölümde, Türkiye çelik sektörünün mevcut durumunu kapsamlı biçimde ortaya koyan temel bulgular sunulmaktadır. Raporun ilerleyen bölümlerinde bu bulgular esas alınarak sektörün 2053 yılına kadar karbonsuzlaşmasına yönelik bir yol haritası oluşturulacaktır. Bu kapsamda üretim yöntemleri ve kapasitesi, küresel ticaret ve pazar entegrasyonu, hammaddelere erişim ve maliyetler, enerji kaynakları, emisyon profilleri ve sektörün mevcut dönüşüm planları ele alınmaktadır. Bu başlıkların her biri, geleceğe yönelik karbonsuzlaşma stratejilerini değerlendirmeden önce sektörün 2026 yılındaki durumunu anlamak açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

1.1 Üretim, Kapasite ve Üretim Yöntemleri

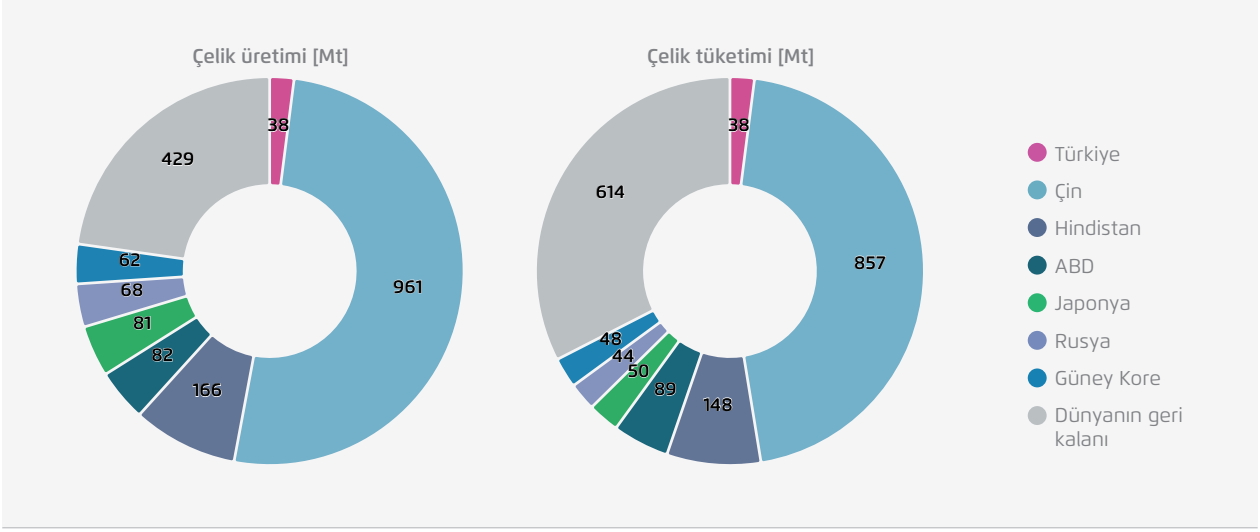
Türkiye, dünyanın en büyük on çelik üreticisi ve tüketicisi arasında yer almaktadır

Türkiye, Avrupa, Orta Doğu ve Asya pazarlarını birbirine bağlayan önemli bir çelik üretim ve sanayi merkezidir. Türkiye'nin ham çelik üretimi 2025 yılında 38,1 milyon tona (Mt), yurt içi nihai çelik tüketimi ise 39,3 milyon tona ulaşmıştır.[11] Çelik ticaretinde de büyüme yaşanmış; 2024 yılına kıyasla ithalat 8,6% artarak 18,9 milyon tona, ihracat ise 12,5% artarak 15,1 milyon tona yükselmiştir.

Türkiye'de çelik talebi, başta inşaat, otomotiv ve imalat olmak üzere çeşitli sanayi sektörlerinden kaynaklanmaktadır. Ancak kamuya açık veriler, çelik tüketiminin sektörlere göre dağılımı hakkında sınırlı bilgi sunmaktadır. Tablo 1 `de, mevcut ulusal sektörel veriler esas alınarak farklı çelik ürünlerine yönelik talebe ilişkin gösterge niteliğinde tahminler sunulmaktadır.

11 Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (TÇÜD) (2026). "Türkiye'nin Ham Çelik Üretimi 2025 Yılında %3,3 Artışla 38,1 Milyon Tona Yükseldi", TÇÜD, Ocak 2026, https://celik.org.tr/tr/bilgi-merkezi/degerlendirme/tuerkiye-nin-ham-celik-ueretimi-2025-yilinda-3-3-artisla-38-1-milyon-tona-yuekseldi

Küresel en büyük çelik üreticileri ve tüketicileri (2024) → Fig. 2



Kaynak: Agora Industry (2026), World Steel (2025)

Yurt içi çelik talebi ve üretimi (2025)

→ Tablo 1

	Birincil Son Kullanım	Talep/Tüketim Hacmi (Mt)	Üretim Hacmi* (Mt)
Uzun çelik	İnşaat, altyapı	~20	24,2
Yassı çelik	Otomotiv, makine, beyaz eşya	~19,3	13,9
Toplam	N/A	39,3	38,1

* TÇÜD (2026), https://celik.org.tr/tr/bilgi-merkezi/degerlendirme/tuerkiye-nin-ham-celik-ueretimi-2025-yilinda-3-3-artisla-38-1-milyon-tona-yuekseldi

Türkiye'nin çelik dış ticaretinde, uzun ve yassı çelik ürünleri açısından ihracat ve ithalatın ters yönlü bir yapı sergilediği yaygın olarak bilinmektedir. İthalatın büyük bölümünü otomotiv sektöründe kullanılan yüksek kaliteli yassı çelik ürünleri oluştururken, ihracatta ağırlıklı olarak inşaat sektöründe kullanılan uzun çelik ürünleri yer almaktadır.[12]

EBRD/PwC tarafından hazırlanan sektör çalışmasına göre, Türkiye'nin yassı çelik talebinin önümüzdeki on yıllarda önemli ölçüde artarak 2023 yılındaki yaklaşık 17 milyon tondan 2053 yılında yaklaşık 29 milyon tona ulaşması beklenmektedir.[13] Otomotiv, makine ve beyaz eşya sektörlerindeki üretim artışının, yüksek kaliteli yassı çelik ürünlerine yönelik talebi daha da artıracağı öngörülmektedir. Türkiye çelik sektörünün mevcut iş modeli devam ettiği takdirde, bu gelişme yassı çelik ithalatına olan bağımlılığın daha da artmasına yol açacaktır.

Çelik üretimi Türkiye geneline yayılmış olmakla birlikte dört ana bölgede yoğunlaşmaktadır

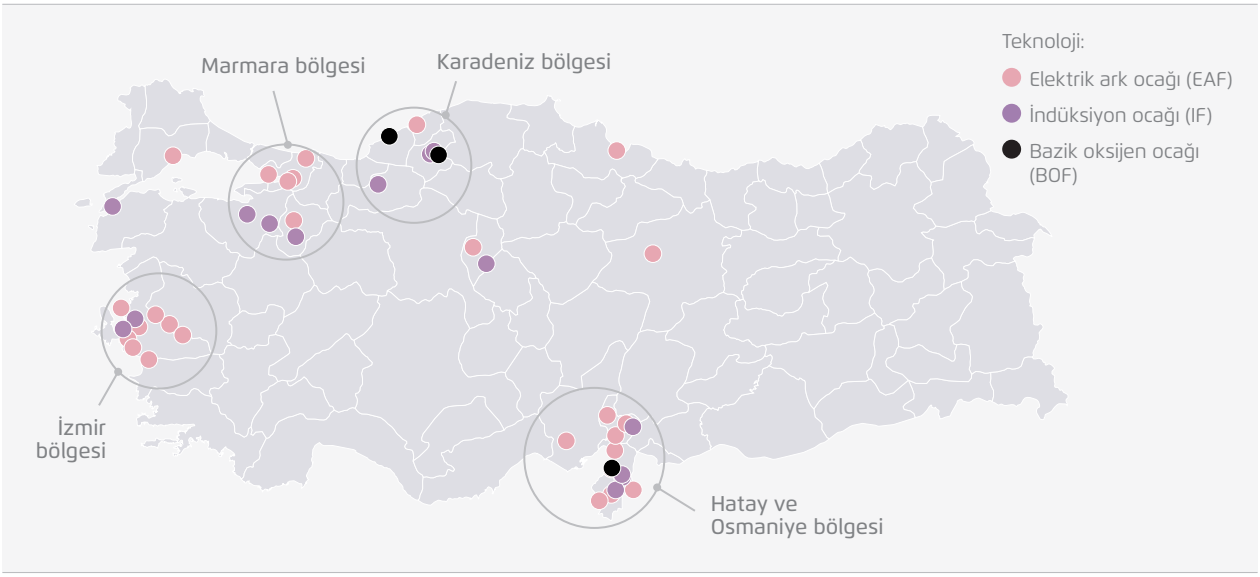
Marmara Bölgesi, Karadeniz Bölgesi, Hatay-Osmaniye ve İzmir çevresi.

12 Bu rapor kapsamında söz konusu verilerin sektörlere göre dağılımına ulaşılamadığından, analizde paydaşların aktardığı bilgi ve gözlemler esas alınmıştır.

13 EBRD/ Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023). *Türkiye Cumhuriyeti Çelik Sektörü için Düşük Karbonlu Bir Yol Haritası.*

Türkiye'deki demir/çelik tesisleri haritası

→ Fig. 3



Kaynak: TÇÜD (2026'da erişilmiştir)

Türkiye'de çeliğin büyük bölümü, temel hammadde olarak hurda kullanılan ikincil üretim yöntemiyle elektrik ark ocaklarında (EAF) üretilmektedir

2025 yılında Türkiye'deki ham çelik üretiminin %72,2'si elektrik ark ocağı (EAF) yöntemiyle, %27,8'i ise yüksek fırın-bazik oksijen fırını (BF-BOF) teknolojisini kullanan entegre tesislerde gerçekleştirilmiştir.[14] Bu üretim yapısı, Türkiye'yi entegre üretim yöntemlerinin hâlâ ağırlıklı olarak kullanıldığı diğer birçok büyük çelik üreticisi ülkeden ayırmaktadır. 2025 yılı itibarıyla Türkiye'de toplam yıllık üretim kapasitesi yaklaşık 12 milyon ton olan üç faal BF-BOF tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler, Erdemir (Ereğli, 4 Mt). İskenderun Demir ve Çelik (İsdemir, 5,8 Mt) ve Kardemir (Karabük, 2,5 Mt) tarafından işletilmektedir.[15] Türkiye'deki BF-BOF tesislerinin ilk kuruluşları 1930'lara (Kardemir). 1960'lara (Erdemir) ve 1970'lere (İsdemir) uzanmaktadır. Bu tesisler, kuruluşlarından bu yana birçok kez yenilenmiş ve yeni yatırımlarla modernize edilmiştir. En son modernizasyon çalışmaları İsdemir'de 2025, Erdemir'de 2023 ve Kardemir'de 2022 yıllarında gerçekleştirilmiştir. Tesislerin belirli bölümlerinin yenilenmesi ve modernizasyonuna yönelik yakın tarihli yatırımlar, çelik sektörünün yüksek fırınların en az 20 yıl daha faaliyet göstermesini beklediğine işaret etmektedir.

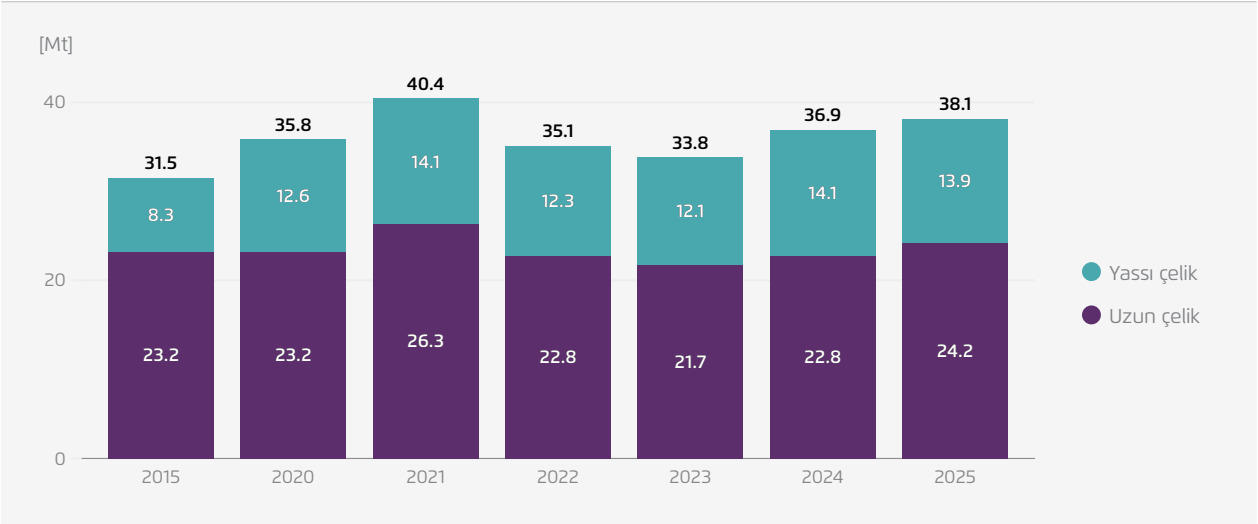
Buna karşılık, toplam 27–30 milyon ton üretim kapasitesine sahip EAF tesisleri çok daha yenidir. Bu tesislerin büyük bölümü, başta inşaat demiri ve filmaşin/kangal demiri olmak üzere uzun çelik ürünlerine yönelik yurt içi talebi karşılamak amacıyla 2000 yılından sonra kurulmuştur. Bu gelişme, 1980'li yıllarda başlayan ve hurda bazlı EAF üretimine geçişle şekillenen kapsamlı bir yapısal dönüşümün sonucudur. EAF yöntemiyle yapılan üretimin toplam çelik üretimindeki payı, 1980 civarındaki yaklaşık %29 seviyesinden 2005 yılında %71'e yükselmiş ve o tarihten bu yana benzer düzeylerde kalmıştır.

Bu büyüme, kısmen EAF tesislerine uygulanan özel elektrik tarifeleri, vergi iadeleri ve taşımacılık sübvansiyonlarıyla desteklenmiştir. Ayrıca, 1996 yılında

14 TÇÜD (2026). "Türkiye'nin Ham Çelik Üretimi 2025 Yılında %3,3 Artışla 38,1 Milyon Tona Yükseldi"

15 Erdemir (2025). "Türkiye'nin küresel çelik gücü Erdemir 60 yaşında", Erdemir, https://www.erdemir.com.tr/kurumsal/medya/basin-bultenleri/turkiyenin-kuresel-celik-gucu-erdemir-60-yasinda; İsdemir (n.d.). "Corporate", İsdemir, https://www.isdemir.com.tr/en/corporate/history; Kardemir (n.d.). "About Us", Kardemir, https://www.kardemir.com/; Özdamar, A.B. et al. (2026). "A Study of the Environmental Challenges En Marche Towards Net-Zero: Case Study of Turkish Steel Industry", Processes, 14(1). 178, https://doi.org/10.3390/pr14010178

Türkiye'nin ham çelik üretimi → Fig. 4



TCÜD (2026)

Türkiye ile AB arasında Gümrük Birliği yürürlüğe girmiş ve aynı yıl Türkiye ile Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu (ECSC) arasında bir serbest ticaret anlaşması imzalanmıştır. Maliyet avantajları da BF-BOF üretiminden uzaklaşılmasında etkili olmuştur.

Son yirmi yılda Türkiye'deki çelik üreticilerinin özelleştirilmesi tamamlanmış, bu süreçte üretim, ithalat ve ihracat hacimleri yaklaşık iki katına çıkmıştır. Bu gelişme, hem yurt içi çelik tüketimindeki büyümeyi hem de ihracattaki artışı yansıtmaktadır. Yurt içi tüketimdeki büyümenin temel itici güçleri ise inşaat ve imalat sektörleri olmuştur.

İki üretim yöntemi, farklı ürün pazarlarına hizmet etmektedir. BF-BOF tesislerinde ağırlıklı olarak otomotiv, beyaz eşya ve özel çelik ürünleri için kullanılan sıcak haddelenmiş rulolar da dahil olmak üzere yassı çelik ürünleri üretilmektedir. Buna karşılık, EAF tesisleri uzun çelik üretiminde ağırlıklı paya sahiptir ve inşaat, sanayi ve altyapı sektörlerine inşaat demiri ve filmaşin tedarik etmektedir.

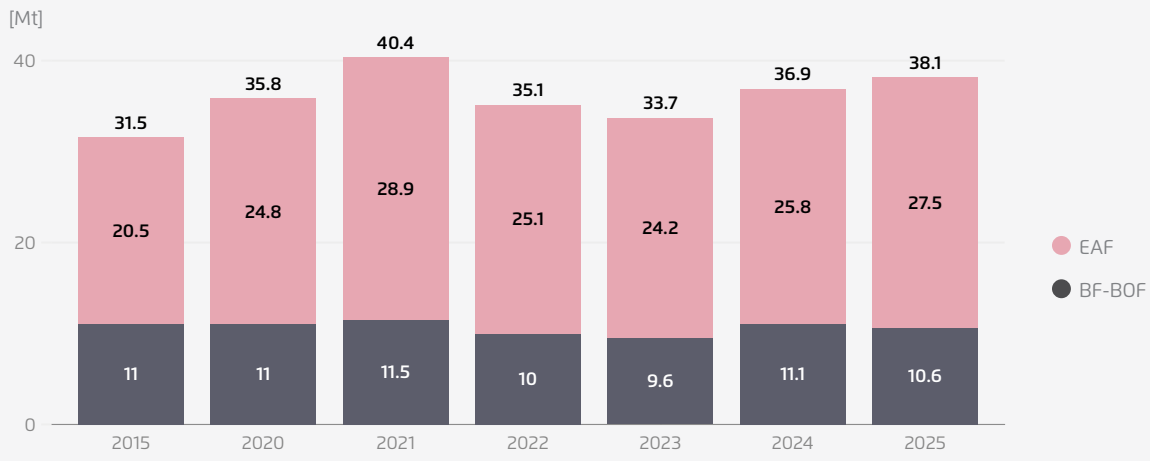
Türkiye çelik sektörü, son yıllarda kapasite kullanım oranlarının tarihsel olarak düşük seviyelere gerilemesine neden olan yapısal sorunlarla karşı karşıya kalmıştır

Son yıllarda üretimde sınırlı bir büyüme kaydedilmesine rağmen, sektör yapısal sorunlarla karşı karşıya kalmaya devam etmektedir. Türkiye, 2021 yılında 54,0 milyon ton kurulu kapasiteyle 40,4 milyon ton ham çelik üretmiş ve %74,8 kapasite kullanım oranına ulaşmıştır. Bu üretim miktarı, sektör açısından tarihî bir rekor olmuş ve sonraki yıllarda bu seviyeye yeniden ulaşılamamıştır. Ancak 2023 yılında üretim, kısmen aynı yılın şubat ayında meydana gelen yıkıcı depremlerin etkisiyle 33,7 milyon tona gerilemiştir.[16]

Bununla birlikte, 2021–2023 döneminde kapasite kullanım oranı %64 gibi düşük bir seviyede olmasına rağmen yeni üretim kapasiteleri devreye alınmıştır. 2025 yılına gelindiğinde kurulu kapasite %14,6 artarak 61,9 milyon tona ulaşırken, üretim 38,1 milyon tonda kalmış ve 2021 yılındaki rekor seviyenin

16 https://celik.org.tr/tr/bilgi-merkezi/degerlendirme/tuerkiye-nin-ham-celik-ueretimi-2025-yilinda-3-3-artisla-38-1-milyon-tona-yuekseldi

Türkiye'de üretim yöntemine göre çelik üretimi → Fig. 5



TCÜD (2026)

2,3 milyon ton altında gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda kapasite kullanım oranı 2025 yılında %61,6'ya kadar gerilemiştir.[17]

Yeni kapasite yatırımlarının bir bölümü, AB ve MENA pazarlarındaki ihracat payını artırmak ve özellikle daha yüksek katma değerli yassı çelik ürünlerine yönelerek ihracat portföyünü çeşitlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ancak küresel talebin zayıflaması ve Asyalı üreticilerden kaynaklanan rekabetin artması, yeni kapasitelerin kullanımını sınırlamıştır. Bu durum, küresel çelik sektöründeki kapasite fazlası sorununun bir yansıması olup sektör genelinde kârlılığı olumsuz etkilemeye devam etmektedir.

2025 yılı, Türkiye çelik sektörü açısından oldukça zorlu geçmiştir. Artan finansman maliyetlerine, Rusya, Çin ve diğer ülkelerdeki devlet destekli üretimin küresel çelik fiyatları üzerinde yarattığı aşağı yönlü baskı da eklenmiş ve bu durum üreticilerin mali yükünü önemli ölçüde artırmıştır.

1.2 Küresel Ticaret Entegrasyonu ve Piyasa Yapısı

Türkiye çelik sektörü, uluslararası ticaret ağlarıyla güçlü bağlara sahip olup dünyanın en büyük on çelik ihracatçısı ve ithalatçısı arasında yer almaktadır

Türkiye'deki çelik talebinin yaklaşık yarısı ithalatla karşılanırken, yurt içi çelik üretiminin yaklaşık yarısı ihraç edilmektedir. Hem ithalatın hem de ihracatın yüksek düzeyde olması, farklı çelik ürünleri arasındaki yapısal dengesizliği yansıtmaktadır. Türkiye, başta inşaat demiri ve diğer inşaat malzemeleri olmak üzere uzun çelik ürünlerinde net ihracatçı konumundadır. Buna karşılık, yurt içi üretim kapasitesinin nispeten sınırlı olduğu otomotiv ve beyaz eşya sektörlerine yönelik yassı çelik ürünlerinde net ithalatçı olmaya devam etmektedir.[18] Hurda, metalurjik kömür ve demir cevheri ithalatı da dikkate alındığında, Türkiye çelik sektörü genel olarak net ithalatçı konumundadır.

Çelik ihracatı ağırlıklı olarak iki bölgeye yönelmektedir: AB ve Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA). Uzun çelik ürünleri öncelikle MENA ülkelerine ihraç edilirken, yassı çelik ihracatının büyük bölümü AB pazarına yapılmaktadır. Türkiye, 2025 yılının ilk sekiz ayında 17%'lik payla AB'ye en fazla çelik ihraç eden ülke olmuş ve Avrupa tedarik zincirlerindeki güçlü konumunu ortaya koymuştur.[19]

Öte yandan, devletlerin çelik üreticilerine sağladığı geniş kapsamlı desteklerin de etkisiyle, ithal çelik ürünleri Türkiye pazarına giderek daha fazla yerli üretim maliyetlerinin altındaki fiyatlarla girmektedir. Özellikle Çin'den yapılan çelik ithalatı hızla artmıştır. Çin'in Türkiye'ye yönelik çelik ihracatı 2020 yılından bu yana on kattan fazla artmıştır.[20] Bu gelişme, yerli üreticiler üzerindeki baskıyı artırarak kapasite kullanım oranlarının tarihsel olarak düşük seviyelerde kalmasına neden olmuştur.

1.3 Hammaddeler (Hurda, Enerji ve Demir Cevheri)

Türkiye, dünyanın en büyük hurda çelik ithalatçısıdır

Türkiye çelik sektörünün rekabet gücü, büyük ölçüde hammadde tedarikine, özellikle de hurda ve enerji maliyetlerine bağlıdır. Hurda, Türkiye'de elektrik ark ocağı (EAF) yöntemiyle çelik üreten tesislerin toplam

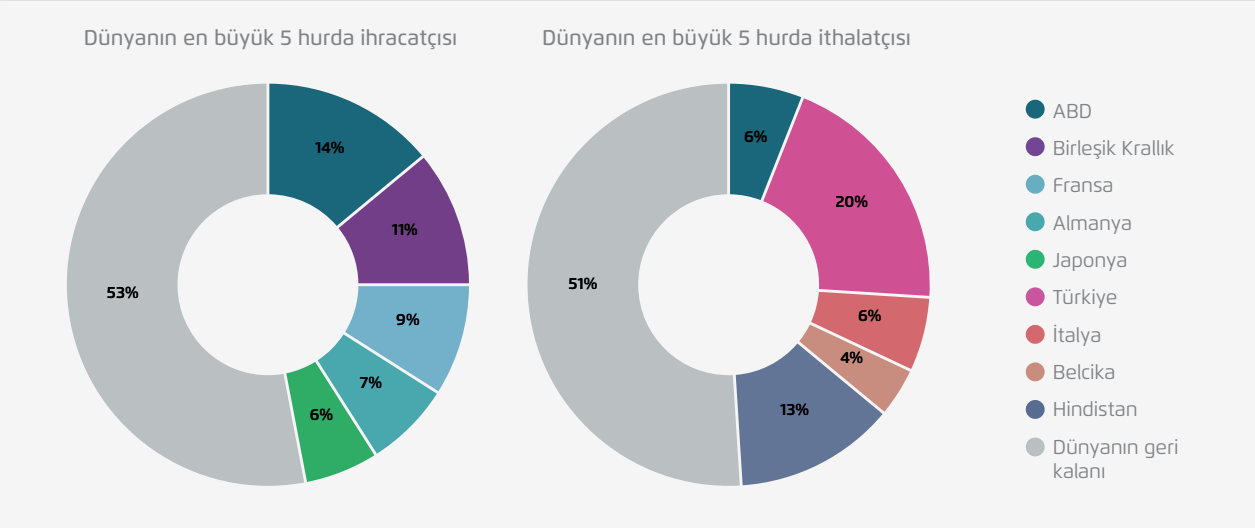
17 Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (TÇÜD) (2025). "Basın Bülteni Aralık 2025", TÇÜD, Aralık 2025, https://celik.org.tr/tr/bilgi-merkezi/basin-bulteni/basin-buelteni-aralik-2025

18 Baş, D. (2025). *Türkiye Çelik Sektörünün Karbonsuzlaştırılması: Politika ve Aktör Analizi*, İstanbul Politikalar Merkezi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, Ağustos 2025.

19 Avrupa Çelik Birliği (EUROFER) (2025). 2025–2026 Ekonomik ve Çelik Piyasası Görünümü, Dördüncü Çeyrek Raporu, Aralık 2025, https://www.eurofer.eu/assets/publications/economic-market-outlook/economic-and-steel-market-outlook-2025-2026-fourth-quarter/EUROFER-Economic-and-Steel-Market-Outlook-Q4-2025.pdf

20 Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (TÇÜD) (2025). "Basın Bülteni Aralık 2025", TÇÜD, https://celik.org.tr/tr/bilgi-merkezi/basin-bulteni/basin-buelteni-aralik-2025

Küresel en büyük hurda ihracatçıları ve ithalatçıları (2023) → Fig. 6



Kaynak: Agora Industry (2026), UN Comtrade ve GMK Center tahminlerine (2025) dayanarak

üretim maliyetlerinin %80'ini oluştururken, diğer önemli maliyet kalemleri elektrik ve fosil gazdır.[21] Hurdanın çelik üretimindeki temel girdilerden biri olması nedeniyle, Türkiye'deki EAF üreticilerinin rekabet gücü hurda arzına, hurda fiyatlarındaki dalgalanmalara ve elektrik fiyatlarına son derece duyarlıdır.

Türkiye, dünyanın en büyük çelik hurdası ithalatçısıdır. Türkiye'de 2021 yılında yaklaşık 35 milyon ton hurda tüketilmiş ve bunun yaklaşık 25 milyon tonu, yani %70'i ithalat yoluyla karşılanmıştır.[22] İthal edilen hurdanın yaklaşık 13 milyon tonu AB ülkelerinden temin edilmiştir. Türkiye, 2024 yılında ise yaklaşık 20,1 milyon ton demirli hurda ithal etmiştir. Bu ithalatın yaklaşık 63%'ü AB ve Birleşik Krallık'tan, 23–22%'ü ise ABD'den karşılanmıştır.[23] Ülke bazında en büyük tedarikçi ABD olurken, onu Hollanda ve Birleşik Krallık izlemiştir.

