



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

#MİLLİ
TEKNOLOJİ
HAMLESİ



TÜBİTAK



European Bank
for Reconstruction and Development



Türkiye Sektörel Düşük Karbonlu Yol Haritaları

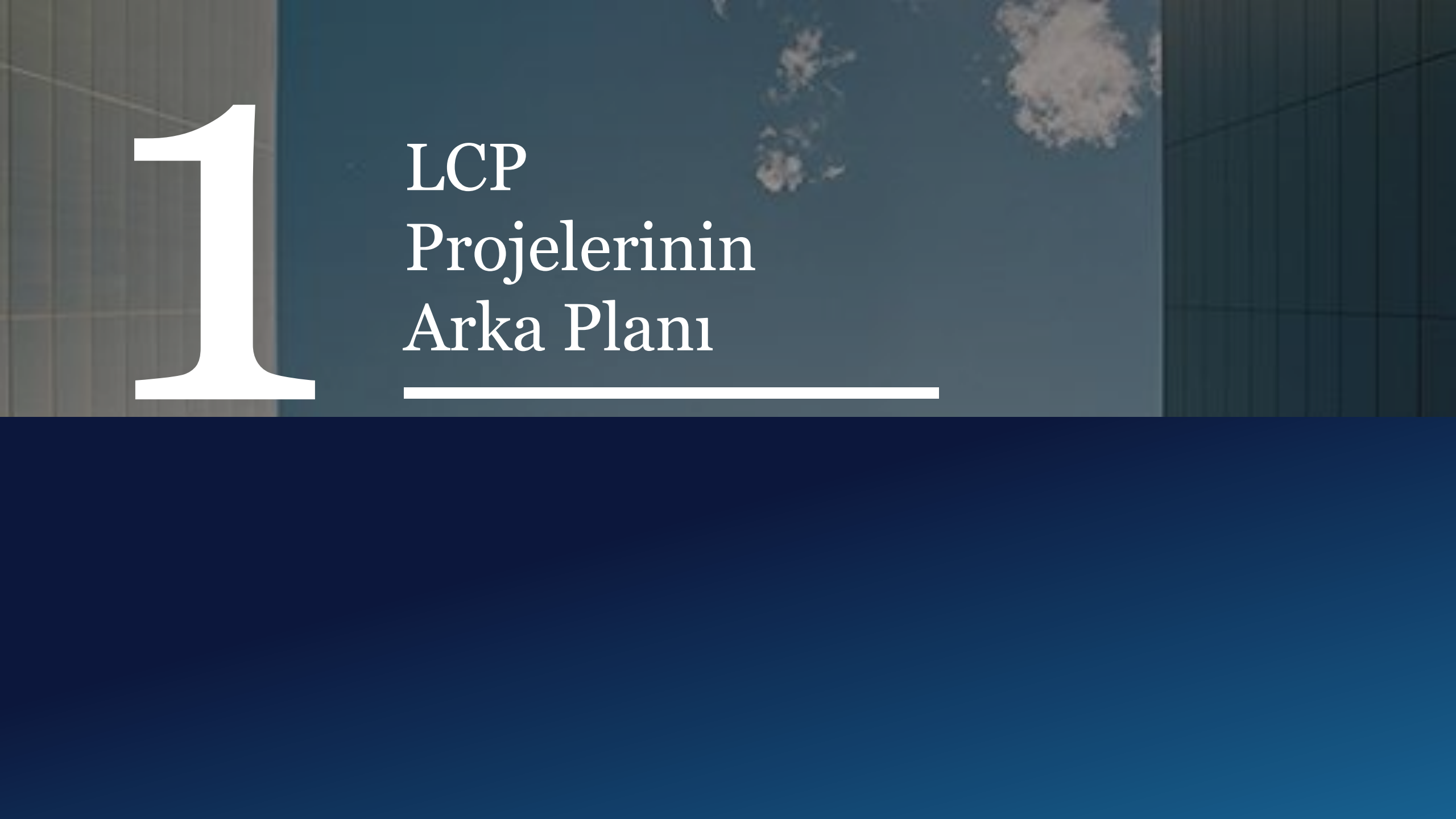
Çelik | Alüminyum | Çimento | Gübre

18 Mart 2024



- 1 LCP Projelerinin Arka Planı
- 2 LCP Projelerine Genel Bakış
- 3 Projelerin Özet Çıktıları
- 4 Projelerin Detaylı Çıktıları
- 5 Sonraki Adımlar





1

LCP Projelerinin Arka Planı

Paris İklim Anlaşması ve Avrupa Yeşil Mutabakatı, üretim sektörlerindeki şirketlerin geleceğini yeniden şekillendirmektedir

Paris Anlaşması



- Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 196 ülke, "küresel ortalama sıcaklık artışını sanayileşme öncesi döneme kıyasla 2°C altında tutmayı" ve "sınır hedefini 1,5°C olması" taahhüdünde bulundu.
- Türkiye 2016 yılında Paris Anlaşması'nı onayladı ve Ulusal Katkı Beyanı'nda BAU'ya göre (2030:1175 Mt CO_{2e}) 2030 yılında %41 azaltım (2030: 695 Mt CO_{2e}) ve 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefini beyan etti.

Anlaşmanın 3 temel ilkesi vardır



Ortalama küresel sıcaklık artışının <2°C+ ile sınırlandırılması

İklim etkilerine karşı uyum ve adaptasyonun artırılması

İklim hedefleri ile finansal akışların uyumlaştırılması

Avrupa Yeşil Mutabakatı

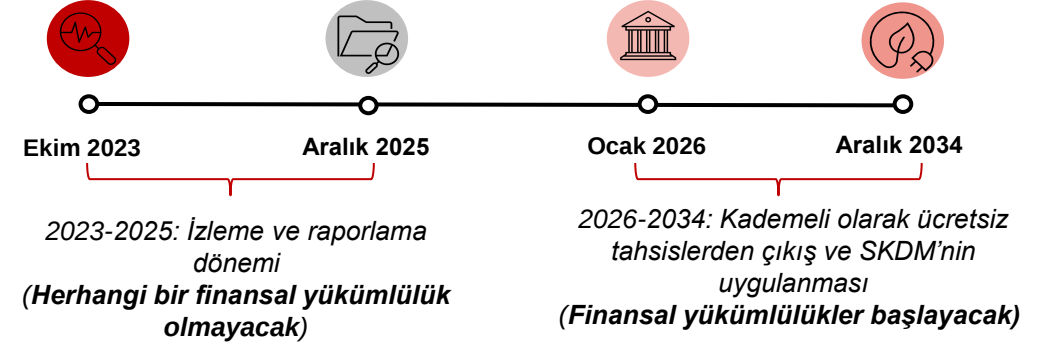
Üretim kaynaklı karbon için fiyat tanımlanması, CO₂ maliyetlerini artıracak ve dolayısıyla **karbonsuzlaşma** ve **temiz enerjiyi** teşvik edecektir.

Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)

Enerji Vergilendirme Direktifi (ETD)

Sınırlı Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM)

SKDM'ye geçiş kademeli olarak uygulanacaktır



İlk fazda SKDM'ye tabi sektörler



Türkiye'nin iklim politikası ve düzenlemelerinde son 10 yılda önemli adımlar atılmaktadır

Türkiye'nin İklim Alanında Attığı Adımlar



"Yeşil Mutabakat Eylem Planı" LCP Projeleri için düzenleyici temeli oluşturmaktadır



Yeşil Mutabakat Eylem Planı, 2021
Ticaret Bakanlığı

3. Yeşil Mutabakat Eylem Planı Takvimi

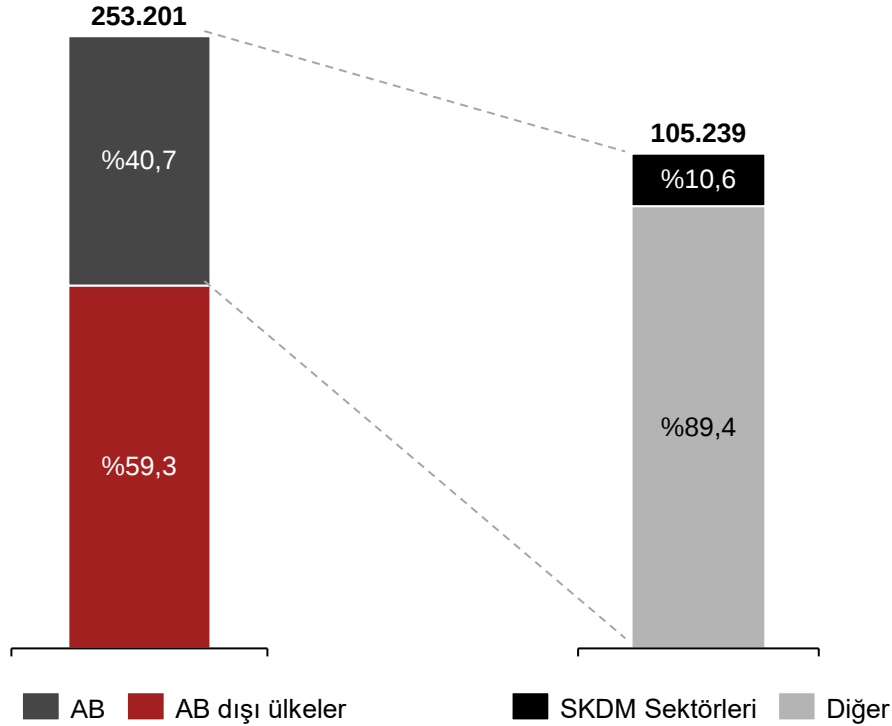
Yeşil Mutabakat Eylem Planı
2021

1 | Sınırdaki Karbon Düzenlemeleri

HEDEF	EYLEM	TAKVİM	SORUMLU/ KOORDİNATÖR KURUM	İLGİLİ KURUM VE PAYDAŞLAR	ÇIKTILAR
1.1. AB'nin sınırda karbon düzenlemesi-nin etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik çalışmalar yürütülmesi	1.1.1. Sınırdaki Karbon Düzenlemesine tabi olabilecek öncelikli imalat sanayi sektörlerinde sera gazı salımının azaltılmasını desteklemek amacıyla ülkemiz yol haritasının veya faaliyetlerinin belirlenmesi	2021 III. Çeyrek- 2022 IV. Çeyrek	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Ticaret Bakanlığı İlgili STK'lar	İlgili Kurum ve STK'larla atılması gereken adımları içeren bir yol haritası oluşturulması ve bunları destekleyecek teşvik mekanizmaları kurulması

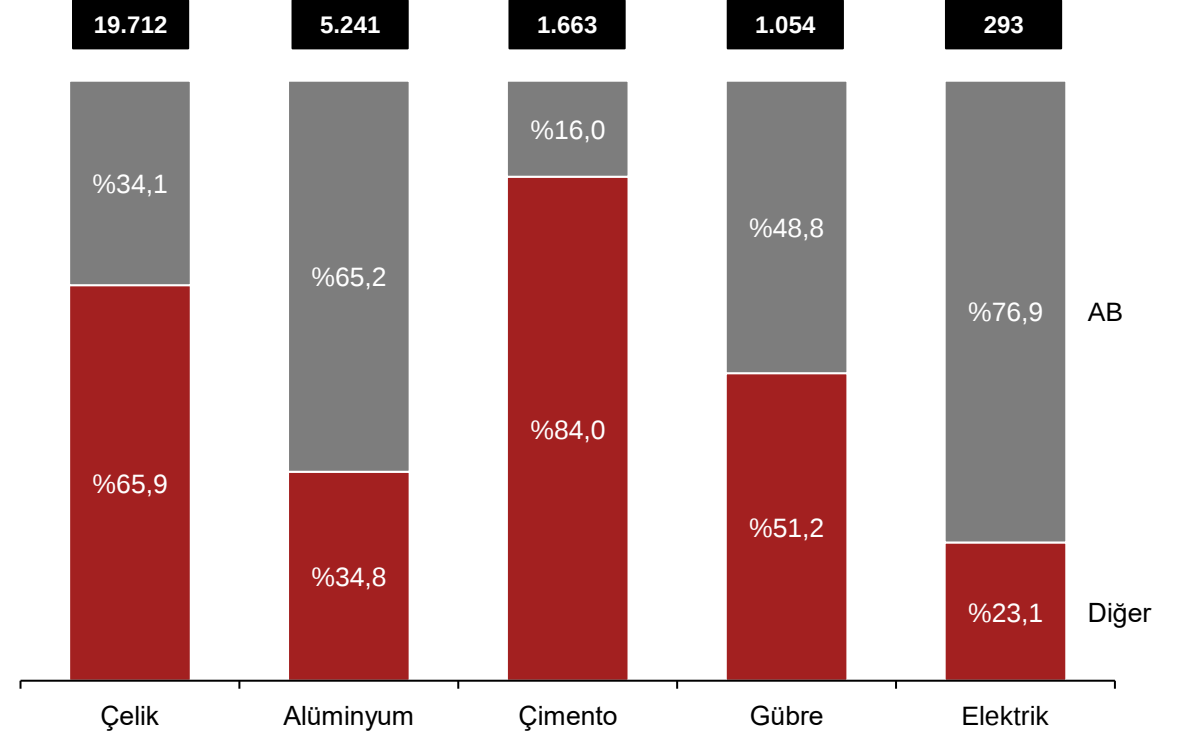
Türkiye'nin AB'ye yaptığı ihracatın yaklaşık %11'ini SKDM sektörleri oluşturmaktadır

Türkiye'nin Toplam İhracatı
(milyon \$, 2022)



Türkiye'nin AB'ye İhracatı
(milyon \$, 2022)

Türkiye'nin değer bazında SKDM kapsamında sektörlerdeki*
ihracatında AB'nin payı
(milyon \$, 2022)



- Türkiye'nin ihracatının yaklaşık yarısı AB'ye yöneliktir ve bu ihracatta 5 SKDM sektörü önemli bir paya sahiptir.
- SKDM'ye daha fazla sektörün dahil edilmesi Türk ihracatçıları için yıkıcı etkiler yaratacaktır.

- Çelik ve alüminyum ihracatı çoğunlukla AB'ye odaklanmaktadır.
- Çimento ihracatı çok daha parçalı bir yapıya sahiptir, ABD ihracatta önemli konuma sahiptir.

2

LCP Projelerine Genel Bakış

PwC, Escarus ve Ekodenge konsorsiyumu, çelik, alüminyum ve çimento sektörleri için; GTE ve ESCON Konsorsiyumu ise gübre sektörü için "Düşük Karbonlu Yol Haritaları" geliştirmiştir

Fon Sağlayıcı	Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD)	Paydaşlar	Bakanlıklar, Diğer Resmi Kurumlar, Sektörel Dernekler, Şirketler, Araştırma Kurumları
Yararlanıcı	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı		
Proje Amacı	Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma ve karbonsuzlaştırma hedeflerinin bir parçası olan ilgili sanayilerin aşamalı olarak karbonsuzlaştırılması için yol haritaları geliştirmek		

Projenin Ana Aktiviteleri

Aktivite A

Proje Başlangıcı

Aktivite B

Mevcut Durum Analizi

Aktivite C

Modelleme ve Senaryo Analizi

Aktivite D

Politika Önerileri ve Yol Haritası

Aktivite E

Yönlendirme Komitesi ve Kapasite Geliştirme

Sektör ve konu uzmanlarından oluşan geniş proje ekipleri ile birlikte farklı alanlardaki uzmanlıklar projelere yansıtılmıştır (1/2)

Türkiye Çelik Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- PwC Proje Yönetim Ekibi
- 2 Uluslararası Çelik Uzmanı
- 2 ESG / Sürdürülebilirlik Uzmanı
- 2 İklim Politikası Uzmanı
- 2 Teknik Uzman
- 2 Yerel Uzman
- 2 Toplumsal Cinsiyet Uzmanı



20 Kişilik Proje Ekibi

Akif Koca Proje Direktörü		Levent Pekuysal Proje Yöneticisi			
Teknik Uzmanlar	İklim Politikası Uzmanları	Yerel Uzmanlar	Toplumsal Cinsiyet Eşitliği Uzmanı	Sürdürülebilirlik Uzmanları	Uluslararası Alüminyum Uzmanları
Hasret Şahin	İzzet Arı	Zeynep Yöntem	Özlem Boztaş	Sevde Karayılan	Barış Çiftçi
Ali Talaei	Ece Sevin	Hilal Elver	Zeynep Buyan Kop	Aybüke Fırat	Melanie Schröpfer
PMO (PwC Proje Yönetimi Ekibimiz)		Doğa Bakar	Cihan Urhan	Deniz Erol	Selin Koku
				Serap Türk	Nazım Duvarıyapar

Türkiye Alüminyum Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- PwC Proje Yönetim Ekibi
- 2 Uluslararası Alüminyum Uzmanı
- 2 ESG / Sürdürülebilirlik Uzmanı
- 3 İklim Politikası Uzmanı
- 2 Teknik Uzman
- 3 Yerel Uzman
- PwC Toplumsal Cinsiyet Eşitliği Ekibi



22 Kişilik Proje Ekibi

Akif Koca Proje Direktörü		Onuralp Yücel Proje Yöneticisi			
Teknik Uzmanlar	İklim Politikası Uzmanları	Yerel Uzmanlar	Toplumsal Cinsiyet Eşitliği Uzmanı	Sürdürülebilirlik Uzmanları	Uluslararası Alüminyum Uzmanları
Özgül Keleş	İzzet Arı	Esra Koç	Zehra Kurt Burhan	Zeynep Yöntem	Halvor Kvande
Tuğçe Canbilen	Melis Bitlis	Serdar Efe		Burcu Şerit Gölcüoğlu	Michael Hertwig
	Hilal Elver	Yaşar Akça			
PMO (PwC Proje Yönetimi Ekibimiz)		Doğa Bakar	Umut Şafak	Cihan Urhan	Deniz Erol
				Selin Koku	Nazım Duvarıyapar
					Serap Türk

Sektör ve konu uzmanlarından oluşan geniş proje ekipleri ile birlikte farklı alanlardaki uzmanlıklar projelere yansıtılmıştır (2/2)

Türkiye Çimento Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- PwC Proje Yönetim Ekibi
- 1 Uluslararası Çimento Uzmanı
- 1 ESG / Sürdürülebilirlik Uzmanı
- 1 İklim Politikası Uzmanı
- 3 Teknik Uzman
- 2 Yerel Uzman
- PwC Toplumsal Cinsiyet Eşitliği Ekibi



18 Kişilik Proje Ekibi

İsmail Boz Proje Direktörü		Okan Karaca Proje Yöneticisi	
Teknik Uzmanlar	İklim Politikası Uzmanları	Yerel Uzmanlar	Toplumsal Cinsiyet Eşitliği Uzmanı
Yasin Engin	Zeynep Yöntem	Serkan Sivel	Zehra Kurt Burhan
Sedef Meral		Sevde Karayılan	Derya Karadeniz
Tolga Karabaş			Michael Hertwig
PMO (PwC Proje Yönetimi Ekibimiz)			
Doğa Bakar	Cihan Urhan	Deniz Erol	Selin Koku
Sena Mertoğlu	Serap Türk	Nazım Duvarıyapar	

Türkiye Gübre Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- GTE ve ESCON Proje Yönetim Ekibi
- 1 ESG / Sürdürülebilirlik Uzmanı
- 2 İklim Politikası Uzmanı
- 3 Teknik Uzman
- 4 Yerel Uzman
- 1 Toplumsal Cinsiyet Uzmanı



15 Kişilik Proje Ekibi

M. Kemal Demirkol Proje Direktörü		Evrin Atalas Proje Yöneticisi	
Teknik Uzmanlar	İklim Politikası Uzmanları	Toplumsal Cinsiyet Eşitliği Uzmanı	Sürdürülebilirlik Uzmanı
Engin Koç	Özge Kepenek Bozkırloğlu	Selda Tuncer	Emrah Alkaya
Bora Kat	M. Kemal Demirkol		
Anıl Doğuş			
PMO (Proje Yönetimi Ekibimiz)			
Evrin Atalas	Ece Akay Demir	Beste Dingil	Elif İrem Köse

Proje ufku boyunca ilgili tüm paydaşlar ile yakın iş birliği içerisinde çalışılmış ve çok sayıda çıktı üretilmiştir

Hazırlanan Raporlar

Başlangıç Raporu



Türkçe ve İngilizce Kısa Final Raporları



Türkçe ve İngilizce Uzun Final Raporları



Mevcut Durum Analizi Raporu



Karbon Fiyatlandırması Raporu (ek)



Cinsiyet Eşitliği Raporu (ek)



Paydaşlar

Devlet Kurumları



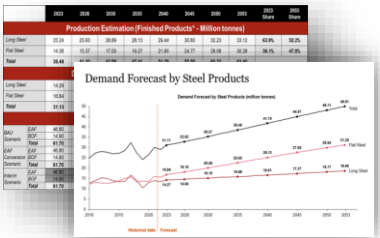
Sektör Dernekleri



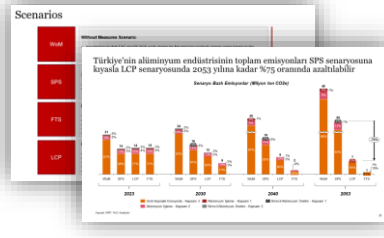
Paydaş Görüşmeleri

- Her proje için 3 Yönlendirme Komitesi toplantısı
- STB ve EBRD ile toplantılar
 - Haftalık proje koordinasyon toplantıları
 - 100'den fazla konu özel toplantı (çıktılar, model ve senaryolar, projeksiyonlar ve proje lojistiği vb.)
 - Metal Sektörü Teknik Komite Toplantıları
- ÇŞİDB koordinasyon toplantıları
- ETKB ile koordinasyon toplantıları
- TÜBİTAK ile koordinasyon toplantıları
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı ile koordinasyon toplantıları
- Sektör Dernekleri ile koordinasyon toplantıları
 - Türkiye Çelik Üreticileri Derneği
 - Türkiye Çelik İhracatçıları Birliği
 - Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği
 - Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği
 - Alüminyum Test, Eğitim ve Araştırma Merkezi
 - Girişimci Alüminyum Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği
 - Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği
 - Çimento Endüstrisi İşverenleri Sendikası
 - Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri
- Seçilen şirketlerin tesislerine saha ziyaretleri
 - 5 alüminyum tesisi
 - 5 çimento tesisi
 - 4 gübre tesisi

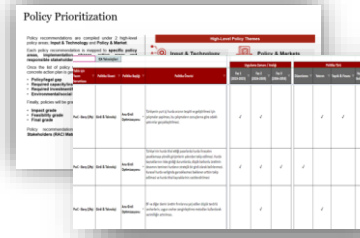
Analiz Temel Alt Başlıkları



Talep, Üretim, Kapasite Tahmin Modellemesi



Modelleme Senaryo Analizi



Politika Öneri Çerçevesi

Düşük Karbon Yolu (LCP) Projelerini belirli bir metodoloji çerçevesinde geliştirerek emisyon azaltım modelleri oluşturduk

A

Kapsam Belirleme ve Tespit

- **Ulusal yasal çerçeve ve politikalar** tanımlanmış, **sektör genelindeki dekarbonizasyon girişimleri** haritalandırılmış, sektörel veriler gözden geçirilmiş ve temel itici güçler ve riskler değerlendirilmiştir.
- Ek olarak **işgücü becerileri** değerlendirmesi yapılmıştır.