İthal hurdaya olan bu yüksek bağımlılık, Türkiye çelik sektörünün yapısal özelliklerinden biridir. Sektör temsilcileri, ithalat bağımlılığını azaltmak için yurt içi hurda toplama faaliyetlerinin artırılması, hurda konusunda uzmanlaşmış bölgelerin oluşturulması ve hurda ayrıştırma ile safsızlık giderme altyapısının geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.[24] Bununla birlikte, son dönemde yapılan sektörel değerlendirmeler, %70'e ulaşan hurda ithalat bağımlılığının kapsamlı politika müdahaleleri olmadan kısa vadede önemli ölçüde azaltılmasının güç olduğunu göstermektedir.[25]

Türkiye'nin hurda piyasası, özellikle nihai çelik ürünlerine yönelik talep ve buna bağlı fiyat hareketleri üzerinden küresel piyasalardaki gelişmelerden doğrudan etkilenmektedir. Öte yandan Türkiye, dünyanın en büyük hurda ithalatçısı olarak kendi talebiyle de küresel hurda piyasalarını etkilemektedir. Piyasada temel fiyat referansı olarak, S&P Global Platts bünyesindeki The Steel Index (TSI) kullanılmaktadır. Bu endeks, uluslararası ticarette en yaygın hurda sınıflarından biri olan ABD menşeli HMS 1&2 (80:20) hurdasının Türkiye limanlarına teslim

21 Baş (2025). *Türkiye Çelik Sektörünün Karbonsuzlaştırılması: Politika ve Aktör Analizi*,
22 Baş, D. (2025). *Türkiye Çelik Sektörünün Karbonsuzlaştırılması: Politika ve Aktör Analizi – Yönetici Özeti.*
23 Kadıoğlu, B. (2025). "Türkiye'nin hurda ithalatı 2024'te yüzde 6,7 arttı", SteelOrbis, 3 Şubat 2025. https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/turkeys-scrap-imports-up-67-percent-in-2024-1376958.htm
24 Baş (2025). *Türkiye Çelik Sektörünün Karbonsuzlaştırılması: Politika ve Aktör Analizi.*
25 Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Derneği (SEFiA) (2026). Türkiye Hurda Çelik Değer Zinciri Çalıştayı Raporu, SEFiA, 2026.

fiyatlarını (CFR Türkiye) izlemektedir. EAF üreticileri ağırlıklı olarak İzmir, Kocaeli ve Hatay'daki liman bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Bu coğrafi dağılım, yalnızca ithal hurdaya bağımlılıkla değil, genel lojistik avantajlarla da açıklanabilir. Nitekim limanlar, hurda ithalatının yanı sıra nihai çelik ürünlerinin ihracatında da önemli rol oynamaktadır.[26]

Yurt içi hurda alımlarında her üretici kendi teknik satın alma şartnamelerini uygulamaktadır. Bu şartnameler genel olarak benzer olmakla birlikte ayrıntılarda farklılık göstermektedir. Ancak uluslararası düzeyde kabul gören ISRI şartnamelerine benzer, tüm sektörde geçerli ortak bir standart bulunmamaktadır. Bazı üreticiler ayrıntılı hurda alım şartnameleri yayımlamakta ve tüm tedarikçilerden geçerli yasal izin ve sertifikalara sahip olmalarını istemektedir. Bu belgeler, tedarikçilerin onaylanmasından önce üreticilerin ilgili uyum birimleri tarafından kontrol edilmektedir.[27]

2025 yılında küresel piyasalardaki gelişmeler, hurda piyasası üzerindeki baskıyı daha da artırmıştır. Çin'den gelen talebin artması, ABD'nin ihracat kısıtlamaları ve AB'nin Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) uygulaması nedeniyle hurda fiyatları bir önceki yıla göre yaklaşık %15 yükselmiştir. Ayrıca, yüksek emisyonlu tedarikçiler için ton CO_2 başına 20 ila 50 avro arasında değişen ek karbon maliyetleri ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeler, EAF üreticilerinin kâr marjlarını daraltmış ve Türkiye çelik sektörünün dış şoklara karşı kırılganlığını ortaya koymuştur.

2026–2030 döneminde Türkiye'nin hurda piyasasında önemli bir dönüşüm yaşanması beklenmektedir. Hedefe yönelik teşviklerle yurt içi hurda toplama kapasitesinin %15–20 oranında artırılması mümkün görünmektedir. Blok zinciri gibi dijital izleme sistemlerinin ve standartlaştırılmış hurda sınıflandırma uygulamalarının ise kayıt dışı ticareti azaltması ve hurda kalitesini artırması beklenmektedir. Bununla birlikte, SKDM'a uyum gereklilikleri ve AB Atık Sevkiyat Yönetmeliği'nin, hurdanın daha büyük bir bölümünün düşük karbonlu üretim yapılan bölgelerde tutulmasını teşvik etmesi muhtemeldir. Bu durum, Türkiye'nin erişebileceği hurda arzını azaltarak maliyetleri artırabilir. Mevcut eğilimlerin devam etmesi halinde, EAF yöntemiyle yapılan üretimin toplam çelik üretimindeki payı 2030 yılına kadar %80'e ulaşabilir. Bu da yıllık hurda talebinin yaklaşık 35 milyon tona yükselmesine neden olabilir.

Türkiye'nin hurda sektörü, uluslararası fiyat hareketlerine son derece duyarlı olmakla birlikte kayıt dışı ticaretin yaygınlığı, bölgeler arasındaki eşitsizlikler ve mevzuattan kaynaklanan engeller nedeniyle çeşitli kısıtlarla karşı karşıyadır. Yurt içi hurda arzının artırılması ve dijitalleşme, uzun vadede bu sorunların çözümüne katkı sağlayabilir. Ancak politika değişikliklerinin ithalat yapısını ve fiyat oluşumunu yeniden şekillendirdiği dikkate alındığında, mevcut yasama dönemi sektörün geleceği açısından kritik önem taşımaktadır.

BF-BOF yöntemiyle üretim büyük ölçüde ithal koklaşabilir kömür ve demir cevherine dayandığından, üreticiler küresel emtia fiyatlarındaki ve döviz kurlarındaki dalgalanmalara ve tedarik zincirindeki aksamalara karşı kırılgan durumdadır.

Türkiye, başta Sivas, Malatya, Bingöl, Adana ve Kayseri olmak üzere çeşitli bölgelerde demir cevheri yataklarına sahiptir. Ülkede 2023 yılında madenlerden toplam 15,5 milyon ton demir cevheri çıkarılmıştır.[28] Ancak yurt içi demir cevheri kaynakları kalite bakımından sınırlı ve farklı özelliklere sahiptir. Bazı yataklardaki cevher doğrudan kullanılabilirken, önemli bir bölümünün çelik üretiminde verimli biçimde kullanılabilmesi için işlenmesi gerekmektedir.[29]

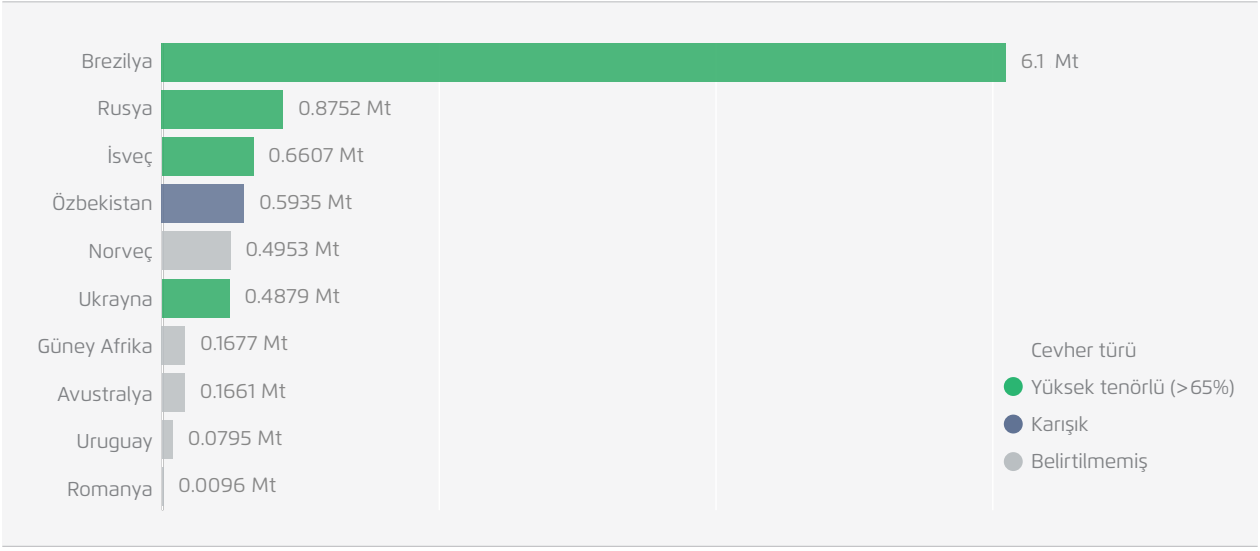
26 Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Derneği (SEFiA) (2026). Türkiye Hurda Çelik Değer Zinciri Çalıştayı Raporu, SEFiA, 2026.

27 Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Derneği (SEFiA) (2026). Türkiye Hurda Çelik Değer Zinciri Çalıştayı Raporu, SEFiA, 2026.

28 https://www.steelradar.com/en/major-companies-and-regions-in-turkiyes-iron-ore-production/

29 Bunun en belirgin örneği Hasançelebi'dir. Burada çıkarılan ham cevherin ortalama manyetit (Fe_3O_4) içeriği %30 düzeyindedir ve zenginleştirme işlemiyle ancak yaklaşık %45 manyetit içeren bir ön konsantre elde edilebilmektedir.

Tedarikçi ülke bazında Türkiye'nin demir cevheri ithalatı (2025) → Fig. 7



Kaynak: Agora Industry (2026), Steel Orbis (2026), Metalloinvest (2025), LKAB (2025), Triangul Metals (2025) ve Ferrexpo (2025) verilerine dayanarak

Bu nedenle demir cevheri ithalatı, Türkiye çelik sektörü açısından büyük önem taşımaya devam etmektedir. İstanbul Politikalar Merkezi (IPC) verilerine göre Türkiye, 2021 yılında 11,2 milyon ton demir cevheri ithal etmiştir. SteelOrbis ve TÜİK verileri ise 2025 yılında ithalatın 9,64 milyon ton olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Bu miktar, çelik sektöründe kullanılan toplam demir cevherinin yaklaşık %60'ına karşılık gelmektedir. İthalatta ilk sırada Brezilya yer alırken, bu ülkeyi Rusya, İsveç, Özbekistan ve Ukrayna izlemektedir (bkz. Şekil 7). İthal edilen cevherin büyük bölümü, Türkiye'deki yataklardan çıkarılan cevhere kıyasla çok daha yüksek kalitelidir.

Kömür ithalatındaki değişim esas olarak termik kömürde yaşanırken, Avustralya ve ABD'den yapılan koklaşabilir kömür ithalatı genel olarak istikrarlı seyretmiştir. **Koklaşabilir kömür** piyasasında yıllık ithalat yaklaşık 5 milyon ton düzeyinde gerçekleşmiş ve ithalatın büyük bölümü düzenli olarak Avustralya ve ABD'den karşılanmıştır. Bu iki ülke, 2020–2025 döneminde toplam ithalatın yaklaşık %80–90'ını sağlamıştır. Rusya'dan yapılan koklaşabilir kömür ithalatı 0,3–0,7 milyon ton arasında sınırlı düzeylerde kalırken, Kolombiya'dan yapılan ithalat oldukça düşük seviyelerde gerçekleşmiş ve azalma eğilimi göstermiştir.

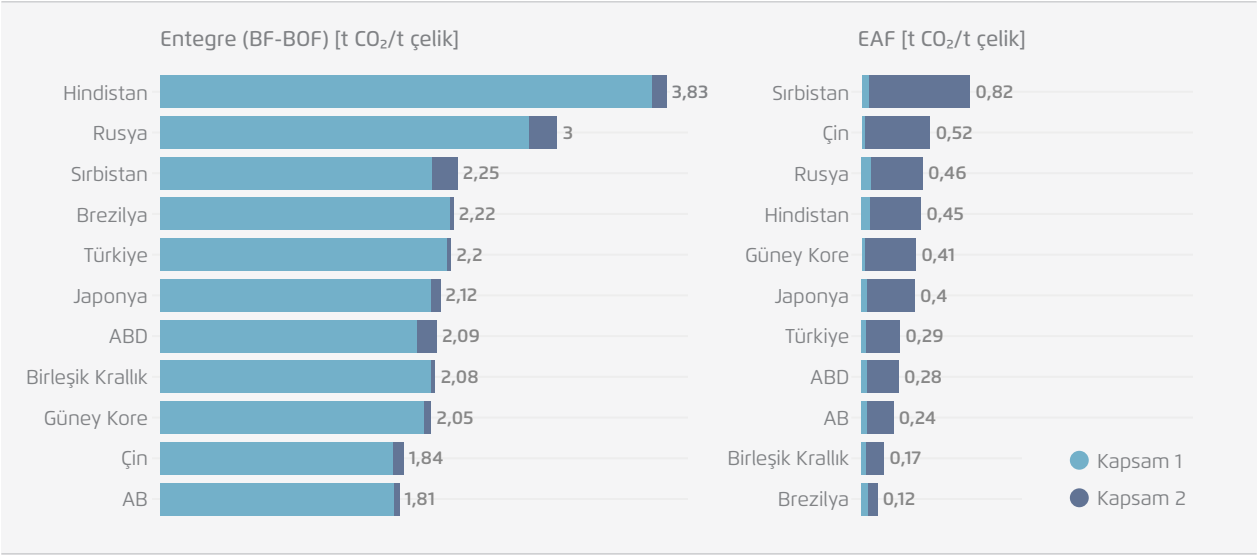
1.4 Sektörün Emisyon Profili

Türkiye'de EAF yönteminin yüksek payı, çelik üretiminin ortalama emisyon yoğunluğunu düşürürken entegre üretim tesislerinin emisyon yoğunluğu yüksek kalmaya devam etmektedir

Türkiye'de çelik üretiminin ortalama CO_2 emisyon yoğunluğunun nispeten düşük olması, büyük ölçüde kullanılan üretim yöntemlerinin dağılımından kaynaklanmaktadır. Entegre BF-BOF yönteminin ağırlıklı olduğu diğer büyük çelik üreticisi ülkelerden farklı olarak Türkiye'de üretimin yaklaşık %70'i elektrik ark ocaklarında (EAF) gerçekleştirilmektedir. EAF yöntemi, temel olarak hurdayı hammadde olarak kullandığı ve yüksek karbon yoğunluğuna sahip demir üretim aşamasını ortadan kaldırdığı için entegre üretime kıyasla çok daha düşük doğrudan emisyona neden olmaktadır.

JRC'nin 2022 verilerine göre, Türkiye'de EAF yöntemiyle çelik üretiminin tahmini emisyon yoğunluğu, üretilen çelik tonu başına yaklaşık 0,29 ton CO_2 (t CO_2/t çelik) düzeyindedir. Entegre üretimde ise bu değer 2,20 t CO_2/t çeliğe ulaşmaktadır. Bu farklılık sonucunda Türkiye çelik sektörünün genel emisyon yoğunluğu 0,88 t CO_2/t çelik olarak tahmin

Üretim yöntemine göre CO_2 emisyon yoğunluğu (2022) → Fig. 8



Agora Industry (2026), JRC (2022) verilerine dayanarak

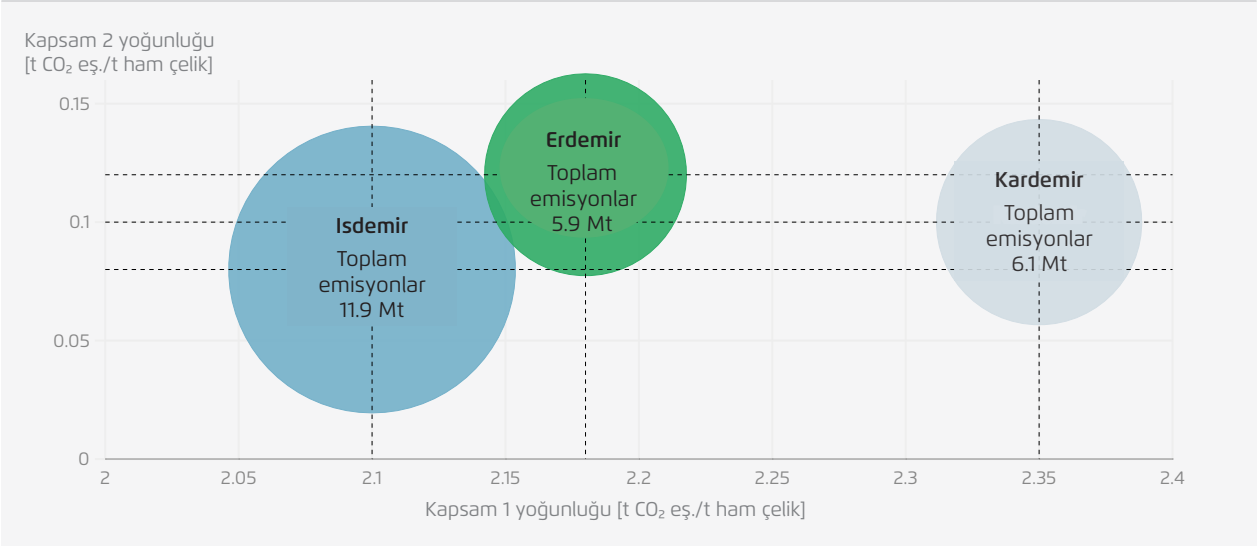
edilmektedir. Bu değer, Brezilya (1,25 t CO_2/t çelik). AB (1,15 t CO_2/t çelik) ve ABD (0,9 t CO_2/t çelik) gibi diğer büyük çelik üreticilerinin ortalamalarından daha düşüktür. (JRC, 2022).

Bununla birlikte, çelik üretimi Türkiye'de önemli bir sera gazı emisyon kaynağı olmaya devam etmektedir.

Sektörün 2025 yılındaki toplam emisyonlarının yaklaşık 35,2 milyon ton CO_2 olarak hesaplanmıştır.

Türkiye'deki üç entegre BF-BOF üreticisi olan Erdemir, İsdemir ve Kardemir, sektörün toplam emisyonlarının yaklaşık üçte ikisinden sorumludur. Doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonlarını kapsayan Kapsam 1 ve Kapsam 2 kapsamında, bu üç üreticinin

Türkiye'deki entegre tesislere ilişkin emisyon verileri (2025) → Fig. 9



Kaynak: Şirket raporlarından derlenen veriler

2025 yılındaki toplam emisyonları yaklaşık 24 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu tesislerin emisyon yoğunluğu, üretilen ham çelik tonu başına yaklaşık 2,1 ila 2,5 ton CO_2 eşdeğeri (t CO_2e/t ham çelik) arasında değişmektedir.

Türkiye'de elektrik üretimi hâlâ büyük ölçüde kömür ve doğal gaza bağımlıdır. Bu durum, ikincil üretim yöntemlerini kullanan çelik sektörünün emisyonlarının yüksek kalmasına neden olmaktadır.

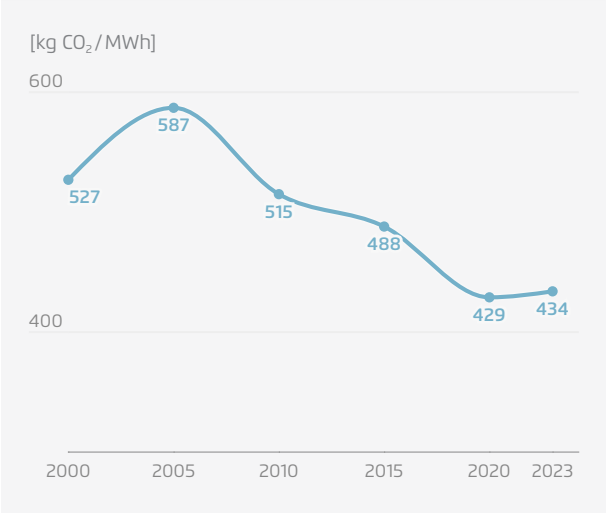
Çelik sektörünün 2025 yılındaki emisyonlarının yaklaşık 28 milyon ton CO_2'si, fosil yakıtların doğrudan kullanımından kaynaklanan Kapsam 1 emisyonlarından oluşmaktadır. Bu emisyonların başlıca kaynakları, entegre çelik üretim süreçleri ile çelik üretimi ve son işlem aşamalarında kullanılan fırınlarda ve diğer endüstriyel ekipmanlarda yakıtların yakılmasıdır.

Buna ek olarak, çelik üretiminde tüketilen elektrikten kaynaklanan Kapsam 2 emisyonları yaklaşık 7,2 milyon ton CO_2 düzeyindedir (emisyon hesaplamalarının ayrıntıları için metodoloji bölümüne bakınız). Türkiye'de elektrik ark ocağı (EAF) yöntemiyle üretimin yüksek paya sahip olması nedeniyle, elektrik tüketimi sektörün genel emisyon profilini belirleyen önemli etkenlerden biridir.

Türkiye'de elektrik şebekesinin emisyon yoğunluğu 2023 yılında 434 kg CO_2/MWh olarak gerçekleşmiştir.[30] Bu değer, elektrik üretiminin üçte birinden fazlasını kömürden, yaklaşık beşte birini ise doğal gaz santrallerinden karşılayan Almanya gibi ülkelerle benzer düzeydedir.[31] Ancak İspanya ve İtalya'da elektrik üretiminin daha hızlı karbonsuzlaşması, daha sıkı CO_2 fiyatlandırma uygulamalarının devreye girmesiyle birlikte Türkiye açısından rekabet dezavantajı yaratmaktadır.[32] Türkiye'de elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonların yaklaşık %80'i kömürden, %15'ten biraz daha azı ise doğal gazdan kaynaklanmaktadır.[33]

Doğrudan emisyonların yanı sıra, hammadde tedarik zincirlerinden kaynaklanan Kapsam 3 emisyonları da önem taşımaktadır. İthal hurda, demir cevheri ve kömürün üretimi ve taşınması, sektörün toplam karbon ayak izini artırmaktadır. Özellikle AB'nin Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) gibi düzenlemelerin kapsamının taşımacılık emisyonlarını veya değer zincirinin sonraki aşamalarındaki etkileri de içerecek şekilde genişletilmesi halinde, bu emisyonların önemi daha da artabilir.[34]

Türkiye'de şebeke emisyon yoğunluğu → Fig. 10



Kaynak: ETKB (2024)

30 T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2025). "Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri", Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı (EVÇED). son güncelleme: 31 Aralık 2025. https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri

31 Umweltbundesamt (UBA) (2025)."CO_2-Emissionen pro Kilowattstunde Strom 2024 gesunken", Umweltbundesamt, 9 April 2025. https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-2024

32 https://www.enlit.world/library/italy-deepens-engagement-in-iberia-amid-major-shifts-towards-clean-energy

33 https://app.electricitymaps.com/map/zone/TR/fifteen_minutes

34 Özdamar ve ark. (2026). "Net Sıfır Emisyona Geçiş Sürecinde Çevresel Zorlukların İncelenmesi: Türkiye Çelik Sektörü Örneği".

Türkiye'nin zengin yenilenebilir enerji kaynakları, düşük emisyonlu DRI tabanlı çelik üretiminde kullanılabilecek yenilenebilir hidrojenin üretimini destekleyebilir. Türkiye, çelik üretimi gibi yüksek sıcaklık gerektiren ağır sanayi süreçlerinde kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları bakımından önemli bir potansiyele sahiptir.

Son yıllarda Türkiye'de güneş fotovoltaik (PV) ve rüzgâr enerjisi kurulu gücündeki artış önemli ölçüde hızlanmıştır. 2025 yılı itibarıyla güneş ve rüzgâr enerjisinin toplam elektrik üretimindeki payı 22%'ye ulaşmıştır. Bununla birlikte, elektrik üretiminde kömür hâlâ önemli bir yer tutmakta ve toplam üretimin 34%'ünü karşılamaktadır (bkz. Şekil 11).

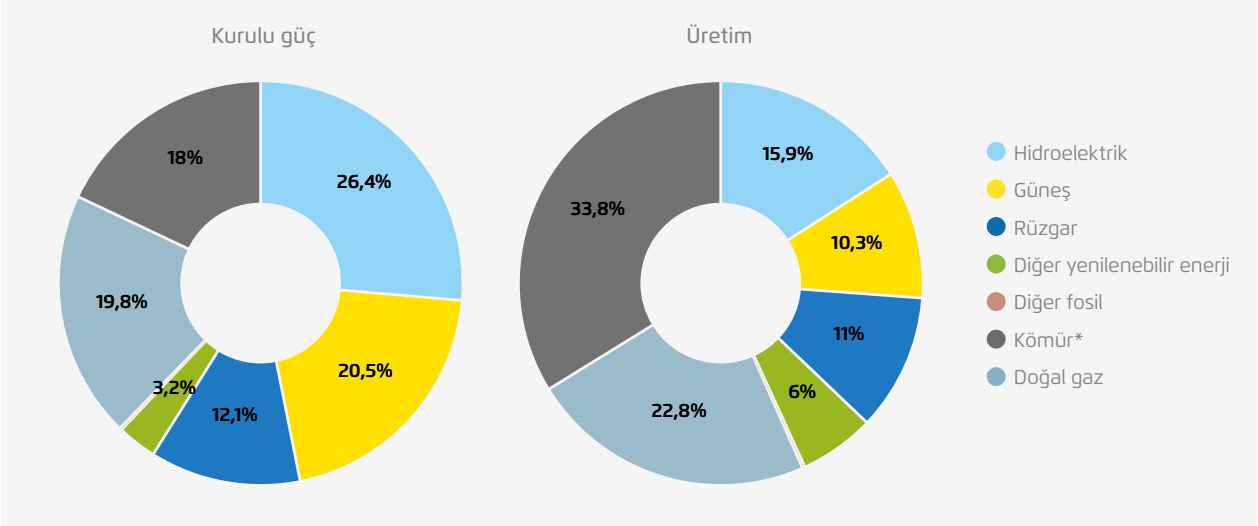
Türkiye, yenilenebilir enerji alanında iddialı hedefler belirlemiş ve temiz enerji kapasitesini artırmaya devam etmektedir. Ülke, 2035 yılına kadar rüzgâr ve güneş enerjisinde toplam 120 gigawatt (GW) kurulu güce ulaşmayı hedeflemektedir.[35] Bu hedefe ulaşılabilmesi için yeni kapasite yatırımlarının önemli ölçüde hızlandırılması ve 2025 yılı sonundaki kurulu gücün yaklaşık üç katına çıkarılması gerekmektedir. Bu büyümenin sağlanmasında sürdürülebilir politika desteği, yatırımlar ve elektrik şebekesinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar belirleyici olacaktır.

Türkiye'de sanayi kuruluşlarına uygulanan elektrik fiyatları nispeten rekabetçi düzeydedir. 2025 yılında iletim sistemi kullanıcıları için elektrik tarifesi yaklaşık 3,12 TL/kWh, yani yaklaşık 60 avro/MWh olarak gerçekleşmiştir.[36] Bu maliyet avantajı, Türkiye'de EAF yöntemiyle çelik üretiminin rekabet gücünü destekleyen önemli unsurlardan biridir.

35 Hidroelektrik enerji, Türkiye'nin başlıca yerli elektrik üretim kaynaklarından biri olmaya devam etmektedir. 2022 yılı itibarıyla ülkede toplam kurulu gücü yaklaşık 31 GW olan 730 hidroelektrik santrali bulunmaktadır. Bu santraller, 2021 yılında yaklaşık 56 TWh elektrik üreterek ülkenin toplam elektrik üretiminin yaklaşık %17'sini karşılamıştır.

36 EPDK (2026). Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları

Türkiye'nin elektrik sisteminde kurulu güç ve üretim (2025) → Fig. 11



EPDK (2026). *Kömür; ithal kömür, linyit, taşkömürü ve asfaltiti içerir.

1.5 Mevcut Dönüşüm Planlaması

Çelik sektörünün dönüşümüne yönelik planlama çalışmaları başlamış olsa da mevcut planlar, yeni nesil çelik üretimine yatırım yapmak isteyen şirketlere yeterli yol göstericiliği sağlayamamaktadır

Son yıllarda Türkiye çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönelik çalışmalar giderek önem kazanmaya başlamıştır. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 2023 yılında PricewaterhouseCoopers (PwC). Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) ve İklim Yatırım Fonları (CIF) işbirliğiyle hazırlanan Türkiye Cumhuriyeti Çelik Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası, sektörün emisyonlarını azaltmaya yönelik seçenekleri ortaya koyan ilk kapsamlı çalışmadır.[37]

Yol haritasında, Türkiye'de çelik talebinin önümüzdeki yıllarda önemli ölçüde artarak 2053 yılına kadar 52 milyon tonu aşacağı öngörülmektedir. Aynı dönemde ham çelik üretiminin ise yaklaşık 70 milyon tona ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Bu üretimin 57,6 milyon tonunun EAF, 11,4 milyon tonunun ise BOF yöntemiyle gerçekleştirilmesi beklenmektedir.[38]

Ancak yol haritası, emisyonlarda kayda değer azalmaların esas olarak 2040 yılından sonra başlayacağını varsaymakta ve bu nedenle nispeten temkinli bir dönüşüm süreci öngörmektedir. Sektör temsilcileri de yol haritasındaki bazı temel varsayımları, özellikle gelecekteki çelik üretim kapasitesi ve Türkiye'nin elektrik şebekesinin karbonsuzlaşması konularındaki öngörüleri sorgulamıştır.[39]

Yol haritasında tercih edilen Düşük Karbon Yolu (LCP) senaryosu, karbon fiyatlarının düşük seviyelerde kalacağını varsaymaktadır. Ayrıca, Türkiye'nin emisyonlarının 2038 yılında son kez zirveye ulaşmasının ardından, yeni tesis yatırımlarının büyük ölçüde 2040'lı yıllardan itibaren gerçekleştirileceğini öngörmektedir. LCP senaryosunda, emisyonları sıfıra yakın seviyelere indirmek amacıyla mevcut BF-BOF tesislerine sonradan karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerinin entegre edilmesi de planlanmaktadır. Ancak bu raporda yaptığımız analiz, söz konusu yaklaşımın Türkiye'nin ekonomik açıdan rekabetçi demir üretim sektörünü kaybetme riskini artırdığını göstermektedir. Bunun temel nedeni, CCS ile donatılmış BF-BOF tesislerinin diğer karbonsuzlaşma seçeneklerine kıyasla rekabetçi maliyetlerle kayda değer emisyon azaltımı sağlayabileceğine ilişkin yeterli kanıt bulunmamasıdır.

Türkiye'nin yurt içindeki birincil demir üretim kapasitesini koruyabilmesi ve çelik sektörünün dayanıklılığını artırabilmesi için rekabetçi ve sıfıra yakın emisyonlu demir üretim teknolojilerine yönelik yatırımları hızlandırması gerekmektedir. Analiz sonuçları, karbon fiyatının yaklaşık 50 avro/t CO_2 seviyesine ulaşması halinde, Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesinden ithal edilen sıcak briketlenmiş demirin (HBI). yurt içindeki BF-BOF üretimiyle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelebileceğini göstermektedir.

37 https://climate-laws.org/document/low-carbon-pathway-for-the-turkish-steel-sector_4fed

38 EBRD ve T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023). Türkiye Çelik Sektörü için Düşük Karbonlu Dönüşüm Yol Haritası.

39 Baş (2025). *Türkiye Çelik Sektörünün Karbonsuzlaştırılması: Politika ve Aktör Analizi.*

2 Temel Etkenler: Türkiye Çelik Sektöründe Değişen Koşullar

Türkiye çelik sektörü, yüksek ithalat ve ihracat hacimleriyle uluslararası ticaret sistemine güçlü biçimde entegre olmuş durumdadır. Bu yapı, sektörü küresel piyasalardaki dalgalanmalara, ticaret politikalarındaki değişikliklere ve diğer ülkelerdeki düzenleyici gelişmelere karşı kırılgan hale getirmektedir. Bu bölümde, sektörün mevcut iş modelini yeniden şekillendiren ve gerçekçi bir karbonsuzlaşma yol haritasının temelini oluşturması gereken başlıca dışsal ve yapısal etkenler ele alınmaktadır.

Türkiye çelik sektöründe, uzun çelik üretimindeki arz fazlası ile yassı çelik üretiminin yurt içi talebi karşılamakta yetersiz kalmasından kaynaklanan yapısal bir dengesizlik bulunmaktadır.

Bugüne kadar sektörün iş modeli, büyük miktarda ithal hurdanın elektrik ark ocaklarında (EAF) işlenerek hem iç pazara hem de ihracata yönelik uzun çelik ürünlerine dönüştürülmesine dayanmıştır. Buna karşılık, yassı çelikteki yurt içi arz açığı nedeniyle düzenli olarak ithalat yapılması gerekmiştir. Yurt içindeki yassı çelik üretimi, bu ürünleri kullanan sektörlerin ihtiyaçlarını tam olarak karşılayamamıştır. Bu nedenle, Türkiye'de rekabetçi maliyetlerle veya istenen kalite ve teknik özelliklerde üretilemeyen yassı çelik ürünlerinin ithalatı devam etmiştir.

Dolayısıyla, yassı çelikteki sorun yalnızca üretim kapasitesinin yetersizliğinden kaynaklanmamaktadır. Türkiye, önemli miktarda yassı çelik üretirken aynı zamanda bu ürünlerin hem ithalatını hem de ihracatını yapmaktadır. Ancak ihracat pazarlarının daralması halinde, ithal ürünlerle rekabet ve ürün çeşitleri arasındaki uyumsuzluk nedeniyle mevcut üretimin iç pazara yönlendirilmesi kolay olmayacaktır. Türkiye'nin yassı çelikte hem ihracatçı hem de ithalatçı konumunda olması, temel sorunun yalnızca toplam üretim kapasitesiyle değil, aynı zamanda maliyet rekabetçiliği ve ürünlerin pazar ihtiyaçlarına uygunluğuyla ilgili olduğunu göstermektedir.

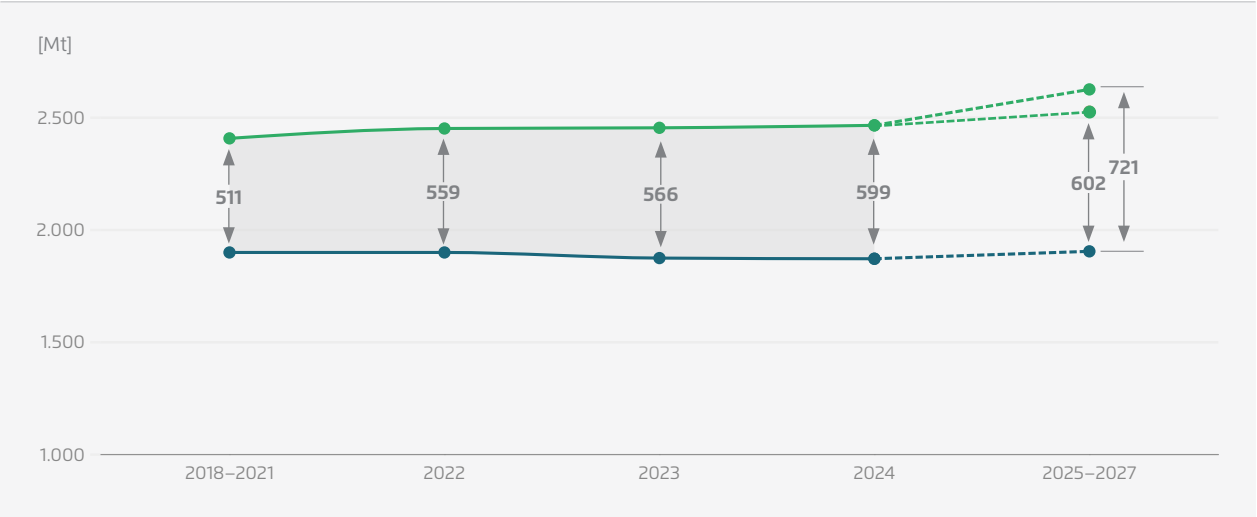
Bu iş modeli giderek artan bir baskı altındadır. Otomotiv, makine, beyaz eşya ve yenilenebilir enerji sektörlerindeki büyümeyle birlikte yassı çelik talebinin artması beklenmektedir. Bu durum, Türkiye'nin ithalata bağımlı kalmak yerine yurt içi üretimini rekabetçi koşullarda artırıp artıramayacağı sorusunu gündeme getirmektedir. Öte yandan, Türkiye'nin sürekli arz fazlası verdiği uzun çelik ürünleri, hem iç pazarda hem de ihracat pazarlarında küresel kapasite fazlasından giderek daha fazla etkilenmektedir.

Yassı çelikteki yurt içi arz açığı ve uzun çelikteki üretim fazlasının yanı sıra, mevcut iş modelinin uzun vadede sürdürülebilirliğini sorgulatan başka etkenler de bulunmaktadır.

Küresel Çelik Üretiminde Kapasite Fazlası

Küresel çelik üretimindeki kapasite fazlasının 2027 yılına kadar 720 milyon tona ulaşması beklenmektedir. Bu durum, standart çelik ürünlerinde rekabet baskısını artırırken çok taraflı düzeyde çözülmesi güç ticaret gerilimlerini de körüklemektedir. Üretiminde uzun çelik ürünlerine ağırlık veren Türkiye, bu gelişmelerden özellikle etkilenmektedir. Kapasite fazlası devam ettikçe fiyatlar üzerindeki aşağı yönlü baskı, sektör genelinde kâr marjlarını daraltmaktadır. Bu yapısal sorun, aynı zamanda karbonsuzlaşma teknolojilerine yatırım için ayrılabilecek sermayeyi de sınırlandırmaktadır. AB'nin koruma kotaları gibi ticaret önlemlerinin yol açtığı gerilimler, mevcut durumu daha da karmaşık hale getirmektedir. AB pazarındaki payın korunmasının önemi göz önüne alındığında, bu gelişmeler Türkiye'deki çelik sektörü yöneticileri ve politika yapıcılar arasındaki stratejik tartışmalarda giderek daha fazla öne çıkmaktadır.

Küresel çelik artık kapasite fazlası → Fig. 12

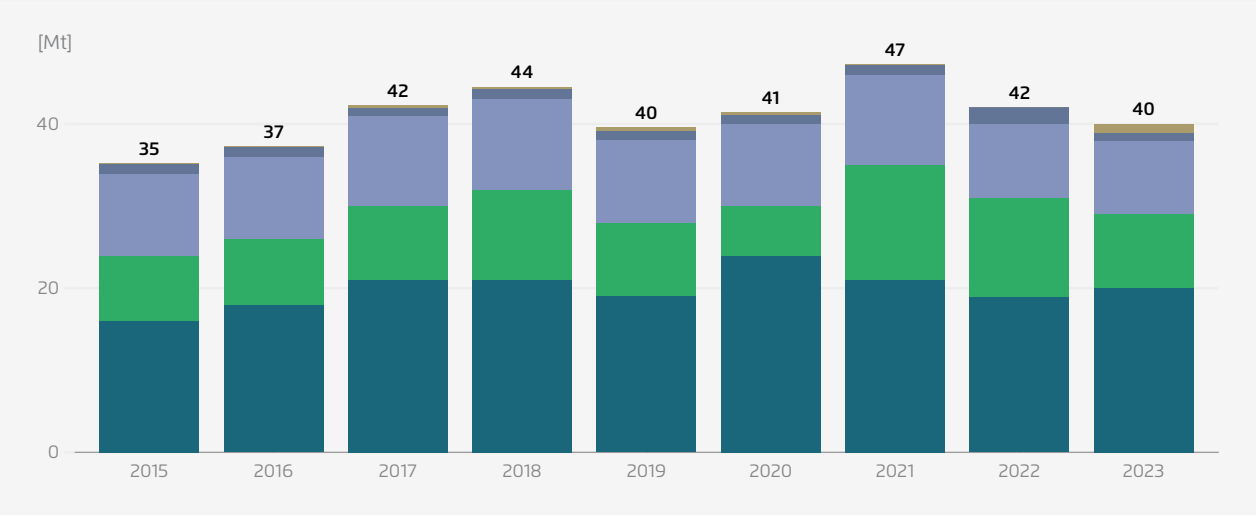


Kaynak: EUROFER (2024); Worldsteel ve OECD verilerine dayanmaktadır.

Hurda Piyasasında Daralan Arz

Hurda tedariki, uzun yıllardır Türkiye'nin EAF tabanlı çelik üretim modelinin temel unsurlarından biri olmuştur. Hurda, sektörde kullanılan toplam metalik girdilerin %70'inden fazlasını oluştururken, ithal hurdanın payı %50 düzeyindedir. Ancak dünya genelinde çelik üreticilerinin emisyonlarını azaltmak amacıyla hurda bazlı EAF üretimine yönelmesi, hurdanın giderek daha kıt ve pahalı hale gelmesine neden olabilir. Türkiye'nin en büyük hurda tedarikçisi olan AB de kendi çelik sektörünü

Türkiye çelik sektörüne yönelik metalik girdiler ve hurda girdileri → Fig. 13



Kaynak: World Steel Statistical Yearbook (2025), Bureau of International Recycling Annual Publication. Yurt içi hurda arzı, toplam hurda tüketiminden Türkiye'nin hurda ithalatı çıkarılarak hesaplanmıştır.

karbonsuzlaşma sürecindedir. Bu nedenle AB, doğrudan düzenleyici önlemlerle veya hurdanın daha büyük bir bölümünü iç piyasada tutarak ihracatını giderek daha fazla kısıtlayabilir.

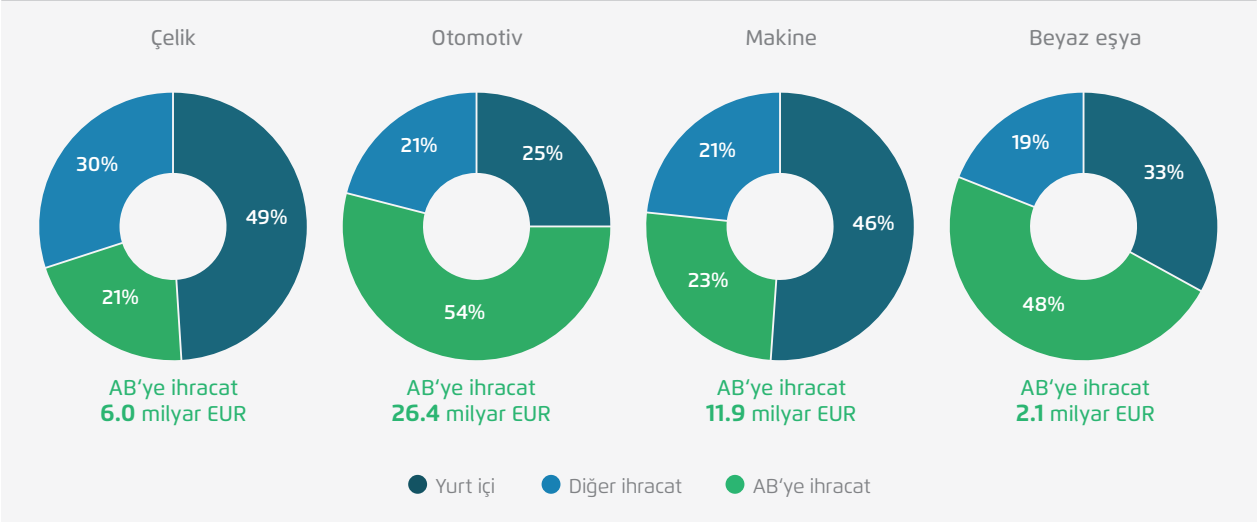
Ancak sorun yalnızca hurda arzının miktarıyla sınırlı değildir; hurdanın kalitesi de aynı derecede önem taşımaktadır. Türkiye'nin mühendislik çelikleri ve yassı ürünler dahil olmak üzere daha yüksek kaliteli çelik üretimine yönelmesi, kalıntı element içeriği düşük hurdaya güvenilir biçimde erişebilmesini gerektirecektir. Bu tür hurdanın uluslararası piyasalarda bulunabilirliğinin ise giderek azalması beklenmektedir. Bir sektör değerlendirmesinde de belirtildiği üzere, ithal hurda arzındaki daralma yalnızca hammadde kıtlığına yol açması bakımından değil, Türkiye'nin üretimini daha yüksek katma değerli ürünlere kaydırma kapasitesini doğrudan etkilemesi açısından da kritik önem taşımaktadır. Uluslararası hurda arzının azalması, düşük kalıntı elementli hurdaya yönelik talebin artması ve ürün portföyünde ihtiyaç duyulan dönüşüm, yurt içi hurdanın değerini artıracaktır. Aynı zamanda ithal doğrudan indirgenmiş demir (DRI) ve sıcak briketlenmiş demir (HBI). hurdaya alternatif girdiler olarak giderek daha fazla önem kazanacaktır.

AB İklim Düzenlemeleri ve İhracat Riskleri

AB, çelik sektörünün yanı sıra otomotiv, makine ve beyaz eşya gibi çelik kullanan sektörlerde de Türkiye'nin en önemli ticaret ortağı olmaya devam etmektedir. Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (SKDM) yürürlüğe girmesi ve kapsamının kademeli olarak genişlemesi ile AB'nin çelik ithalatına uyguladığı kotaların daha da sıkılaştırılması ihtimali, Türkiye açısından yeni riskler yaratmaktadır. Türkiye'nin, artan karbon maliyetleri ve SKDM yükümlülükleri karşısında AB pazarlarındaki rekabet gücünü koruyabilmek için gerekli koşulları oluşturacak adımları önceden atması gerekebilir.

Türkiye'nin büyük ölçüde hurdaya dayalı düşük karbonlu çelik üretimi, Uzak Doğu'daki daha yüksek karbon yoğunluğuna sahip üreticiler karşısında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, Türk çeliği hem iç pazarda hem de ihracat pazarlarında rekabet baskısıyla karşı karşıya kalmaya devam edecektir. AB'nin SKDM dahil olmak üzere daha sıkı ticaret önlemleriyle çelik ithalatına yönelik kısıtlamaları artırması ve ABD'nin çelik ithalatına uyguladığı gümrük vergilerini sürdürmesi, Çin ve diğer büyük üretici ülkelerdeki tedarikçileri alternatif pazarlara yöneltebilir. Türkiye de bu alternatif

Türkiye'nin toplam üretimi içinde AB'ye ihracat payı ve AB ihracat pazar değeri (2025) → Fig. 14



Agora Industry (2026); OSD, TÜRKBESD ve Türkiye Yatırım Ofisi verilerine dayanmaktadır.

pazarlar arasında yer almaktadır. Bu durum, Türk üreticiler üzerindeki rekabet baskısını artırırken maliyet rekabetçiliğinin iyileştirilmesini ve uygun fiyatlı hammaddelere erişimi daha da önemli hale getirebilir.

AB ile ticarette en büyük risk, doğrudan çelik ihracatından ziyade çelik kullanan sektörlerde ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin AB'ye yaptığı çelik ihracatı, toplam çelik ihracatının %21'ini oluşturmakta ve yaklaşık 6 milyar avro değerindedir. Buna karşılık, otomotiv ihracatının %54'ü AB'ye yapılmakta ve bu ihracatın değeri yaklaşık 26,4 milyar avroya ulaşmaktadır. Makine sektöründe AB'ye yapılan ihracatın payı %23, değeri 11,9 milyar avro; beyaz eşya sektöründe ise payı %48, değeri 1,9 milyar avrodur.[40]

Bu sektörlerin AB'ye yaptığı ihracatın ekonomik büyüklüğü, ürünlerin içerdiği gömülü emisyonlara ilişkin düzenlemelerin ara ürünleri ve potansiyel olarak bazı nihai ürünleri de kapsayacak şekilde genişletilmesi ihtimaline karşı hazırlıklı olunması gerektiğini göstermektedir. Bu tür düzenlemeler henüz resmen yürürlüğe girmemiş olsa da olası etkileri nedeniyle şimdiden dikkate alınmaları önem taşımaktadır.[41]

AB Emisyon Ticaret Sistemi (EU ETS). Türkiye açısından önemli bir referans noktası oluşturmaktadır. Avrupa Komisyonu'nun Temmuz 2026 tarihli önerisine göre, ücretsiz emisyon tahsisatları 2038 yılına kadar tamamen kaldırılacaktır. Karbon fiyatlarının artması ve ücretsiz tahsisatların sona ermesiyle

40 OSD, TÜRKBESD ve Invest in Türkiye (2026) verileri kullanılarak Agora Industry tarafından yapılan analize dayanmaktadır.

41 SKDM kapsamının alt ürünleri de içerecek şekilde genişletilmesine yönelik yasama sürecinde önemli ilerleme kaydedilmiş olup 2026 yılı sonuna kadar uzlaşmaya varılması beklenmektedir. Düzenlemenin temel ilkeleri konusunda önemli bir görüş ayrılığı bulunmadığından, tartışmalar esas olarak kapsamın üretim zincirinin hangi aşamasına kadar genişletileceği üzerinde yoğunlaşmaktadır. Kapsam genişlemesinin büyük ölçüde ara ürünleri ve bileşenleri içermesi, çamaşır makinesi gibi nihai ürünleri ise yalnızca istisnai durumlarda kapsaması beklenmektedir. Başka bir ifadeyle, genişletilmiş SKDM doğrudan otomobillere değil, metalin ürün fiyatı içindeki payının hâlâ yüksek olduğu fren diskleri, motorlar ve benzeri parçalara uygulanacaktır.

AB Yasa Tasarıları

→ Tablo 2

Düzenleme	Mekanizma	Türkiye Açısından Önemi
AB Otomotiv Paketi ve Revize Edilen CO_2 Emisyon Standartları	AB'deki otomobil üreticilerinin 2035 yılından itibaren araçların egzoz emisyonlarını %90 oranında azaltması gerekecektir. Kalan %10'luk bölüm, yeşil çelik ve sentetik yakıtların (e-yakıtlar) kullanımıyla denkleştirilebilecektir. → Böylece otomobil üreticileri, filo emisyon hedeflerine ulaşmak için düşük karbonlu çelikten yararlanabilecektir.	Türkiye, ürettiği otomobillerin %50'sinden fazlasını AB'ye ihraç etmektedir. 2035 yılına kadar AB pazarında satılan otomobillerin üretiminde yeşil çelik kullanımının öneminin artması beklenmektedir.
Sanayi Hızlandırma Yasası	Kamu ihalelerinde %25 oranında yeşil çelik kullanımını zorunlu kılmayı öngörmektedir. Ayrıca Türkiye menşeli çeliğin AB menşeli olarak değerlendirilmesini öngörmektedir.	Türkiye'nin Avrupa'nın önde gelen gümrüksüz üretim merkezlerinden biri olma konumunu koruyabilmesi için tedarik zincirini karbonsuzlaştırması gerekecektir.
Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) – Alt Ürünlerin Kapsama Alınması	AB'nin 2028 yılına kadar SKDM kapsamını ara ürünleri ve nihai ürünleri de içerecek şekilde resmen genişletmesi beklenmektedir. Borular, tüpler, raylar, makineler ve otomotiv parçaları bu kapsama girebilecek ürünler arasındadır.	Düzenlemenin yürürlüğe girmesiyle Türkiye'nin makine ve beyaz eşya sektörlerinden AB'ye yaptığı ihracatın büyük bölümü SKDM kapsamına girecektir.

Agora Industry (2026)

birlikte, faaliyette kalan yüksek fırınlar giderek daha fazla ekonomik baskı altında kalacaktır. Bu tesislerin 2030'lu yılların sonlarından sonra kârlı biçimde faaliyetlerini sürdürmesi düşük bir olasılık olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, AB'ye yönelik çelik ve çelik bağlantılı ürün ihracatının rekabet gücünün korunması açısından, Türkiye'nin kendi ETS sistemini tasarlarken ve karbon fiyatlarının gelecekteki seyrini belirlerken AB'deki bu gelişmeleri dikkate alması önem taşımaktadır.

AB'nin yeni mevzuat girişimleri, çelik kullanan sektörlerin ihracatını etkileyerek Türkiye çelik sektörünün rekabet gücünü de dolaylı olarak şekillendirecektir.

MENA: Dönüşüm Sürecindeki Bir Pazar

Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesi, düşük emisyonlu sıcak briketlenmiş demir (HBI) ve çelik üretiminde dünyanın en hızlı büyüyen merkezlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bölgede 2030 yılına kadar devreye alınması planlanan yaklaşık 50 milyon tonluk yeni üretim kapasitesi bulunmaktadır. Bu kapasitenin büyük bölümünün doğal gazla, küçük bir bölümünün ise hidrojenle (H_2) çalışması öngörülmektedir. MENA, Türkiye'nin ikinci büyük çelik ihracat pazarıdır. Türkiye'nin çelik ihracatında AB'nin payı %41 iken MENA bölgesinin payı %14'tür. Bölge, özellikle Türkiye'nin uzun çelik ürünleri açısından büyük önem taşımaktadır.[42]

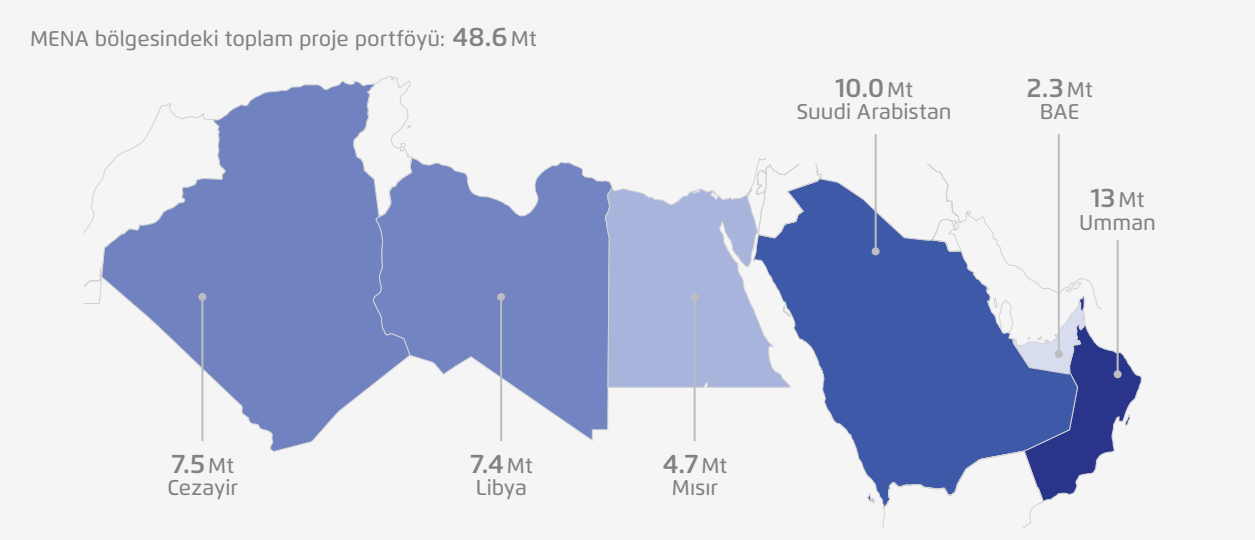
Bölgede planlanan yeni üretim kapasitesinin büyüklüğü, Türkiye açısından hem riskler hem de fırsatlar barındırmaktadır.

Yeni kapasiteyle gerçekleştirilecek üretimin ne kadarının MENA bölgesindeki iç talebi karşılayacağı, ne kadarının ise AB ve Asya gibi ihracat pazarlarına yöneleceği henüz net değildir. Bununla birlikte, kapasite artışı Türkiye'nin kendi dönüşüm sürecinde kullanabileceği HBI ithalatı için yeni fırsatlar yaratabilir. Öte yandan, bölgedeki üretimin artması Türkiye'nin MENA ülkelerine yaptığı uzun çelik ihracatının önemli bir bölümünü ikame edebilir.

Doğal gaz (NG) veya hidrojen (H_2) kullanılarak üretilen HBI'nin ithalatı, Türkiye'de çelik üretimi için önemli bir düşük karbonlu hammadde kaynağı haline gelebilir. Bu durum, özellikle AB gibi iklim

42 https://www.cib.org.tr/en/default.html

MENA bölgesinde DRI proje portföyü (2030) → Fig. 15



Agora Industry (2026)

düzenlemelerinin sıkı olduğu ihracat pazarlarında belirli çelik ürünlerinin rekabet gücünü destekleyebilir. Ancak sağlanacak avantajın büyüklüğü, HBI üretiminde kullanılan yöntemin emisyon yoğunluğuna ve nihai çelik ürününün özelliklerine bağlı olacaktır.