B

Sektörel Arz ve Talep Projeksiyonları

- Önümüzdeki 30 yıl için çelik/alüminyum/çimento üretimini öngörmek üzere **arz ve talep modelleri** geliştirilmiştir.
- Projeksiyonlar, ürün türleri ve üretim yöntemlerine göre **yıllık bazda** gerçekleştirilmiştir.

C

Modelleme ve Senaryo Analizi

- Emisyonları azaltmaya yönelik teknoloji seçimi, politika eylemleri gibi konular çevresinde farklı varsayımları içeren **referans ve azaltım senaryoları** oluşturulmuştur.
- CAPEX & OPEX maliyeti, teknoloji ve emisyon kısıtlamalarının girdi olarak kullanıldığı büyük ölçekli bir **doğrusal programlama modelleri** geliştirilmiştir.

D

Politika Önerileri

- Politika önerileri **2 üst düzey politika teması** altında derlenmiştir; **girdi & teknoloji ve politika & pazar**.
- Her bir politika önerisi belirli politika alanları, uygulama aşamaları, paydaşlar, alt adımlar ve darboğazlar/risklerle eşleştirilmiştir.

Bu projenin önemli bir adımı **modelleme ve senaryo analizi** çalışmasıdır ve modelleme çalışmasını yürütebilmek için aşağıdaki bileşenler hazırlanmıştır



Farklı varsayımlar altında 2053 yılına kadar 3 sektörün talep ve arz projeksiyonları



ETS Fiyat Projeksiyonu → 3 farklı senaryo (ETS Yok, Ulusal ETS < AB ETS ve Ulusal ETS = AB ETS)



Temel dekarbonizasyon kaldıraçları ve teknolojileri



Hammadde gereksinimleri ve girdi maliyeti



Türkiye'de çelik, alüminyum ve çimento endüstrilerinin karbonsuzlaştırılması için olası dönüşüm yolları

Referans Senaryolar

WoM

Azaltıcı Önlemlerin Öngörülmediği Senaryo: Herhangi bir ek emisyon azaltıcı veya iklimle özgü önlem ve teknoloji uygulanmadığı senaryo

SPS

Kararlaştırılmış Politikalar Senaryosu: Belirtilen politikaların ve koşulların dikkate alındığı senaryo (şebeke emisyon faktörü, enerji verimliliği)

Azaltım Senaryoları:

LCP

Düşük Karbonlu Yol Haritası Senaryosu: Uygulanabilir tüm düşük karbon teknolojilerinin yanı sıra finansal ve düzenleyici politikaların dikkate alındığı en düşük maliyetli senaryo

FTS

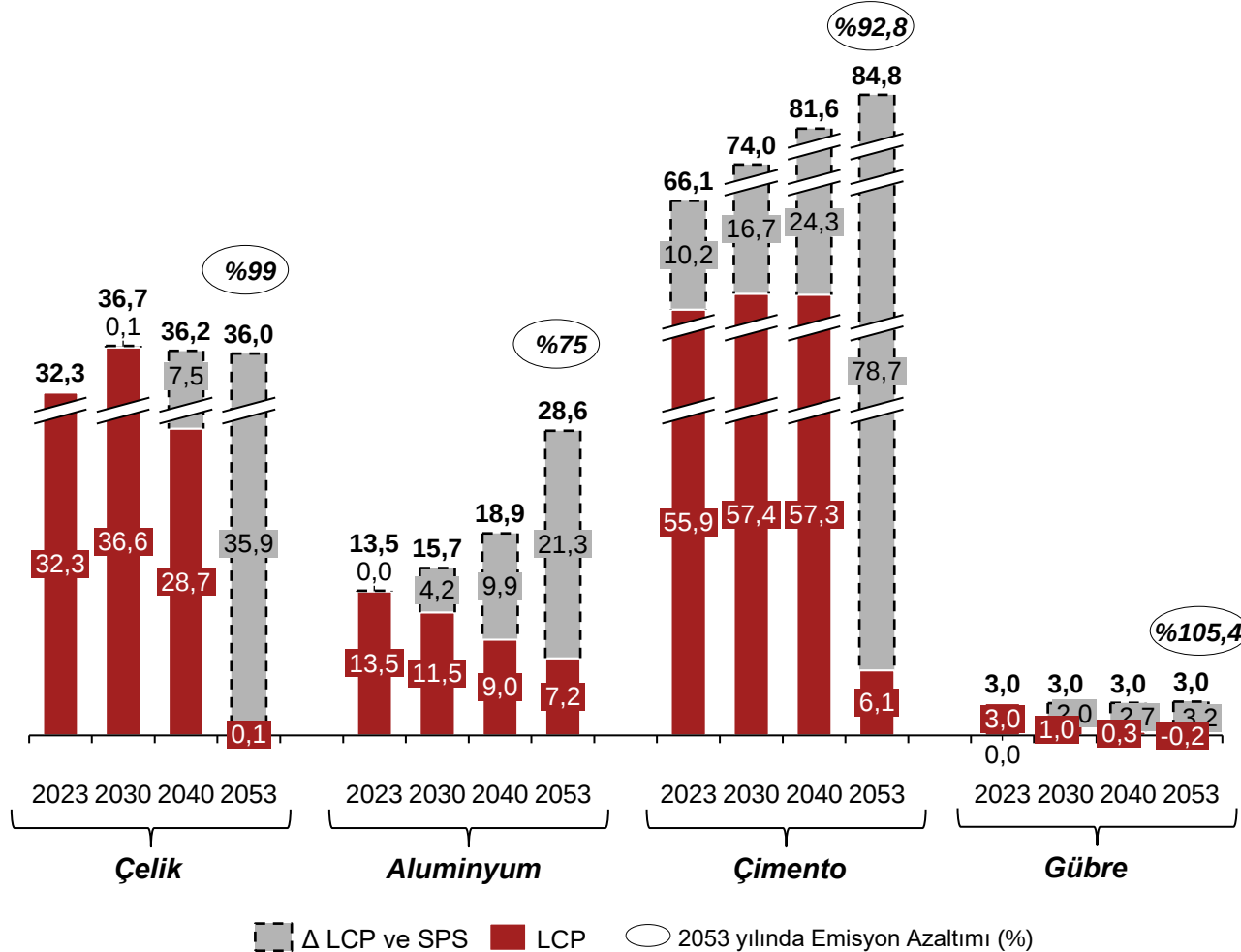
En İyi Teknolojiler Senaryosu: Paris Anlaşması ile uyumlu, tüm öncü teknolojilerin kullanıldığı en iddialı senaryo

3

Projelerin Özet Çıktıları

Yenilikçi teknolojilerin kullanılması ve yeni yakıtların (Hidrojen vb.) devreye sokulması emisyonların azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır

Sektörler için Yıllık Emisyon Projeksiyonları (Mton CO₂)*



Türkiye Çelik Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- LCP senaryosu, **hidrojen ve biyoyakıt** kullanımı ve **CCUS** ile yeni teknolojilere dönüşümle net sıfır emisyona yaklaşmaktadır.
- SPS ile karşılaştırıldığında, LCP'de toplam emisyonların **2040 yılına kadar %20, 2053 yılına kadar ise %99** oranında azalacağı öngörülmektedir.



Türkiye Alüminyum Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- Alüminyum endüstrisinin toplam emisyonu, LCP senaryosunda 2053 yılında SPS senaryosuna kıyasla **%75** oranında azaltılabilir.
- Alüminyum endüstrisi için ana emisyon kaynağı ikincil üretimden kaynaklanan **Kapsam 3** emisyonlarıdır.



Türkiye Çimento Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- Çimento sektöründen kaynaklanan emisyonların 2053 yılında LCP senaryosunda SPS'ye kıyasla **%92,8** oranında azalacağı tahmin edilmektedir.
- Çimento emisyonlarının çoğunun (yaklaşık %60) **kalsinasyon sürecinde** ortaya çıkması nedeniyle **CCUS** teknolojisinin 2040'lardan sonra kullanılması ve yaygınlaştırılması ile emisyonların önemli ölçüde azaltılması beklenmektedir.



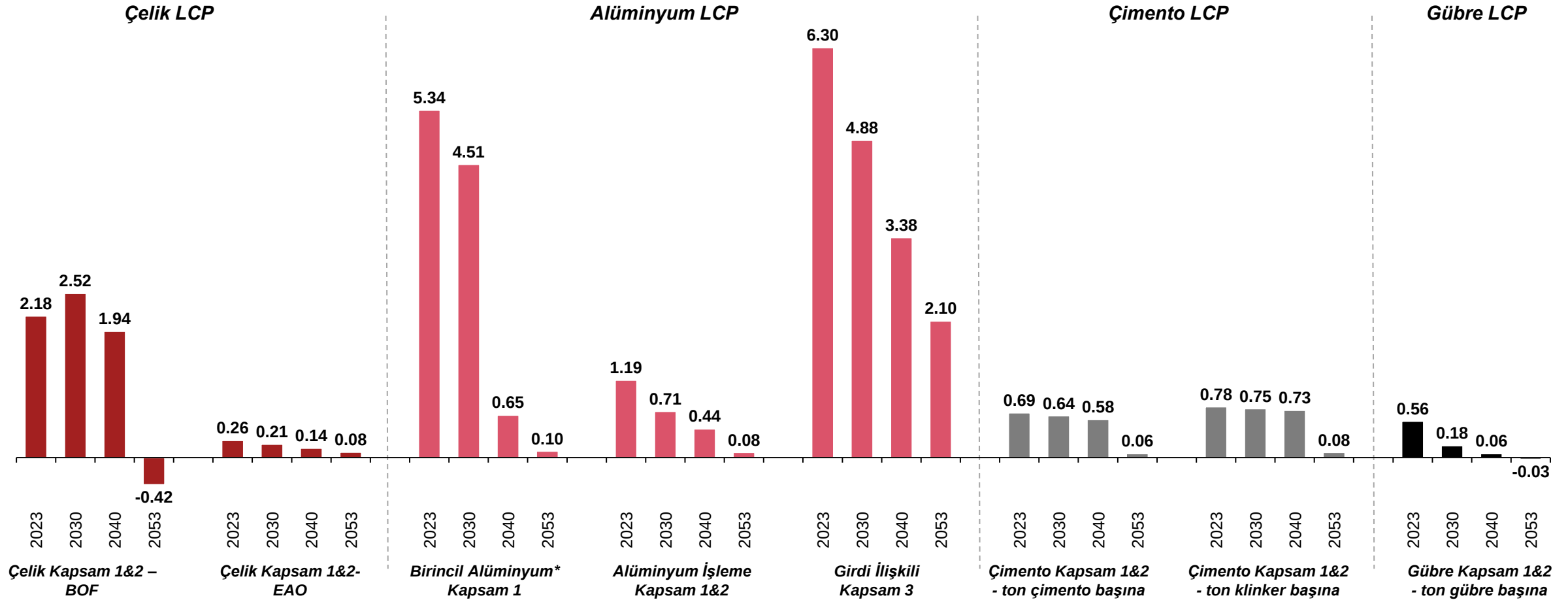
Türkiye Gübre Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- N₂O katalizör** yatırımları en önemli emisyon azaltım tedbiridir olup LCP ve FTS senaryolarında SPS'ye kıyasla toplam **azaltımın %65-69'unu** oluşturmaktadır.
- .Yeşil ve mavi amonyak** kullanımının emisyon azaltımına katkısı %17-20 aralığında iken **Gübre kullanım verimliliği** de %8-9'luk emisyon azaltım katkısı sağlamaktadır. Diğer azaltım önlemlerinin katkısı önlem başına %1 civarındadır.

* Çelik, Gübre ve Çimento sektörleri için Kapsam 1 ve 2 emisyonları kapsam dahilindedir. Alüminyum sektörü için ise Kapsam 1,2 ve 3 dahil edilmiştir.

Dört sektör arasında en yüksek emisyon yoğunluğu, alüminyum sektöründeki girdi kaynaklı kapsam 3 emisyonlarında ortaya çıkmaktadır

Sektörlere Göre Emisyon Yoğunluğu Projeksiyonları (t CO₂/t)



*Türkiye'deki tek birincil alüminyum üreticisi (ETİ) yenilenebilir enerji yatırımları nedeniyle birincil alüminyum rotasının Kapsam 2 emisyonları sıfır olarak alınmıştır

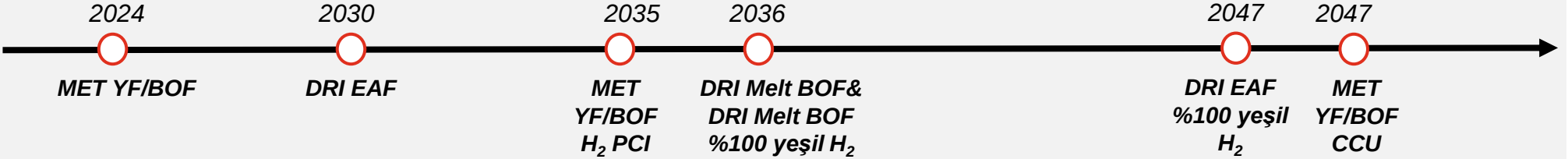
2053'te çelik için net sıfıra ulaşmak, yüksek yatırım gereksinimleri olan daha radikal teknolojilerin kullanılmasını gerektirecektir

Çelik Sektöründe Emisyon Azaltımı için Teknolojik Çözümler

Mevcut Teknolojiler

Teknolojik Dönüşüm

LCP



FTS



Teknolojilerin Kısa Tanımları:

MET YF-BOF: Entegre tesislerde mevcut en iyi proses teknolojilerinin kullanılması
MET YF-BOF H₂ PCI: Pulverize kömür enjeksiyonunun yerine hidrojen kullanılması
DRI-Melt-BOF: YF'nin yerini doğal gaz bazlı DRI'nın alması
DRI-Melt-BOF 100% yeşil H₂: YF'nin yerini %100 yeşil hidrojen bazlı DRI'nın alması

MET YF-BOF + CCU: Entegre tesislerde karbon yakalama ve kullanma teknolojisinin kullanılması
MET YF-BOF bio-PCI: Pulverize kömür enjeksiyonunun yerine ön işlemden geçirilmiş biyokütle kullanılması (ör. odun kömürü)
MET YF-BOF + BECCUS: Entegre tesislerde karbon yakalama, depolama ve kullanma ile birlikte biyoenerji kullanılması
DRI-EAF: EAF tesislerinde doğal gaz bazlı DRI kullanılması
DRI DRI-EAF 100% yeşil H₂: EAF tesislerinde %100 yeşil hidrojen bazlı DRI kullanılması

LCP ve FTS senaryolarında birincil alüminyum endüstrisi için farklı zaman dilimlerinde benzer geçişler öngörülmüştür

Alüminyum Sektöründe Emisyon Azaltımı için Teknolojik Çözümler – Birincil Alüminyum

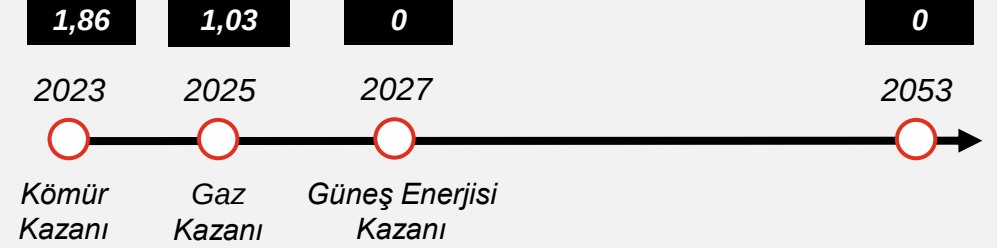
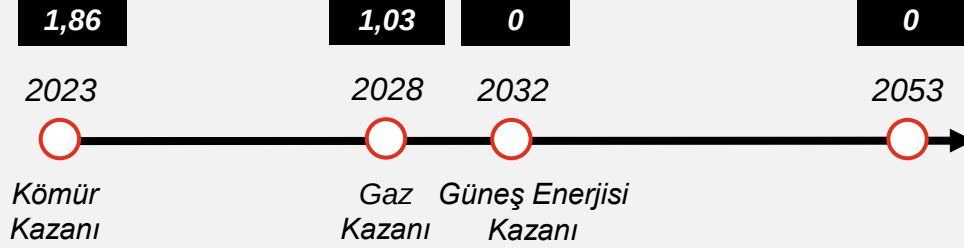


Düşük Karbonlu Yol Haritası Senaryosu

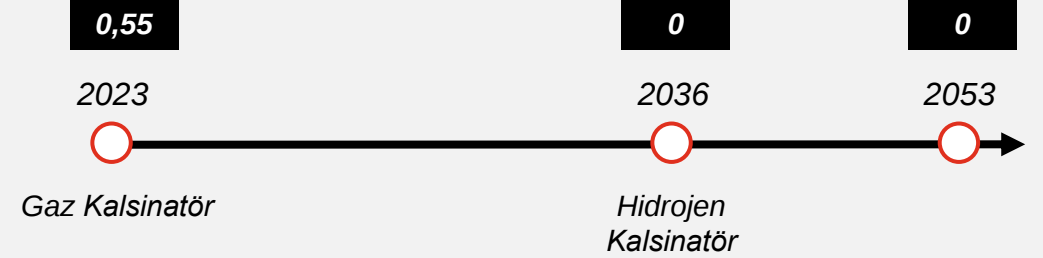
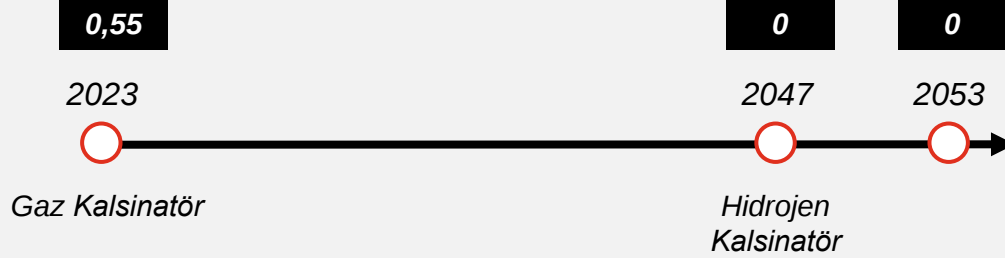
En İyi Teknolojiler Senaryosu



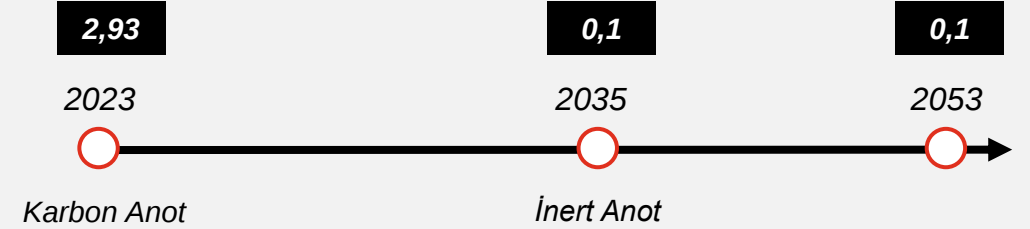
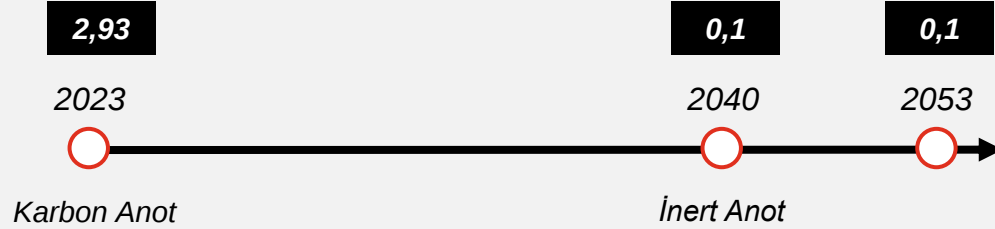
Kazan