Genel olarak Türkiye çelik sektörü, küresel kapasite fazlası, ticaret gerilimleri, daralan hurda arzı ve başlıca ihracat pazarlarındaki yapısal değişimlerin etkisiyle hızla dönüşen bir ortamda faaliyet göstermektedir. Sektörün üretim yapısı ağırlıklı olarak uzun çelik ürünlerine dayanırken, küresel arz fazlası bu ürünlerdeki rekabet baskısını artırmaktadır. Buna karşılık, yurt içi talep giderek yassı çelik ürünlerine yönelmektedir. Türkiye'nin en büyük iki ihracat pazarı da önemli bir dönüşüm geçirmektedir. AB, hem çelik hem de çelikten üretilen ürünleri etkileyen kapsamlı iklim düzenlemelerini hayata geçirirken MENA bölgesinde düşük emisyonlu çelik üretim kapasitesi hızla artmaktadır. Bu gelişme, Türkiye'nin bölgeye uzun çelik ihraç eden geleneksel konumunu değiştirebilir. Dolayısıyla, Türkiye çelik sektörünün mevcut iş modeli önümüzdeki on yılların koşullarına uygun olmayacaktır. Bir sonraki bölümde ele alınacak temel mesele, sektörün değişen koşullara uyum sağlayıp sağlamayacağı değil, bu dönüşümü ne kadar hızlı ve hangi teknolojilerle en etkili biçimde gerçekleştirebileceğidir.

3 Türkiye'de Net Sıfır Emisyonlu Çelik Üretimine Yönelik Karbonsuzlaşma Yolları

Senaryo Çerçevesi

Bu çalışmada, Türkiye çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönelik olası yolları incelemek amacıyla tekno-ekonomik modelleme yapılmıştır. Farklı politika, teknoloji ve piyasa koşullarını yansıtan senaryolar geliştirilmiştir. Modelin temel varsayımları, Türkiye'deki sektör uzmanları, sanayi temsilcileri ve politika yapıcılarla yapılan görüşmeler sonucunda değerlendirilmiş ve geliştirilmiştir. Böylece senaryoların Türkiye çelik sektörünün kendine özgü koşullarını yansıtması ve politika geliştirme süreçlerine katkı sağlayacak bulgular ortaya koyması amaçlanmıştır.

Modelleme kapsamında şu sorulara yanıt aranmıştır: Türkiye hangi koşullarda yurt içindeki birincil çelik üretimini sürdürebilir? Farklı teknolojiler için başa baş noktasına karşılık gelen CO_2 fiyatı nedir? Birincil demir üretim kapasitesinin bir bölümünü yurt içinde korumak ile ithalata yönelmek arasında hangi politika seçenekleri bulunmaktadır? Senaryolar, stratejik özerklik ve kaynak bağımlılığı çerçevesinde, yurt içi üretimin gelecekte izleyebileceği farklı yolları ortaya koymak üzere tasarlanmıştır. Bu senaryolar geliştirilirken, önceki bölümde açıklanan ve Türkiye çelik sektörünün geleceğini şekillendiren üç temel etken dikkate alınmıştır):

a. **Yurt içi talep:** Otomotiv, makine, beyaz eşya ve yenilenebilir enerji sektörlerindeki büyümenin etkisiyle talep giderek yassı çeliğe yönelmektedir. Ancak Türkiye'nin üretim yapısı ağırlıklı olarak uzun çelik ürünlerine dayanmaktadır. Bu uyumsuzluk, sektörü küresel arz fazlasının etkilerine daha açık hale getirmekte ve karbonsuzlaşma yatırımları için gerekli kâr marjlarını daraltmaktadır.
b. **İhracat pazarları:** Türkiye'nin en büyük iki ihracat pazarı önemli bir dönüşüm geçirmektedir. AB, çelik ile yoğun çelik kullanılan ara ve nihai ürünlere yönelik iklim düzenlemelerini sıkılaştırmaktadır. MENA bölgesinde ise yaklaşık 50 milyon tonluk düşük emisyonlu yeni üretim kapasitesi planlanmaktadır. Bu kapasitenin büyük bölümünün doğal gaz bazlı doğrudan indirgenmiş demir (NG-DRI) teknolojisine, bir bölümünün karbon yakalama ve depolama (CCS) uygulamalarına, bir bölümünün ise hidrojen ve doğal gazın birlikte kullanıldığı DRI teknolojisine dayanması beklenmektedir. Bu gelişme, Türkiye için HBI ithalatında yeni fırsatlar yaratırken bölgeye yapılan uzun çelik ihracatını da azaltma riski taşımaktadır.
c. **Rekabet gücü**: Hurda arzının daralması, hammadde maliyetlerinin artması, AB'nin karbon fiyatlandırma ve ticaret önlemleri ile küresel kapasite fazlası, Türkiye'nin maliyet avantajlarını giderek zayıflatmaktadır. Bu nedenle, ihracatta rekabet gücünün korunabilmesi için karbonsuzlaşma sürecinin hızlandırılması gerekmektedir.

Politika Hedeflerine Göre Senaryolar

Türkiye çelik sektörünün izleyebileceği karbonsuzlaşma yollarını değerlendirmek amacıyla üç farklı senaryo geliştirilmiştir. Her senaryo, kullanılacak teknolojiler, karbon fiyatları, yatırımlar ve politika hedefleri açısından farklı varsayımlara dayanmaktadır. Bu üç senaryo, farklı politika hedeflerini ve kamu desteği düzeylerini yansıttıkları için seçilmiştir.

Çeliğin nihai üretim maliyetini en fazla etkileyen unsurlar, CO_2 ve enerji fiyatlarını belirleyen politika müdahaleleridir. Bu çalışmada, farklı politika hedeflerini yansıtacak şekilde her senaryo için ayrı CO_2 fiyatları değerlendirilmiştir. Karbon fiyatı, modelde hangi teknolojilerin tercih edileceğini belirleyen önemli etkenlerden biri olmakla birlikte tek belirleyici değildir. Modelleme kapsamında, HBI ithalatı ile yurt içi demir üretimi arasında siyasi açıdan kabul edilebilir görülen denge ve ithalata getirilebilecek olası kısıtlamalar da dikkate alınmıştır. Bunun

Senaryolara Genel Bakış

→ Tablo 3

Senaryo	CO_2 Fiyatının Seyri	Temel Teknolojik Dönüşüm Yolu	Politika Öncelikleri	Stratejik Sonuç
Mevcut Eğilimler Senaryosu (BAU)	Düşük	Yeni düşük karbonlu teknolojilere yatırım yapılmaması; mevcut BF-BOF ve EAF kapasitelerine dayalı üretimin sürdürülmesi	Mevcut tesislerde verimlilik ve performans iyileştirmeleri	Sektörün büyük ölçüde mevcut eğilimler doğrultusunda gelişmeye devam etmesi; karbonsuzlaşmada sınırlı ilerleme sağlanması
Kademeli Dönüşüm	Orta düzey	Yurt içinde karbon yakalama ve depolama teknolojisiyle birlikte NG-DRI üretiminin geliştirilmesi ve NG-DRI ithalatı; EAF kapasitesinin artırılması; EAF üretiminde yenilenebilir elektrik kullanımının yaygınlaştırılması; H_2-DRI teknolojisinin 2045 sonrasına kadar sınırlı düzeyde kullanılması	NG-DRI ve CCS teknolojilerinin uygulanmasının ve EAF kapasitesinin artırılmasının desteklenmesi	Emisyon yoğunluğunun kademeli olarak azaltılması; 2040'lı yılların ortalarından önce H_2-DRI teknolojisinin devreye alınmaması
Hızlandırılmış Dönüşüm	Yüksek/ İddialı	BF-BOF tesislerinin dönüşümünün hızlandırılması; yurt içinde NG-DRI ve H_2-DRI teknolojilerinin hızla devreye alınması	Düşük karbonlu demir üretimini desteklemek amacıyla iddialı ve eşgüdümlü politikaların uygulanması ve yatırım desteği sağlanması	Erken harekete geçmenin sağladığı avantajlarla uzun vadeli hammadde ve kaynak arz güvenliğinin güçlendirilmesi ve ihracat pazarlarındaki rekabet gücünün artırılması

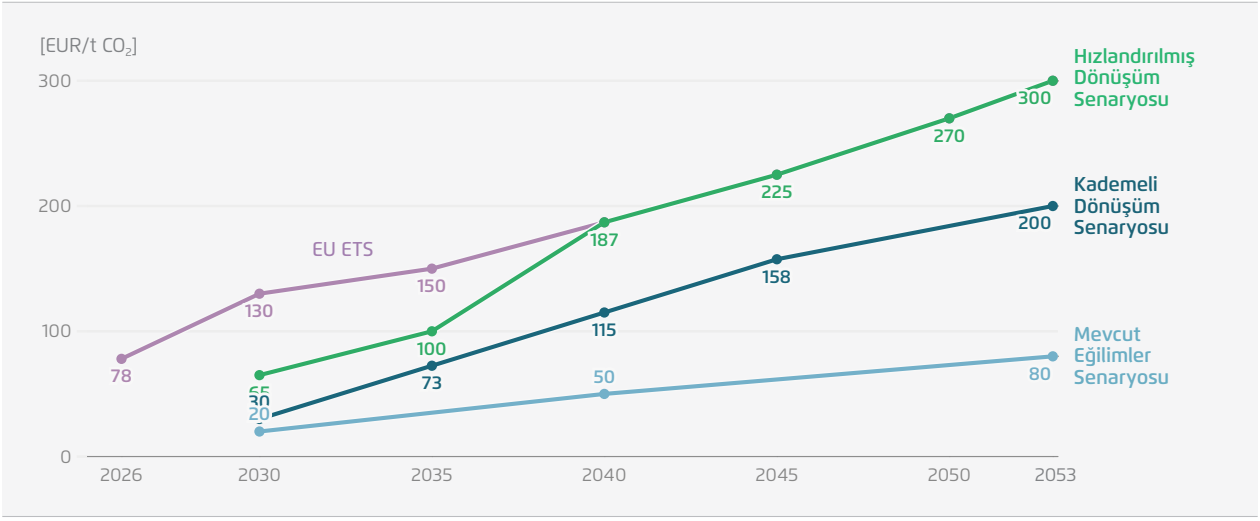
Agora Industry (2026)

nedeni, ithalat bağımlılığının siyasi açıdan kabul edilemeyecek düzeylere ulaşmasını önleme çabalarının, yalnızca karbon fiyatına dayalı ekonomik değerlendirmelerin ötesinde, hem kamu politikalarını hem de şirketlerin yatırım kararlarını etkileyebilmesidir.

Senaryolara genel bakış aşağıdaki şekilde sunulmaktadır:

Senaryolar bazında CO_2 fiyatı varsayımları

→ Fig. 16



Agora Industry (2026)

Senaryolar farklı düzeylerde politika hedeflerini yansıttığından, Türkiye elektrik şebekesinin CO_2 emisyon yoğunluğu da her senaryo için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede, 2053 yılına kadar yenilenebilir enerji kullanımında ulaşılabilecek farklı düzeyler dikkate alınmıştır (ayrıntılar için metodoloji bölümüne bakınız). Elektrik şebekesinin CO_2 emisyon yoğunluğuna ilişkin varsayımlar, SHURA'nın Net Sıfır 2053 raporu ile Türkiye'nin güncellenmiş Ulusal Katkı Beyanı'na (NDC) dayanmaktadır.

Elektrik şebekesinin emisyon yoğunluğu, farklı çelik üretim yöntemlerinin emisyonlarının zaman içinde nasıl değişeceğini belirleyen temel etkenlerden biridir. Bu nedenle, her üretim yönteminin emisyon yoğunluğu, ilgili senaryoda öngörülen şebeke emisyon yoğunluğuna göre hesaplanmıştır. Elektrik üretiminin karbon yoğunluğunun zaman içinde azalması beklendiğinden, elektrik kullanan tüm çelik üretim yöntemlerinin emisyon yoğunluğu da modelleme dönemi boyunca düşmektedir. Her üretim yöntemi için hesaplanan emisyon yoğunlukları aşağıda sunulmaktadır.

Tüm Senaryolarda Kullanılan Temel Varsayımlar

Hurda Arzı

Hurda arzı, sektörün gelecekteki üretim yapısını ve karbonsuzlaşma potansiyelini belirleyen temel unsurlardan biridir. Modellemede kullanılan varsayımlar, uluslararası ve Türkiye'ye özgü çalışmaların ve karşılaştırmalı verilerin incelenmesiyle oluşturulmuş, proje toplantılarında sektör paydaşlarıyla yapılan görüşmeler sonucunda geliştirilmiştir.

Türkiye'de yurt içi hurda arzının, hurda kaynaklarının ve toplama kapasitesinin kademeli olarak artmasıyla birlikte, bugünkü 10 milyon ton seviyesinden 2050 yılına kadar yaklaşık 26 milyon tona ulaşacağı öngörülmektedir. Buna karşılık, dünya genelinde çelik üreticilerinin kendi karbonsuzlaşma süreçlerinde hurdaya daha fazla ihtiyaç duyması nedeniyle, Türkiye'nin hurda ithalatının mevcut 20 milyon ton seviyesinden 10 milyon tona gerileyeceği varsayılmaktadır.

Ham Çelik

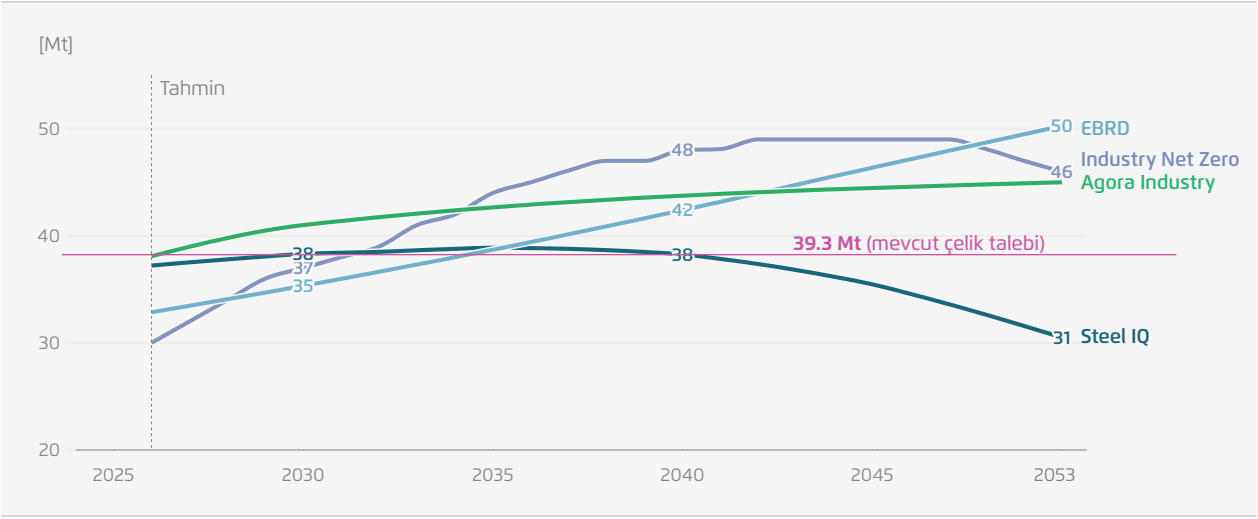
Ham çelik talebi, Türkiye'nin gelecekteki üretim ihtiyacını ve çelik üretim tesislerinde yapılması gereken yatırımların büyüklüğünü belirleyen temel unsurlardan biridir. Modelde, inşaat, altyapı ve çelik kullanan imalat sektörlerindeki büyümenin devam edeceği ve Türkiye'nin önemli bir çelik ihracatçısı olma konumunu koruyacağı varsayılmaktadır. Bu doğrultuda, ham çelik talebinin 2053 yılına kadar yaklaşık 46 milyon tona ulaşacağı öngörülmektedir. Bu talep tahmini, Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD).[43] Net Zero Industry[44] ve Steel IQ modellerinden[45] elde edilen öngörülerin karşılaştırılmasıyla oluşturulmuştur. Ayrıca, Türkiye'de çelik kullanan alt sektörlerin gelecekteki ihtiyaçlarına ilişkin değerlendirmeler ile politika yapıcılar ve sektör temsilcileriyle gerçekleştirilen görüşmelerden elde edilen bilgilerle desteklenmiştir.

Her senaryonun dayandığı temel varsayımlara ilişkin genel bilgiler, ekte yer alan metodoloji bölümünde sunulmaktadır.

43 https://www.ebrd.com/home/who-we-are/ebrd-values/ebrd-environmental-social-sustainability/EBRD-green/low-carbon-pathways.html
44 https://netzeroindustry.org/net-zero-steel-methodology-and-key-implications/
45 https://www.systemiq.earth/reports/steel-iq/

Türkiye'nin ham çelik talebi projeksiyonları

→ Fig. 17



Kaynak: Agora Industry (2026); Systemiq (2026), Net Zero Industry (t.y.) ve EBRD (2023) verilerine dayanmaktadır.

4 Sonuçlar

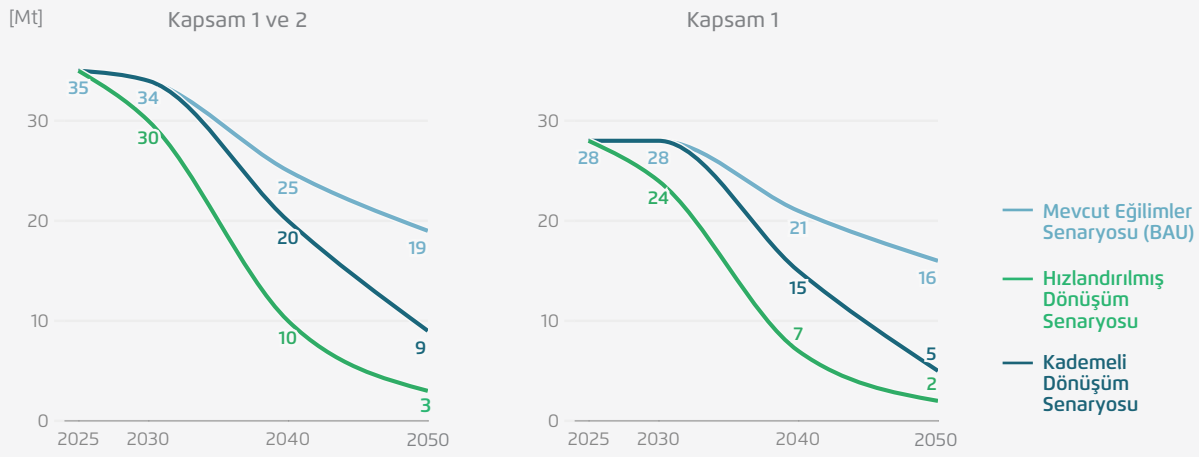
Çelik Sektörünün Emisyonları

Türkiye çelik sektörü, emisyon azaltımının güç olduğu diğer sektörlerle birlikte, ülkenin 2053 net sıfır emisyon hedefine ulaşmasında kilit rol oynayacaktır. Çelik üretim miktarları ve her üretim yönteminin emisyon yoğunluğu esas alındığında, sektörün 2025 yılındaki toplam CO_2 emisyonlarının 35,2 milyon ton (Kapsam 1 ve 2) olduğu tahmin edilmektedir. Üç senaryo kapsamında sektörün CO_2 emisyonlarının gelecekte izlemesi beklenen seyir aşağıda sunulmaktadır. Her senaryo, farklı bir karbonsuzlaşma hızını ve sektörün emisyon azaltma potansiyelini hayata geçirmeye yönelik farklı bir yolu yansıtmaktadır.

2025–2030 dönemindeki ilk emisyon azaltımları, esas olarak elektrik şebekesinin karbon yoğunluğunun düşmesiyle Kapsam 2 emisyonlarının azalmasından kaynaklanmaktadır. Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda buna, BF-BOF üretiminden yurt içinde üretilen ve ithal edilen doğal gaz bazlı doğrudan indirgenmiş demire (NG-DRI) sınırlı bir geçiş de eşlik etmektedir. Ancak 2030'lu yıllarda birincil çelik üretiminde kullanılan yöntemlerin dağılımı önemli ölçüde değişmeye başlamaktadır. Kademeli Dönüşüm ve Hızlandırılmış Dönüşüm senaryolarında, yurt içi NG-DRI üretimi ve ithal NG-HBI kullanımı artarken BF-BOF tesisleri kademeli olarak dönüşmektedir (ayrıntılar için aşağıdaki senaryo analizlerine bakınız).

Genel olarak, 2025 yılına kıyasla 2050 yılına kadar Kapsam 1 ve 2 emisyonlarında sağlanacak azalma, mevcut eğilimler senaryosunda (BAU) %45, Kademeli Dönüşüm senaryosunda %74 ve Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda %92 olarak hesaplanmaktadır. Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda Türkiye, çelik sektörünün emisyonlarını 2040 yılına

Senaryo karşılaştırması: Türkiye çelik sektöründe CO_2 emisyonları → Fig. 18



2025'e kıyasla CO_2 azaltımı	2030	2040	2050
Hızlandırılmış D.	–14%	–73%	–92%
Kademeli D	–4%	–45%	–74%
BAU	–4%	–29%	–45%

2025'e kıyasla CO_2 azaltımı	2030	2040	2050
Hızlandırılmış D.	–14%	–76%	–91%
Kademeli D	–1%	–47%	–81%
BAU	–1%	–26%	–44%

Agora Industry (2026)

kadar %75 oranında azaltabilir. Bu azaltımda, yurt içi çelik üretiminin yaklaşık %10'unu oluşturan H_2-DRI-EAF yöntemi ile toplam çelik üretiminin %70'ine ulaşan hurda bazlı EAF üretimi önemli rol oynamaktadır (her üretim yöntemi için kullanılan emisyon yoğunluğu değerleri metodoloji bölümünde açıklanmaktadır). İncelenen senaryolar arasında, Türkiye'nin 2053 net sıfır hedefiyle uyumlu biçimde emisyonların sıfıra yakın seviyelere indirilebildiği tek senaryo budur.

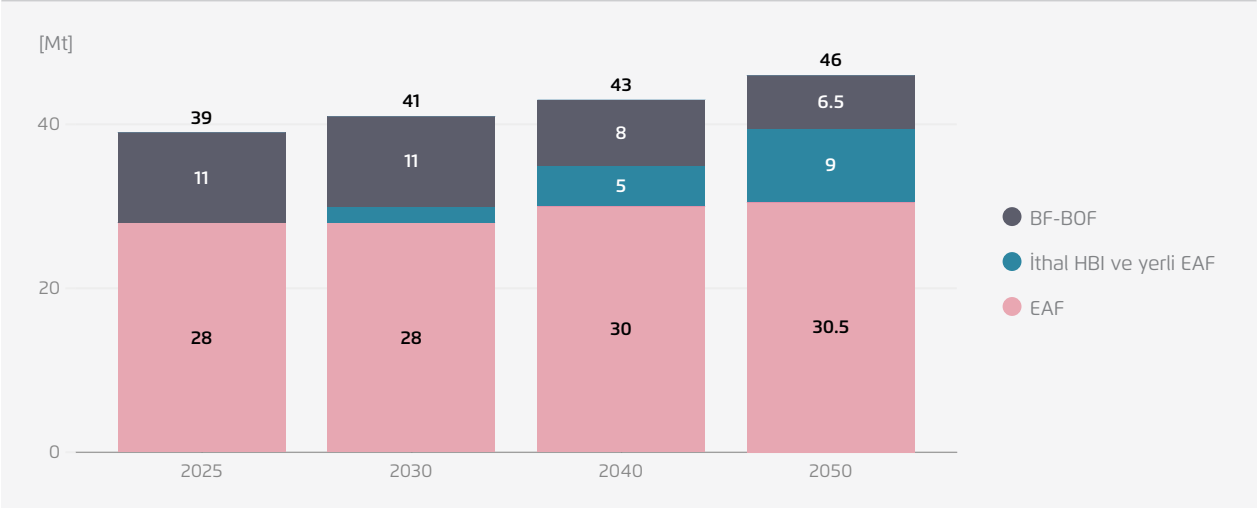
Emisyonların gelecekteki seyrine ilişkin analiz sonuçları, çelik sektörünün karbonsuzlaşmasını hızlandırmak ve 2053 net sıfır hedefine ulaşmasını sağlamak için daha iddialı politika önlemlerine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Senaryo Sonuçları (Üretim Yöntemlerinin Dağılımı)

Aşağıda, modelleme kapsamında elde edilen senaryo sonuçları özetlenmektedir:

a. **Mevcut Eğilimler Senaryosu (BAU)**
Mevcut eğilimler senaryosunda (BAU). kullanılan teknolojilerin dağılımının genel olarak mevcut üretim yöntemleriyle ve bugünkü politika ve yatırım eğilimleriyle uyumlu kalacağı varsayılmaktadır. Bu senaryoda, ithal sıcak briketlenmiş demirin (HBI) geleneksel birincil demir üretimine kıyasla maliyet açısından giderek daha rekabetçi hale gelmesiyle birlikte, BF-BOF yönteminden ithal doğal gaz bazlı HBI (NG-HBI) kullanılan EAF üretimine kademeli bir geçiş öngörülmektedir. HBI, EAF üretiminde ihtiyaç duyulan demir girdisini sağlayabildiğinden, ekonomik açıdan cazip hale geldiği ölçüde kullanımının artması BF-BOF tesislerinin aşamalı olarak dönüştürülmesini mümkün kılmaktadır. BF-BOF kapasitesi zaman içinde sınırlı ölçüde azalmakta, ancak 2053 yılına kadar tamamen dönüştürülmemektedir. Faaliyetine devam eden BF-BOF tesislerinin, Mevcut En İyi Teknikleri (BAT) uygulayarak emisyonlarını yaklaşık %18 oranında azaltacağı varsayılmaktadır. Bununla birlikte, bu tesislerden kaynaklanan emisyonlar 2053 yılında da devam etmektedir. Mevcut eğilimler senaryosunda üretim kapasitesinin yöntemlere göre dağılımı aşağıda gösterilmektedir.

Türkiye ham çelik üretimi: Mevcut Eğilimler Senaryosu → Fig. 19



Agora Industry (2026)

b. Kademeli Dönüşüm Senaryosu

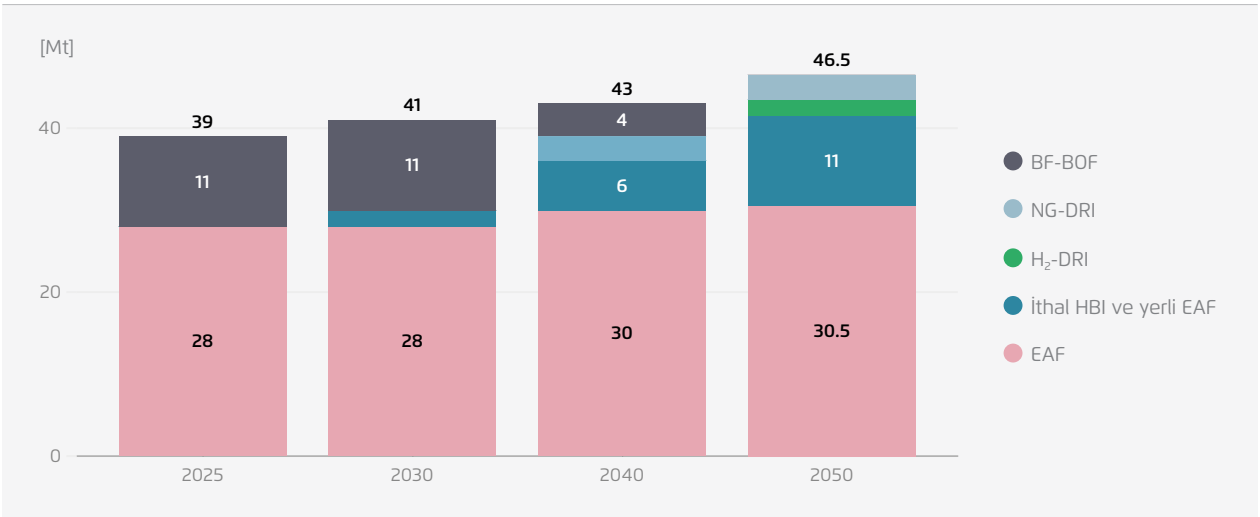
Kademeli Dönüşüm senaryosu, kamu politikalarıyla sağlanan desteğin sınırlı olduğu bir ortamı yansıtmaktadır. Bu senaryoda karbonsuzlaşma, öncelikle ılımlı düzeyde karbon fiyatlandırması ve mevcut teknolojilerin ekonomik avantajlarıyla şekillenmektedir. Karbon fiyatının 2030 yılına kadar 30 avro/t CO_2'ye, 2035 yılına kadar ise 72 avro/t CO_2'ye yükselmesi, yüksek fırın üretimine alternatif teknolojilerin ekonomik cazibesini artırmaktadır. Ancak bu fiyat düzeyleri, düşük karbonlu demir üretim teknolojilerine yönelik büyük ölçekli yurt içi yatırımları desteklemek için yeterli olmamaktadır. Karbon fiyatı 2030'lu yılların başında 50 avro/t CO_2'yi aştığında, yurt içindeki BF-BOF üretimi, MENA bölgesinden ithal edilen doğal gaz bazlı HBI karşısında maliyet rekabetçiliğini kaybetmektedir. Bu seçenek ilk bakışta cazip görünmektedir. Çünkü büyük ölçekli yurt içi yatırımlar gerektirmeden, düşük maliyetle önemli emisyon azaltımları sağlanabilmektedir. Ancak ek politika müdahalelerinin olmadığı durumda, üretim artışı ve yeni yatırımlar, H_2-DRI teknolojisinin daha erken devreye alınması yerine ağırlıklı olarak hurda bazlı EAF, NG-DRI-EAF ve ithal HBI kullanımına yönelmektedir.

BF-BOF üretimi 2040 yılında 4 milyon ton düzeyindeyken 2053 yılına kadar ihmal edilebilir seviyelere gerilemektedir. 2050 yılı itibarıyla yurt içi demir üretiminin toplam üretimdeki payı yalnızca %11 olurken, HBI ithalatının payı %24'e ulaşmaktadır. Kademeli Dönüşüm senaryosunda, karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojisiyle donatılmış NG-DRI tesisleri de olası bir karbonsuzlaşma seçeneği olarak değerlendirilmektedir. Analiz, uygun CO_2 taşıma ve depolama altyapısının kurulabilmesi halinde CCS teknolojisinin emisyonları azaltmak için ek bir seçenek sunabileceğini göstermektedir. Ancak Türkiye'de jeolojik CO_2 depolama sahalarının bulunabilirliği ve uygunluğu konusunda daha ayrıntılı değerlendirmelere ihtiyaç vardır. Analizde, Hatay–İskenderun çelik üretim kümesinde yakalanan CO_2'nin yaklaşık 500 kilometre uzunluğunda ortak bir boru hattı ağı üzerinden Tuz Gölü Havzası'nda modellenen bir jeolojik depolama merkezine taşındığı varsayılmaktadır. CCS maliyetlerinin hesaplanmasına ilişkin ayrıntılar metodoloji bölümünde sunulmaktadır.

Bu senaryoda, MENA bölgesinden daha düşük karbonlu HBI tedarikinin mümkün hale gelmesiyle Türkiye'nin ithal demire bağımlılığı artmaktadır. Ancak bu olasılık, bölgedeki projelerin zamanında tamamlanmasına ve uluslararası piyasalardaki arz

Ham çelik üretimi : Kademeli Dönüşüm Senaryosu

→ Fig. 20



Agora Industry (2026)

ve rekabet koşullarına bağlıdır. İthal HBI kullanımı, emisyonları maliyet etkin biçimde azaltma potansiyeli taşımakla birlikte, yurt içi birincil demir üretiminin payını düşürmekte ve sektörü uluslararası arz koşullarına daha bağımlı hale getirmektedir. Dolayısıyla bu senaryoda karbonsuzlaşma, ağırlıklı olarak hurda bazlı EAF üretimiyle sağlanırken yurt içi NG-DRI kapasitesinin rolü giderek azalmaktadır. H_2-DRI teknolojisinin ise 2050 yılından önce büyük ölçekte devreye alınması beklenmemektedir. Bu yaklaşım, kısa vadeli maliyet avantajları ile uzun vadeli hammadde arz güvenliği ve yurt içi sanayi kapasitesinin korunması arasında bir tercih yapılmasını gerektirmektedir.

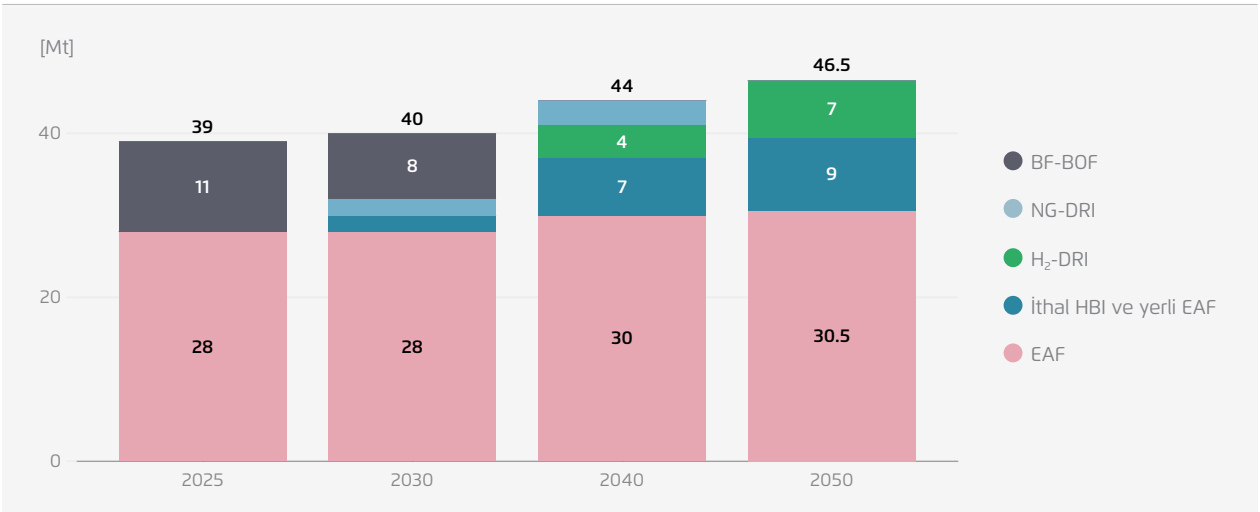
c. **Hızlandırılmış Dönüşüm Senaryosu**
Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda, daha yüksek karbon fiyatları, hedefe yönelik politika destekleri ve düşük karbonlu teknolojilerin daha erken devreye alınması birlikte ele alınmaktadır. Bu senaryoda karbon fiyatının 2030 yılına kadar 65 avro/t CO_2'ye, 2035 yılına kadar ise 100 avro/t CO_2'ye yükselmesi öngörülmektedir. Karbon fiyatı 2040 yılında 187 avro/t CO_2'ye ulaşarak AB karbon fiyatlarıyla aynı seviyeye gelmekte ve sonrasında AB Emisyon Ticaret Sistemi'nin (EU ETS) öngörülen fiyat seyrini izlemektedir. Bu hızlı artış, BF-BOF üretiminin kısa sürede azalmasını ve Türkiye'de bu üretim yönteminin 2040 yılına kadar önemli ölçüde dönüşmesini sağlamaktadır. Aynı dönemde düşük karbonlu demir ve çelik üretimi de artmaktadır. Bu dönüşüm kapsamında, BF-BOF tesislerinin üretim kapasitesi kademeli olarak H_2-DRI teknolojisiyle değiştirilmektedir. Avrupa genelinde yürütülen projeler, BF-BOF tesislerinin bu şekilde dönüştürülebileceğini göstermektedir.[46] Dönüşümün mevcut tesislerin yeniden yatırım ve devreden çıkarılma takvimleriyle uyumlu biçimde planlanması halinde, ticari riskler sınırlı tutulabilmektedir.

Özellikle MENA bölgesinden ithal edilen NG-HBI, 2030 yılından önce Türkiye'deki BF-BOF üretimiyle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelmektedir. Bu durum, yurt içi NG-DRI-EAF üretiminin rekabet gücünü artırmak için ek politika desteğine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, ithal HBI'nin maliyet avantajı Türkiye'nin stratejik özerkliği açısından risk oluşturabilir.

46 https://salcos.salzgitter-ag.com/en/index.html

Ham çelik üretimi: Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosu

→ Fig. 21

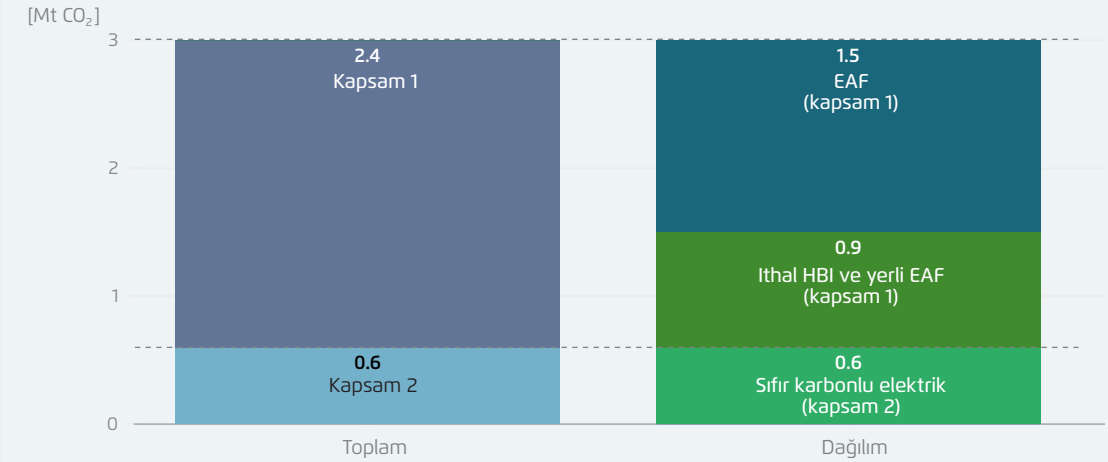


Agora Industry (2026)

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda 2050 sonrasında çelik sektörünün kalan emisyonlarının azaltılması (Kapsam 1 ve 2, Mt CO_2)

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda, çelik sektörünün emisyonları 2050 yılında yaklaşık 3 milyon ton CO_2'ye düşmektedir. Bu miktar, mevcut emisyonların yaklaşık %8'ine karşılık gelmektedir. Kalan emisyonların yaklaşık 2,4 milyon ton CO_2'si, esas olarak EAF üretimi ve ithal HBI kullanımından kaynaklanan Kapsam 1 emisyonlarıdır. Geriye kalan 0,6 milyon ton CO_2 ise Kapsam 2 emisyonlarından oluşmaktadır. Bu hesaplama, elektrik şebekesinin 2050 yılındaki emisyon yoğunluğunun 0,02 tCO_2/MWh düzeyine düşeceği varsayımına dayanmaktadır. Kalan emisyonların dağılımı aşağıda gösterilmektedir:

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda çelik sektöründe artık emisyonlar (2050) → Fig. 22



Agora Industry (2026). Not: Kapsam 1 emisyonları bakımından, 2050 yılında hurda bazlı EAF için 0,05 tCO_2/t ham çelik, ithal HBI kullanan EAF için 0,1 tCO_2/t ham çelik varsayılmıştır. Kapsam 2 emisyonları için, neredeyse tamamen karbonsuzlaşmış bir elektrik şebekesinden kaynaklanan 0,01 emisyon varsayılmıştır.

Bu emisyonların daha da azaltılabilmesi için senaryoda öngörülenlerin ötesinde ek karbonsuzlaşma önlemlerinin alınması gerekecektir. Bu önlemler, iklim nötrlüğüne ulaşmaya yönelik daha iddialı bir dönüşüm sürecini destekleyebilir. Ancak Ulusal Katkı Beyanı'nda (NDC) öngörülen hedeflere ulaşılması için zorunlu değildir.

Sıfır emisyon hedefine ulaşmak amacıyla aşağıdaki önlemler uygulanabilir:

- EAF üretiminde biyokömür kullanımı: EAF tesislerinde fosil yakıtlar yerine biyokömür kullanılarak, bu üretim yönteminde ham çelik tonu başına 50 kg CO_2 (kg CO_2/t ham çelik) düzeyindeki Kapsam 1 emisyonları daha da azaltılabilir.
- EAF üretimindeki 0,9 milyon tonluk Kapsam 1 emisyonlarının bir diğer kaynağı, HBI'nin içerdiği ve eritme işlemi sırasında açığa çıkan karbondur. Bu emisyonların önlenmesi için HBI üretiminde %100 yeşil hidrojen kullanılması ve belirli çelik kalitelerinde ihtiyaç duyulan az miktardaki karbonun EAF'ye biyokömür yoluyla eklenmesi mümkündür.
- Kalan Kapsam 2 emisyonları, Türkiye elektrik şebekesinin tamamen karbonsuzlaşması veya tüm çelik üreticilerinin elektrik ihtiyaçlarının tamamını yenilenebilir kaynaklardan karşılayan elektrik alım anlaşmaları yapması yoluyla ortadan kaldırılabilir.

Bu önlemlere ek olarak, karbon yakalama ve depolamayla birlikte biyoenerji kullanımı veya doğrudan havadan karbon yakalama ve depolama gibi yüksek kaliteli karbon giderim teknolojileri de değerlendirilebilir. Bu teknolojiler, kalan son emisyonların giderilerek çelik sektöründe tam iklim nötrlüğüne ulaşılması için alternatif çözümler sunabilir.

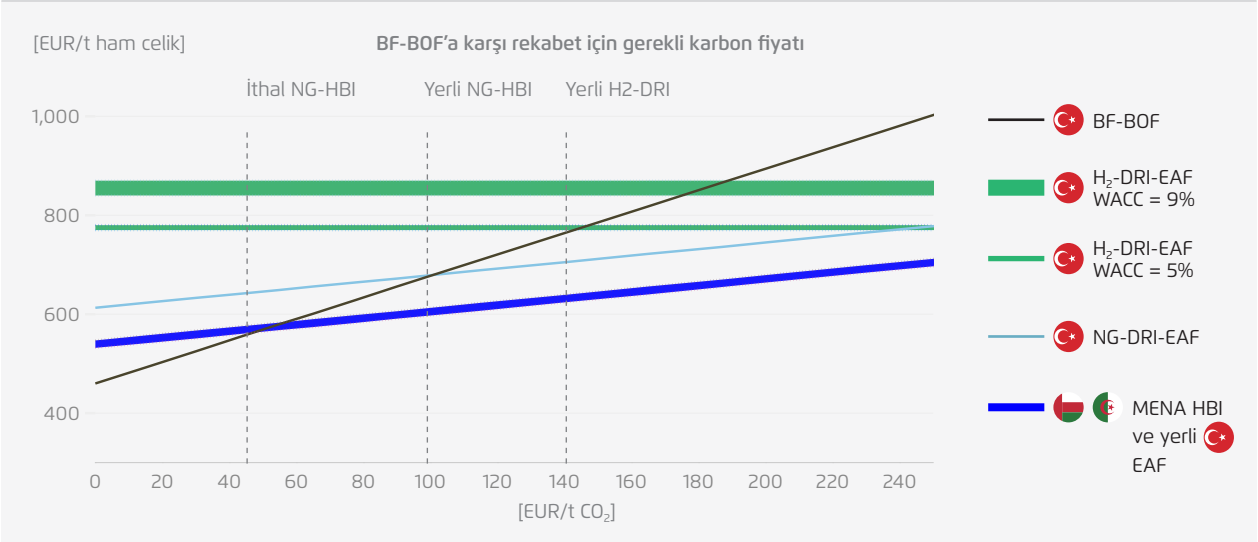
Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosu, 2040'lı yıllardan itibaren Kademeli Dönüşüm senaryosundan farklı bir yol izlemektedir. H_2-DRI-EAF teknolojisi 2040 yılına kadar devreye alınmaya başlanmakta ve hedefe yönelik politika önlemleriyle kullanımının yaygınlaştırılması desteklenmektedir. Bu önlemler arasında, ağırlıklı ortalama sermaye maliyetini (WACC) %9'dan yaklaşık %5'e düşürebilecek imtiyazlı finansman mekanizmaları da bulunmaktadır. Bunun sonucunda, 2050 yılı itibarıyla yurt içi demir üretimi toplam üretimin %15'ini oluşturmakta ve bu üretimin tamamı H_2-DRI yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Aynı dönemde HBI ithalatının payı ise %20 düzeyindedir. Türkiye, ithalata ağırlık veren daha kolay bir yolu tercih etmek yerine yurt içi üretim kapasitesine yatırım yaparak çelik üreticileri için yeşil demir üretimini teşvik edebilir. Böylece ithalat bağımlılığından kaynaklanan riskleri azaltırken stratejik özerkliğini de güçlendirebilir.

Türkiye'de Ham Çelik Üretim Maliyetlerinin Analizi

Çelik üretim maliyetlerini enerji ve hammadde fiyatları, teknoloji maliyetleri ve finansman koşulları belirlemektedir. BF-BOF ve NG-DRI-EAF yöntemlerinin maliyetleri sırasıyla büyük ölçüde koklaşabilir kömür ve doğal gaz fiyatlarına bağlıdır. H-$_2$DRI-EAF yönteminin rekabet gücü ise yenilenebilir elektrik maliyetlerinden ve proje finansman koşullarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle çalışmada farklı çelik üretim yöntemlerinin maliyetleri karşılaştırılmış, İzmir ve Hatay için H-$_2$DRI üretimine özgü maliyetler hesaplanmış ve düşük emisyonlu üretim yöntemlerinin BF-BOF ile rekabet edebilir hale geldiği karbon fiyatları belirlenmiştir. İzmir ve Hatay, köklü çelik üretim ve sanayi altyapıları, liman ve lojistik olanakları ile sürekli yenilenebilir elektrik tedarikine erişim potansiyelleri nedeniyle H-$_2$DRI-EAF üretiminin değerlendirilmesi için örnek bölgeler olarak seçilmiştir. Bu özellikler, düşük emisyonlu çelik üretiminin Türkiye'nin mevcut sanayi yapısına nasıl entegre edilebileceğinin incelenmesi açısından uygun koşullar sunmaktadır. Çanakkale, Kocaeli ve Zonguldak gibi diğer önemli çelik üretim merkezleri de yüksek üretim kapasitesine ve gelişmiş sanayi ve lojistik altyapısına sahiptir. Ancak bu çalışmanın amacı, Türkiye genelinde H-$_2$DRI-EAF yatırımları için uygun bölgeleri karşılaştırarak sıralamak değildir.

Türkiye'de farklı çelik üretim rotalarının tekno-ekonomik analizi

→ Fig. 23



Kaynak: Agora Industry (2026). Sermaye maliyeti: Türkiye %9 ve %5, Umman %7, Cezayir %11; doğal gaz fiyatları: Türkiye 30 Avro/MWh, Umman 14 Avro/MWh, Cezayir 3 Avro/MWh; Kapsam 2 ve 3 karbon vergisinden muaftır. Elektrolizör yatırım maliyeti (CAPEX) = 850 EUR/kWel (2040'a kadar ulaşılması beklenmektedir).

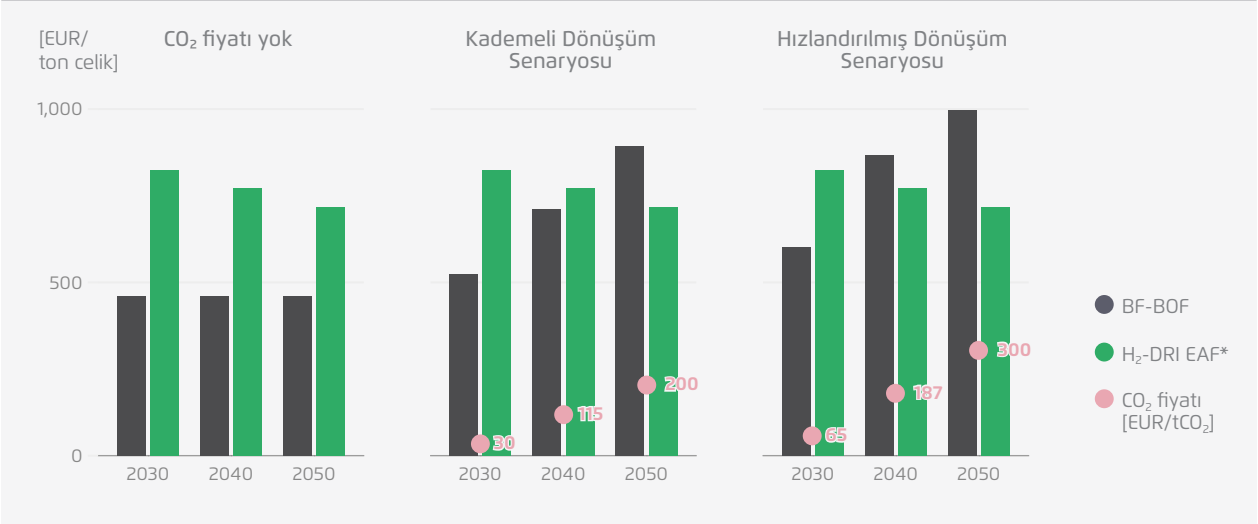
Analiz sonuçları, Türkiye'de düşük emisyonlu çelik üretim yöntemlerinin rekabet gücünün büyük ölçüde yatırım risklerini azaltan finansman olanaklarına ve karbon fiyatlarına bağlı olduğunu göstermektedir. 2040 yılına kadar yurt içi H_2-DRI üretiminin kömüre dayalı BF-BOF yöntemiyle maliyet açısından rekabet edebilmesi için, ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin %5 düzeyine indirildiği uygun finansman koşullarına ve yaklaşık 140 avro/t CO_2 karbon fiyatına ihtiyaç duyulmaktadır. NG-DRI yönteminde ise karbon fiyatı eşiği daha düşüktür. Bu yöntemin BF-BOF ile maliyet açısından rekabet edebilmesi için yaklaşık 100 avro/t CO_2 karbon fiyatı yeterlidir. Buna karşılık, EAF yöntemiyle çelik üretiminde kullanılan ithal NG-HBI, karbon fiyatının yaklaşık 50 avro/t CO_2 olduğu koşullarda yurt içi BF-BOF üretimiyle rekabet edebilir hale gelebilmektedir.

Bu sonuçlar, Türkiye çelik sektörü açısından önemli bir tercih yapılması gerektiğini göstermektedir. Yurt içi H_2-DRI üretimi, daha kapsamlı emisyon azaltımları sağlama ve fosil kaynaklı girdilere bağımlılığı azaltma olanağı sunmaktadır. Ancak bu yöntemin hayata geçirilmesinin önünde nispeten yüksek maliyetler ve finansman engelleri bulunmaktadır. H_2-DRI üretiminin ekonomik açıdan uygulanabilirliği, özellikle hidrojen maliyetine duyarlıdır. Hidrojen maliyetini ise yenilenebilir elektrik fiyatları, elektrolizörlerin yatırım maliyetleri, kapasite kullanım oranları ve finansman koşulları belirlemektedir. Analizde, 2040 yılı için elektrolizörlerin sermaye yatırım maliyetinin (CAPEX) 850 avro/kW olacağı varsayılmıştır. Bu varsayım altında, seçilen bölgelerde hidrojenin seviyelendirilmiş üretim maliyeti yaklaşık 2,8–3,5 avro/kg olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla H_2-DRI-EAF yönteminin rekabet gücü, teknoloji ve finansman maliyetlerinin düşmeye devam etmesine ve uygun fiyatlı yenilenebilir elektriğe erişime bağlı olacaktır.

İthal NG-HBI ise çelik üretiminden kaynaklanan emisyonların azaltılması için kısa vadede daha düşük maliyetli bir seçenek sunabilir. Ancak bu yöntemde doğal gaza bağımlılık ve hammadde üretiminin önceki aşamalarından kaynaklanan emisyonlar devam etmektedir. Ayrıca MENA bölgesinden temin edilen NG-HBI'nin arzı sınırlı olabileceğinden, ithalatçılar arasında yoğun rekabet yaşanabilir. Örneğin, AB gibi pazarlarda karbon fiyatlarının daha yüksek olması, MENA bölgesindeki HBI ihracatçılarının bu pazarlara öncelik vermesine neden olabilir. Bu nedenle analiz sonuçları, düşük emisyonlu çelik üretimine geçişi destekleyecek politikaların hem yurt içi yatırımların sermaye

Farklı CO_2 fiyat senaryoları altında Türkiye'de BF-BOF ve H_2-DRI EAF üretiminin maliyet karşılaştırması

→ Fig. 24



Agora Industry (2026). * Türkiye'deki H2-DRI EAF için iskonto oranı %5 olarak alınmıştır

maliyetini hem de farklı üretim yöntemlerinin karbon maliyetleri arasındaki farkları dikkate alması gerektiğini göstermektedir.

Türkiye'de BF-BOF ve H_2-DRI-EAF yöntemleri arasındaki üretim maliyeti farkı birçok etkene bağlıdır. Bunların başında CO_2 fiyatı gelmektedir. Şekil 24'te, Türkiye'de BF-BOF üretim maliyetleri ile finansman riskleri azaltılmış H_2-DRI-EAF üretim maliyetlerinin farklı senaryolar kapsamında zaman içinde nasıl değiştiği karşılaştırılmaktadır. Şekle göre, Kademeli Dönüşüm senaryosunda BF-BOF ile H_2-DRI-EAF arasındaki maliyet farkı 2040 yılına kadar neredeyse tamamen kapanmaktadır. Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda ise H_2-DRI-EAF yöntemiyle üretilen çelik, 2040 yılına gelindiğinde BF-BOF çeliğinden daha düşük maliyetli hale gelmektedir.

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunun uygulanmasıyla, güneş fotovoltaik (PV). rüzgâr enerjisi, elektrolizör ve H_2-DRI değer zincirlerinde yaklaşık 24.600 ila 28.800 kişilik istihdam yaratılması beklenmektedir. Bu istihdam, inşaat, kurulum, işletme, bakım ve kullanım ömrü sonunda tesislerin devreden çıkarılması aşamalarını kapsamaktadır. İstihdamın en büyük bölümünün şebeke ölçeğindeki güneş enerjisi kurulumlarından kaynaklanacağı, bunu karasal rüzgâr enerjisi projelerinin izleyeceği öngörülmektedir. Elektrolizör ve DRI tesislerinin işletilmesi de daha sınırlı olmakla birlikte önemli istihdam olanakları sağlayacaktır. İstihdam tahminleri, 20 yıllık proje ömrü boyunca hem inşaat aşamasında ortaya çıkan geçici işleri hem de işletme dönemindeki kalıcı pozisyonları kapsayacak şekilde yıllık bazda hesaplanmıştır. Hesaplama yöntemine ilişkin ayrıntılar metodoloji bölümünde sunulmaktadır.

Bu senaryonun hayata geçirilmesi için 20 yıl boyunca yılda yaklaşık 1,5 milyar avro tutarında sürdürülebilir yatırım yapılması gerekmektedir. Bu yatırımlar; elektrolizörleri, yenilenebilir enerji üretim ve depolama tesislerini, 3 milyon tonluk ek yurt içi EAF kapasitesini ve toplam 8,8 milyon ton ithal HBI'nin işlenmesine yönelik tesisleri de içeren H_2-DRI altyapısını kapsamaktadır. Türkiye'nin iklim nötr çelik üretimine geçişini desteklemek için gereken toplam yatırım tutarı ise 14 milyar avronun üzerindedir.

Stratejik Sonuçlar ve Politika Tercihleri

Senaryolar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, Türkiye'deki politika yapıcıların önemli bir stratejik tercihle karşı karşıya olduğu görülmektedir. Maliyet analizi, NG-DRI yönteminin yaklaşık 100 avro/t CO_2 karbon fiyatında BF-BOF ile rekabet edebilir hale geldiğini göstermektedir. H_2-DRI-EAF yönteminin yalnızca maliyet koşulları açısından rekabetçi olabilmesi için ise daha yüksek karbon fiyatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bir diğer önemli bulgu, karbon fiyatının 50 avro/t CO_2'yi aşması halinde MENA bölgesinden ithal edilen NG-HBI'nin yurt içi BF-BOF üretimine kıyasla daha rekabetçi hale gelebilmesidir.

Kademeli Dönüşüm ve Hızlandırılmış Dönüşüm senaryoları arasındaki temel fark da burada ortaya çıkmaktadır. Karbon fiyatlarının yükselmesine izin verilmesi ve yurt içi üretimde ortaya çıkan açığın ithalatla karşılanması, ticaret veya tedarik zincirinde herhangi bir aksama yaşanmadığı varsayımı altında, karbonsuzlaşmanın en düşük maliyetli yolu olarak görünmektedir. Ancak bu yaklaşım, Türkiye çelik sektörünü yapısal açıdan kırılgan hale getirebilir. Sektör, MENA bölgesinden yapılacak ve sürekliliği tam olarak garanti edilemeyen HBI ithalatına bağımlı hale gelirken jeopolitik gerilimlere ve aynı ürünler için AB'deki alıcılarla rekabete daha açık olacaktır. Örneğin, AB'deki karbon fiyatlarının Türkiye'dekinden önemli ölçüde yüksek olması halinde, HBI ihracatçıları sınırlı miktardaki düşük karbonlu ürünlerini daha yüksek fiyatlarla satabilecekleri Avrupa pazarına yönlendirmeyi tercih edebilir.