Kalsinatör

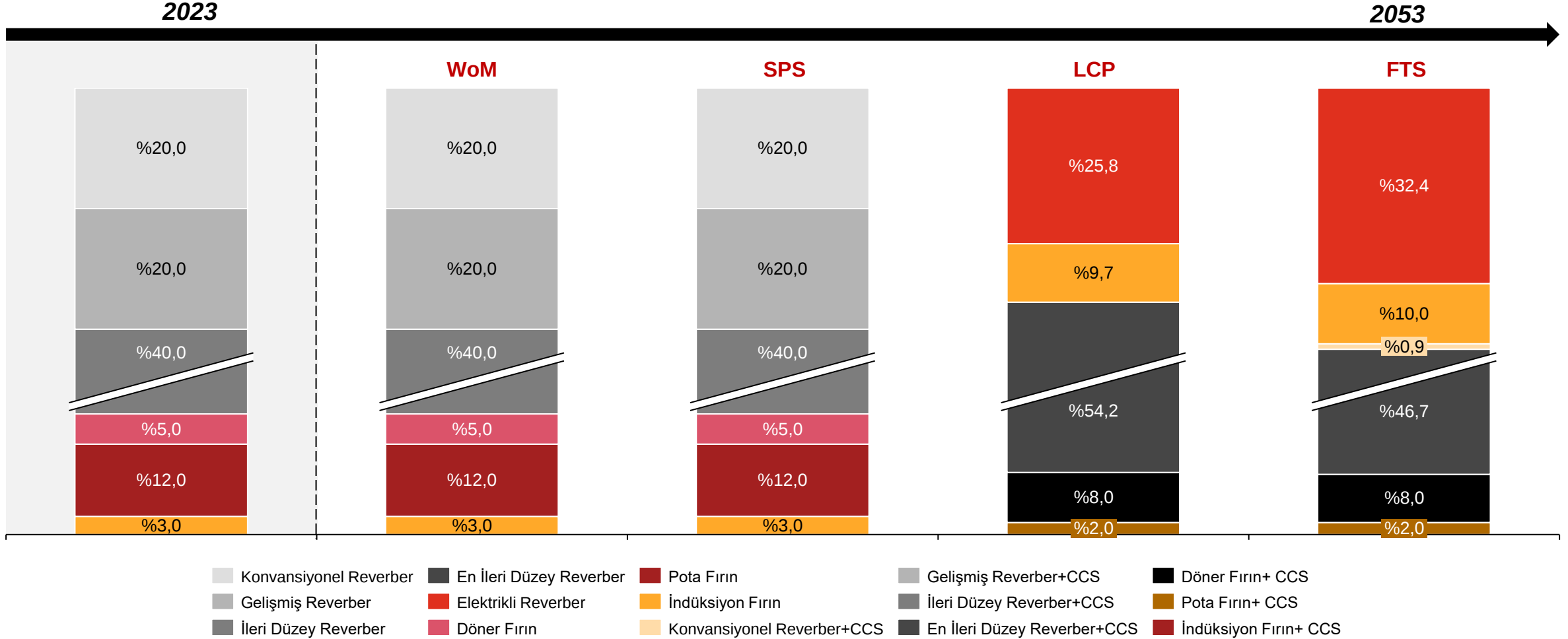


Anot



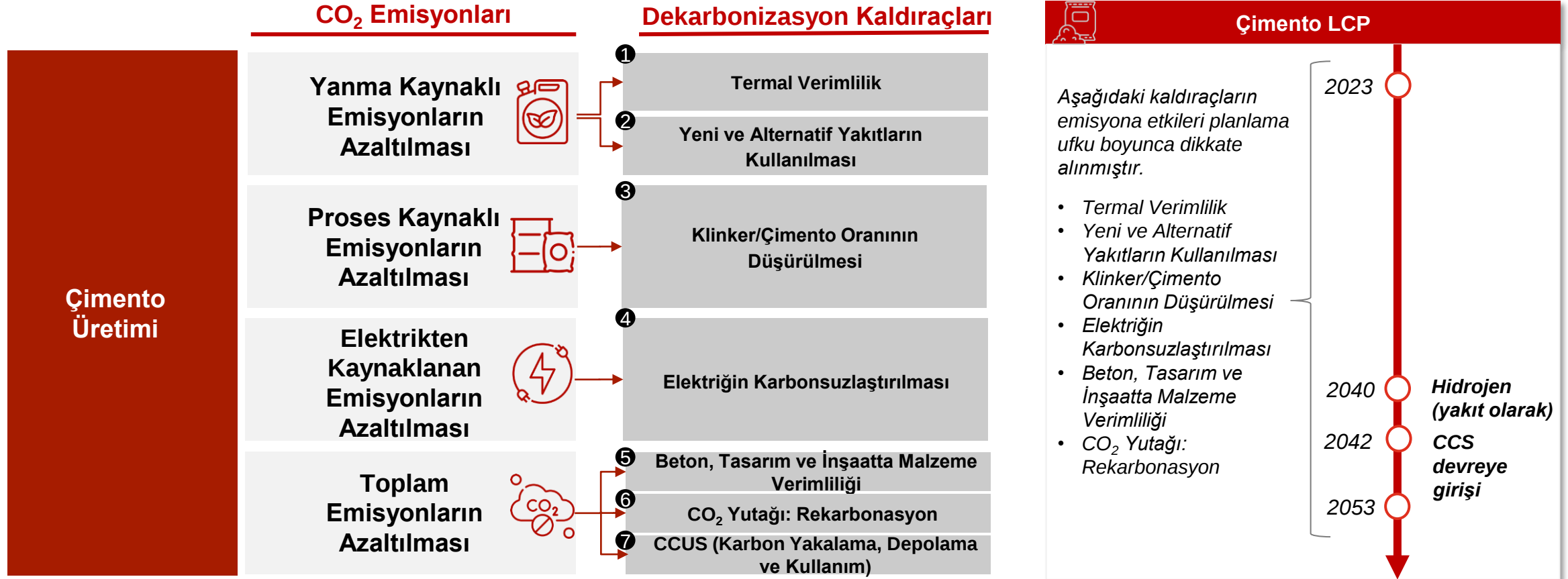
Elektrikli reverber fırınların ve CCS entegrasyonlu gelişmiş reverber fırınların 2053 yılına kadar ara mamul alüminyum işlemeye hakim olması beklenmektedir

Alüminyum Sektöründe Emisyon Azaltımı için Teknolojik Çözümler – Ara Mamul Alüminyum İşleme



2053 yılına kadar çimento sektöründe karbon nötr hedefine ulaşmada CCUS teknolojileri hayati öneme sahiptir

Çimento Sektöründe Emisyon Azaltımı için Teknolojik Çözümler



Gübre sektöründe etkin bir emisyon azaltımına teknolojik çözümlerle çeşitli politika önlemlerinin birlikte uygulanması gerekmektedir

Gübre Sektöründe Emisyon Azaltımı için Teknolojik Çözüm ve Politika Önlemleri



N₂O Katalizör



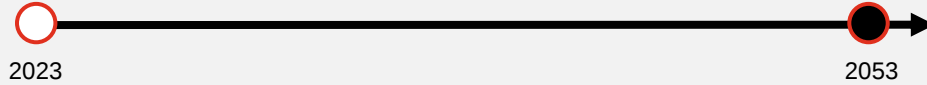
Yeşil Amonyak



Mavi Amonyak



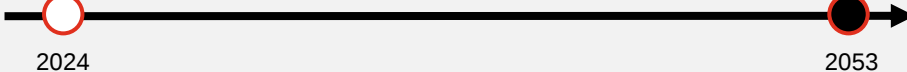
Enerji Verimliliği



Elektrifikasyon
ve Isı Pompası



Gübre Kullanım
Verimi



Organik /
Organomineral
Gübre Üretiminde
Artış



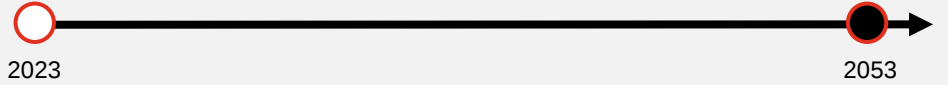
Yenilenebilir
Enerji (Öz
Tüketim)



Doğal Gaz
Şebekesine H₂
Enjeksiyonu



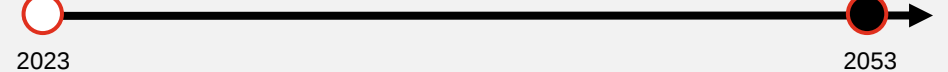
Ulusal Şebeke
Emisyon
Faktöründe
Düşüş



Politika Önerileri

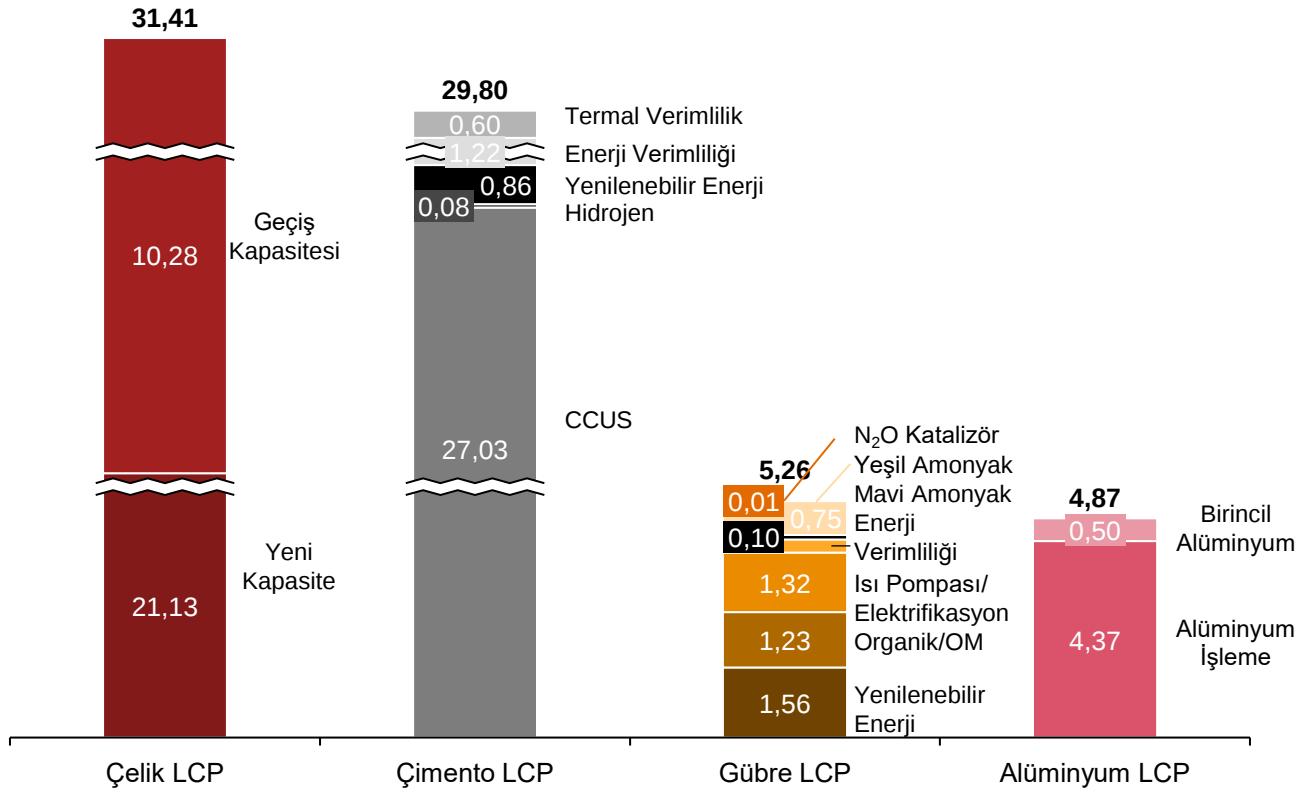


Karbon
Fiyatlandırma / ETS



Çelik ve çimento sektörleri diğer 2 sektöre kıyasla daha yüksek yeşil dönüşüm maliyetine sahiptir

Sektörler için Toplam Yatırım Maliyetleri, 2024-2053 (Milyar Dolar)



Türkiye Çelik Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- Net sıfıra ulaşmak için gereken toplam yatırımların LCP senaryosu için yaklaşık **31,4 milyar dolar** olması beklenmektedir.
- Mevcut kapasitelerin dönüştürülmesi için gereken yatırımlar, toplam yatırım maliyetinin %32,7'sini oluşturmaktadır.



Türkiye Çimento Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- Çimento sektörünün dekarbonize üretime geçmesi için gereken toplam yatırım değerinin **29,8 milyar dolar** olduğu varsayılmaktadır.
- CCUS yatırımları 27 milyar dolar ile toplam yatırım ihtiyacının yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır.



Türkiye Gübre Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- LCP senaryosu için toplam yatırım maliyetleri **5,3 milyar dolar** olarak öngörülmektedir.
- LCP senaryosunda, en büyük yatırım kalemini yenilenebilir enerji oluşturmaktadır. Bunu ısı pompası yatırımları ve Organik/OM gübre yatırımları izlemektedir ve yeşil amonyak dördüncü büyük yatırım kalemi olarak yer almaktadır.

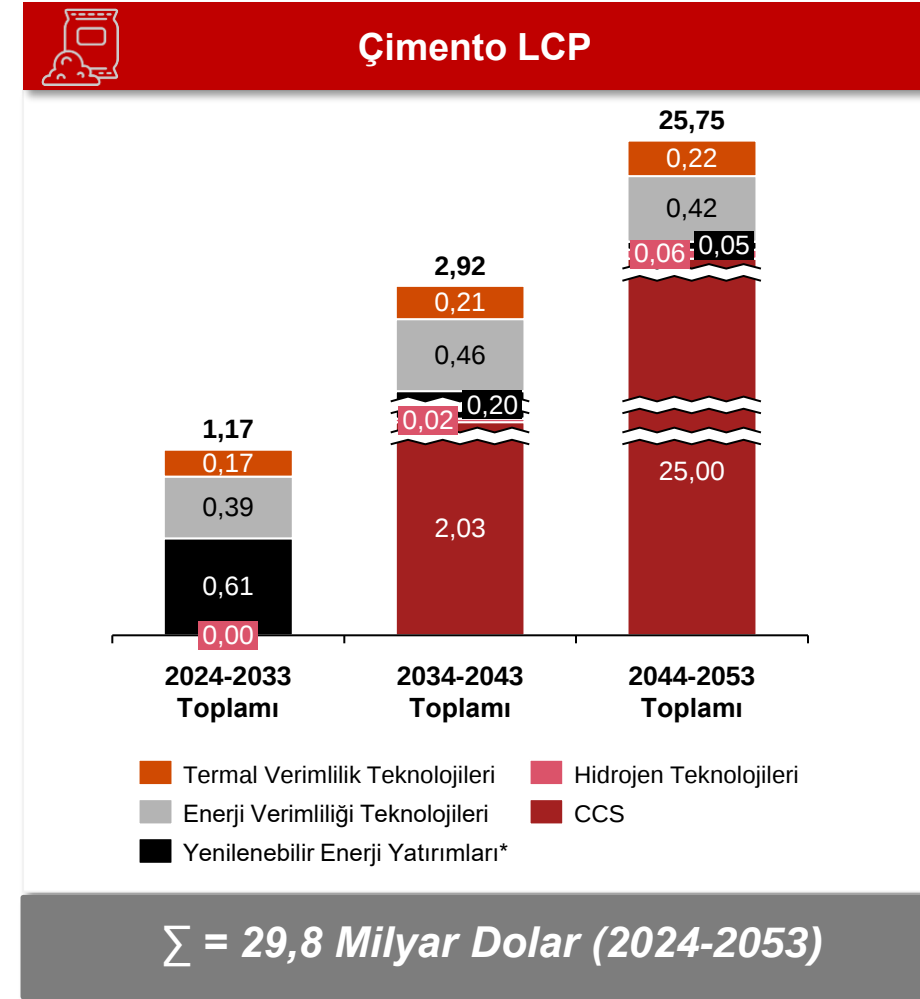
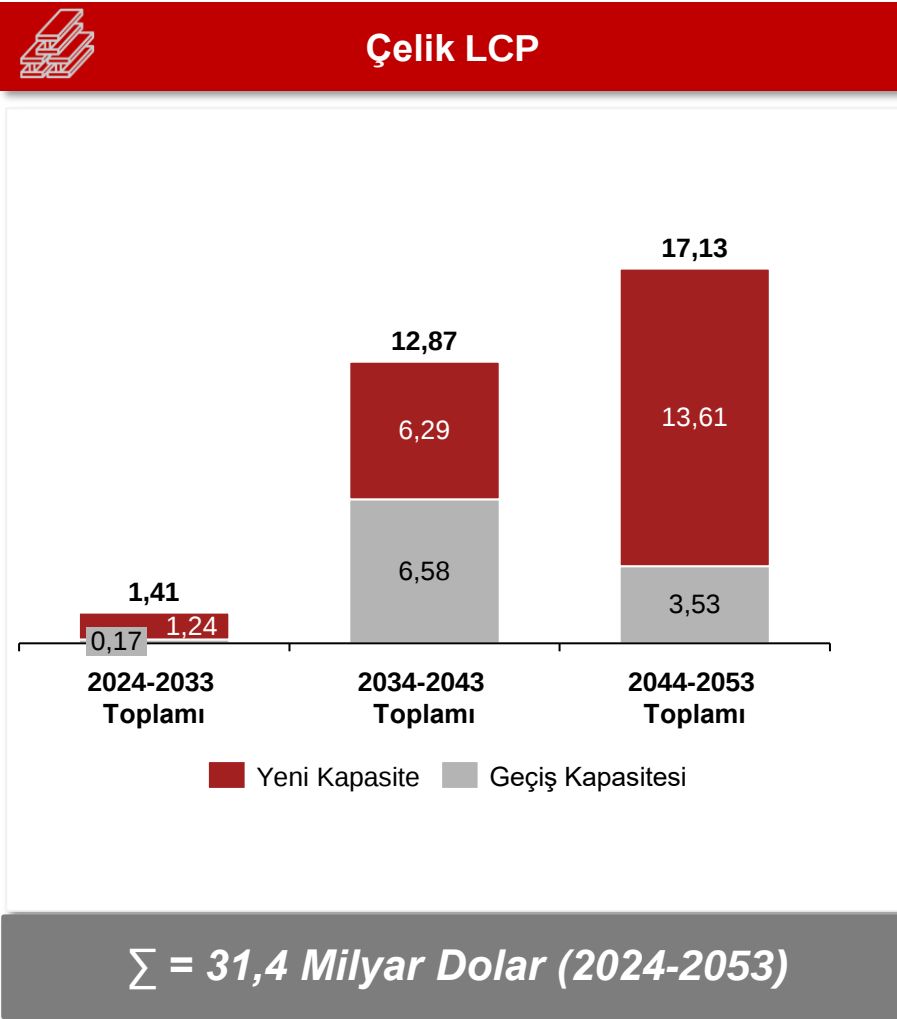


Türkiye Alüminyum Sektörü için Düşük Karbonlu Yol Haritası

- LCP senaryosu için toplam yatırım maliyetleri **4,9 milyar dolar** olarak öngörülmektedir.
- Birincil alüminyumda yatırım maliyetleri teknolojik dönüşümden kaynaklanırken, alüminyum işlemede kapasite artışı ve gelişmiş fırınlara geçiş nedeniyle yatırım gerekmektedir.

Karbonsuzlaşma yolunda yatırımlar sonraki dönemlerde radikal teknolojilerin devreye girmesiyle artmaktadır (1/2)

Sektörlere Göre Toplam Yatırımlar (2024-2053, Milyar Dolar)

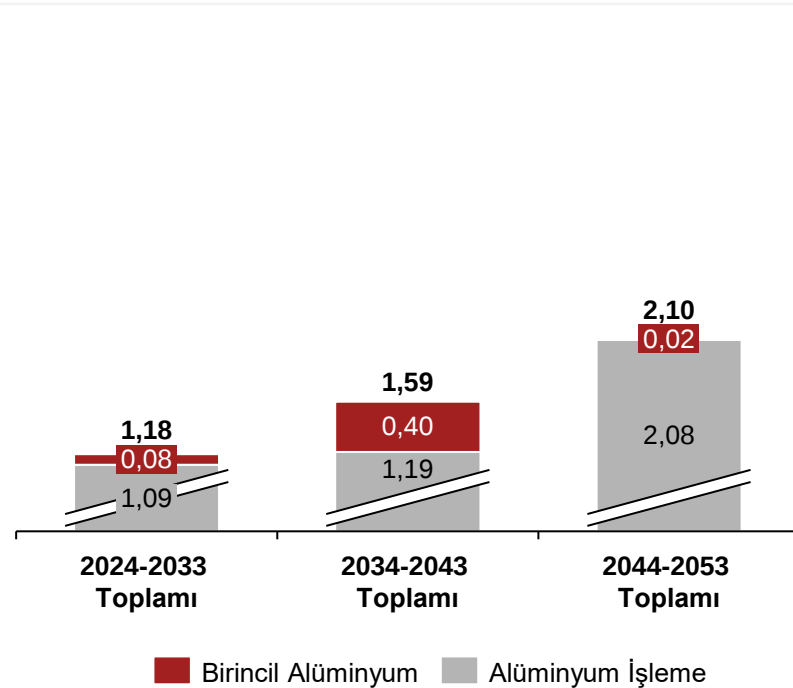


Karbonsuzlaşma yolunda yatırımlar sonraki dönemlerde radikal teknolojilerin devreye girmesiyle artmaktadır (2/2)

Sektörlere Göre Toplam Yatırımlar (2024-2053, Milyar Dolar)



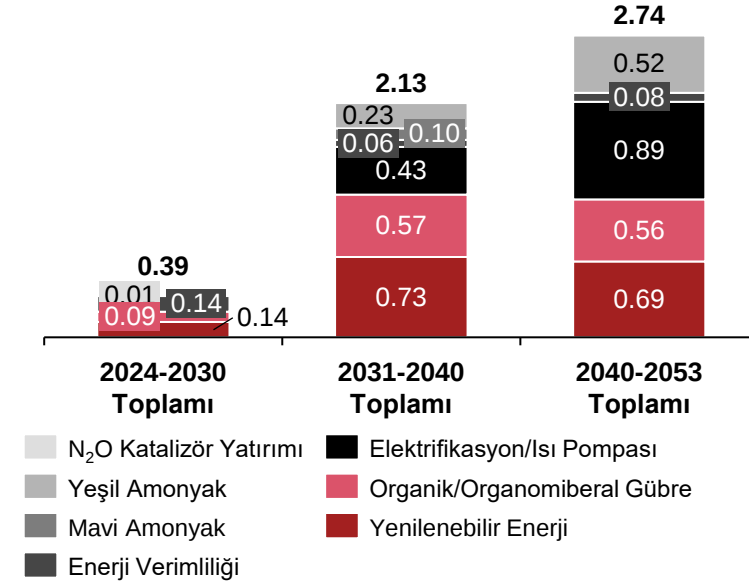
Alüminyum LCP



$\Sigma = 4,9$ Milyar Dolar (2024-2053)



Gübre LCP



$\Sigma = 5,2$ Milyar Dolar (2024-2053)

Türkiye’de seçilmiş sektörlerin ulusal hedefler doğrultusunda karbonsuzlaştırılmasına öncülük etmek üzere politika ve eylemleri kapsayan yol haritaları geliştirilmiştir

Kapsam

Politika önerileri listesi oluşturulduktan sonra, aşağıdaki başlıklar bazında değerlendirmelerin de yer aldığı somut bir eylem planı ortaya konmuştur;

- **Politika / yasal boşluk**
- **Kapasite geliştirme / oluşturma ihtiyacı**
- **Yatırım / finansman ihtiyacı**
- **Çevresel / sosyal darboğazlar**

Yönlendirme Komitesi üyelerinin yanı sıra ilgili kuruluşlar, sektör dernekleri ve uzmanlar dahil olmak üzere geniş bir paydaş çevresinin öneri ve yorumları alınarak nihai politika çerçevesi oluşturulmuştur.