Bir başka risk ise MENA bölgesindeki çelik üreticilerinin HBI ihraç etmek yerine daha fazla işlenmiş çelik ürünü ihraç etmeye yönelmesidir. Türkiye'nin yalnızca daha ucuz olduğu için ithal HBI'ye dayanan bir strateji izlemesi, böyle bir durumda çelik sektörünün gelecekteki rekabet gücünü ciddi biçimde zayıflatabilir. İthalat olanaklarının kısıtlanması halinde ise Türkiye'nin bu açığı karşılayabilecek yurt içi üretim kapasitesi oldukça sınırlı kalacaktır.

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosu, bu yaklaşıma bilinçli bir alternatif sunmaktadır. Bu senaryoda amaç, yurt içi üretimin payını daha yüksek düzeyde

tutmak, ithalat bağımlılığını azaltmak ve uzun vadeli hammadde arz güvenliği ile ihracat rekabet gücünü güçlendirmektir. Ancak bunun başarılabilmesi için NG-DRI üretiminin rekabetçi hale gelmesini sağlayacak yaklaşık 100 avro/t CO_2 düzeyinde daha yüksek yurt içi karbon fiyatlarına ihtiyaç vardır. Daha da önemlisi, yurt içi H_2-DRI ve NG-DRI yatırımlarının ekonomik açıdan uygulanabilir olabilmesi için sürdürülebilir sübvansiyonlar ve imtiyazlı finansman mekanizmaları gerekmektedir.

Birinci bölümde vurgulandığı üzere, Türkiye'de büyümeye devam eden otomotiv, beyaz eşya ve makine sektörlerinin yassı çelik talebinin karşılanabilmesi için daha fazla yüksek kaliteli yassı çeliğin ithal edilmesi veya yurt içinde üretilmesi gerekecektir. Bu ihtiyacın karşılanmasında, düşük karbonlu veya sıfıra yakın emisyonlu demirin yurt içinde üretilmesi önemli bir seçenek sunmaktadır. Mevcut BF-BOF tesislerinin ana ekipmanları yenileme yatırımı veya kullanım ömrünün sonuna yaklaşırken, tesislerin yatırım takvimleriyle uyumlu biçimde hidrojen bazlı DRI-EAF üretimine kademeli olarak dönüştürülmesi mümkündür.

Analiz sonuçları, tesislerin bulunduğu bölgelerin özellikleri ile finansman koşullarının da büyük önem taşıdığını göstermektedir. H_2-DRI-EAF üretim maliyetleri, İzmir için hesaplanan daha düşük maliyetli koşullar ile Hatay için hesaplanan daha yüksek maliyetli koşullar arasında değişmektedir.[47] Ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin %9'dan %5 düzeyine indirilmesi ise bu yöntemin rekabet gücünü önemli ölçüde artırmaktadır. İzmir, rüzgâr ve güneş enerjisinde daha yüksek kapasite faktörlerine sahip olması sayesinde yenilenebilir elektrik üretimi açısından daha elverişli koşullar sunmaktadır. Bu avantaj, H_2-DRI üretiminde kullanılan elektriğin maliyetini düşürmektedir.

Dolayısıyla H_2-DRI teknolojisinin yaygınlaştırılması için yalnızca yeterince güçlü bir karbon fiyatı sinyali değil, aynı zamanda yatırım risklerini azaltan ve sermaye maliyetini düşüren finansman mekanizmaları da gerekmektedir. Sonuç olarak, politika yapıcıların karşı karşıya olduğu temel mesele, yalnızca düşük ve yüksek maliyetli karbonsuzlaşma seçenekleri arasında tercih yapmak değildir. Asıl önemli olan, emisyonların maliyet etkin biçimde azaltılması ile güçlü, dayanıklı ve yurt içi üretime dayanan bir demir-çelik sektörünün korunmasının stratejik değeri arasında doğru dengeyi kurmaktır.

47 Bu iki bölge, yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel düzeydeki kullanılabilirliği arasındaki farklılıkları ortaya koymak amacıyla seçilmiştir. Bu seçim, Türkiye'de çelik üretiminin yalnızca söz konusu bölgelerde gerçekleştirildiği anlamına gelmemektedir. Amaç, yenilenebilir enerji kaynaklarına erişim koşullarının bölgelere göre değişmesinin nihai üretim maliyetleri üzerindeki etkisini göstermektir.

Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesindeki ortak girişimler ve doğrudan yabancı yatırımlar, Türkiye ile bölge ülkeleri arasındaki HBI ticaretinin gelişmesini şimdiden desteklemektedir.

Türkiye'nin MENA bölgesinden yaptığı sıcak briketlenmiş demir (HBI) ithalatı, iki temel nedenle çelik sektörü açısından önemli bir stratejik unsur haline gelecektir.

İlk olarak, Türkiye'nin elektrik ark ocağı (EAF) tabanlı üretiminde kullanılan ithal hurda miktarının azalması beklenmektedir. Bu nedenle sektörün hurdaya alternatif hammadde kaynaklarına ihtiyacı olacaktır. İkinci olarak, MENA bölgesinden temin edilecek doğal gaz bazlı HBI (NG-HBI) veya hidrojen bazlı HBI (H_2-HBI), kömüre dayalı birincil demir üretimine kıyasla daha düşük karbonlu bir girdi sunmaktadır. Bu avantaj, özellikle AB gibi iddialı iklim düzenlemelerinin uygulandığı çelik ihracat pazarları açısından önem taşımaktadır* Bu nedenle Türkiye'nin, MENA bölgesiyle hem şirketler hem de hükümetler düzeyinde ticari ortaklıklar geliştirmek için proaktif adımlar atması önemlidir.

Ancak Türkiye bu sürece sıfırdan başlamamaktadır. Tosyalı gibi Türk çelik üreticileri, MENA ülkeleri ile Türkiye arasındaki HBI ticaretinin gelişmesi için şimdiden önemli yatırımlar yapmaktadır.

Tosyalı, yaklaşık 7 milyon tonluk ham çelik üretim kapasitesiyle Türkiye'nin en büyük EAF üreticisidir. Bu kapasitenin 4 milyon tonluk bölümü, yüksek kaliteli yassı çelik üretimi amacıyla 2023 yılında devreye alınmıştır.

Tosyalı, yakın gelecekte MENA bölgesinde üç büyük demir-çelik üretim merkezi oluşturmayı planlamaktadır:

- **Cezayir:** Tosyalı, Oran kentinde hâlihazırda 5 milyon ton kapasiteli bir NG-DRI-EAF tesisi işletmektedir. Burada üretilen DRI'nin bir bölümü, şirketin Türkiye'deki EAF tesislerinde kullanılabilir.
- **Libya:** Tosyalı, Libya United Steel Company (SULB) ile kurduğu ortak girişim kapsamında, 2032 yılına kadar toplam 8,1 milyon ton NG-HBI üretim kapasitesine ulaşmayı hedeflemektedir. Projenin 2,7 milyon ton HBI kapasitesine sahip ilk aşamasının inşaatı devam etmekte olup tesisin 2027 yılında devreye alınması planlanmaktadır.
- **Suudi Arabistan:** Tosyalı, Ras Al Khair'de toplam 4 milyon ton kapasiteli bir DRI-EAF projesi kapsamında 2,7 milyon tonluk bir DRI tesisi kuracağını duyurmuştur.

Bu yatırım modeli, diğer Türk çelik şirketleri için de örnek oluşturabilir. Türkiye hükümeti de MENA bölgesindeki muhataplarıyla işbirliğini güçlendirerek stratejik ortaklıkların geliştirilmesini destekleyebilir. Ayrıca, Türkiye çelik sektörünün gelecekteki rekabet gücünün temel unsurlarından biri olması beklenen HBI ticaretinin geliştirilmesinde daha aktif bir rol üstlenebilir.

* Doğal gaz bazlı sıcak briketlenmiş demirin (NG-HBI) emisyonlarına ilişkin değerlendirmemiz, Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonlarını esas almakta; doğal gazın çıkarılması ve tesislere taşınmasından kaynaklanan yukarı yönlü Kapsam 3 emisyonlarını içermemektedir. Gelecekte metan üretimi ve taşınması sırasında ortaya çıkan emisyonların, özellikle metan sızıntıları, gaz yakma (flaring) ve atmosfere doğrudan gaz salımı (venting) kaynaklı emisyonların izlenerek karbon fiyatlandırmasına tabi tutulması halinde, NG-HBI üretiminin hidrojen bazlı HBI üretimine karşı sahip olduğu maliyet avantajı ortadan kalkacaktır. Örneğin, Al Ezz Flat Steel'in Süveyş tesisindeki NG-DRI-EAF üretim yöntemine ilişkin yaşam döngüsü değerlendirmesinde (LCA), emisyon yoğunluğu ton çelik başına 2,3 tCO_2 olarak hesaplanmıştır. CARES EPD 0039.pdf

5 Politika Önerileri

Karbonsuzlaştırılmış bir elektrik şebekesine dayalı, iklim nötr demir ve çelik üretim tesislerine yönelik yatırımları teşvik etmek için değer zincirinin tamamını kapsayan kapsamlı politikalara ihtiyaç vardır.

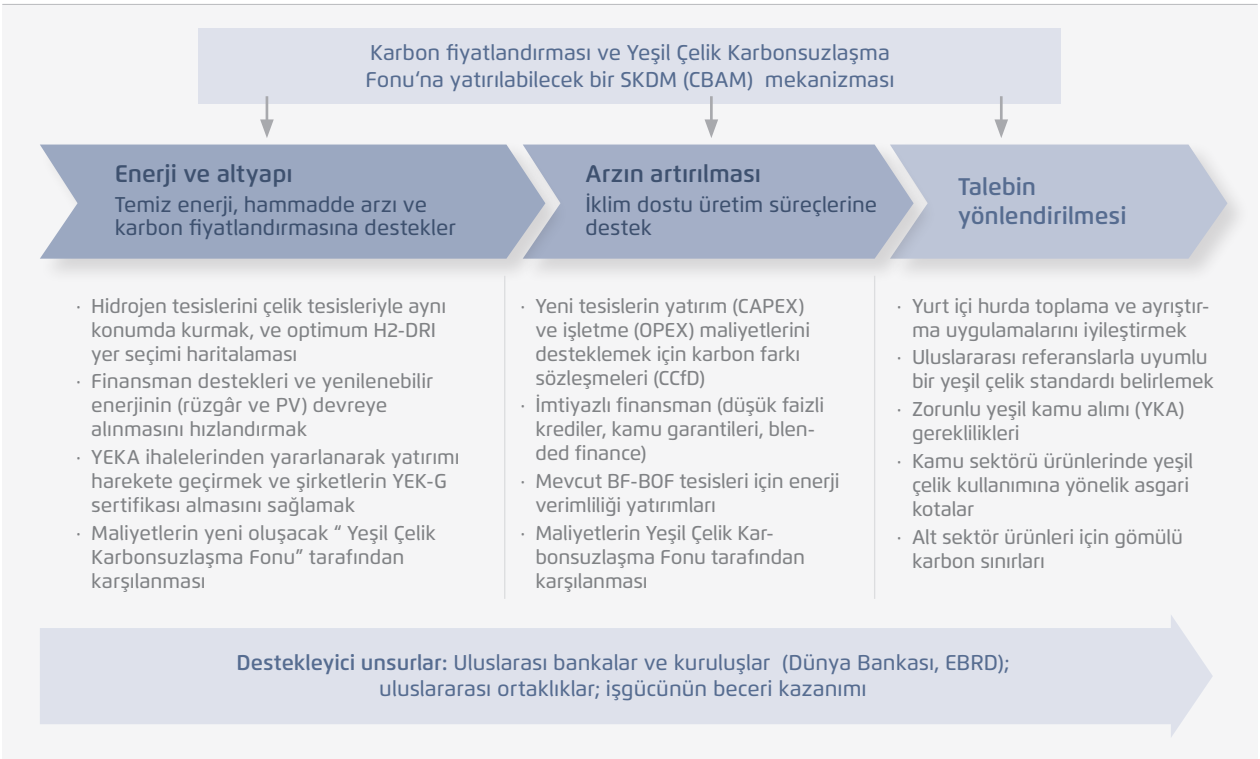
Enerji ve Altyapı – elektrik şebekesinin karbonsuzlaşmasını ve daha temiz hammaddelere (çelik hurdası) erişimi desteklemek

Hidrojen ve çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönelik planlamanın uyumlaştırılması

Hidrojen maliyetleri, yeşil çelik üretiminin toplam maliyetini belirleyen başlıca unsurlardan biridir. Bu nedenle, çelik sektörünün karbonsuzlaşmasını desteklemek amacıyla geliştirilecek sübvansiyon programlarının hidrojen tedarikini de açık biçimde dikkate alması ve desteklemesi gerekmektedir. Türkiye'nin hidrojen politikalarının temelini, yayımlanan ilk ulusal hidrojen stratejisi[48] oluşturmaktadır. Bu alanda daha kapsamlı politika geliştirme çalışmaları da devam etmektedir. Yeni hidrojen yol haritasının hazırlanması kapsamında, 2025 yılında akademi, özel sektör ve kamu kurumlarının temsilcilerinin katılımıyla istişareler gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, hidrojen sektörünün geliştirilmesi ile çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönelik çalışmalar arasında daha güçlü bir koordinasyon kurulması için önemli

48 T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2023)

Türkiye'de karbon nötr bir çelik sektörü, tüm değer zinciri boyunca politika uygulamaları gerektirecektir → Fig. 25



Agora Industry (2026). (C)CfD = (karbon) fark sözleşmesi

bir fırsat sunmaktadır. Böylece gelecekteki hidrojen üretim ve altyapı planlarının, çelik sektörünün değişen ihtiyaçlarını dikkate alması sağlanabilir.

Yenilenebilir hidrojen üretimi ve sanayi talebi açısından uygun bölgelerin belirlenmesi

Taşıma ihtiyacını ve altyapı maliyetlerini azaltmak amacıyla, mümkün olan yerlerde hidrojen üretim tesisleri çelik fabrikalarıyla aynı sahada kurulabilir. Tesislerin yer seçiminde, düşük maliyetli ve düşük karbonlu hidrojen tedarikini desteklemek için bölgenin yenilenebilir enerji potansiyeli de dikkate alınmalıdır. İzmir ve Hatay gibi bölgeler; yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliği, mevcut çelik üretim tesislerine yakınlık ve altyapı ihtiyaçları açısından birlikte değerlendirilebilir. Potansiyel hidrojen üretim sahaları ile sanayi talebinin yoğunlaştığı bölgelerin eşgüdüm içinde değerlendirilmesi, ortak altyapı kullanımına yönelik fırsatların belirlenmesine yardımcı olabilir. Bu yaklaşım, Türkiye'nin hidrojen ve çelik sektörlerindeki yatırım planlamasına da yön verebilir.

Yenilenebilir enerji kapasitesindeki artışın hızlandırılması

Türkiye, 2035 yılına kadar rüzgâr ve güneş enerjisinde toplam 120 GW kurulu güce ulaşmayı hedeflemektedir. Mevcut kapasitenin yaklaşık 40 GW olduğu dikkate alındığında, bu hedefe ulaşmak için yaklaşık 80 GW ek kapasiteye ihtiyaç vardır.[49] Bu ölçekte bir büyümenin sağlanabilmesi için **yatırım risklerini azaltan ve yeni kapasitenin devreye alınmasını hızlandıran güçlü bir politika çerçevesi** gerekmektedir.

Sıfıra yakın emisyonlu çelik üretimine geçişle birlikte EAF ve H_2-DRI tesislerinin sayısı artacak ve sektörün elektrik şebekesinden talep ettiği güç yükselecektir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılmasının yanı sıra, şebekedeki kapasite darboğazlarının önlenmesine ve çelik üreticilerinin genişleyen elektrik şebekesine hızlı biçimde bağlanabilmesine yönelik politikalara da ihtiyaç vardır. Türkiye'de bu alanda kullanılan başlıca politika araçlarından biri **Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları** (YEKA) ihaleleridir. Ancak sınırlı şebeke bağlantı kapasitesi, yüksek borçlanma maliyetleri, mevzuatta sık yapılan değişiklikler ve yurt içi piyasalardaki fiyat sinyallerinin yeterince güçlü olmaması, yatırımcıların kararlarını olumsuz etkilemektedir.[50] Bu nedenle öncelik, yeni destek programları oluşturmaktan ziyade, öngörülebilir ve finansal açıdan güvenilir bir ihale sistemi kurulmasına, finansman koşullarının iyileştirilmesine ve şebekeye erişimin kolaylaştırılmasına verilmelidir.

Çok taraflı finans kuruluşları, bu alandaki özel sektör yatırımlarına hâlihazırda destek sağlamaktadır. Dünya Bankası Grubu'nun özel sektör kolu olan Uluslararası Finans Kurumu'nun (IFC). Türkiye elektrik şebekesinin modernizasyonuna yönelik son dönemde sağladığı destek buna örnektir.[51] Bununla birlikte, elektrik şebekesinin dağıtım ve bağlantı kapasitesinin daha geniş ölçekte artırılmasını engelleyen sorunlar devam etmektedir.

Yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması, şebekenin güçlendirilmesi ve iletim altyapısının geliştirilmesi süreçlerinin eşgüdüm içinde planlanması büyük önem taşımaktadır. Böylece yenilenebilir enerji yatırımlarının hızı, çelik sektörü ve diğer enerji yoğun sanayi kollarının artan elektrifikasyon ihtiyaçlarıyla uyumlu hale getirilebilir.

Çelik üreticileri ayrıca, kullandıkları yenilenebilir elektriğin kaynağını belgeleyen ve aynı üretimin birden fazla kez sayılmasını önleyen YEK-G sertifikalarını temin ederek Kapsam 2 emisyonlarını elektrik şebekesinin genel karbonsuzlaşma hızından daha hızlı azaltabilir.[52]

49 https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/turkiye-aims-increase-solar-and-wind-capacity-120-gw-2035.html

50 (2026) https://shura.org.tr/

51 https://www.ifc.org/en/pressroom/2026/world-bank-group-invests-in-t-rkiye-s-power-grid-to-support-energy-security-growth

52 https://yekgnedir.epias.com.tr/

Arzın Artırılması – İklim nötr çelik üretim kapasitesinin genişletilmesi

Bu raporda yapılan CO_2 fiyatı analizi, senaryolar arasındaki temel farkların ortaya konulmasında belirleyici rol oynamaktadır. Bununla birlikte, CO_2 fiyatı yalnızca doğrudan karbon fiyatlandırmasını değil, çelik sektörünün karbonsuzlaşmasını teşvik etmek için kullanılabilecek daha geniş bir politika araçları bütününü de temsil etmektedir. Modelde daha yüksek CO_2 fiyatlarıyla ifade edilen destek düzeyleri, uygulamada karbon fark sözleşmeleri, imtiyazlı finansman, sermaye yatırımı (CAPEX) destekleri ve işletme giderlerine (OPEX) yönelik sübvansiyonlar gibi farklı araçlarla sağlanabilir. Bu araçlar birlikte, çelik üretim tesislerinin dönüşümünü destekleyen kapsamlı bir politika çerçevesi oluşturmaktadır.

Karbon Fark Sözleşmeleri

Karbon fark sözleşmeleri, geleneksel üretim yöntemleri ile iklim nötr üretim arasındaki maliyet farkını kapatmak ve yatırımcıları karbon fiyatlarındaki belirsizliklere karşı korumak amacıyla tasarlanmış bir finansal araçtır. Bu sözleşmeler kapsamında kamu otoritesi, piyasadaki gerçek karbon fiyatı ile düşük karbonlu teknolojileri ekonomik açıdan uygulanabilir hale getirmek için gereken daha yüksek bir referans fiyat (kullanım fiyatı) arasındaki farkı üreticiye öder. Böylece yatırımcılar, karbon fiyatlarının çok düşük kalması veya aşırı dalgalanması riskine karşı korunur.

Bu mekanizma, Türkiye çelik sektörü açısından özellikle önemlidir. Çünkü karbon fiyatlarının tek başına, yakın vadede NG-DRI veya H_2-DRI üretimini BF-BOF ya da ithal HBI ile rekabet edebilir hale getirecek seviyelere ulaşması beklenmemektedir. Karbon fark sözleşmeleri, üreticilerin gelecekteki karbon fiyatına ilişkin güvenceye dayanarak bugünden yatırım kararı almalarını sağlar. Böylece düşük karbonlu demir üretimine erken geçişin getirdiği finansal riskleri azaltır. Ayrıca bu sözleşmeler, karbon fiyatları gerekli seviyelere ulaşana kadar üreticileri daha ucuz ve daha yüksek emisyonlu ithal ürünlerin yarattığı fiyat baskısına karşı koruyarak rekabet gücüne ilişkin kaygıların giderilmesine de katkıda bulunabilir.

İmtiyazlı finansman (sermaye maliyetinin düşürülmesi)

H_2-DRI projeleri yüksek sermaye gerektiren, yenilikçi teknolojilere dayanan ve gelecekteki hidrojen ve karbon fiyatlarına ilişkin önemli belirsizlikler taşıyan yatırımlardır. Bu nedenle projelerin duyuru ve planlama aşamasından nihai yatırım kararı aşamasına geçebilmesi için sermaye maliyetlerinin düşürülmesi kritik önem taşımaktadır.[53] Sermaye maliyetinin yüksek olduğu koşullarda, örneğin %9 düzeyinde, yalnızca finansman giderleri bile bir projeyi ekonomik açıdan uygulanamaz hale getirebilir. Bu durum, kullanılan teknoloji hazır olsa dahi proje geliştiricilerinin yatırım kararlarını ertelemesine veya projelerden vazgeçmesine neden olabilir. **Düşük faizli krediler, kamu garantileri ve karma finansman gibi imtiyazlı finansman mekanizmaları,** sermaye maliyetini yaklaşık %5 düzeyine indirebilir. Böylece finansman giderleri önemli ölçüde azalırken projelerin bankalar açısından finanse edilebilirliği de artar. Bu tür finansman destekleri, Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda öngörüldüğü üzere, 2040'lı yıllarda yurt içi H_2-DRI-EAF üretim kapasitesinin artırılmasını mümkün kılmak açısından büyük önem taşımaktadır.

Yeşil Çelik Karbonsuzlaşma Fonu Aracılığıyla Destek Sağlanması

Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) ve Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın tasarımına ilişkin bölümde açıklanan **SKDM iade mekanizmasından** elde edilecek gelirler, Türkiye çelik sektörünün dönüşümüne yönelik stratejik yatırımları finanse etmek amacıyla kurulacak bir **Yeşil Çelik Karbonsuzlaşma Fonu**'na aktarılabilir.

53 *Yeşil Demir Ticaretinin Küresel Çelik Sektörünün Dönüşümünü Hızlandırmadaki Rolü (2025)* başlıklı çalışma, enerji fiyatlarının rekabetçi olduğu ülkelerde projelerin rekabet gücünü belirleyen en önemli unsurun, proje finansmanında kullanılan ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (WACC) olduğunu ortaya koymuştur. WACC'nin düşürülmesi, enerji maliyetleri düşük ancak sermaye maliyetleri yüksek olan ülkelerdeki projelerin hayata geçirilmesini mümkün kılacaktır.

Bu fon, öncelikle demir üretim tesislerinin dönüştürülmesine ve elektrik ark ocağı (EAF) kapasitesinin artırılmasına yönelik projelerin ilk planlama aşamalarını destekleyecektir. Bu aşamalardaki maliyetlerin önemli bir bölümü, SKDM iadelerinden elde edilecek gelirlerle karşılanabilir. Tahminlerimize göre, iyi tasarlanmış bir ETS kapsamında bu gelirler 2030 yılına kadar yılda 500 milyon ila 1,5 milyar avroya ulaşabilir (Şekil 22). Bu kaynakların doğrudan çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönlendirilmesi, kendi kendini güçlendiren bir finansman mekanizması oluşturacaktır. Karbon fiyatlandırmasından elde edilen gelirler, sektörün dönüşümünü finanse edecek; bu dönüşüm de üreticilerin uzun vadede karbon maliyetlerine maruz kalmasını azaltacaktır. Aynı zamanda Türk çelik üreticileri, karbon yoğunluğu yüksek ve haksız fiyat avantajına sahip ithal ürünlerin yarattığı rekabet baskısına karşı korunacaktır.

BF-BOF Tesislerinde Enerji Verimliliğinin Artırılması

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda, BF-BOF üretim kapasitesi 2040 yılına kadar dönüştürülmektedir. Kademeli Dönüşüm senaryosunda ise BF-BOF tesisleri 2040 sonrasında da üretim yapısının bir parçası olmaya devam etmektedir. Dolayısıyla, senaryoya bağlı olarak BF-BOF tesisleri bir süre daha faaliyet gösterecektir. Bu durum, dönüşüm sürecinde mevcut tesislerin enerji verimliliğinin artırılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Üç senaryonun tamamında, BF-BOF tesislerinin dönüşümünden önce enerji verimliliği önlemleri ve mevcut en iyi tekniklerin uygulanmasıyla emisyonların yaklaşık %18 oranında azaltılabileceği varsayılmaktadır. Bu hesaplamaya yeni refrakter astar uygulamaları dahil değildir. Tesislerin olağan yenileme ve yatırım döngüleri dikkate alındığında, 2038 yılı, bazı BF-BOF tesislerinde enerji verimliliği veya refrakter astar yenileme yatırımları için gösterge niteliğinde bir son tarih olarak değerlendirilebilir. Bu tarihten sonra yapılacak yatırımlar için, tesisler alternatif üretim yöntemlerine geçmeden önce tamamen amorti edilememe riski artabilir.

Yüksek fırın gazının basınç enerjisinden yararlanmak amacıyla kullanılan **üst basınç geri kazanım türbinleri (TRT)**.[54] atık ısının geri kazanılmasını sağlayan **kuru kok söndürme (CDQ) sistemleri**[55] **ile sıcak hava sobaları ve sinterleme tesislerinin** optimizasyonuna[56] yönelik yatırımlar için vergi teşvikleri sağlanmalıdır. Ayrıca, **asgari enerji verimliliği standartlarının zorunlu hale getirilmesi** ve işletmecilere **teknik destek sunulması**, bu uygulamaların yaygınlaştırılmasına katkıda bulunabilir. Karbon fiyatlandırması da söz konusu yatırımların ekonomik açıdan daha cazip hale gelmesini sağlayabilir. Türkiye, bu politikalara öncelik vererek çelik sektörünün çevresel etkilerini azaltabilir ve dönüşüm sürecinde faaliyetlerini sürdüren BF-BOF tesislerinin mümkün olduğunca verimli ve sürdürülebilir biçimde işletilmesini sağlayabilir. Ancak bu yatırımlar, Yeşil Çelik Karbonsuzlaşma Fonu'ndan finanse edilmek yerine şirketler tarafından karşılanmalıdır. Böylece enerji verimliliğine yönelik yatırımların, daha yüksek emisyon azaltma potansiyeline sahip karbonsuzlaşma çalışmalarının önüne geçmesi engellenebilir.

Talebin Artırılması – İklim dostu çelik için alıcıların ve pazar talebinin güçlendirilmesi

Yurt içi hurda toplama sisteminin iyileştirilmesi

Yukarıda sunulan modelleme sonuçları, Türkiye'de yıllık hurda toplama miktarının bugünkü yaklaşık 10 milyon ton seviyesinden 2050 yılına kadar yaklaşık 26 milyon tona çıkacağı varsayımına dayanmaktadır. Daha önce belirtildiği üzere, yurt içi hurda arzının artırılması, Türkiye ekonomisinin hurda ithalatındaki azalmaya veya fiyat artışlarına karşı kırılganlığını azaltacaktır. Yurt içi hurda sisteminin geliştirilmesi, kamunun öncülüğünü ve özel sektör yatırımlarını birlikte gerektirmektedir. Paydaşların belirlediği öncelikli alanlar arasında **veri şeffaflığının artırılması, gelişmiş ayırma ve işleme**

54 https://www.primetals.com/en/metals-magazine/blast-furnace-off-gas-turning-off-gas-streams-into-revenue-streams/
55 https://www.iea.org/articles/driving-energy-efficiency-in-heavy-industries
56 https://www.lyhonten.com/Blast-Furnace-in-Steel-Industry-Process-Efficiency-and-Industrial-Advantages.html

teknolojilerinin kullanılması, dijital izlenebilirlik sistemlerinin kurulması, AB standartlarıyla uyumlu sertifikasyon mekanizmalarının geliştirilmesi ve hurda değer zincirindeki kayıt dışı faaliyetlerin azaltılması yer almaktadır[57] Türkiye'de hâlihazırda çelik üreticilerinin hammadde tüketimini izlemeye olanak tanıyan, kamuya açık merkezi bir veri platformu bulunmamaktadır. Bu eksiklik, sektör genelinde şeffaflığı sınırlamaktadır.[58]

Yeşil Çelik Standardı

Türkiye'de güvenilir ve etkili bir yeşil çelik standardı oluşturulabilmesi için, politika yapıcıların uluslararası düzeyde kabul gören standartlarla uyuma öncelik vermesi gerekmektedir. Bu kapsamda **Düşük Emisyonlu Çelik Standardı (LESS)[59] Küresel Çelik İklim Konseyi'nin (GSCC) gönüllü standardı[60] ve ResponsibleSteel Uluslararası Üretim Standardı (Sürüm 2.1.1)** gibi çerçeveler esas alınabilir. 2025 yılında LESS ve **Çin Demir ve Çelik Birliği (CISA)**. küresel çelik üretiminin yarısından fazlasını birbiriyle uyumlu bir çerçeve kapsamına almak amacıyla sera gazı emisyonlarının ölçülmesi ve sınıflandırılmasına yönelik ortak bir yaklaşım üzerinde anlaşmıştır.[61] Türkiye'de uygulanacak standartların bu önde gelen uluslararası çerçevelerle uyumlu olması, farklı sertifikasyon sistemlerinin birlikte işlerliğini artıracak, sınır ötesi ticareti kolaylaştıracak ve pazarın parçalanmasını önlemeye yardımcı olacaktır. Uyumlaştırılmış bir yaklaşım, yalnızca mevzuata uyum süreçlerini kolaylaştırmakla kalmayacak, aynı zamanda önerilen politika çerçevesindeki diğer talep odaklı önlemlerin başarıyla uygulanmasına da katkıda bulunacaktır.

Yeşil Kamu Alımları, kotalar ve uzun vadeli anlaşmalar

Türkiye'de iklim dostu çeliğe yönelik talebi artırmak için **zorunlu yeşil kamu alımı kriterleri** ile **kamu sektöründe yeşil çelik kullanımına ilişkin asgari kotalar** uygulanmalıdır. Uluslararası deneyimler, kamu sektörünün iklim dostu malzemelere yönelik talebin oluşturulmasında öncü rol üstlenebileceğini göstermektedir. Kamu sektörünün toplam çelik talebindeki önemli payı dikkate alındığında, altyapı projelerinde, kamu binalarında ve araç alımlarında iklim dostu çelik kullanımının zorunlu tutulması, pazarın gelişmesini destekleyebilir.

Gönüllü kriterlerle yetinmek yerine, kamu projelerinde kullanılan çeliğin üretiminden kaynaklanan **gömülü karbon emisyonlarına üst sınırlar** getirilerek yeşil kamu alımı gereklilikleri zorunlu hale getirilmelidir. Hangi çelik ürünlerinin "iklim dostu" olarak nitelendirilebileceğinin belirlenmesinde ise gelişmekte olan uluslararası etiketleme sistemlerinin eşik değerlerinden yararlanılabilir.[62] Bu gerekliliklerin uygulanmasında **aşamalı bir yaklaşım** benimsenebilir. Öncelikle kontrollü pilot uygulamalar veya yerel yönetim düzeyindeki projeler aracılığıyla yeni kriterler test edilebilir. Ardından elde edilen deneyimler doğrultusunda uygulama ülke geneline yaygınlaştırılabilir. Bu süreçte kamu alımlarından sorumlu personelin gerekli eğitimleri alması ve belediyelerin yeni gereklilikleri etkili biçimde uygulayabilmek için yeterli mali ve teknik kaynaklara sahip olması sağlanmalıdır.

Araştırmalar, bu tür zorunlulukların maliyetler üzerindeki etkisinin oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir. İklim dostu çelik kullanımına yönelik yeşil kamu alımı uygulamalarının toplam proje maliyetlerini yalnızca yaklaşık %0,2–0,5 oranında artıracağı tahmin edilmektedir. Binalar ve araçlar gibi nihai ürünlerdeki toplam maliyet artışının ise

57 Sefia 2026
58 Sefia 2026
59 https://lowemissionsteelstandard.org/
60 https://globalsteelclimatecouncil.org/
61 https://www.responsiblesteel.org/news/landmark-agreements-link-majority-of-worlds-steel-production-under-global-and-regional-standards-for-low-emission-steel
62 https://www.agora-industry.org/publications/creating-markets-for-climate-friendly-basic-materials#downloads

%1–3 aralığında kalması beklenmektedir.[63] Bu sınırlı ek maliyet, yeşil kamu alımı uygulamalarıyla kamu bütçelerine veya tüketicilere önemli bir yük getirmeden iklim dostu çelik için güçlü bir pazar talebi oluşturulabileceğini göstermektedir.

Türkiye, yeşil kamu alımlarını yeşil çelik kullanımına yönelik kotalarla birleştirerek düşük karbonlu çelik üretimine geçiş yapan üreticiler için güvenilir ve giderek büyüyen bir talep oluşturabilir. Bu yaklaşım, üreticilerin yatırım risklerini azaltırken geleneksel ve düşük karbonlu üretim yöntemleri arasındaki maliyet farkını kapatmak için doğrudan sübvansiyonlara veya karbon fark sözleşmelerine duyulan ihtiyacı azaltıp dönüşüm sürecinin kamuya toplam maliyetini zaman içinde düşürebilir.

63 Nihai ürünlerde yeşil çelik kullanımının getirdiği ilave maliyet, geleneksel çelik yerine yeşil çelik kullanılmasının ürün fiyatında yol açtığı artışı ifade etmektedir. Aşağıdaki tabloda, Kademeli Dönüşüm senaryosunda öngörüldüğü gibi karbon fiyatının 2030 yılında 30 avro/t CO_2 olacağı varsayımıyla, çeşitli nihai ürünlerde yeşil çelik kullanımından kaynaklanan fiyat artışı hesaplanmıştır. Türkiye'de BF-BOF yöntemiyle üretilen çelik ile finansman riskleri azaltılmış varsayımsal bir H_2-DRI-EAF tesisinde üretilen yeşil çelik arasındaki fiyat farkı ton çelik başına 300 avro olmasına rağmen, bunun nihai ürün fiyatına etkisi oldukça sınırlıdır. Yeşil çelik kullanımı, ev tipi klimanın fiyatını yalnızca **%0,8**, elektrikli otomobilin fiyatını **%0,9**, çamaşır makinesinin fiyatını ise **%1,3** artırmaktadır. Karbon fiyatlarının zaman içinde yükselmesiyle geleneksel çelik ve yeşil çelik arasındaki maliyet farkı giderek azalacak ve karbon fiyatının yeterince yükselmesi halinde yeşil çelik, BF-BOF yöntemiyle üretilen çelikten daha düşük maliyetli hale gelecektir. Başka bir ifadeyle, karbon fiyatı 30 avro/t CO_2 seviyesinin üzerine çıktıkça, nihai tüketici ürünlerinde yeşil çelik kullanımından kaynaklanan ilave maliyet zamanla azalacaktır.

ETS ve SKDM Tasarımı

Politika çerçevesinin bu bölümü, iklim nötr çelik üretim tesislerine yapılan yatırımların uzun vadede ekonomik getiri sağlayacağına ilişkin güçlü ve öngörülebilir bir piyasa sinyali oluşturulması açısından önemlidir. Böylece üreticiler ve yatırımcılar, karbon maliyetleri arttıkça düşük karbonlu teknolojilerin geleneksel, yüksek emisyonlu üretim yöntemleriyle maliyet açısından rekabet edebilir hale geleceğine güven duyabilir.

Yukarıda ele alınan senaryolar, farklı karbon fiyatı varsayımlarına dayanmaktadır. Karbon fiyatı yükseldikçe, çelik sektörünün 2053 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşmasını öngören dönüşüm senaryolarının hedefleri de daha iddialı hale gelmektedir.

ETS tasarım seçenekleri: Politika çerçevesinin en önemli unsurlarından biri, Türkiye Emisyon Ticaret Sistemi'nin (TR ETS) uygulamaya alınmasıdır.[64] TR-ETS'nin elektrik üretiminin yanı sıra demir-çelik, çimento, alüminyum ve kimya gibi enerji yoğun sanayi sektörlerini kapsaması öngörülmektedir.[65] Bu bölümde, ETS, ücretsiz emisyon tahsisatları ve gelecekte uygulanması muhtemel bir Türkiye Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (TR SKDM) arasındaki ilişki ele alınmaktadır.

64 https://icapcarbonaction.com/en/news/turkiye-adopts-landmark-climate-law-paving-way-national-ets
65 https://icapcarbonaction.com/en/news/turkiye-adopts-landmark-climate-law-paving-way-national-ets

Kademeli Dönüşüm senaryosunda, 2030 Yılında 30 avro/t CO_2 Karbon Fiyatı Varsayımı Altında Yeşil Çelik Fiyat Priminin Nihai Tüketim Ürünlerinin Maliyetlerine Etkisi → Tablo 4

	Kullanılan Çelik Miktarı	Yeşil Çelik ile Geleneksel Çelik Arasındaki Fiyat Farkı (avro/ton)	Ürün Birim Fiyatı	Fiyat Artışı	Yeşil Çelik Kullanımından Kaynaklanan Fiyat Artışı (%)
Elektrikli otomobil	900 kg	300 avro	30.000 avro	+270 avro	+%0,9
Çamaşır makinesi	25 kg	300 avro	600 avro	+8 avro	+%1,3
Ev tipi klima	30 kg	300 avro	1.200 avro	+9 avro	+%0,8

Agora Industry (2026)

İklim nötr çelik üretimine yönelik yatırımları teşvik edebilecek etkili bir ETS için, ücretsiz tahsisatların azaltılmasına ilişkin açık ve bağlayıcı bir takvim oluşturulması gerekmektedir. Aksi takdirde, TR-ETS ve olası bir TR-SKDM, gerekli yatırımları teşvik etmekte ve karbon fiyatlandırmasından elde edilen gelirlerin ülke içinde kullanılmasını sağlamakta yetersiz kalacaktır. Bu mekanizmalar, gerçek bir dönüşüm yaratmak yerine yalnızca muhasebe düzeyinde kalan uygulamalara dönüşme riski taşıyacaktır. Aşağıdaki şekilde, bu mekanizmanın işleyişi genel hatlarıyla gösterilmektedir:

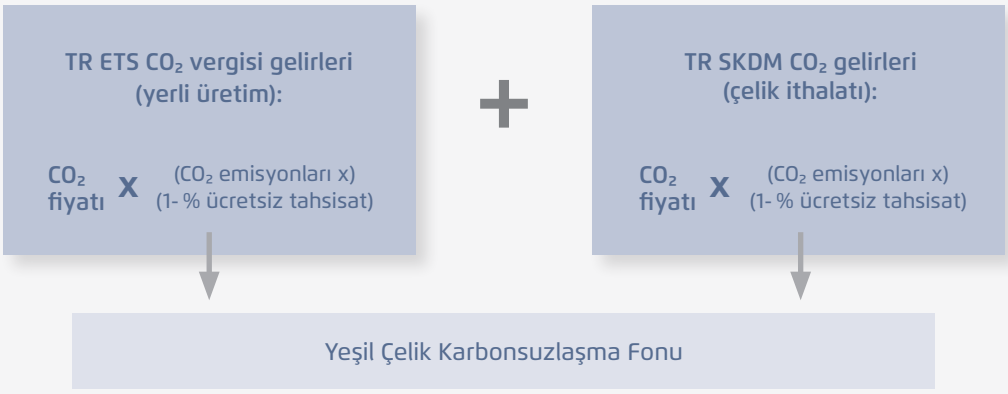
Türkiye hem kendi ETS'si hem de olası bir yerli SKDM aracılığıyla karbon fiyatlandırmasından gelir elde edebilir. Her iki mekanizmadan sağlanacak gelir, karbon fiyatına ve doğrulanmış emisyon miktarı ile ücretsiz tahsis edilen emisyon miktarı arasındaki farka bağlıdır. Başka bir ifadeyle, ücretsiz tahsisatlar doğrulanmış emisyonların tamamını karşılıyorsa karbon fiyatlandırmasından gelir elde edilemez. Ücretsiz tahsisatların doğrulanmış emisyonları karşılamakta yetersiz kaldığı durumlarda ise karbon fiyatı, aradaki farkı oluşturan emisyon miktarına uygulanır. Olası bir TR-SKDM kapsamında bu ilke, yurt içi üreticiler ile ithal çelik ürünlerine eşdeğer biçimde uygulanacaktır. Elde edilen karbon gelirleri ise çelik sektörünün karbonsuzlaşmasına yönelik önlemlerin finansmanında kullanılabilir.

Türkiye'nin 2026–2028 dönemini kapsayan ETS pilot uygulamasında, tahsisatların muhtemelen tamamının ücretsiz verildiği bir sistem benimsemesi beklenmektedir.[66] Ücretsiz tahsisat uygulamasının iki temel işlevi vardır. İlk olarak, Türk çelik üreticilerini başlangıçta yüksek karbon maliyetleriyle karşı karşıya bırakmadan ETS'nin devreye alınmasını sağlar. Böylece üreticilere yeni sisteme hazırlanmak ve uyum sağlamak için zaman tanınır. İkinci olarak, Türkiye'de bir SKDM bulunmadığı durumda, yerli üreticileri karbon fiyatlandırması uygulamayan ülkelerden gelen daha ucuz çelik ürünlerinin yarattığı rekabet baskısına karşı korur.

Ancak ücretsiz tahsisatların %100 düzeyinde tutulması, karbon maliyetini büyük ölçüde ortadan kaldırdığı için iki önemli sonuç doğuracaktır. İlk olarak, emisyon yoğunluğu çok yüksek olan ve referans değerleri aşan tesislerin sınırlı miktardaki emisyonları dışında, Türkiye hükümeti emisyon tahsisatlarının açık artırmayla satışından gelir elde

66 Hesaplamaları basitleştirmek amacıyla, %100 ücretsiz emisyon tahsisatının çelik tesisinin tüm emisyonlarını karşıladığı varsayılmıştır. Ancak uygulamada, kıyaslama değerlerine dayalı tahsisat sistemi nedeniyle, tahsisatların %100'ünün ücretsiz verilmesi durumunda dahi emisyon yoğunluğu çok yüksek olan tesislerin emisyonlarının küçük bir bölümü kapsam dışında kalabilir. Bu durumda, kapsam dışında kalan emisyonlar karbon fiyatlandırmasına tabi olacak ve sınırlı miktarda da olsa karbon geliri elde edilebilecektir.

Türkiye'nin CO_2 fiyatı ile gelir yaratma mekanizmasına ilişkin genel bakış → Fig. 26



Agora Industry (2026)

edemeyecektir. İkinci olarak, Türkiye'nin AB'ye yönelik çelik ihracatı, TR ETS kapsamında tahsisatların tamamının ücretsiz verilmediği bir sistemin sağlayabileceği karbon maliyeti avantajından yararlanamayacak ve AB SKDM yükümlülüklerine maruz kalmaya devam edecektir.

Bu nedenle, Türkiye'nin belirli bir aşamada ücretsiz tahsisatların kademeli olarak azaltıldığı ve bir TR-SKDM'in uygulamaya konulduğu bir modele geçmesi önerilmektedir . Böyle bir geçişin üç temel sonucu olacaktır:

- → Türkiye, ücretsiz tahsisatların karşılamadığı CO_2 emisyonları üzerinden ETS geliri elde etmeye başlayacaktır.
- → Türkiye, ithal çelik ürünlerinin içerdiği ve ücretsiz tahsisat kapsamına girmeyen emisyonlara, kendi ETS'sindeki karbon fiyatına eşdeğer bir bedel uygulayabilecektir. Bu da karbon fiyatlandırmasından elde edilen gelirleri artıracaktır.
- → Türkiye'deki doğrulanmış emisyonlar, karbon fiyatı ve ücretsiz tahsisat oranı AB'deki düzeylerle aynı olduğunda, Türk çelik ihracatçılarının AB'ye yaptıkları satışlar için ek SKDM ödemesi yapmaları gerekmeyecektir.

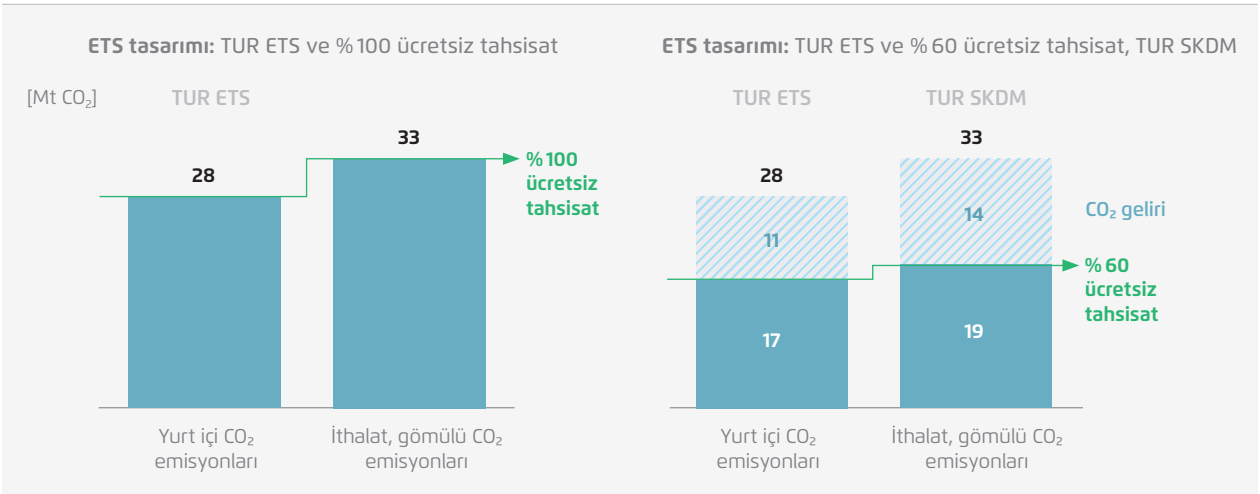
Şekil 27'de, ücretsiz tahsisat oranının 60% olduğu bir TR-ETS ile TR-SKDM'in birlikte uygulandığı varsayımsal bir sistem gösterilmektedir. Bu durumda, yurt içindeki demir-çelik tesislerinden kaynaklanan yaklaşık 11 milyon ton CO_2 emisyonu, yani toplam emisyonların %40'ı, Türkiye'deki karbon fiyatına tabi olacaktır. Ayrıca, ithal demir-çelik ürünleriyle ilişkili yaklaşık 14 milyon ton CO_2 emisyonu da aynı şekilde karbon fiyatlandırmasına tabi tutulacaktır. Bu miktar da ilgili toplam emisyonların %40'ına karşılık gelmektedir.[67] Her iki uygulama da Türkiye hükümeti için karbon geliri yaratacak ve bu kaynaklar demir-çelik sektörünün karbonsuzlaşmasını desteklemek amacıyla kullanılabilecektir.

Türkiye, ücretsiz tahsisatların %100 düzeyinden ne zaman ve hangi hızda azaltılacağına kendisi karar verecektir. Bununla birlikte, AB'nin ücretsiz tahsisatları kademeli olarak kaldırma takvimi, Türkiye açısından önemli bir referans noktası olacaktır. Özellikle AB'deki ücretsiz tahsisat oranının 2029–2030 döneminde %78'den %59'a düşürülmesi

67 Türkiye'nin mevcut demir ve çelik ithalatından kaynaklanan gömülü Kapsam 1 emisyonlarının yılda yaklaşık 33 milyon ton CO_2 olduğu tahmin edilmektedir. Bu hesaplamada, 2025 yılında ithal edilen 18,9 milyon ton çelik için ortalama emisyon yoğunluğunun 1,75 t CO_2/ton ham çelik olduğu varsayılmıştır.

Demir-çelik emisyonları için ETS tasarımı, Kapsam 1

→ Fig. 27

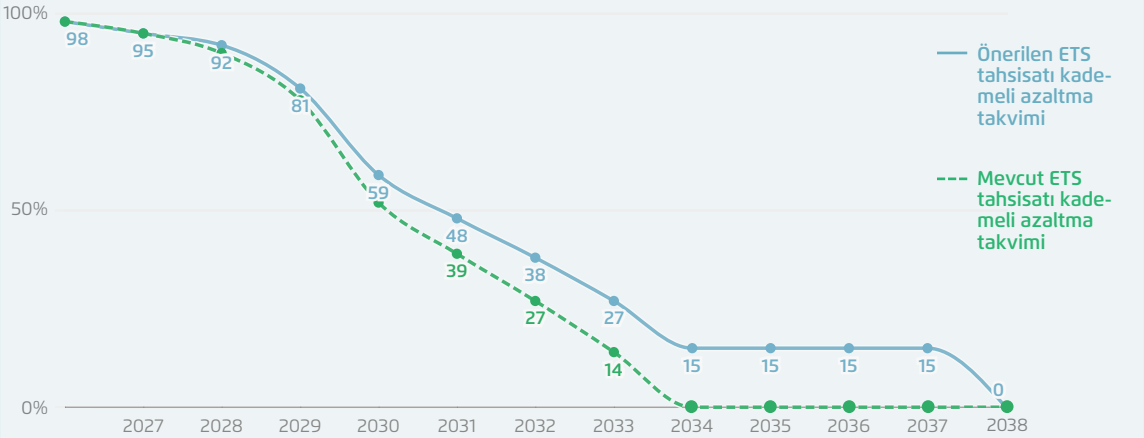


Agora Industry (2026). Türkiye'ye yapılan ithalatın Kapsam 1 emisyonlarının, 2023 yılında 18,9 Mt olan ithalat miktarı ve ham çelik başına ortalama 1,75 t CO_2/t emisyon yoğunluğu varsayımına dayanarak yaklaşık 33 Mt CO_2 olduğu tahmin edilmektedir.

Temmuz 2026'da önerilen AB ETS reformu – ücretsiz tahsisatların kaldırılması yavaşlatılsa da 2030 yılına kadar önemli ölçüde azaltılması öngörülmektedir.

Temmuz 2026'da Avrupa Komisyonu, AB ETS kapsamındaki ücretsiz tahsisatların tamamen kaldırılacağı tarihi 2034'ten 2038'e erteleyen bir öneri sunmuştur. Öneri, ücretsiz tahsisatların kaldırılma sürecini yavaşlatmakla birlikte, 2030 yılına kadar tahsisat oranının %59'a düşürülmesini öngörmektedir. Mevcut mevzuatta ise bu oranın 2030 yılında %52'ye düşmesi öngörülmektedir. Bu durum, AB'ye ihracat yapan üreticilerin 2030 yılına kadar ilgili SKDM referans değeri esas alınarak hesaplanan Kapsam 1 emisyonlarının %41'i için SKDM sertifikası satın almak zorunda kalacağı anlamına gelmektedir.*

Mevcut mevzuat kapsamında ve Temmuz 2026'dan itibaren önerilen AB ETS reformu kapsamında AB ücretsiz tahsisatlarının kademeli olarak kaldırılma takvimleri → Fig. 28



EU CBAM Guide (2026) ve Kolum Earth (2026)

Ücretsiz tahsisatların daha yavaş kaldırılmasını öngören bu öneri, Türkiye'nin AB'ye çelik ihraç eden şirketleri açısından genel tabloyu köklü biçimde değiştirmemektedir. Türkiye, yurt içinde karbon fiyatlandırması uygulayan ve referans değerlere dayalı ücretsiz tahsisat oranını %100'ün altında tutan bir ETS tasarımı benimsemediği takdirde, Türk çelik ihracatçılarının SKDM kaynaklı maliyetleri 2028 sonrasında hızla artmaya devam edecektir

* Hâlihazırda, doğrulanmış emisyon verilerini sunmayan ithalatçılar için uygulanan varsayılan referans emisyon değerleri, pik demirde 1,210 t CO_2eşd./ton, doğrudan indirgenmiş demirde (DRI) ise 0,397 t CO_2eşd./ton düzeyindedir.l

Türkiye'nin %100 ücretsiz tahsisat uygulamasını bu tarihlerden sonra sürdürmesini giderek zorlaştırabilir. [68]

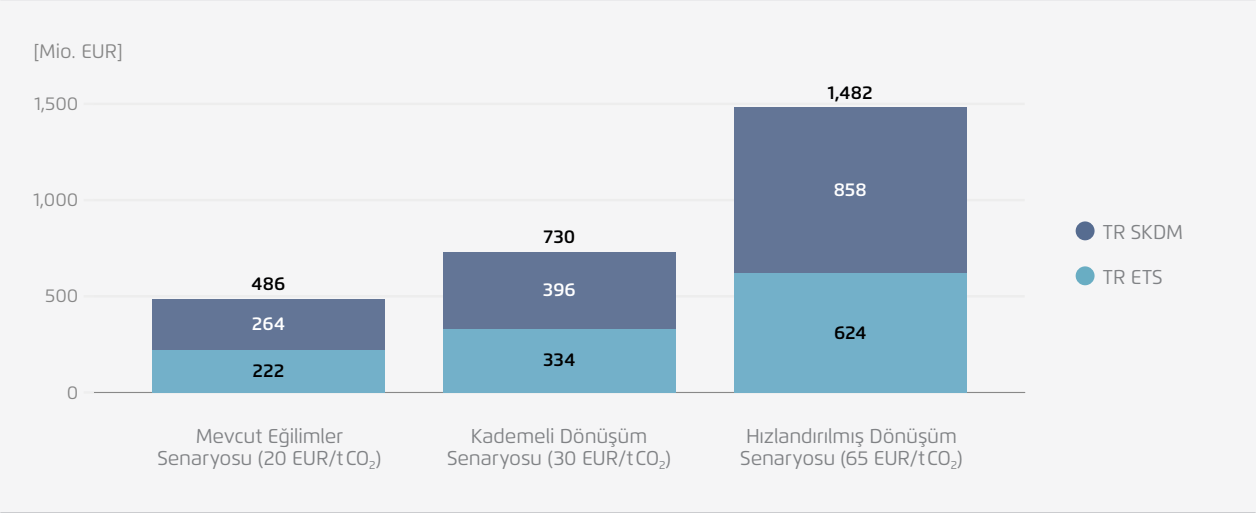
Türkiye'nin karbon fiyatlandırmasından elde edebileceği yıllık gelir, ücretsiz tahsisat oranına ve karbon fiyatının düzeyine bağlı olacaktır.

TR-ETS ve TR-SKDM kapsamında ücretsiz tahsisat oranının %60 olduğu bir senaryoda, farklı karbon fiyatı varsayımlarına göre demir-çelik sektöründen yılda 490 milyon ila 1,48 milyar avro gelir elde edilebilir . Türkiye'nin AB'nin ücretsiz

68 AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) reformuna ilişkin yasama süreci hâlen devam etmektedir. Avrupa Komisyonu, bugüne kadar ücretsiz emisyon tahsisatlarının azaltılması ve aşamalı olarak kaldırılması için öngörülen takvimin yavaşlatılmasını teklif etmiştir. Ancak teklif, AB Konseyi ve Avrupa Parlamentosu'ndaki görüşmeler sırasında yeni değişikliklere uğrayabilir.

2030 itibariyle demir-çelik sektöründe elde edilebilecek yıllık CO_2 fiyatı gelirleri: Türkiye SKDM'si ve farklı CO_2 fiyat senaryoları

→ Fig. 29



Agora Industry (2026). Türkiye'nin 2030 yılına kadar AB ETS'deki yaklaşık %60'lık ücretsiz tahsisat oranını izlediği varsayılmıştır; bu, emisyon tahsisatlarının yalnızca %40'ının ihale edildiği anlamına gelir. Yurt içi emisyonlar yalnızca demir-çeliğin Kapsam 1 emisyonlarını kapsar. Türkiye'ye yapılan demir-çelik ithalatının gömülü Kapsam 1 emisyonlarının 33 Mt CO_2 olduğu tahmin edilmektedir (18,9 Mt * 1,75 t CO_2). Bu, boyutu göstermek için kaba bir büyüklük tahminidir.

tahsisatları kademeli olarak kaldırma takvimini esas alması halinde, 60%'lık ücretsiz tahsisat oranı, AB'nin yeni ETS reform önerisinde 2030 yılı için öngörülen 59%'luk oranla büyük ölçüde uyumlu olacaktır. Böylece Türkiye, çelik sektörünün karbonsuzlaşmasını finanse etmek veya adil geçiş önlemlerini desteklemek amacıyla yılda yaklaşık 500 milyon ila 1,5 milyar avro tutarında kaynak elde edebilir.