Model ve senaryo analizi sonuçları politika çerçevesinde ilgili başlıklara ve Yol Haritası dokümanına yansıtılmıştır. Sonuç olarak, dört sektör için aşağıdaki kapsamda politika seti oluşturulmuştur:

Çelik LCP

61 politika önerisi

Alüminyum LCP

45 politika önerisi

Çimento LCP

39 politika önerisi

Gübre LCP

24 politika önerisi

Politika Eksenleri



Girdi & Teknoloji



Politika & Pazar

Politika Başlığı

1. Ana Girdi Optimizasyonu
2. Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler
3. Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri
4. Süreç İyileştirmesi
5. Yeşil Enerji
6. Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

1. ETS
2. Ticaret Modeli
3. Ulusal Politika Belgeleri
4. Yeşil Dönüşüm Finansmanı
5. İş Birlikleri
6. Döngüsel Ekonomi

Uygulama Aralığı

- Faz 1 (2023 – 2025)
- Faz 2 (2026 – 2038)
- Faz 3 (2039 – 2053)

Politika Türü

- Düzenleme
- Yatırım
- Teşvik & Finans
- Kapasite Geliştirme

Paydaşlar

- Devlet Kurumları
- Özel Sektör
- Araştırma Kurumları
- Finansal Kurumlar
- Son Kullanıcı Sektörleri

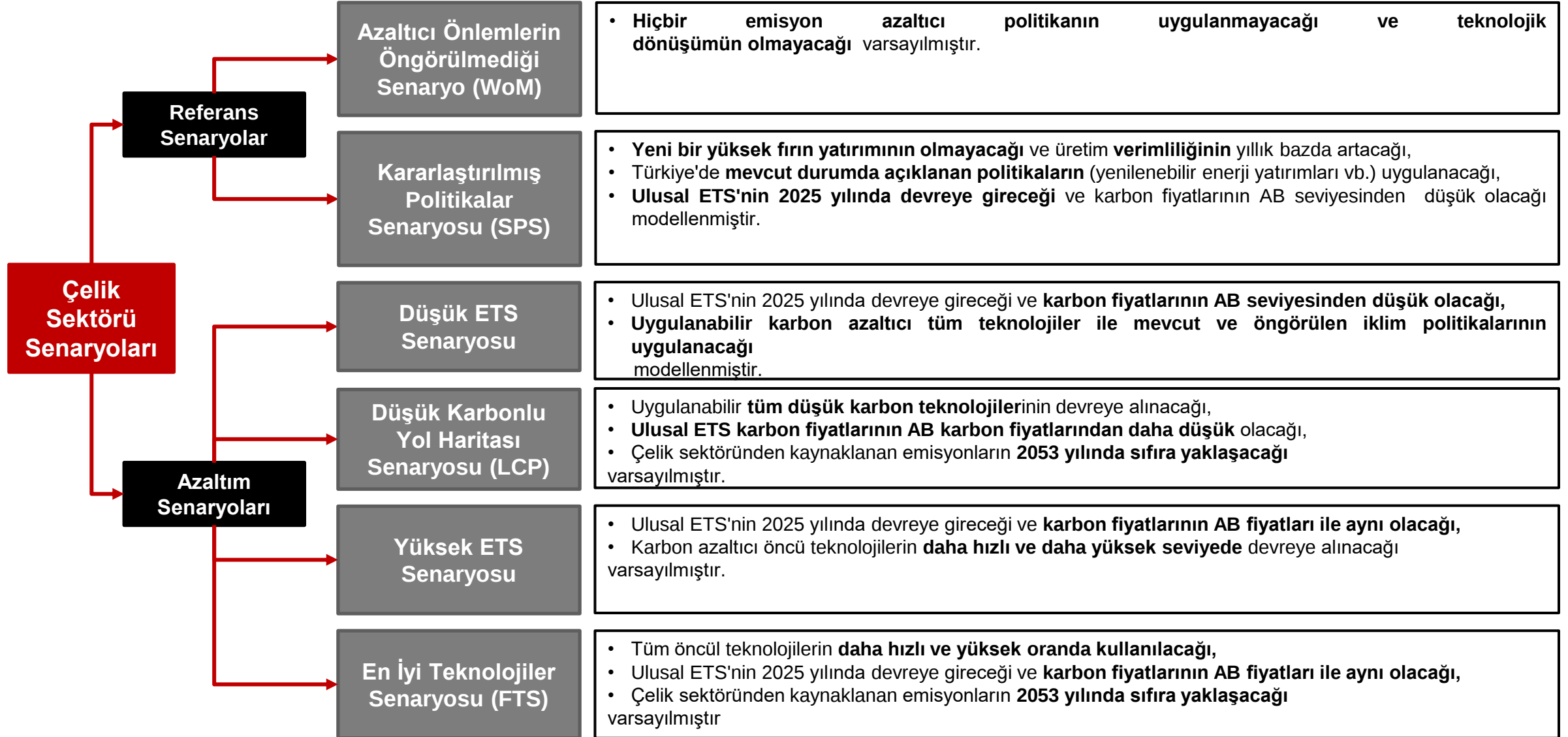
4

Projelerin Detaylı Çıktıları

Yeşil Çelik



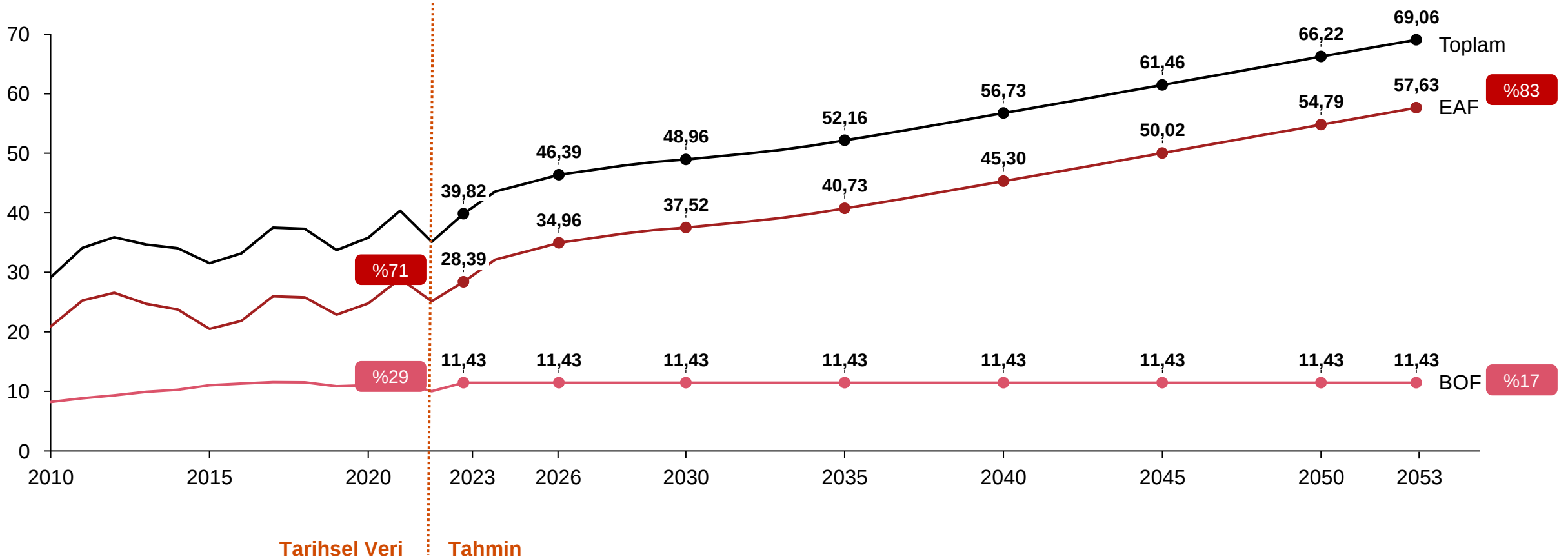
Model çalışması kapsamında 6 farklı senaryo oluşturulmuştur



Baz senaryoda yeni bir YF yatırımı öngörülmediğinden, EAF payının SPS senaryosunda zaman içinde artarak toplam ham çelik üretiminin %83'üne ulaşacağı tahmin edilmektedir

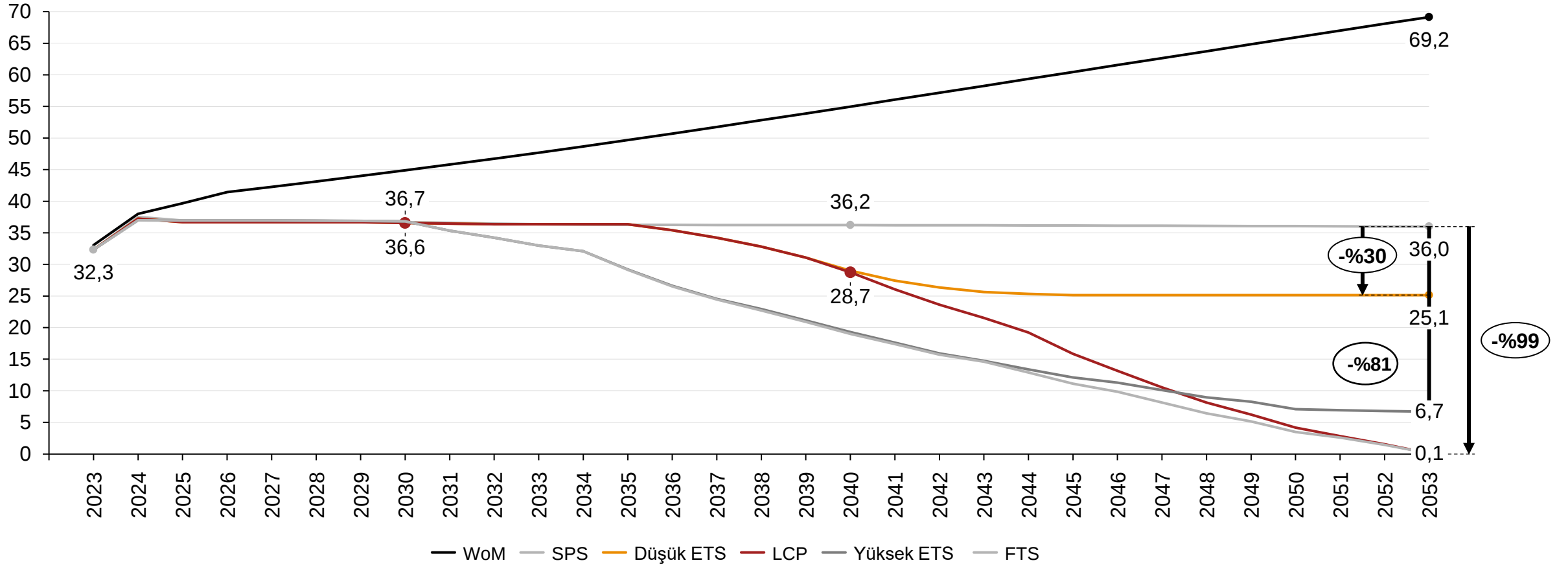
EAF Çeliğinin Toplam İçindeki Payı
BOF Çeliğinin Toplam İçindeki Payı

TR ETS < AB ETS Senaryosu için Çelik Üretim Yöntemlerine Göre Üretim Tahmini (Milyon Ton)



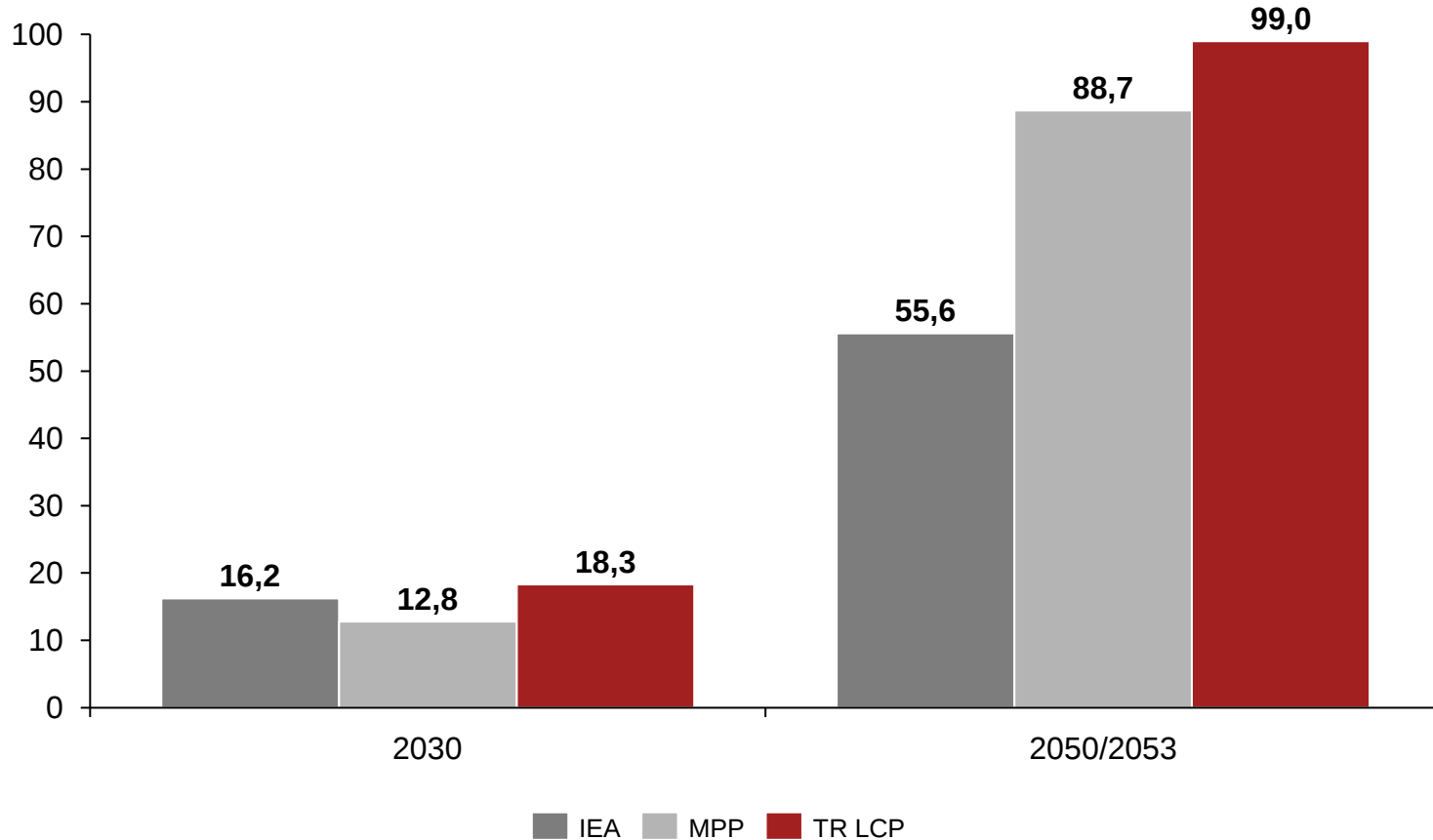
Çelik sektörü emisyonları, ileri teknoloji yatırımları ve uygun iklim politikaları ile 2053 yılında %99 oranında azaltılabilir

Senaryolara Göre Yıllık Toplam Emisyonlar (Mton CO₂)



2053'te net sıfıra ulaşmayı amaçlayan LCP senaryosunun emisyon azaltım öngörülleri diğer uluslararası çalışmalardan daha yüksektir

Çelik Sektöründe Emisyon Azaltma Hedefleri* (% azaltım, baz senaryoya göre)



Bu raporda kıyaslama amacıyla Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)* ve Mission Possible Partnership (MPP)** tarafından hazırlanan iki önemli uluslararası çelik karbonsuzlaştırma yol haritası çalışmasına atıfta bulunulmuştur.



Düşük Karbonlu Yol Haritası senaryosunda, WoM'a kıyasla 2030, 2040 ve 2053 yıllarında sırasıyla %18, %47 ve %99 emisyon azaltımı elde edilmektedir. Çelik sektöründe net sıfır emisyon seviyelerine ancak karbon yakalama, depolama ve kullanma gibi radikal teknolojilerin uygulanmasıyla ulaşılabilir.

* IAE- Iron and Steel Technology Roadmap ** MPP - Making Net-Zero Steel Possible

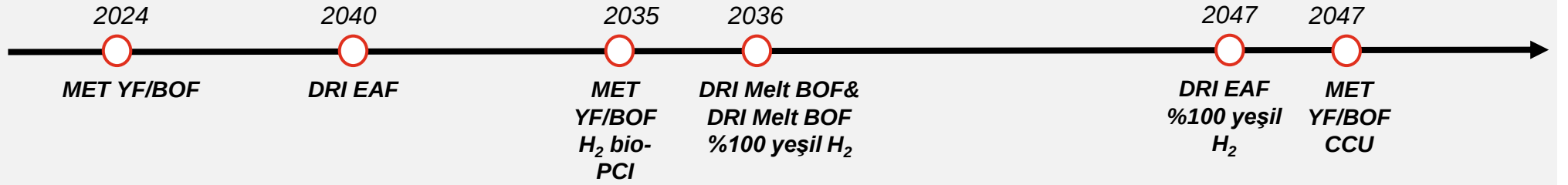
*** IEA için azaltım, Belirtilen Politika Senaryosuna göre, MPP için azaltım ise referans senaryoya göre hesaplanmıştır.

Net sıfır hedefi için 2030'lardan sonra yüksek yatırım gereksinimleri olan daha radikal teknolojilerin devreye alınması gerekmektedir

Mevcut Teknolojiler

Teknolojik Dönüşüm*

LCP



FTS

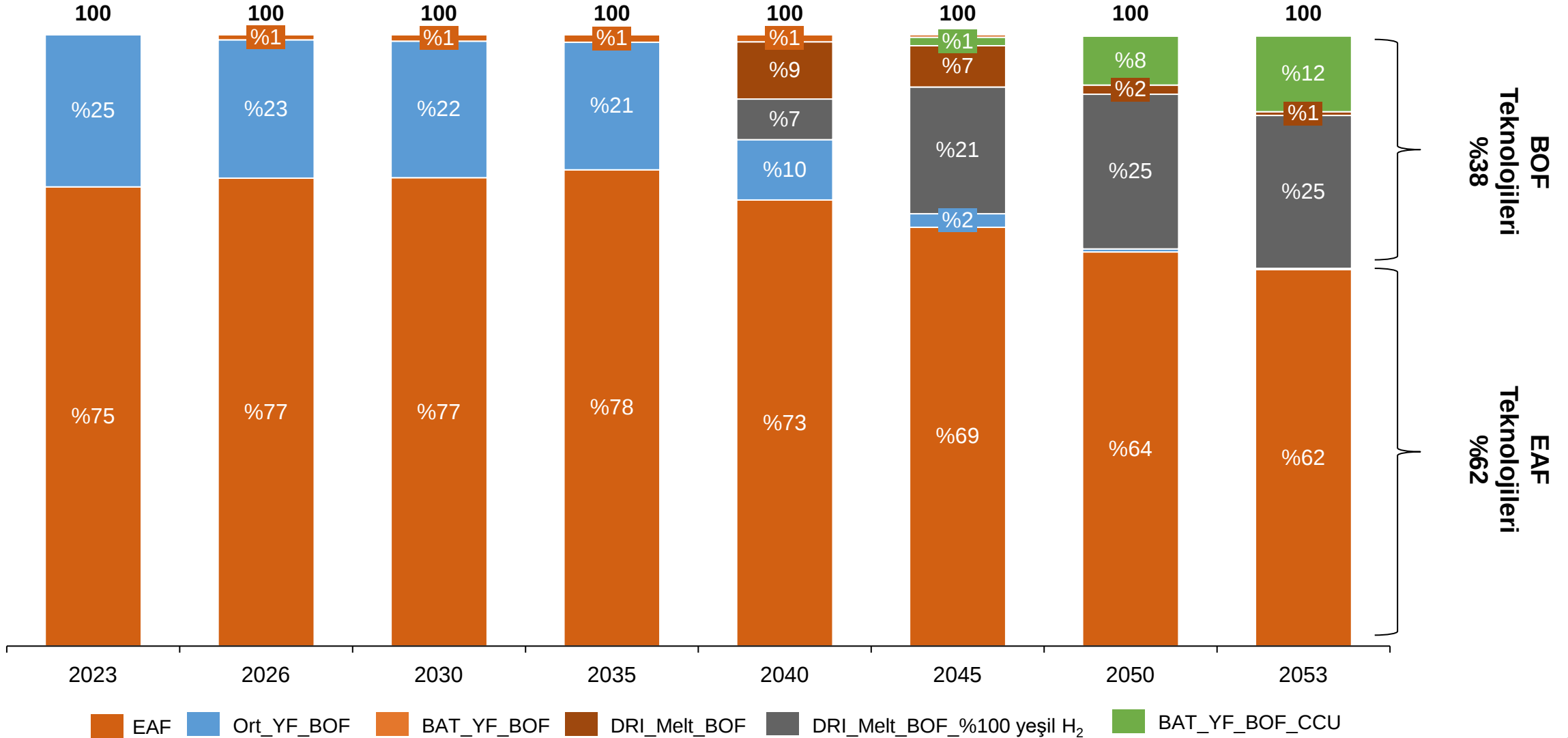


Teknolojilerin Kısa Tanımları:

MET YF-BOF: Entegre tesislerde mevcut en iyi proses teknolojilerinin kullanılması
MET YF-BOF H₂ PCI: Pulverize kömür enjeksiyonunun yerine hidrojen kullanılması
DRI-Melt-BOF: YF'nin yerini doğal gaz bazlı DRI'nın alması
DRI-Melt-BOF 100% yeşil H₂: YF'nin yerini %100 yeşil hidrojen bazlı DRI'nın alması