6 Ek

Modelleme Metodolojisi

Bu çalışmada, Türkiye'deki farklı çelik üretim yöntemlerinin maliyetlerini ve rekabet gücünü değerlendirmek amacıyla iki modelleme yaklaşımı bir arada kullanılmıştır. İlk aşamada, saatlik zaman çözünürlüğüne sahip bir karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) modeliyle optimizasyon yapılmıştır. Ardından, kütle ve enerji dengelerine dayanan, aşağıdan yukarıya geliştirilmiş süreç bazlı bir tekno-ekonomik model kullanılmıştır. Bu modeller, farklı teknoloji, enerji fiyatı ve finansman varsayımları altında üretim maliyetlerini tahmin etmek ve alternatif çelik üretim yöntemlerini karşılaştırmak için kullanılmıştır. Modelleme araçları kurum bünyesinde geliştirilmiş olup kamuya açık değildir. Bununla birlikte, analizin şeffaflığını sağlamak amacıyla temel metodolojik varsayımlar ve girdi verileri aşağıda ve raporun ilgili bölümlerinde açıklanmaktadır.

H_2-DRI-EAF üretimine yönelik analizde, yenilenebilir elektrik ve hidrojen üretimi için en düşük maliyetli sistem yapılandırmasını belirleyen bir optimizasyon modeli kullanılmıştır. Model, karasal rüzgâr enerjisi ve güneş fotovoltaik (PV) sistemlerinden oluşan hibrit bir yenilenebilir enerji sistemini esas almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının saatlik üretim profilleri ve kapasite faktörleri, Renewables.ninja platformundan alınan saatlik meteorolojik veriler kullanılarak belirlenmiştir. Türkiye'de İzmir ve Hatay olmak üzere iki bölge, mevcut çelik üretim merkezlerine ve ilgili altyapıya yakınlıkları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Model, yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin şebekeden temin edilen elektrikle desteklenmesine de olanak tanımaktadır. Bu amaçla, Enerji Piyasaları İşletme AŞ'nin (EPİAŞ) Şeffaflık Platformu'ndan alınan toptan elektrik fiyatı verileri kullanılmıştır.

Yenilenebilir enerji üretimi, elektrolizörler ve ilgili sanayi altyapısı için gereken yüksek başlangıç yatırımları dikkate alınarak, analizde Damodaran (2026) temelinde Türkiye'ye özgü %9'luk bir iskonto oranı kullanılmıştır.[69] Modelde, teknoloji maliyetlerinin zaman içinde düşeceği de varsayılmıştır. Örneğin, teknolojik öğrenme ve ölçek ekonomilerinin etkisiyle elektrolizör maliyetlerinin günümüzdeki yaklaşık 1.600 avro/kW seviyesinden 2040 yılına kadar 850 avro/kW düzeyine gerileyeceği öngörülmektedir.

BF-BOF ve NG-DRI-EAF gibi fosil yakıtlara dayalı çelik üretim yöntemlerinin maliyetleri ise Excel tabanlı tekno-ekonomik modeller kullanılarak hesaplanmıştır. Fosil yakıt fiyatlarına ilişkin temel varsayımlar aşağıdaki tabloda sunulmaktadır. Bu modellerde yakıt, hammadde, teknoloji ve finansman maliyetlerine ilişkin varsayımlar bir araya getirilerek nihai çelik üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Ayrıca, alternatif üretim yöntemlerinin maliyet açısından rekabet edebilir hale geldiği karbon fiyatı seviyeleri değerlendirilmiştir.

Karbon yakalama ve depolama maliyetlerinin değerlendirilmesinde, Kumcu ve arkadaşlarının (2026) geliştirdiği optimize edilmiş CCS şebeke tasarımı ile Mendelevitch ve arkadaşlarının (2026) ortaya koyduğu maliyet varsayımları esas alınmıştır. Analizde, boru hatları ve demiryolları dahil olmak üzere yurt içi ulaştırma altyapısından yararlanan ve toplam maliyeti en aza indirecek şekilde tasarlanan bir CCS tedarik zinciri değerlendirilmiştir.

Hatay–İskenderun çelik üretim kümesi için yapılan modellemede, yakalanan CO_2'nin yaklaşık 500 km uzunluğundaki ortak bir boru hattı ağı üzerinden Tuz Gölü Havzası'nda modellenen jeolojik depolama sahasına taşınacağı varsayılmıştır. Bu koşullar altında CO_2'nin taşınma ve depolanma maliyeti yaklaşık 140 avro/t CO_2 olarak tahmin edilmiştir. Ancak bu değer, kesinleşmiş bir depolama projesine değil,

69 Damodaran, A. (2026). "Ülke Risk Primleri", NYU Stern İşletme Fakültesi, Ocak 2026 https://pages.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html.

Emisyon Hesaplamalarına İlişkin Varsayımlar → Tablo 5

Varsayım	Birim	Yıl				Kaynak
		2025	2030	2040	2050	
Ham çelik talebi	Milyon ton	38	41	43	46	Agora Industry analizi
Yurt içi hurda arzı	Milyon ton	10	14	22	26	Agora Industry analizi
Hurda ithalatı	Milyon ton	19	18	14	10	Agora Industry analizi
Hurda fiyatı	Avro/ton	377	383	395	412	EBRD (2023)*
Koklaşabilir taş kömürü fiyatı	Avro/ton	200	200	200	200	IEA
Elektrik fiyatı	Avro/MWh	50	50	50	50	EPIAS Seffaflik Platformu
Doğal gaz fiyatı	Avro/MWh	30	30	30	30	EPIAS Seffaflik Platformu

* EBRD ve T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023), Türkiye Cumhuriyeti Çelik Sektörü için Düşük Karbonlu Dönüşüm Yol Haritası..

modelleme varsayımlarına dayanmaktadır. Türkiye'deki potansiyel CO_2 depolama sahalarının mevcut kapasitesi ve uygunluğu konusunda daha ayrıntılı değerlendirmelere ihtiyaç vardır. CCS uygulamasıyla sağlanabilecek emisyon azaltımlarının hesaplanmasında, çelik tesisinde CO_2 yakalama oranının %90 olacağı varsayılmıştır (Oeko-Institut ve Agora Industry, 2026).

BF-BOF tesislerinde, mevcut en iyi tekniklerin uygulanmasıyla emisyonların yaklaşık %18 oranında azaltılabileceği varsayılmıştır. EAF tesislerinde emisyon yoğunluğundaki azalma ise esas olarak elektrik şebekesinin karbonsuzlaşması sonucunda Kapsam 2 emisyonlarının düşmesinden kaynaklanmaktadır.

NG-DRI-EAF üretim yöntemi için Kapsam 1 emisyonları, AB Yenilenebilir Enerji Direktifi ile uyumlu olarak, doğal gaz için 62,5 kgCO_2eşd./GJ emisyon faktörü esas alınarak hesaplanmıştır. Buna göre emisyon yoğunluğu, ham çelik tonu başına 0,66 t CO_2 olarak tahmin edilmiştir.

Karbon yakalama ve depolama uygulanan üretim yönteminde CO_2 yakalama oranının %90 olduğu varsayılmıştır. Bu yöntemde kalan emisyonların başlıca kaynağı, DRI tesisinin elektrik tüketimidir. Elektrik tüketimi, ham çelik tonu başına 0,64 MWh olarak kabul edilmiştir.

H_2-DRI-EAF üretim yönteminde ise Kapsam 1 emisyonlarının sıfır (0 t CO_2/t ham çelik) olduğu varsayılmıştır. Dolayısıyla bu yöntemde emisyonlar esas olarak elektrik tüketiminden kaynaklanan Kapsam 2 emisyonlarından oluşmaktadır.

Analize malzeme, ekipman veya altyapının üretimiyle ilişkili gömülü emisyonlar dahil edilmemiştir.

Senaryolara Göre Elektrik Şebekesinin Emisyon Yoğunluğunun Değerlendirilmesi → Tablo 6

	Şebeke Emisyon Yoğunluğu (kg CO_2/kWh)					
	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Hızlandırılmış Dönüşüm Senaryosu (SHURA, 2023 verilerine dayanarak)	0,434	0,315	0,23	0,1	0,05	0,02
Kademeli Dönüşüm ve Mevcut Eğilimler Senaryoları (Türkiye`nin Ulusal Katkı Beyanı'na dayanarak)	0,434	0,315	0,256	0,2	0,18	0,151

Agora Industry (2026)

Kademeli Dönüşüm ve Mevcut Eğilimler senaryolarında farklı çelik üretim yöntemlerinin emisyon yoğunlukları (Kapsam 1 ve 2 toplamı) → Tablo 7a

	2025	2030	2040	2050
BF-BOF	2,20	2,08	2,00	1,83
EAF (% 100 hurda)	0,43	0,36	0,23	0,14
NG-DRI-EAF	0,91	0,84	0,75	0,70
NG-DRI-EAF (CCS)	0,62	0,55	0,45	0,40
EAF + ithal HBI	0,67	0,60	0,42	0,35
H_2-DRI	0,31	0,23	0,14	0,11

İkinci Ulusal Katkı Beyanı (NDC 3.0) verilerine dayalı kendi analizimiz.

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosunda farklı çelik üretim yöntemlerinin emisyon yoğunlukları (Kapsam 1 ve 2 toplamı) → Tablo 7b

	2025	2030	2040	2050
BF-BOF	2,20	2,08	2,00	1,83
EAF (% 100[JS1.1] hurda)	0,43	0,36	0,17	0,06
NG-DRI-EAF	0,91	0,84	0,72	0,67
NG-DRI-EAF (CCS)	0,62	0,55	0,42	0,37
EAF + ithal HBI	0,67	0,60	0,32	0,11
H_2-DRI	0,31	0,23	0,07	0,01

SHURA'nın Net Sıfır 2053 (2023) raporundaki verilere dayalı kendi analizimiz.

Yukarıda sunulan değerler ve hesaplama yöntemleri, Agora Industry'nin önceki yayınları ile paydaş istişarelerinden elde edilen verilere dayanmaktadır. Temel kaynaklar ve metodolojik ayrıntılar talep üzerine paylaşılabilir.

İstihdam ve Yatırım Tahminleri

Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosuna ilişkin istihdam ve yatırım tahminleri, öngörülen üretim yöntemleri için gerekli başlıca teknolojilerin kapasitesi esas alınarak hesaplanmıştır. Değerlendirmede, yaklaşık 6,7 milyon ton H-$_2$DRI üretimi öngörülmektedir. Bu üretim düzeyine ulaşmak için yaklaşık 3,1 GW rüzgâr enerjisi, 7,2 GW güneş PV ve 3,8 GW elektrolizör kapasitesine ihtiyaç duyulacağı hesaplanmıştır.

Senaryo kapsamında yıllık yatırım gereksinimlerinin yaklaşık 1,5 milyar avro (2025 fiyatlarıyla) olduğu tahmin edilmektedir. Yıllık yatırım tutarı ile kümülatif yatırım tutarı arasındaki fark, gelecekte yapılacak harcamaların bugünkü değerine indirgenmesinden kaynaklanmaktadır. Buna göre, 14 milyar avro (2025 fiyatlarıyla) olarak hesaplanan kümülatif yatırım tutarı, yıllık yatırımların iskonto edilmemiş toplamını değil, değerlendirme dönemi boyunca yapılması öngörülen yatırımların bugünkü değerini ifade etmektedir. Bu yaklaşım, farklı zamanlarda gerçekleşecek yatırım gereksinimlerinin 2025 yılı fiyatlarıyla karşılaştırılabilir şekilde ifade edilmesini sağlar. Kesin toplam tutar, yatırımların zamanlamasına ve kullanılan iskonto oranına bağlı olacaktır.

Senaryo kapsamında yaratılacak istihdamın 24.600 ila 28.800 kişi arasında olacağı tahmin edilmektedir. Bu tahminler; yenilenebilir enerji, elektrolizör ve DRI tesislerinin inşası, kurulumu, işletilmesi, bakımı ve kullanım ömrü sonunda devreden çıkarılması ile rüzgâr türbinlerinin imalatından kaynaklanan geçici ve kalıcı istihdamı kapsamaktadır. Tahmin aralığının alt sınırı yalnızca DRI tesisleriyle ilişkili istihdamı içerirken üst sınır, EAF tesisleriyle ilişkili istihdamı da kapsamaktadır. Güneş PV modüllerinin ve elektrolizörlerin imalatından kaynaklanacak istihdam ise değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Geçici istihdam, kalıcı istihdamla karşılaştırılabilmesi amacıyla 20 yıllık proje ömrüne yayılarak yıllık bazda hesaplanmıştır. Hızlandırılmış Dönüşüm senaryosu kapsamında yaratılması beklenen istihdamın ayrıntılı dağılımı aşağıda sunulmaktadır.

İstihdam Değerlendirmesinin Dağılımı

→ Tablo 8

Parameter		DRI	DRI + EAF	Unit
Büyük ölçekli güneş enerjisi santrali (GES)	İmalat	0	0	Yıllık TZE
	İnşaat ve kurulum	8 756	9 838	Yıllık TZE
	İşletme ve bakım	9 429	10 595	Kalıcı istihdam
	Yakıt üretimi ve tedariki	0	0	Yıllık TZE
	Hizmetten çıkarma	539	605	Yıllık TZE
	Ara toplam	18 724	21 038	İstihdam
Karasal rüzgâr enerjisi santrali (RES)	İmalat	1 379	1 550	Yıllık TZE
	İnşaat ve kurulum	939	1 055	Yıllık TZE
	İşletme ve bakım	1 761	1 978	Kalıcı istihdam
	Yakıt üretimi ve tedariki	0	0	Yıllık TZE
	Hizmetten çıkarma	211	237	Yıllık TZE
	Ara toplam	4 290	4 820	İstihdam
Elektrolizör	İmalat	0	0	Yıllık TZE
	İnşaat ve kurulum	331	331	Yıllık TZE
	İşletme ve bakım	611	611	Kalıcı istihdam
	Yakıt üretimi ve tedariki	0	0	Yıllık TZE
	Hizmetten çıkarma	53	53	Yıllık TZE
	Ara toplam	996	996	İstihdam
Doğrudan indirgenmiş demir (DRI)	İmalat	0	0	Yıllık TZE
	İnşaat ve kurulum	0	0	Yıllık TZE
	İşletme ve bakım	606	1 955	Kalıcı istihdam
	Yakıt üretimi ve tedariki	0	0	Yıllık TZE
	Hizmetten çıkarma	0	0	Yıllık TZE
	Ara toplam	606	1 955	İstihdam

Agora Industry (2026)

Kaynakça

Agora Industry (2024). *Creating markets for climate-friendly basic materials: Potentials and policy options.* https://www.agora-industry.org/publications/creating-markets-for-climate-friendly-basic-materials.

Agora Industry (2025). *The role of green iron trade in accelerating competitive steel transformation.* https://www.agora-industry.org/publications/the-role-of-green-iron-trade-in-accelerating-steel-transformation.

Baş, D. (2025). *The Decarbonization of the Turkish Steel Sector: Policy and Actor Analysis – Executive Summary,* İstanbul Politikalar Merkezi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul. https://ipc.sabanciuniv.edu/Content/Images/CKeditorImages/20251016-12101897.pdf.

Baş, D. (2025). *The Decarbonization of the Turkish Steel Sector: Policy and Actor Analysis,* İstanbul Politikalar Merkezi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul. https://ipc.sabanciuniv.edu/en/decarbonization-of-the-turkish-steel-sector-project.

Bureau of Recycling (2025). *"World Steel Recycling in Figures 2020 – 2024".* https://www.bir.org/images/uploads/publications/Ferrous_report_16_Ed_2020-2024_FIN2_ONLINE.pdf.

SKDM Guide (2026). *"SKDM and ETS Free Allocation: Phase-Out Schedule 2026 – 2034."* https://SKDMguide.com/learn/free-allocation/.

Damodaran, A. (2026). *"Country Risk Premiums",* NYU Stern School of Business. Ocak 2026, https://pages.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html.

Daily Sabah (2026). *"After record 2025 exports, Turkish auto industry braces for EU test."* 19 Ocak 2026. After record 2025 exports, Turkish auto industry braces for EU test | Daily Sabah.

EBRD/MoIT (2023). *A Low Carbon Pathway for the Steel Sector in the Republic of Türkiye.* Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası ve T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ekim 2023, https://www.ebrd.com/content/dam/ebrd_dxp/assets/pdfs/green-economy-transition/low-carbon-pathways/Steel%20Sector%20in%20Turkey.pdf.

Electricity Maps (n.d.). *"Türkiye electricity map".* https://app.electricitymaps.com/map/zone/TR/fifteen_minutes (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Enerdata (2026). *"Türkiye aims to increase solar and wind capacity to 120 GW by 2035".* 25 Şubat 2026, https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/turkiye-aims-increase-solar-and-wind-capacity-120-gw-2035.html (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

EPDK (2026). *Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.* https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

EPİAŞ (2026). *YEK-G.* https://yekgnedir.epias.com.tr/ (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Erdemir (2025). *"Türkiye'nin küresel çelik gücü Erdemir 60 yaşında".* https://www.erdemir.com.tr/kurumsal/medya/basin-bultenleri/turkiyenin-kuresel-celik-gucu-erdemir-60-yasinda (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Avrupa Çelik Birliği (EUROFER) (2025). *Economic and Steel Market Outlook 2025–2026, Fourth Quarter Report.* Aralık 2025, https://www.eurofer.eu/assets/publications/economic-market-outlook/economic-and-steel-market-outlook-2025-2026-fourth-quarter/EUROFER-Economic-and-Steel-Market-Outlook-Q4-2025.pdf.

Avrupa Çelik Birliği (EUROFER) (2025). *"STEEL FLOODED: How global overcapacity is destroying European industries".* 26 Haziran 2025. https://www.eurofer.eu/publications/brochures-booklets-and-factsheets/steel-flooded.

Glushchenko, A. (2025). *"48 countries have already restricted scrap exports"*, GMK Center. https://gmk.center/en/infographic/48-countries-have-already-restricted-scrap-exports/ (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

GMK Center (2026). *"Steel exports from Turkey grew by 12.5%* y/y in 2025". https://gmk.center/en/news/steel-exports-from-turkey-grew-by-12-5-y-y-in-2025/ (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

IFC (2026). *"World Bank Group Invests in Türkiye's Power Grid to Support Energy Security, Growth and Jobs".* 23 July 2026, https://www.ifc.org/en/pressroom/2026/world-bank-group-invests-in-t-rkiye-s-power-grid-to-support-energy-security-growth (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

International Carbon Action Partnership (ICAP) (2025). *"Türkiye adopts landmark climate law, paving the way for national ETS".* 15 Temmuz 2025, https://icapcarbonaction.com/en/news/turkiye-adopts-landmark-climate-law-paving-way-national-ets (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Invest in Türkiye (2026). *"Invest in Türkiye: Machinery".* https://www.invest.gov.tr/en/sectors/pages/machinery.aspx.

İsdemir (n.d.). *"Corporate".* https://www.isdemir.com.tr/en/corporate/history (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Kadıoğlu, B. (2025). *"Turkey's scrap imports up 6.7 percent in 2024",* SteelOrbis. 3 Şubat 2025, https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/turkeys-scrap-imports-up-67-percent-in-2024-1376958.htm.

Kardemir (n.d.). *"Hakkımızda".* https://www.kardemir.com/ (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Kolum Earth (2026). *"ETS Review: The Commission stretches the SKDM Phase-in to 2038."* https://www.kolum.earth/en/SKDM/weekly/2026-07-04.

Kumcu, S., Özyörük, B., Bezzo, F., & d'Amore, F. (2026). *"Optimization of carbon capture, utilization, and storage supply chains for the hard-to-abate industry in Türkiye",* International Journal of Greenhouse Gas Control, Vol. 150, 104568. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2026.104568.

Mendelevitch, R., Heinemann, Ch., Matthes, F. Chr., Krieger, S., Somers, J., & Koch, M. (2026). *Deploying Carbon Capture and Storage (CCS) for climate-neutrality – The infrastructural and regulatory framework for CO_2-transport and storage.* https://www.oeko.de/en/publications/deploying-carbon-capture-and-storage-ccs-for-climate-neutrality/.

OECD (2026). *"Türkiye Hydrogen Technologies Strategy and Roadmap", OECD Science, Technology and Innovation Policy.* https://stip.oecd.org/stip/interactive-dashboards/policy-initiatives/2025%2Fdata-%2FpolicyInitiatives%2F99992395 (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Oeko-Institut & Agora Industry (2026). *Low-Carbon Business Opportunity Analyser.* Version 3.0.1. https://www.agora-industry.org/data-tools/low-carbon-business-opportunity-analyser (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Özdamar, A.B. et al. (2026). *"A Study of the Environmental Challenges En Marche Towards Net-Zero: Case Study of Turkish Steel Industry",* Processes, Vol. 14/1, p. 178. https://doi.org/10.3390/pr14010178.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2023). *Türkiye Hydrogen Technologies Strategy and Roadmap,* Ocak 2023. Erişim için: https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/en/HSP_en/ETKB_Hydrogen_T_Strategies.pdf

SEFiA (2026). *"SEFiA Çelik Gündemi #17: Yeşil çelik yatırımları hızlanıyor, talep geride kalıyor".* https://sefia.org/celik-gundemi/yesil-celik-yatirimlari-hizlaniyor-talep-geride-kaliyor/ (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

SEFiA (2026). *Türkiye Scrap Steel Value Chain Workshop Report, Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Araştırmaları Derneği (SEFiA).* 2026.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi (2023). *Net Zero 2053: A Roadmap for the Turkish Electricity Sector, Şubat 2023.* Erişim için: https://shura.org.tr/en/net-zero-2053-a-roadmap-for-the-turkish-electricity-sector/

SHURA Energy Transition Center (2026). *SHURA Energy Transition Center.* https://shura.org.tr/ (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Steel Magazine (2026). *"Global contraction reshapes steel strategy: Turkey pivots to nearby markets".* 27 Şubat 2026. https://steelmagazine.com.tr/article/kuresel-daralma-celigin-stratejisini-degistirdi-turkiye-rotayi-yakin-pazarlara-cevirdi.

SteelRadar (2025). *"Major companies and regions in Türkiye's iron ore production".* 20 Ocak 2025, https://www.steelradar.com/en/haber/major-companies-and-regions-in-turkiyes-iron-ore-production/ (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2025). *"Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri",* Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı (EVÇED). Updated 31 December 2025, https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

TÇÜD (2025). *"Basın Bülteni Aralık 2025".* Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Aralık 2025, https://celik.org.tr/tr/bilgi-merkezi/basin-bulteni/basin-buelteni-aralik-2025.

TÇÜD (2026). *"Türkiye'nin Ham Çelik Üretimi 2025 Yılında %3,3 Artışla 38,1 Milyon Tona Yükseldi".* Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Ocak 2026, https://celik.org.tr/tr/bilgi-merkezi/degerlendirme/tuerkiye-nin-ham-celik-ueretimi-2025-yilinda-3-3-artisla-38-1-milyon-tona-yuekseldi.

Türkiye Çelik İhracatçıları Birliği (2026). *"Türkiye's Steel Export by Region – 2025."* https://www.cib.org.tr/en/default.html.

TÜRKBESD (2026). *"TÜRKBESD Announces 2025 Data: Export Volume Falls Back to 2017 Levels."* 27 Ocak 2026. https://en.turkbesd.org/haber/turkbesd-press-release27-january-2026/.

TÜRKBESD (2025). *"TÜRKBESD Announces 2025 First Quarter Results: Challenges Deepen in Both Export and Domestic Markets" 5 Mayıs 2025.* https://en.turkbesd.org/haber/turkbesd-press-release05-may-2025/

Türkiye (2023). *Türkiye's Updated First Nationally Determined Contribution.* https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-04/T%C3%9CRK%C4%B0YE_UPDATED%201st%20NDC_EN.pdf.

Umweltbundesamt (UBA) (2025). *"CO_2-Emissionen pro Kilowattstunde Strom 2024 gesunken",* Umweltbundesamt. 9 Nisan 2025, https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-2024 (erişim tarihi: 2 Ekim 2026).

Dünya Çelik Birliği (2026). *"Steel Statistical Yearbook 2025",* Steel-Statistical-Yearbook-2025.pdf (erişim tarihi: 3 Mayıs 2026).

Agora Industry'nin yayınları

İngilizce

Green iron, shared gains
The macroeconomic benefits of global green iron trade

Scaling European low-carbon steel
An assessment of the Industrial Accelerator Act's potential to drive investment

Innovations for tomorrow: opportunities for a climate-neutral chemical industry
How transitioning away from fossil fuels boosts industrial resilience and employment

The business case for electrifying industrial heat
Evidence from selected EU Member States

Addressing exports under the EU Carbon Border Adjustment Mechanism
Solutions against carbon leakage risks

Achieving climate-neutral steel by 2050
How the steel sector can shift from coal-based to clean production

Breaking new ground: decentralised renewable nitrogen fertilisers
Exploring opportunities and barriers

The role of green iron trade in accelerating competitive steel transformation
Unlocking Turning climate ambition into industrial opportunity

Decarbonising steel in Southeast Asia
Pathways, opportunities and enablers

Industrial value chain transformation
Renewable hydrogen as an enabler of a just global energy transition

A vision for international trade in CO_2-intensive materials
The role of carbon product requirements

Creating markets for climate-friendly basic materials
Potentials and policy options

Direct electrification of industrial process heat
An assessment of technologies, potentials and future prospects for the EU

All publications are available on our website: www.agora-industry.org

Agora Industry'nin yayınları

Almanca

Zukunftsperspektive für den Industriestandort Deutschland
Investitionen anreizen und Resilienz stärken

Mittelstand stärken mit elektrischer Prozesswärme
Chancen für geringere Energiekosten und mehr Resilienz

Carbon Capture and Storage (CCS) in der Energiewende zur Klimaneutralität
Der infrastrukturelle und regulatorische Rahmen für CO_2-Transport und -Speicherung

Industriewärme elektrifizieren und Kosten sparen
Potenziale im niedrigen und mittleren Temperaturbereich

Startschuss für grüne Leitmärkte
Wie die Infrastrukturoffensive den Hochlauf von grünem Stahl und Zement beschleunigen kann

Innovationen für morgen: Chancen für eine klimaneutrale Chemieindustrie
Wie die Abkehr von fossilen Rohstoffen die Resilienz des Industriestandorts steigert und neue Jobs schafft

Klimaneutraler Wirtschaftsstandort 2045
Handlungsbedarfe zwischen Konsens und Kontroverse

Industrielle Energieflexibilität ermöglichen
Konzept einer Reform der Sondernetzentgelte für Großverbraucher

Leitmärkte für klimafreundliche Grundstoffe
Potenziale und Politikoptionen

Direkte Elektrifizierung von industrieller Prozesswärme (Zusammenfassung)
Eine Bewertung von Technologien, Potenzialen und Zukunftsaussichten für die EU

Reduktion und Regulierung von Embodied-Carbon-Emissionen im deutschen Gebäudesektor
Schaffung von Leitmärkten für klimafreundliche Grundstoffe

Wasserstoffimporte Deutschlands
Welchen Beitrag können Pipelineimporte in den 2030er Jahren leisten?

Resilienter Klimaschutz durch eine zirkuläre Wirtschaft
Perspektiven und Potenziale für energie intensive Grundstoffindustrien

All publications are available on our website: www.agora-industrie.de

Yayın bilgileri

Agora Industry Hakkında
Agora Industry, Almanya'da, Avrupa'da ve uluslararası alanda iklim nötr bir sanayiye ulaşmak için başarılı yollar sunan, bilimsel temelli ve siyasi açıdan uygulanabilir stratejiler geliştirir. Agora Think Thanks'in bir parçası olan bu kuruluş, ekonomik ve siyasi çıkarların etkisi dışında bağımsız bir şekilde çalışır. Tek taahhüdü, iklim eylemine olan bağlılığıdır.

Agora Industry
Agora Think Tanks gGmbH
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2
10178 Berlin | Germany
P +49 (0) 30 7001435-000

www.agora-industry.org
info@agora-industrie.de

Translation: Esin Aslan
Proofreading: Jonathan Stearns
Typesetting: Urs Karcher
Title picture: Adobe Stock | WQ Photography

439/14-S-2026/TR
Version 1.0, October 2026

This publication is available for download under this scan code.

This work is licensed under CC-BY-NC-SA 4.0.