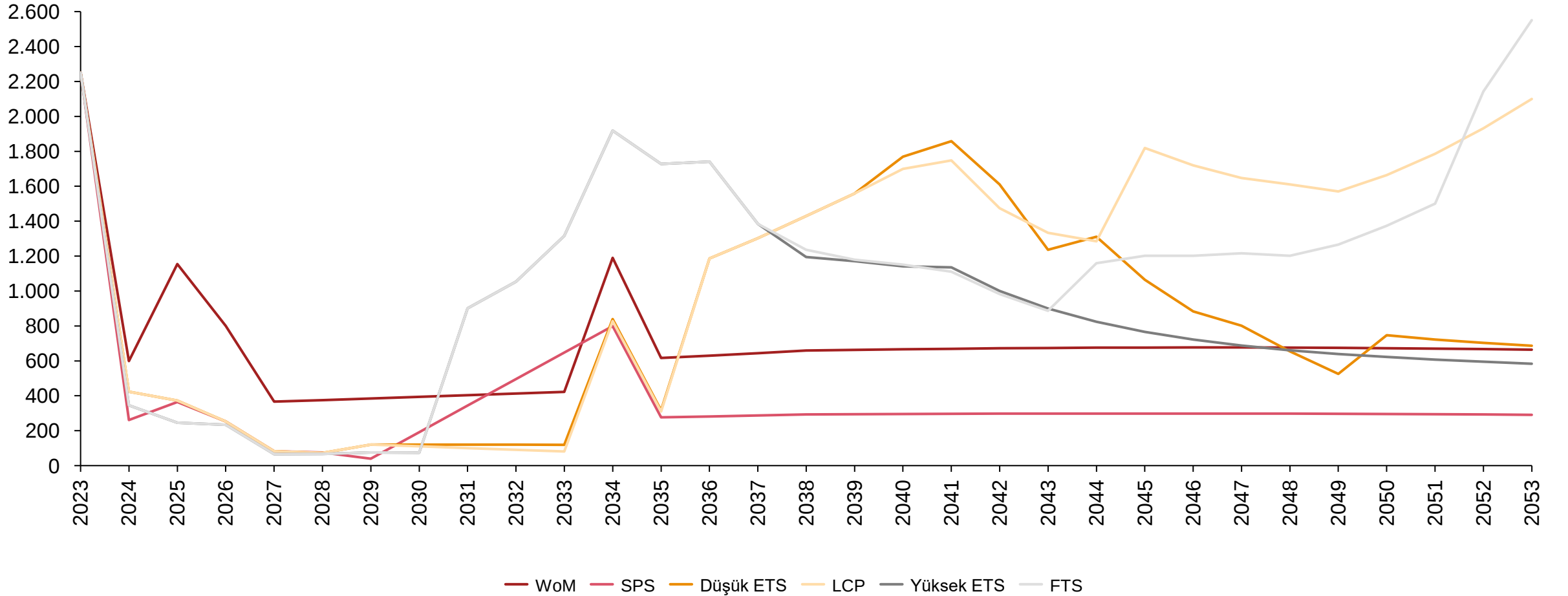
MET YF-BOF + CCU: Entegre tesislerde karbon yakalama ve kullanma teknolojisinin kullanılması
MET YF-BOF bio-PCI: Pulverize kömür enjeksiyonunun yerine ön işlemden geçirilmiş biyokütle kullanılması (ör. odun kömürü)
MET YF-BOF + BECCUS: Entegre tesislerde karbon yakalama, depolama ve kullanma ile birlikte biyoenerji kullanılması
DRI-EAF: EAF tesislerinde doğal gaz bazlı DRI kullanılması
DRI DRI-EAF 100% yeşil H₂: EAF tesislerinde %100 yeşil hidrojen bazlı DRI kullanılması

LCP senaryosunda, sektörün net sıfır emisyona ulaşması için uzun vadede hidrojen kullanımı ile karbon yakalama ve kullanma teknolojisi yatırımlarına ihtiyaç duyulacaktır



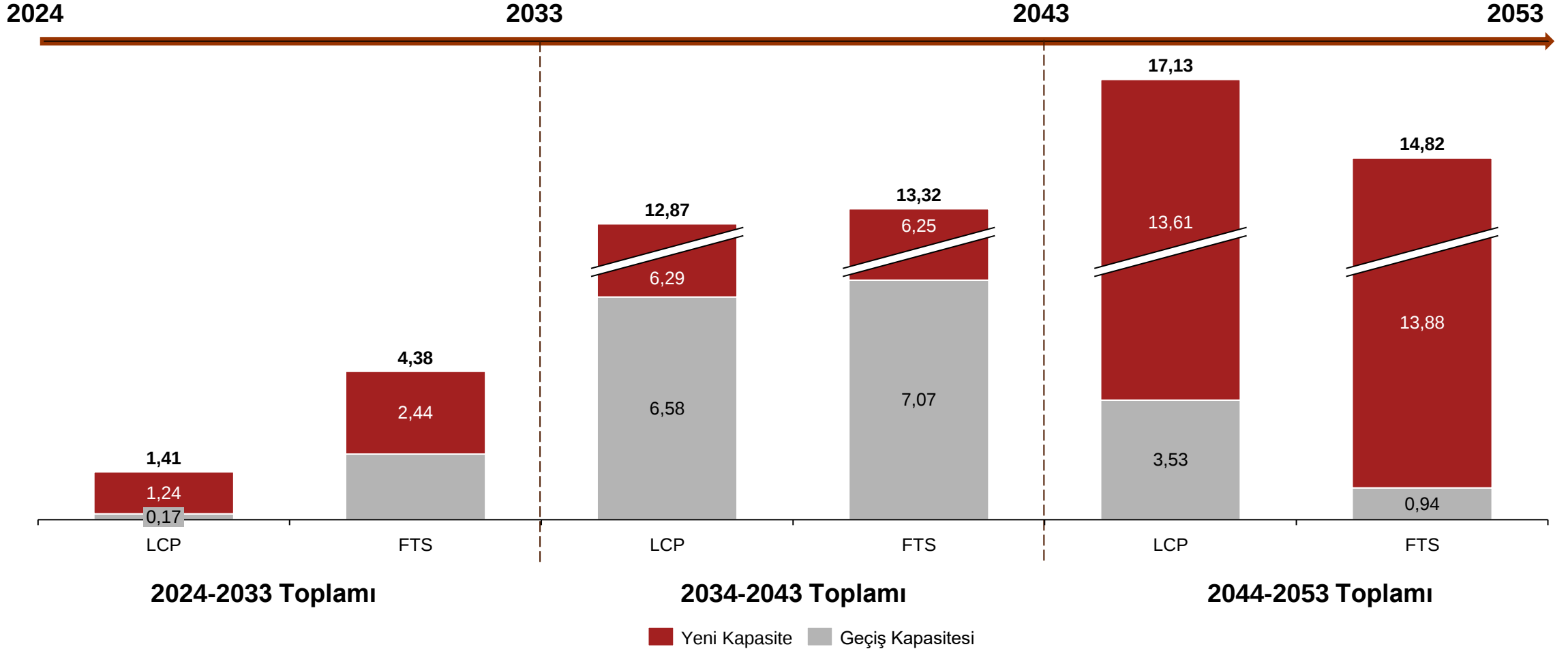
Yıllık yatırım ihtiyacı, 2030'lardan sonra yeni teknolojilerin devreye girişi ile daha yüksek hale gelmektedir

Senaryoya Göre Yıllık Yatırım Maliyeti (Milyon Dolar)



LCP senaryosunda net sıfıra ulaşmak için gerekli yatırım maliyeti 2044-2053 arasında en yüksek seviyeye (17,1 milyar dolar) ulaşmaktadır

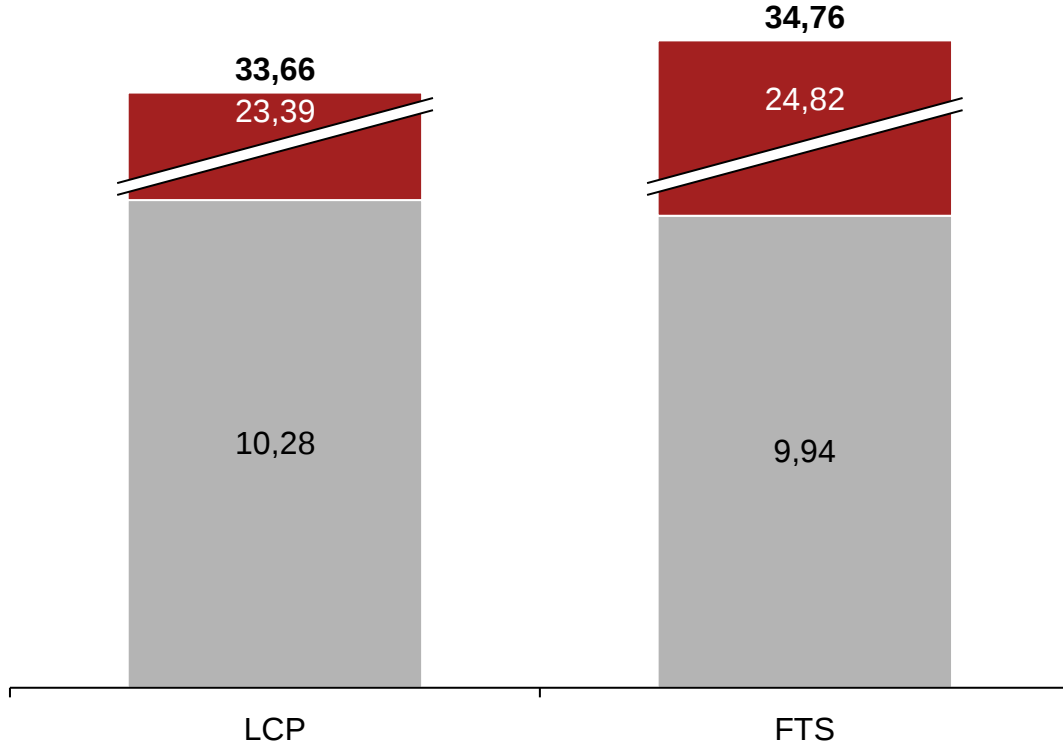
Seçilmiş Dönemlerde Senaryolara Göre Oluşan Toplam Yatırım Gereksinimi (Milyar Dolar)



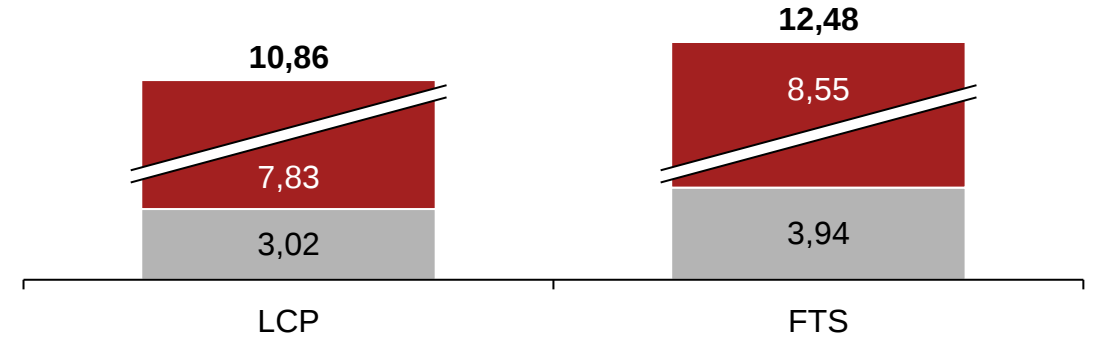


Sektörü karbonsuzlaştırmak için toplam yatırım maliyeti nominal olarak 34 milyar doları ve NBD olarak 10 milyar doları aşmaktadır

Toplam Yatırımlar
(2023-2053, Milyar Dolar)



Toplam Yatırımların Net Bugünkü Değeri*
(2023-2053, Milyar Dolar)



■ Yeni Kapasite ■ Geçiş Kapasitesi

*Yatırım maliyetleri %7 iskonto oranı ile NBD olarak hesaplanmıştır.

Politika Önerileri - Ana Girdi Optimizasyonu

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Türkiye'nin yurt içi hurda arzının tespiti ve geliştirilmesi için çalışmalar yapılması, bu çalışmaların sonuçlarına göre odaklı yatırımlar gerçekleştirilmesi.
2. Türkiye'nin hurda ithal ettiği pazarlarda hurda ihracatını yasaklamaya yönelik girişimlerin yakından takip edilmesi ve hurda ithal kaynaklarının çeşitlendirilmesi amacıyla küresel hurda pazarındaki eğilimlerin değerlendirilmesi.
3. Tesislerde hurda ayıklama ve hazırlama proseslerinin iyileştirilmesine yönelik yöntemlerin ve uygulamaların geliştirilmesi.
4. Yüksek fırın ve diğer üretim fırınlarına şarj edilen düşük tenörlü cevherlerin, uygun cevher işleme/zenginleştirme metotları kullanılarak verimliliğin artırılması.
5. Cevherin redüklenerek doğrudan ark ocaklarında ve indüksiyon ocaklarında kullanıma uygun hale dönüştürülmesi için düşük karbonlu enerji kaynakları/yenilenebilir enerji ile beslenen DRI/HBI teknolojilerine yönelik Ar-Ge, fizibilite ve prototip çalışmalarının yapılması ve bu çalışmalar ışığında teşvik, finansman ve yatırım sağlanması.
6. Hurdadan çelik üretiminde alternatif hammaddelerin kullanılmasına yönelik yöntemlerin geliştirilmesi.

Politika Önerileri - Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler (1/2)

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

Türkiye çelik sektörü için "Mevcut En İyi Teknikler (BAT)" olarak sınıflandırılmış teknolojilerin araştırılması ve sektörde uygulanmasının özendirilmesi:

1. Katı ve gaz akışlarından ısı veya enerji geri kazanımı, kok kuru söndürme ve kojenerasyon üniteleri kullanılması.
2. Gelişmiş elektrostatik çöktürücüler, Aktif Karbon Rejenerasyonu (AKR) süreci ve Seçici Katalitik Redaksiyonu (SKR) kullanılması.
3. Peletleme tesislerinin arıtmasında Nötrleştirme, Flokülasyon ve Sedimentasyon kullanılması.
4. Kok fırınının kapsamlı şekilde gözlenmesi, gaz sızdırmaz pompaların kullanılması ve soğurma sistemleriyle kükürt giderilmesi.
5. Yüksek fırınlar için, elektrostatik çöktürücü ya da torba filtre yardımıyla çıkış gazı temizleme sistemleri ve yanmayı artırmak için uygun brülörlerin kullanılması.
6. BOF çelik üretimi ve dökümü için elektrostatik çöktürücü yoluyla kuru tozsuzlaştırma, elektrostatik çöktürücü veya yıkayıcı aracılığıyla ıslak tozsuzlaştırma, tozu dağıtmak için üfleme borusuna soygaz veya buhar enjeksiyonu.
7. EAF çelik üretimi ve dökümü için elektrik ark ocağının hurda ön ısıtma, şarj, ergitme, döküm alma, pota fırını ve ikincil metalürji dâhil olmak üzere birincil ve ikincil tozsuzlaştırması.

Politika Önerileri - Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler (2/2)

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

Türkiye çelik sektörü için "Doğrudan Karbon Oluşumunu Azaltan" olarak sınıflandırılmış teknolojilerin araştırılması ve sektörde uygulanmasının özendirilmesi:

1. Yüksek fırınlarda H₂ kullanımı.
2. DRI üretiminde indirgeyici olarak doğal gaz ile birlikte değişen oranlarda H₂ kullanımı.
3. H₂ plazma azaltma (redüksiyon) yöntemiyle ergitme azaltma.
4. Brülörlerde ve diğer ısıtma proseslerinde gereken yüksek sıcaklık seviyelerine ulaşabilmek için H₂ kullanılması.
5. Sulu alkali elektrolit ortamda düşük sıcaklık (≈110°C) ile elektroliz.
6. Alüminyum üretimine benzer şekilde, demir cevherinin yüksek sıcaklıkta (≈1600°C) elektrolizi.
7. Yüksek fırınlarda kok kullanımının azaltılmasına yönelik alternatif hammadde ve girdilerin (bio-CH₄, bio-PCI vb.) değerlendirilmesi.
8. Kok fırınlarında iyileştirilmiş ve alternatif kömür hammaddelerinin kullanılması, verimli kömür harman modellerinin (odun kömürü vb.) geliştirilmesi.
9. Sürekli döküm ve yarı mamül işleme için ulusal ve uluslararası iyi uygulama örneklerinin ve teknolojilerin araştırılması, geliştirilmesi ve prototip çalışmalarının gerçekleştirilmesi.

Politika Önerileri - Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

Türkiye çelik sektörü için "Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama" olarak sınıflandırılmış teknolojilerin araştırılması ve sektörde uygulanmasının özendirilmesi:

1. Yüksek fırınlarda gaz dışı H₂ zenginleştirilmesi ve/veya CO₂ azaltımı.
2. Karbon yakalama ile yakalanan çıkış gazlarının yakıta dönüştürülmesi (CCU).
3. Karbon yakalama ile yakalanan çıkış gazlarının kimyasallara dönüştürülmesi (CCU).
4. DRI için doğal gaz bazlı CO₂ yakalama.
5. Çeşitli enerji yoğun çelik üretim işleme aşamalarının yerini alan ve CCUS ile birleştirilebilen yeni bir tür kömür bazlı eritme reaktörü (Hİsarna işlemi) kullanılması.
6. Türkiye'nin karbon yakalama ve kullanma kapasitesinin artırılmasına yönelik finansal, hukuki ve teknik altyapının güçlendirilmesi.

Politika Önerileri - Süreç İyileştirmesi

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Enerji verimliliğinin artırılması, üretimin maksimize edilmesi ve bakım uygulamalarının geliştirilmesi amacıyla tesislerde enerji yönetim sistemleriyle entegre dijital izleme sistemlerinin kurulması.
2. Proses güvenilirliğinin iyileştirilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla çelik üretim tesislerinin bakım gerekliliklerinin ve denetimlerinin artırılması.
3. Şirketlerin düşük emisyonlu teknolojilere göre tesis güçlendirme/yenileme/kullanımdan kaldırma çalışmalarını planlaması ve zamanında uygulamaya geçirmesi.
4. Sinter ve Pelet tesislerinde enerji ve hammadde girdilerinin ve verimliliğin iyileştirilmesi.

Politika Önerileri - Yeşil Enerji

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Gereken enerjinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması amacıyla yenilenebilir enerji üretim altyapıları kurulması ve gerekli ilave teşvik mekanizmalarının devreye alınması.
2. Çelik sektörü için yeşil H₂'nin ticari olarak kullanılabilir ve uygun maliyetli hale getirilmesi amacıyla mevcut ve uygun teknolojilerin tespit edilmesi.
3. Çelik sektöründe yenilenebilir enerji kullanımının artırılması için kaynak planı yapılması ve Küçük Modüler Reaktörler (SMR) kullanımının değerlendirilmesi.

Politika Önerileri - Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Çelik sektörünün yeşil dönüşümü için gerekli olan yeni nitelik ve becerilerin belirlenmesi ve yeni niteliklere sahip iş gücünün yetiştirilmesine yönelik çalışmaların koordinasyonu.
2. Çelik sektörü istihdamında herkes için fırsat eşitliğinin sağlanması.
3. İlgili eğitim müfredatının ve yükseköğretim programlarının yeşil çelik beceri ve yetkinlik çerçevesiyle uyumlaştırılması.

Politika Önerileri - ETS

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Türkiye'de AB mevzuatı ile uyumlu bir ETS kurulması ve stratejik öncelikli sektörlerde faaliyet gösterenlerin teşvik edilmesi için uygun mekanizmalar oluşturulması.
2. Karbon kaçağı riski yüksek olan emisyon yoğun tesisler ve sektör ortalamasının altında salım yapan tesislere yönelik ücretsiz tahsisat uygulamasının hayata geçirilmesi.

Politika Önerileri - Ticaret Modeli

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. AB SKDM kapsamındaki emisyon ölçümü ve raporlama ilkeleri doğrultusunda, Türkiye'deki uygulamaların AB tarafında gerekli nitelikleri karşılaması ve tanınmasının sağlanmasına ilişkin çalışmaların yürütülmesi.
2. Karbonsuzlaşma adımı atmayan ülkeler arasındaki ticaretin artmasından doğacak ticaret kaymaları ve olası pazar değişimlerinin analiz edilmesi ve sektörün uluslararası rekabet gücünün korunması için önlemler alınması.
3. Ulusal karbon fiyatlandırma mekanizmasının oluşturulması ve ilgili alanlarda uygulanmasına yönelik gerekli düzenlemelerin yapılması.
4. Türkiye'nin AB ülkelerine ihracatının devamını teminen, AB SKDM uygulaması ile ilişkili ticaret politikası adımlarının tespiti.
5. Türkiye-Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu (AKÇT) Serbest Ticaret Anlaşması (STA) kapsamında sektörün yeşil dönüşüme yönelik yatırım sınırlamalarının gözden geçirilmesi ve AB ile ilgili müzakerelerin yürütülmesi.

Politika Önerileri - Ulusal Politika Belgeleri

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Ulusal seviyede ve bütünsel bakış açısıyla değerlendirilmesi gereken Ar-Ge ve yenilik konularına yönelik fizibilite çalışmalarının gerçekleştirilmesi.
2. Çelik endüstrisinin ulusal enerji ve iklim stratejilerinde sürdürülebilir enerji geçişi için uzun vadeli net bir vizyon geliştirilmesi.
3. Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejisi ve İklim Değişikliği Eylem Planı belgelerinde sektöre yönelik azaltım politikalarının belirlenmesi.
4. Ulusal mevzuatta AB mevzuatına göre farklılık gösteren hususların belirlenmesi ve malların serbest dolaşımı hakkını koruyan tam uyumun sağlanması için koordinasyonun sağlanması.

Politika Önerileri - Yeşil Dönüşüm Finansmanı

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Düşük emisyonlu teknolojilerin yayılımı için kamu desteği sağlanması.
2. Yenilenebilir lisanssız enerji yatırımlarına kolaylık sağlanarak yenilenebilir enerji arzının artırılması.
3. Düşük emisyonlu teknolojilerin yayılımı için finans ve bankacılık sektörünün harekete geçirilmesi.

Politika Önerileri - İş Birlikleri

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Çelik üreticisi şirketlerin uluslararası platformlara katılımı konusunda çalışmalar yapılması.

Politika Önerileri - Döngüsel Ekonomi

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Doğrudan Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Süreç İyileştirmesi

Yeşil Enerji

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

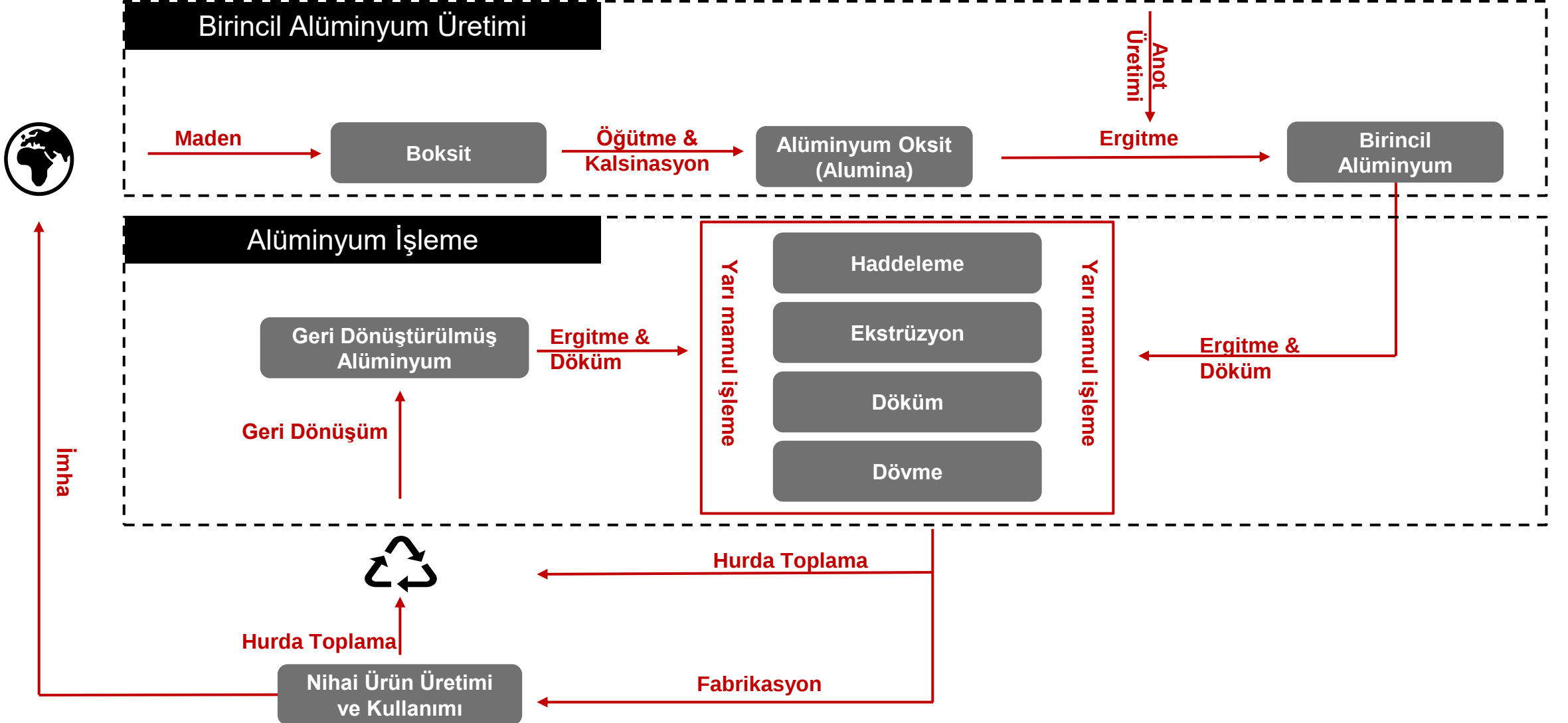
1. Çelik girdisi kullanan son kullanıcı sektörlerin karbonsuzlaşmasına katkı sağlanması amacıyla yüksek nitelikli, katma değerli ve hafifletilmiş çelik ürünlerin geliştirilmesi.
2. Ülke seviyesinde hazırlanacak Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'na çelik sektörü girdi ve çıktılarının yansıtılması.
3. Elektrikli ark ve pota ocaklarından çıkan katı atıkların döngüsel ekonomi süreçleriyle geri dönüşümüne yönelik yenilikçi proseslerin ve uygulamaların geliştirilmesi.
4. Sürekli döküm ve parça dökümde döküm atıklarının değerlendirilmesine yönelik yöntemlerin geliştirilmesi.
5. Demir-çelik tesislerinde yan ürün ve atık yönetimine ilişkin yöntemlerin ve uygulamaların geliştirilmesi.
6. Atık gazların ve ısıнын geri kazanımına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi.

Yeşil Alüminyum

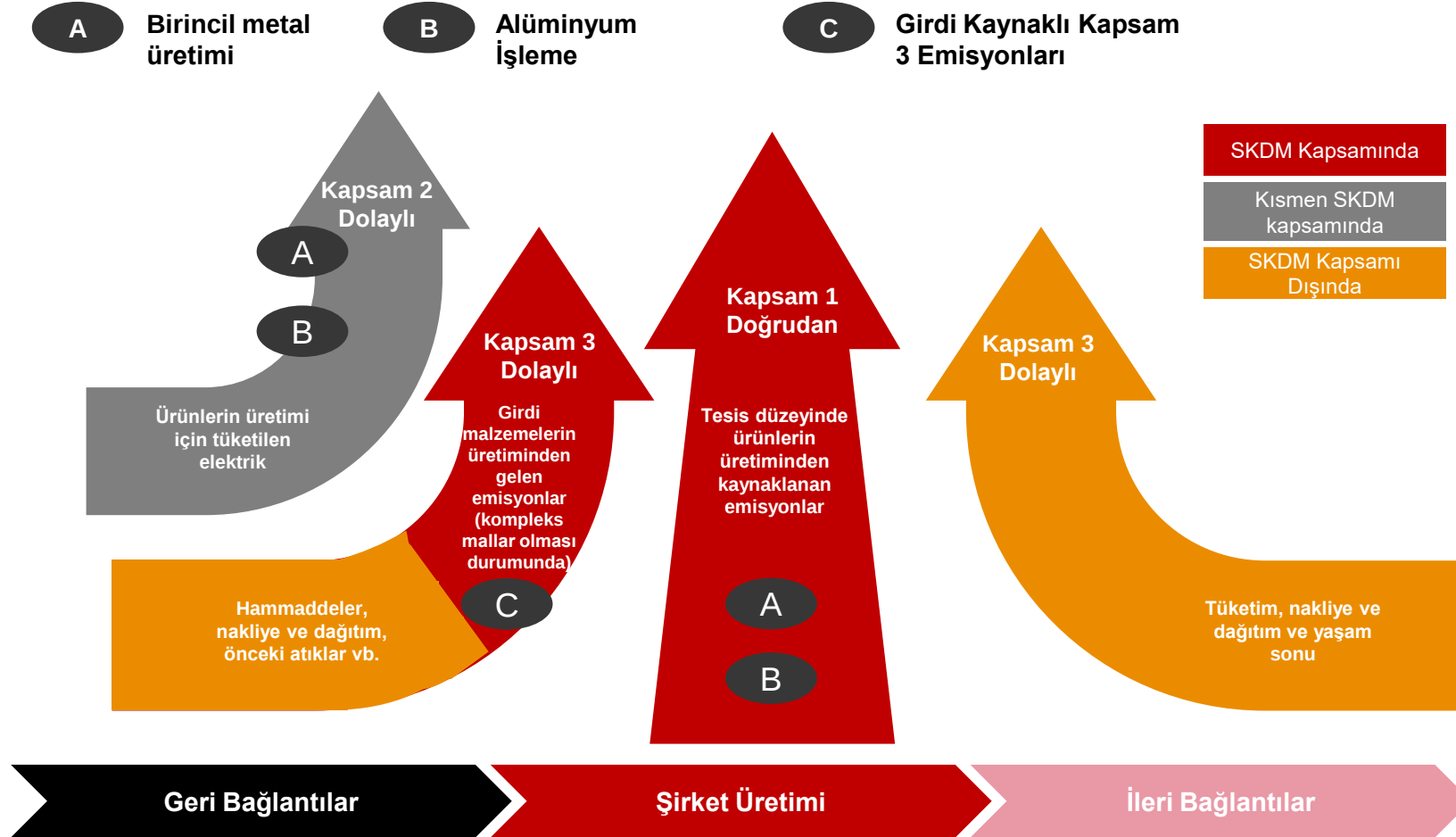




Küresel alüminyum endüstrisi kademeli bir üretim ve geri dönüşüm zincirinde faaliyet göstermektedir



Alüminyum endüstrisi için Kapsam 1 ve 2 emisyonlarının yanı sıra Kapsam 3 altındaki girdi kaynaklı emisyonlar da dikkate alınmıştır



Kapsam 1 Emisyonları (Doğrudan)

Bir kuruluşun **doğrudan sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklardan** gelen emisyonlar - fabrikalar, tesisler, depolar, ofisler, şirketin kendisine ait araç filoları

Kapsam 2 Emisyonları (Dolaylı)

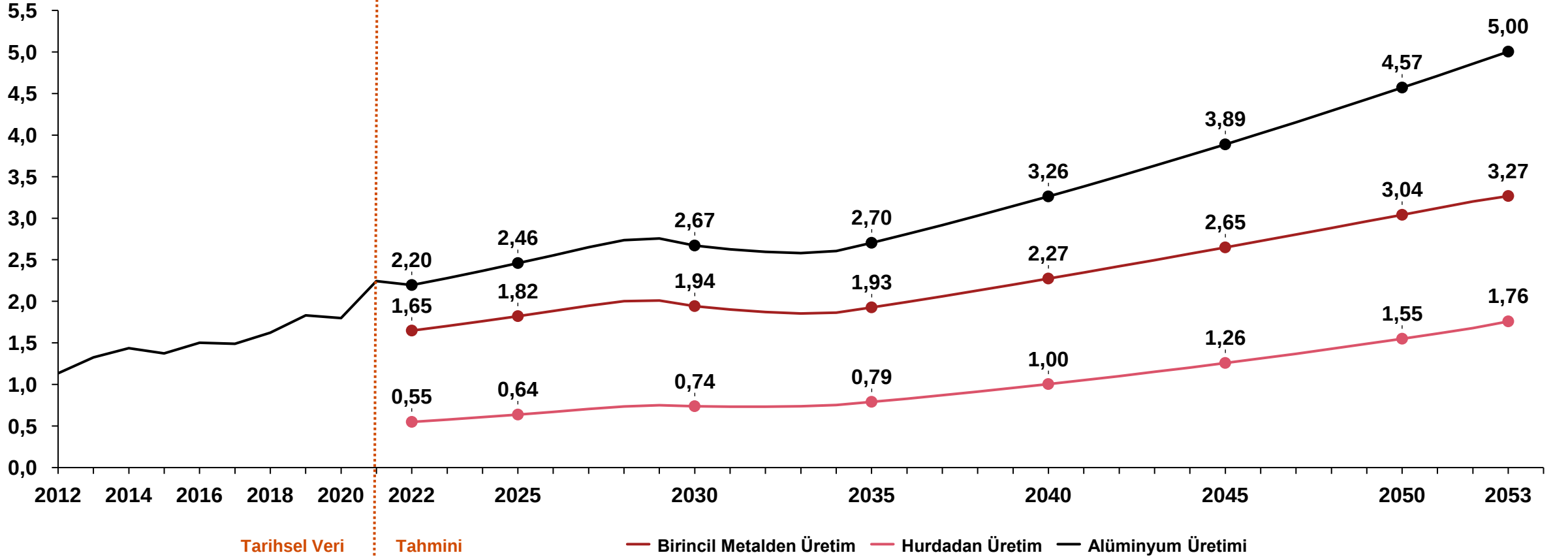
Bir kuruluşun satın aldığı ve kullandığı **enerji (elektrik)** nedeniyle dolaylı olarak neden olduğu emisyonlar

Kapsam 3 Emisyonları (Dolaylı)

Şirketin kendisi tarafından **üretilmeyen ve sahip olduğu veya kontrol ettiği varlıklardan kaynaklanan faaliyetlerin sonucu olmayan**, ancak değer zincirinin yukarısında ve aşağısında dolaylı olarak sorumlu olduğu emisyonlar

Yarı alüminyum üretiminin 2053 yılında 1,76 milyon tonu hurdadan olmak üzere toplam 5 milyon tona ulaşacağı öngörülmektedir

Alüminyum Üretim Tahmini (Milyon Ton)



Kapsam 1 ve 2 emisyonları optimizasyon modeli ile analiz edilirken, girdi kaynaklı kapsam 3 emisyonları için sektörün ithalat verileri incelenmiştir

A



Birincil Alüminyum Üretimi (Kapsam 1 & 2)

- Çeşitli uluslararası yol haritaları incelenmiş, sektör temsilcileri ve oyuncularını ile çeşitli toplantılar gerçekleştirilerek, tesis ve süreç bazlı emisyonlar ile dekarbonizasyon planları değerlendirilmiştir.
- MPP çalışması baz alınarak, 3 ana üretim sürecine (öğütme, kalsinasyon, ergitme) ilişkin 144 farklı karbon azaltıcı teknoloji kombinasyonu belirlenmiştir.
- Sektörün net sıfıra ulaşmasını sağlayacak en maliyet etkin yolları ortaya koymak adına, emisyon seviyeleri, teknoloji geçiş matrisleri, CAPEX ve OPEX değerleri gibi birçok parametrenin yer aldığı optimizasyon modeli geliştirilmiştir.
- Model sonucunda elde edilen sonuçlar sektör temsilcileri ile değerlendirilerek son haline getirilmiştir.

B



Alüminyum İşleme (Kapsam 1 & 2)

- 9 farklı fırın tipi ve bu fırınlardan uygulanabilecek olanlara karbon yakalama ve depolama (CCS) entegrasyonu modele dahil edilmiştir.
- Farklı fırın tipleri için emisyon değerleri, verimlilik parametreleri ve CAPEX ve OPEX rakamları tahmin edilmiştir.
- Alüminyum işleme sektöründe enerji tüketiminde yenilenebilir enerji payları için senaryo bazlı öngörüler oluşturulmuştur.
- 4 senaryo altında, yıl bazlı fırın dağılımları, emisyon değerleri ve yatırım gereklilikleri, geliştirilen optimizasyon modeli ile ortaya koyulmuştur.

C



Girdi Kaynaklı Kapsam 3 Emisyonları

- Proje paydaşları ve uzmanlarla yapılan değerlendirmelere göre, Türkiye'de alüminyum işleme üretiminde mevcut birincil metal ve hurda dağılımı %75 ve %25 seviyelerindedir.
- Önümüzdeki 30 yıl içinde hurda kullanımının optimal senaryoda %35'e, agresif senaryoda ise %50'ye çıkacağı öngörülmüştür.
- Alüminyum üretiminde birincil metal ve ithalatının girdi kaynaklı kapsam 3 emisyonlarına etkisini gözlemlemek için ilgili ülkelerin dış ticaret verileri ve emisyon seviyeleri incelenmiştir.

Yapılan modelleme ve analizler neticesinde farklı üretim süreçleri için karbon azaltımına yönelik politika ve teknolojiler belirlenmiştir

Birincil Alüminyum Üretimi (Kapsam 1 & 2)

- Türkiye birincil alüminyum sektörünün teknolojik dönüşüm sayesinde **emisyollarını %98,1 oranında azaltabilir** ve 2053 yılında **0.1 ton CO₂/ ton Al emisyon yoğunluğunu** değerine ulaşabilir. Modelleme çalışması sonucunda sektör için öngörülen teknolojik dönüşüm ise şu şekildedir;
 - 2028 yılında gaz kazanına geçiş
 - 2032 yılında güneş enerjisi (CST) kazanına geçiş
 - 2047 yılında hidrojen kalsinatöre geçiş
 - 2040 yılında inert anot teknolojisine geçiş



Alüminyum İşleme (Kapsam 1 & 2)

- Alüminyum işlemede **doğal gaz ile çalışan fırınlara CCS entegrasyonu** veya **elektrikli fırınlara geçiş ile birlikte dönem sonunda %94 emisyon azaltımı** sağlanabilir.
- Enerji tüketiminde **yenilenebilir enerjinin payının artırılması**, kapsam 2 emisyonlarının azaltılmasında önemli bir etkiye sahiptir.

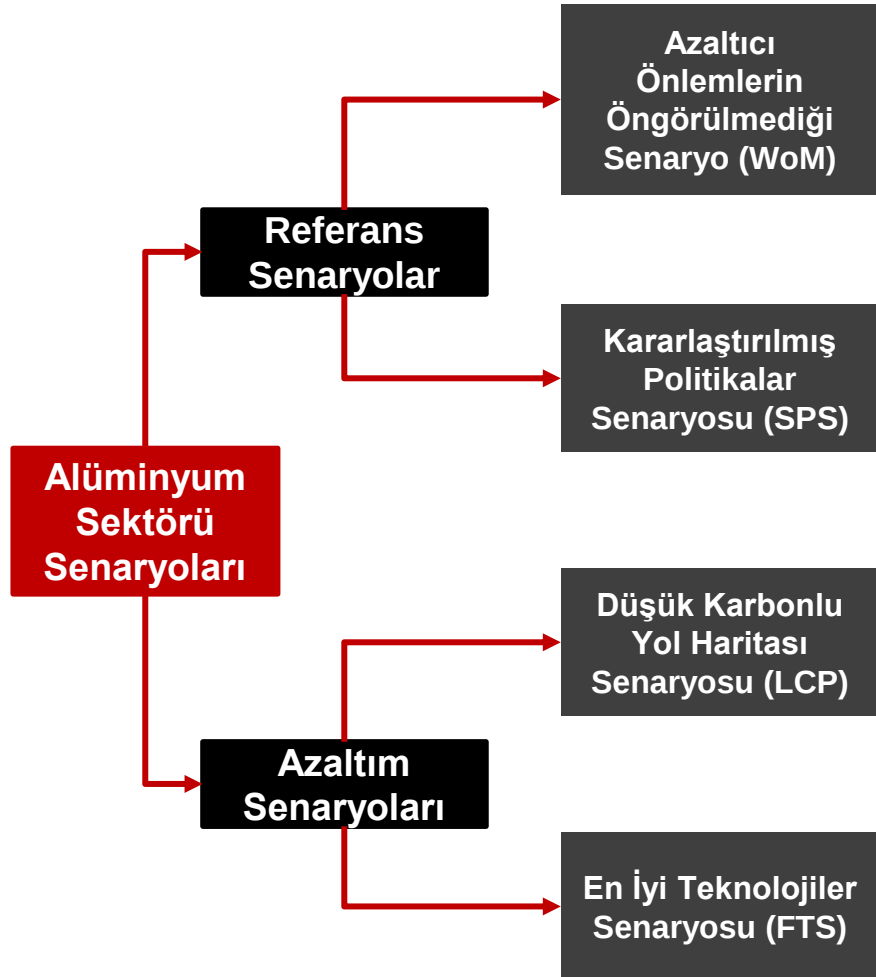


Girdi Kaynaklı Kapsam 3 Emisyonları

- Üretimde hurda payının artması ve ithalatçı ülkelerin emisyon seviyeleri Türkiye'nin girdi kaynaklı kapsam 3 emisyonlarını azaltmak için önemlidir.
- Türkiye Alüminyum Sektörü, girdi kaynaklı kapsam 3 emisyonlarını azaltmak için **üretimdeki hurda miktarını artırabilir** ve alüminyum külçe ithalatı için **emisyon yoğunluğu daha düşük olan ülkelere ve üreticilere** öncelik verebilir.



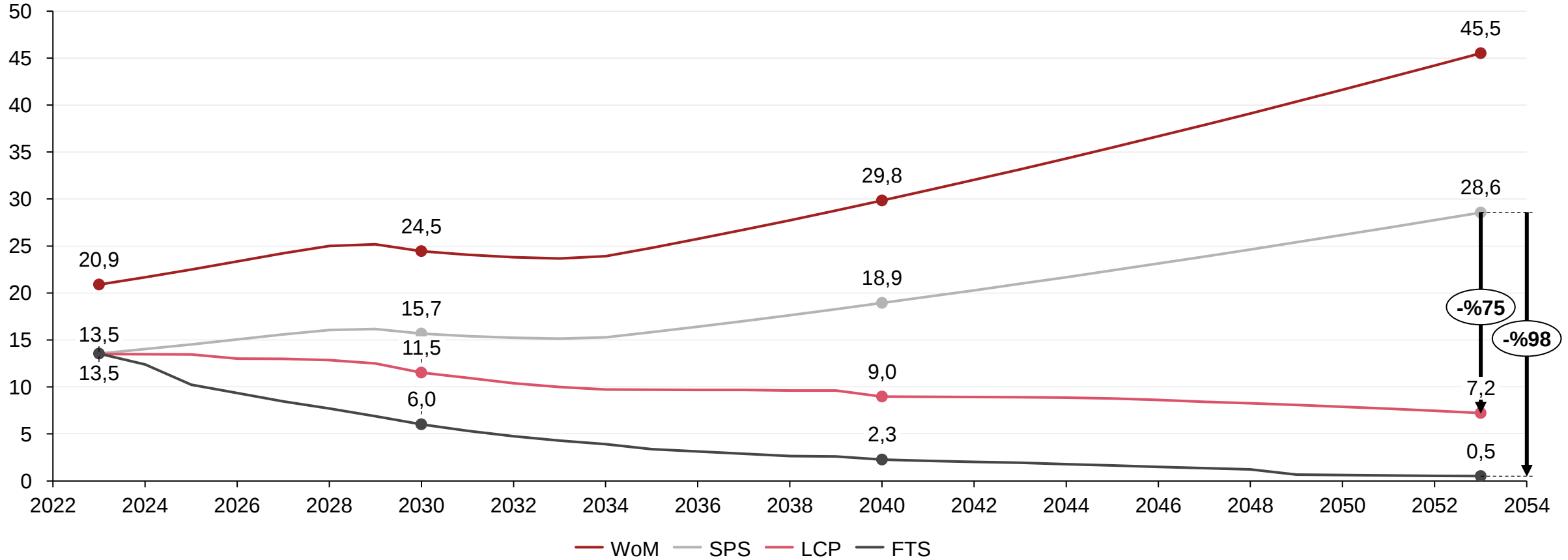
Model kapsamında 4 farklı senaryo geliştirilerek alüminyum endüstrisinin dekarbonizasyon yolları incelenmiştir



ETS	Dönüşüm	Emisyon Hedefi	Politikalar
ETS'nin olmadığı senaryo	Teknolojik dönüşüm yok	Emisyon azaltım hedefi yok	Emisyon azaltım politikası yok
Türkiye ETS < AB ETS	Teknolojik dönüşüm yok	Emisyon azaltım hedefi yok	Emisyon azaltım politikalarının uygulanması
Türkiye ETS < AB ETS	Optimum teknolojik dönüşüm	2053'e kadar maliyet etkin emisyon azaltımı	Emisyon azaltım politikalarının uygulanması
Türkiye ETS = AB ETS	Agresif teknolojik dönüşüm	2053'e kadar maliyet etkin emisyon azaltımı	Emisyon azaltım politikalarının uygulanması

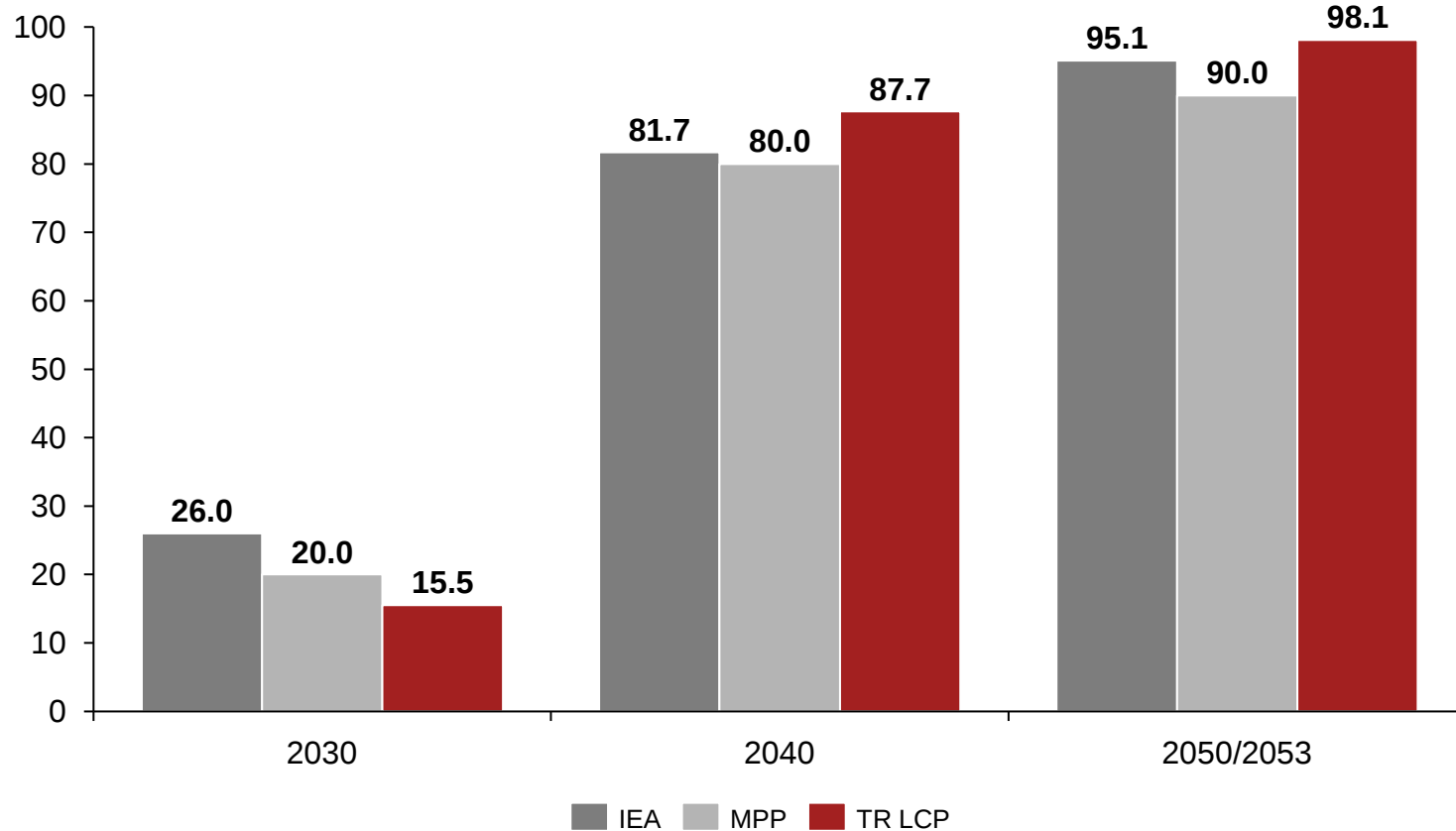
2053 yılına kadar, toplam emisyonlar SPS senaryosuna kıyasla LCP senaryosunda %75, FTS senaryosunda ise %98 oranında azaltılabilir

Toplam Emisyonlar (Kapsam 1,2,3) [Mt CO_{2e}]



LCP birincil alüminyum senaryosunun emisyon azaltım tahminleri IEA ve MPP hedeflerine göre daha agresiftir

Birincil Alüminyum Üretiminde Emisyon Azaltım Hedefleri (% azaltım)



Bu raporda kıyaslama amacıyla kullanılan, Uluslararası Alüminyum Enstitüsü (IAI)* ve Mission Possible Partnership (MPP)** tarafından hazırlanan iki önemli uluslararası alüminyum karbonsuzlaştırma yol haritası çalışması birincil alüminyum üretimine odaklanmaktadır.



Türkiye birincil alüminyum sektörü için hazırlanan Düşük Karbonlu Yol Haritası'nda emisyon azaltımının 2030 yılına kadar %15,5, 2040 yılına kadar %87,7 ve 2053 yılına kadar %98,1 oranında gerçekleşeceği öngörülmektedir.

* IAI- Aluminium Sector Greenhouse Gas Pathways to 2050

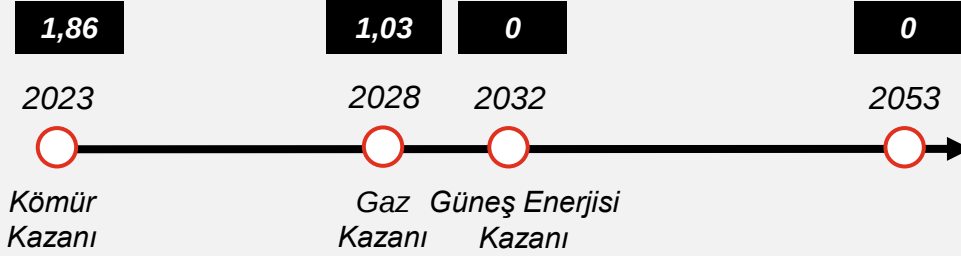
**MPP – Making Net-Zero Aluminium Possible

LCP ve FTS senaryoları farklı zaman dilimlerinde benzer şekilde dönüşmekle birlikte FTS senaryosunda teknolojiler daha erken devreye girmektedir

Düşük Karbonlu Yol Haritası Senaryosu (LCP)



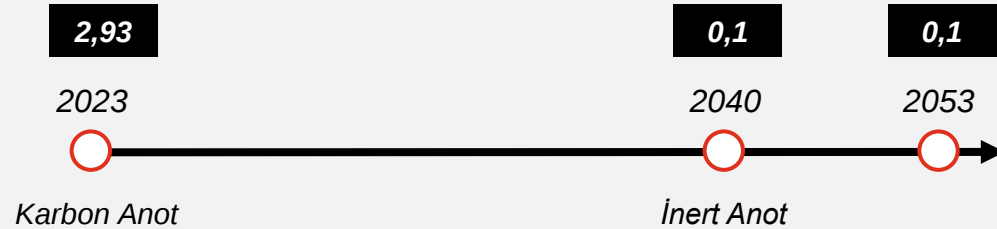
Kazan



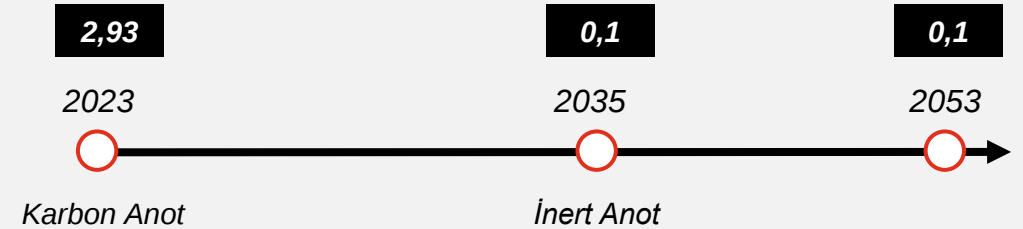
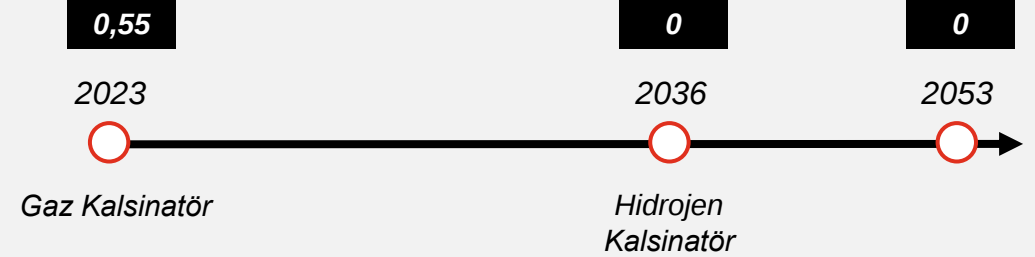
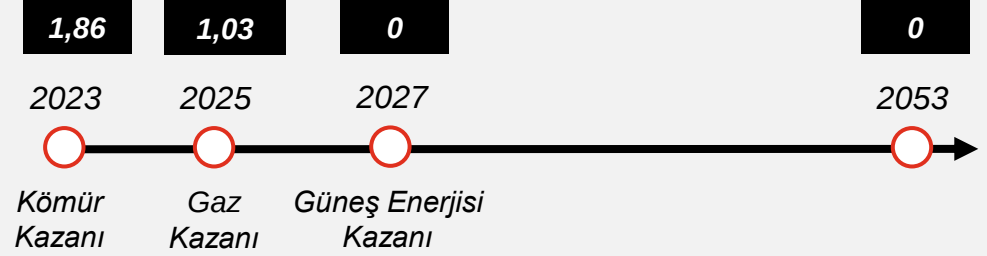
Kalsinatör



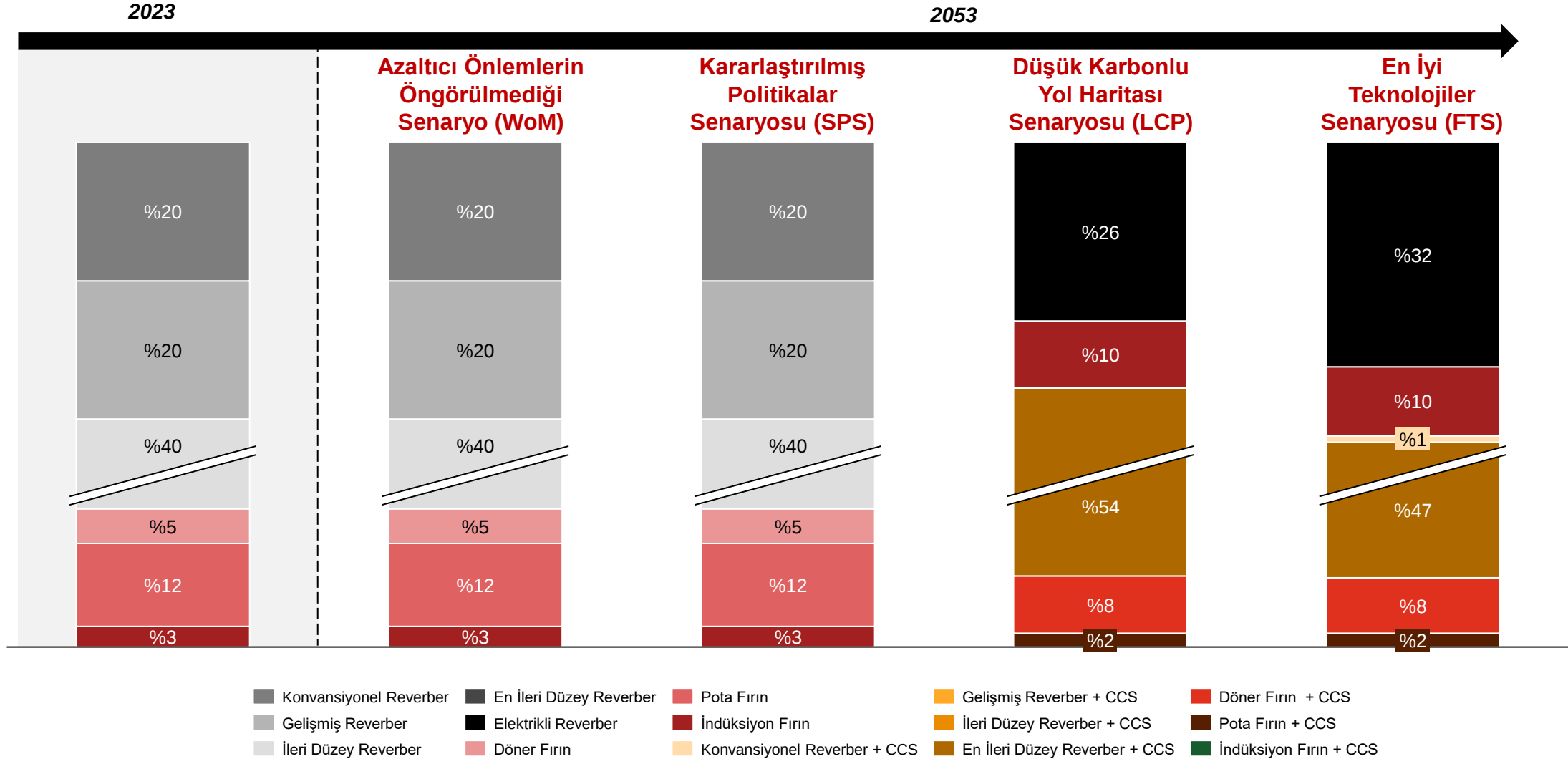
Anot



En İyi Teknolojiler Senaryosu (FTS)

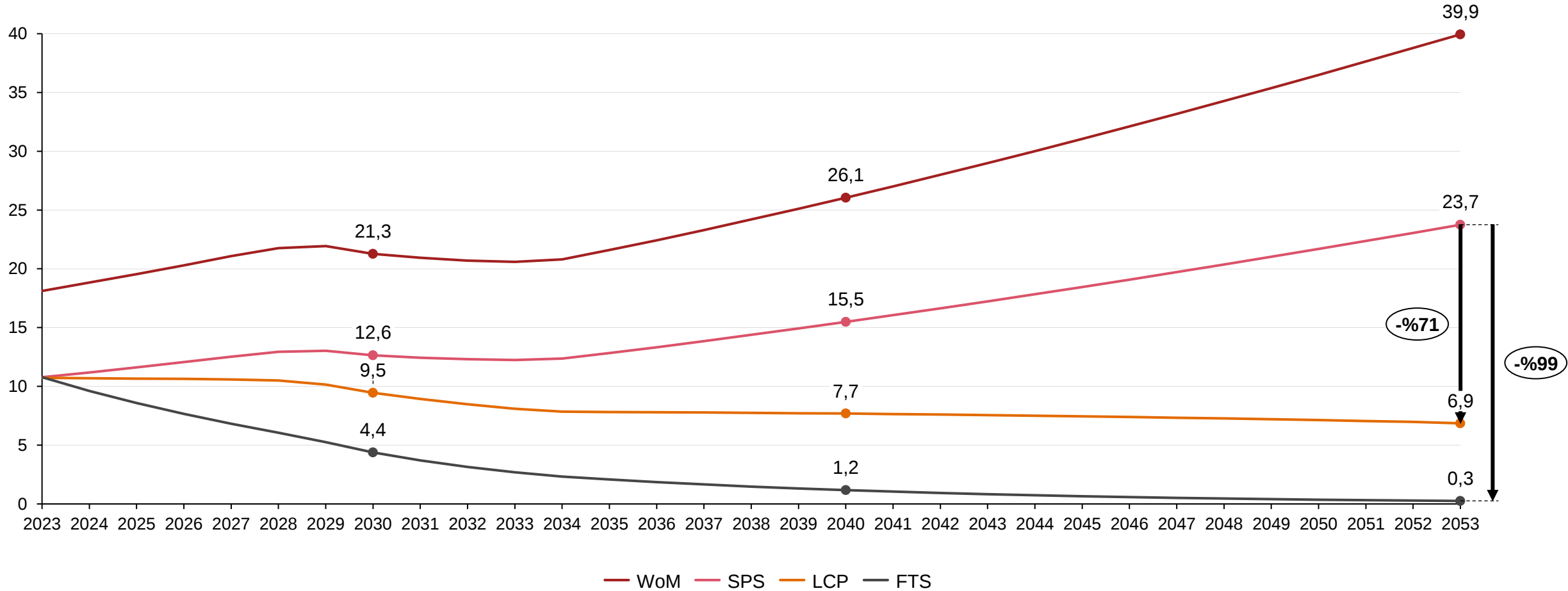


Azaltım senaryolarında en ileri seviye reverber fırınlarda CCS entegrasyonu yüksek paya sahipken, 2053 yılında elektrikli reverber fırın da öne çıkmaktadır



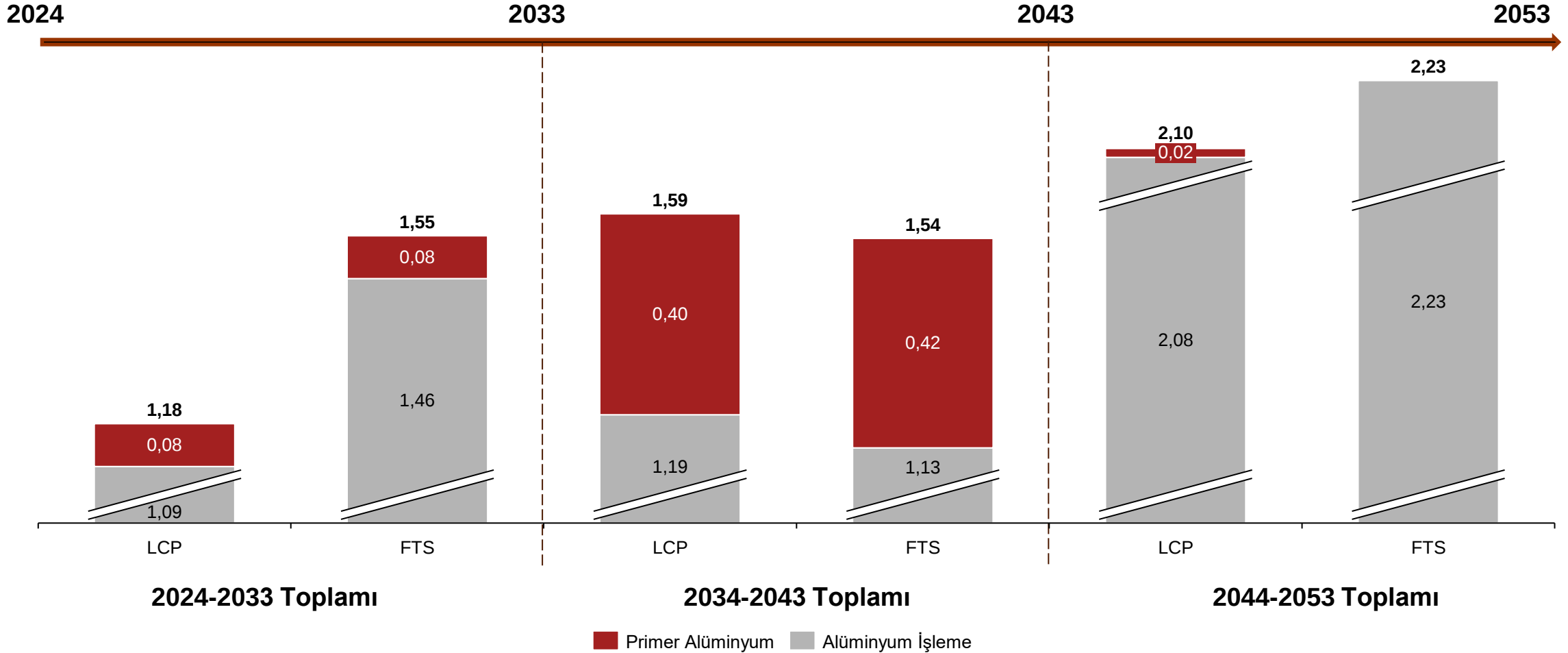
Hurda payında ve düşük emisyonu sahip ülkelerin ithalat payında artışla birlikte 2053 yılına kadar girdi kaynaklı kapsam 3 emisyonlarında %71 ila %99 arasında azalma olması beklenmektedir

Yıl ve Senaryolara Göre Girdi Kapsamlı Kapsam 3 Emisyonları (Milyon ton)



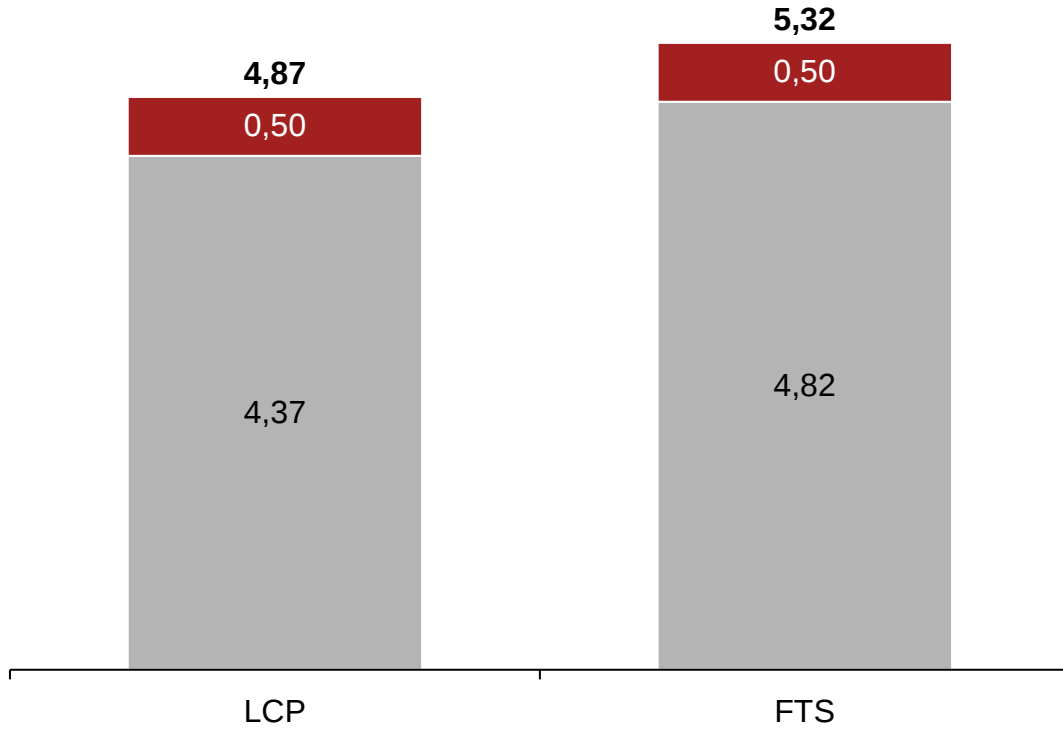
Alüminyum işleme aşamasına yönelik yatırımlar, önümüzdeki 30 yıl için LCP senaryosunda belirlenen toplam dönüşüm yatırımının yaklaşık %90'ını temsil etmektedir

Seçili Dönemlerde Senaryolara Göre Toplam Yatırım Gereksinimleri (Milyar Dolar)

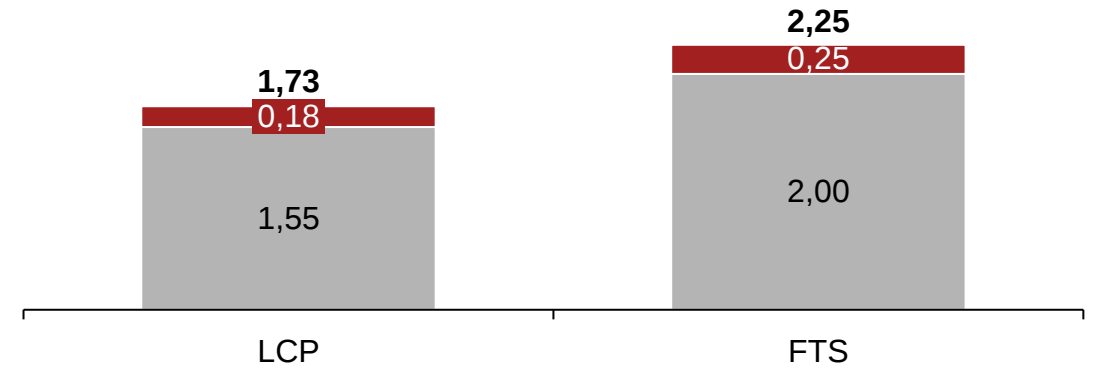


Önümüzdeki 30 yıl için toplam yatırımların net bugünkü değerinin azaltım senaryolarında 1,73-2,25 milyar dolar arasında olması beklenmektedir

Toplam Nominal Yatırım Bedeli
(2024-2053, Milyar Dolar)



Toplam Yatırımların Net Bugünkü Değeri
(2024-2053, Milyar Dolar)*



■ Birincil Alüminyum ■ Alüminyum İşleme

*Yatırım maliyetleri %7 iskonto oranı ile NBD olarak hesaplanmıştır.

Politika Önerileri - Ana Girdi Optimizasyonu

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Direkt Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Yakıt Değişimi (Yeşil Enerji)

Süreç İyileştirmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Birincil alüminyum üretimine kıyasla önemli ölçüde daha düşük emisyonu sahip olan alüminyum işlemede geri dönüştürülmüş hurda kullanımını artırmak için gerekli adımların atılması.
2. Boksit dışı kaynaklardan (alünit, kil gibi) metalürjik kalitede alümina üretimi ve mevcut boksit cevherinin zenginleştirilerek kullanılması için teknolojiler geliştirilmesi.
3. Türkiye'nin alüminyum hurdası ithalatının izlenmesi ve hurda alüminyum teminini destekleyecek, uluslararası kararlarla uyumlu stratejiler geliştirilmesi.
4. Alüminyum işlemede kullanılan ithal ingota gömülü emisyonları kontrol etmek ve azaltmak için, ingotun düşük emisyonlu ülkelere ve tedarikçilerden ithal edilmesi, tedarikçilerin emisyonlarını raporlamaya ve azaltmaya teşvik edilmesi.

Politika Önerileri - Direkt Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Direkt Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Yakıt Değişimi (Yeşil Enerji)

Süreç İyileştirmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Alümina rafinasyonu sürecindeki yakma işlemlerinde kullanılan kazanların daha az salım yapan kazan tipleriyle (örn. Doğal gaz ve güneş enerjisi ile çalışan kazanlar) değiştirilmesi ve bunların kullanımına yönelik fizibilite ve yatırım planları yapılması.
2. Alümina kalsinasyon sürecini tamamen dekarbonize etmek için tek seçenek olan fosil yakıtlardan elektrığe veya yeşil H₂'ye geçişin sağlanması.
3. En erken 2030'larda ticarileştirilmesi beklenen inert anot hücre teknolojisindeki gelişmelerin takip edilmesi ve gerekli fizibilite çalışmalarının yapılması.
4. Uçtan uca alüminyum üretim sürecinde oluşan atık ısının alternatif kullanımı için ısı geri kazanım sistemlerinin geliştirilmesi ve entegre edilmesi.
5. İkincil alüminyum üretiminde daha düşük emisyonlu fırınların kullanımına öncelik verilmesi ve şirketlerin, yüksek enerji ve metal verimliliğine sahip reverber fırınlara ve elektrik kullanan indüksiyon fırınlarına yatırım yapmaya teşvik edilmesi.

Politika Önerileri - Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Direkt Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Yakıt Değişimi (Yeşil Enerji)

Süreç İyileştirmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Türkiye'nin Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama (CCUS) kabiliyetini artırmak için; finansal (ör. yeşil yatırım araçlarının kullanımı), yasal (ör. taksonomi kullanan düzenleyici çerçeve) ve teknik altyapının (ör. Ar-Ge çalışmalarını ve ilgili girişimcilik faaliyetlerini yürütmek için fiziksel ve beşeri sermaye) güçlendirilmesi.
2. CCS teknolojisinin elektroliz hücrelerine ve alüminyum işlemede kullanılan fırınlara entegrasyonu yoluyla emisyondan tasarruf senaryosunun değerlendirilmesi.

Politika Önerileri - Yakıt Değişimi (Yeşil Enerji)

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Direkt Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Yakıt Değişimi (Yeşil Enerji)

Süreç İyileştirmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Alüminyum üretiminde ihtiyaç duyulan yenilenebilir enerjinin sağlanması amacıyla ulusal şebeke altyapısının güçlendirilmesi ve fosil yakıttan yeşil H₂'ye geçiş için özel sektöre destek sağlanması.
2. Alüminyum sektörü için yeşil H₂'yi ticari olarak kullanılabilir ve uygun maliyetli hale getirmek amacıyla mevcut ve uygun teknolojilerin tespit edilmesi ve ulusal düzeyde orta-uzun vadeli üretim ve tedarik planlamasının yapılması.
3. Birincil üretim ve ikincil ergitme süreçlerinde düşük emisyonlu küçük modüler nükleer reaktörlerin (SMR) kullanımının değerlendirilmesi.

Politika Önerileri - Süreç İyileştirmesi

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Direkt Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Yakıt Değişimi (Yeşil Enerji)

Süreç İyileştirmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Enerji verimliliğinin artırılması, üretimin en üst düzeye çıkarılması ve sera gazı emisyonlarının azaltılması için alüminyum tesislerinde enerji yönetim sistemleriyle entegre dijital izleme sistemlerinin kurulması ve bu doğrultuda modern, yenilikçi bakım yaklaşımlarının uygulanması.
2. Parametrelerin anlık izlenmesi için elektroliz hücrelerinde ve ergitme ünitelerinde gelişmiş otomasyon kullanılması.
3. Hurdanın toplanmasından ergitme dahil ayrıştırılmasına kadar ikincil alüminyum üretiminde enerji verimliliğini artıracak süreç ve yöntemlerin geliştirilmesi.

Politika Önerileri - Kapsayıcı İstihdam ve Becerileri

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Direkt Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Yakıt Değişimi (Yeşil Enerji)

Süreç İyileştirmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

1. Alüminyum sektörünün yeşil dönüşümünü teşvik etmek için gerekli olan yeni niteliklerin, becerilerin ve eğitimlerin - alt sektör ve bölge düzeyinde ayrıştırılarak - tespit edilmesi ve bunlara yatırım yapılması.
2. Alüminyum sektörü istihdamında herkes için fırsat eşitliğinin sağlanması.
3. İlgili eğitim müfredatının ve yükseköğretim programlarının belirlenen yeni beceri çerçevesine uyumlaştırılmasına yönelik çalışmaların yapılarak yeşil dönüşüm süreciyle ortaya çıkacak işgücü ihtiyacını karşılamaya yönelik eğitim programlarının hazırlanması ve uygulanması.

Politika & Pazar Politika Önerileri

Girdi & Teknoloji

Ana Girdi Optimizasyonu

Direkt Karbon Çıktısını Azaltan Teknolojiler

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri

Yakıt Değişimi (Yeşil Enerji)

Süreç İyileştirmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Politika & Pazar

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Döngüsel Ekonomi

Çelik sektörü Politika & Pazar eksenindeki politikalara ek olarak;

ETS

1. Azaltım hedeflerine ulaşmanın ekonomik maliyetini anlamak ve emisyon limitlerini belirlemek için (ETS / karbon fiyatlandırması kapsamında) alüminyum sektöründeki düşük karbonlu teknolojiler ve uygulamalar için marjinal azaltım maliyetleri (MAC) çalışması yapılması.

İş Birlikleri

1. Şirketlerin gönüllü olarak başvuracakları, uluslararası kabul görmüş standartların uygulanmasına yönelik iş birliği ve etkileşimlerin artırılması, şirketlerin uluslararası sektör kuruluşlarına (örneğin: International Aluminium Institute, European Aluminium Association, Aluminium Stewardship Initiative vb.) dahilîyetlerinin desteklenmesi.
2. Bakanlıklar, ticaret odaları, mühendislik odaları, üniversiteler ve STK'lar gibi ekosistem paydaşlarının katılımıyla alüminyum endüstrisinin düşük karbon yolundaki ilerlemesini takip için bir veri tabanı oluşturulması.

Döngüsel Ekonomi

1. Cüruftan metal geri kazanımı ve kalan atığın değerlendirilmesine yönelik yeşil teknolojilerin kullanılması.
2. Alumina üretiminde ortaya çıkan kırmızı çamurun içerisindeki değerli metal içeriklerinin geri dönüşümüne yönelik çalışmalar yapılması.
3. Alüminyum girdileri kullanan son kullanıcı sektörlerinin karbonsuzlaştırılmasına katkıda bulunmak için yüksek kaliteli, katma değerli, uzun ömürlü ve geri dönüştürülebilir alüminyum ürünleri geliştirme projelerinin desteklenmesi ve son kullanıcı sektörlerden alüminyum hurda kazanımına yönelik çalışmalar yapılması.
4. Alüminyum tesislerinde ortaya çıkan yan ürün ve atık yönetimine ilişkin yöntemlerin ve uygulamaların geliştirilmesi.

Yeşil Çimento



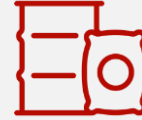
Çimento sektörünün düşük karbon yol haritasının oluşması için yedi ana karbonsuzlaşma kaldırıcısı ele alınmıştır

CO₂ Emisyonları

Yanma Kaynaklı
Emisyonların Azaltılması



Proses Kaynaklı
Emisyonların Azaltılması



Elektrik Kullanımı Sonucu
Oluşan Emisyonların
Azaltılması



Toplam Emisyonların
Azaltılması



Karbonsuzlaşma Kaldırıcıları

1 Termal Verimlilik

2 Yeni ve Alternatif Yakıtların Kullanılması

3 Klinker/Çimento Oranının Düşürülmesi

4 Elektriğin Karbonsuzlaştırılması

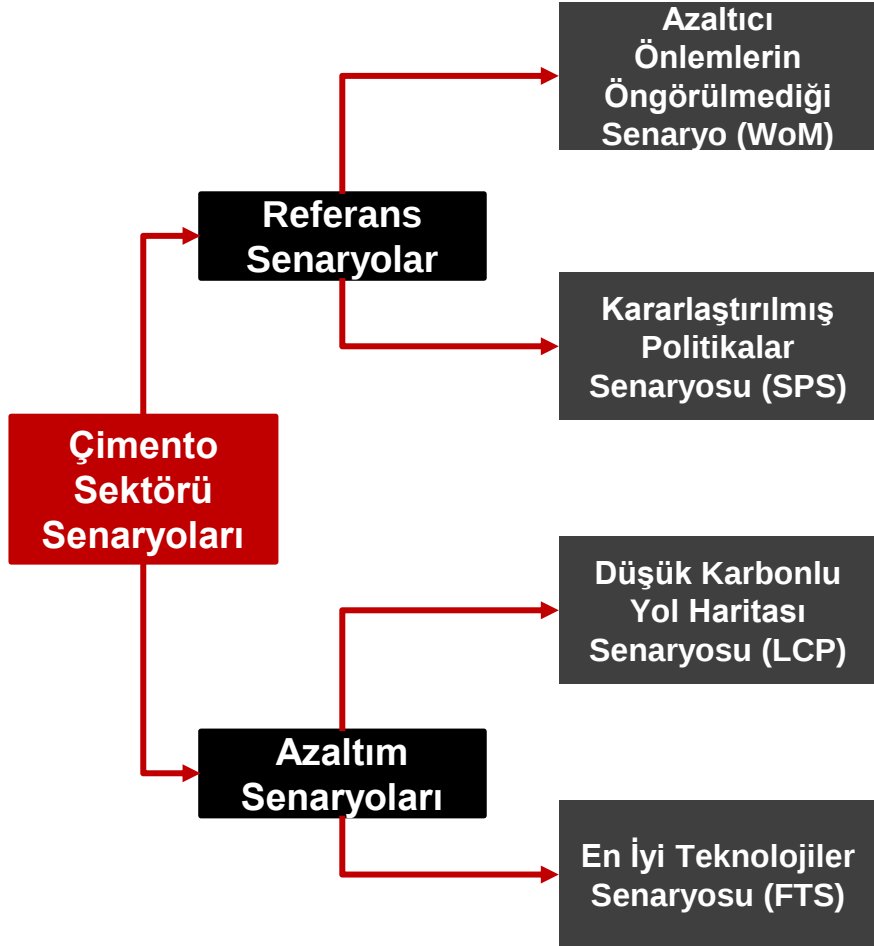
5 Beton, Tasarım ve İnşaat Malzeme Verimliliği

6 Rekarbonasyon (CO₂ Yutağı)

7 CCUS (Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama)

Çimento
Üretimi

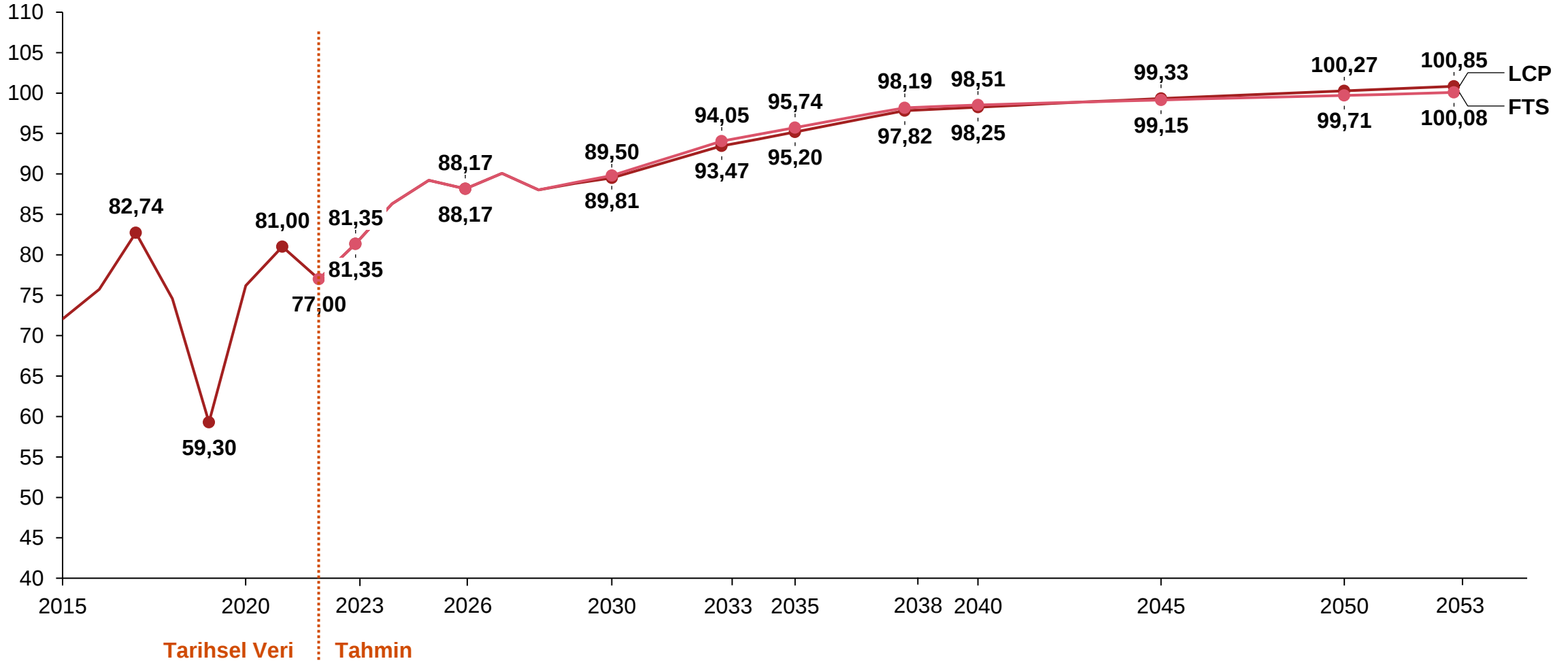
Model kapsamında iki referans ve iki azaltım olmak üzere dört farklı senaryo oluşturulmuştur



ETS	Dönüşüm	Emisyon Hedefi	Politikalar
ETS'nin olmadığı senaryo	Teknolojik dönüşüm yok	Emisyon azaltım hedefi yok	Emisyon azaltım politikası yok
Türkiye ETS < AB ETS	Teknolojik dönüşüm yok	Emisyon azaltım hedefi yok	Emisyon azaltım politikalarının uygulanması
Türkiye ETS < AB ETS	Optimal teknolojik dönüşüm, rekarbonasyon aracılığıyla emisyon azaltımı	2053'e kadar maliyet etkin emisyon azaltımı ile net sıfır hedefi	Emisyon azaltım politikalarının uygulanması
Türkiye ETS = AB ETS	Agresif teknolojik dönüşüm, rekarbonasyon aracılığıyla emisyon azaltımı	2053'e kadar maliyet etkin emisyon azaltımı ile net sıfır hedefi	Emisyon azaltım politikalarının uygulanması

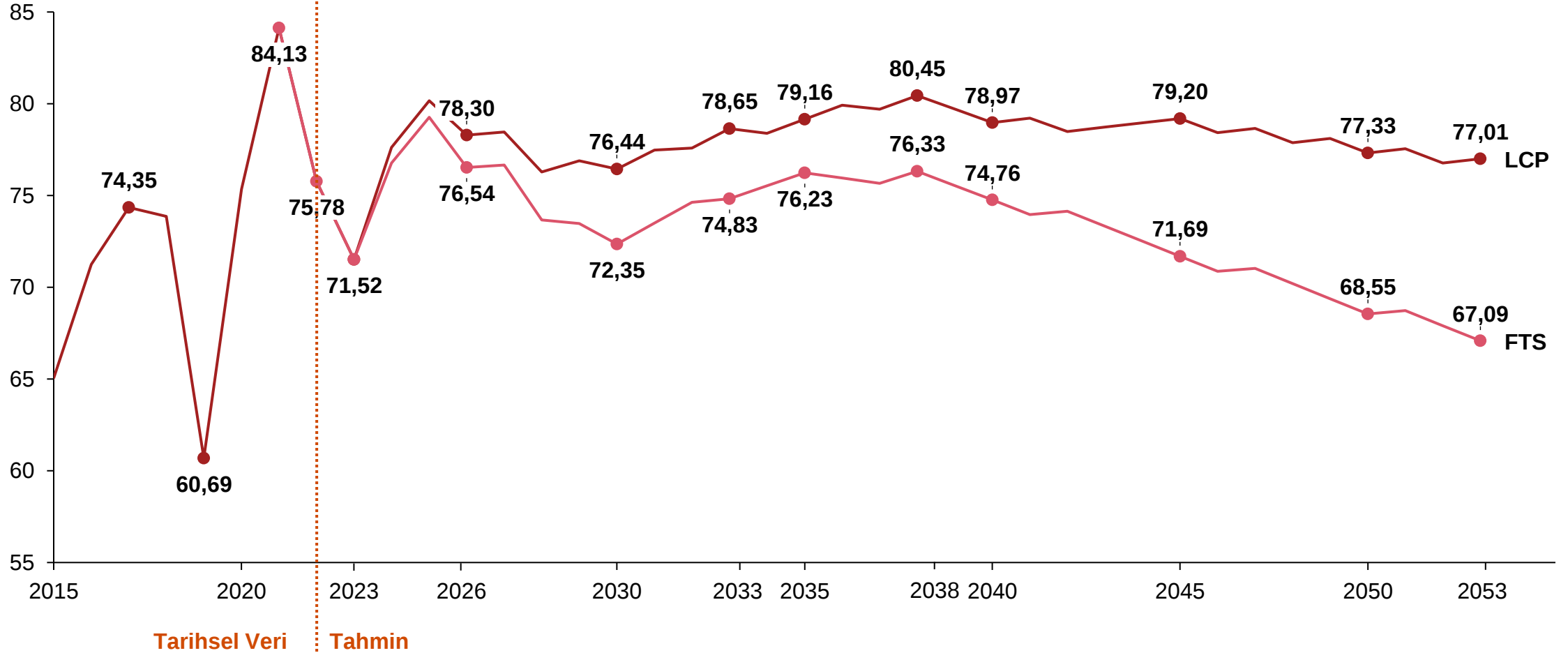
İç talep ve ihracattaki artışı takiben toplam çimento üretimi 2053 yılında optimal senaryoda 100 milyon ton seviyesine ulaşacaktır

Toplam Çimento Üretimi Tahmini (Milyon Ton)



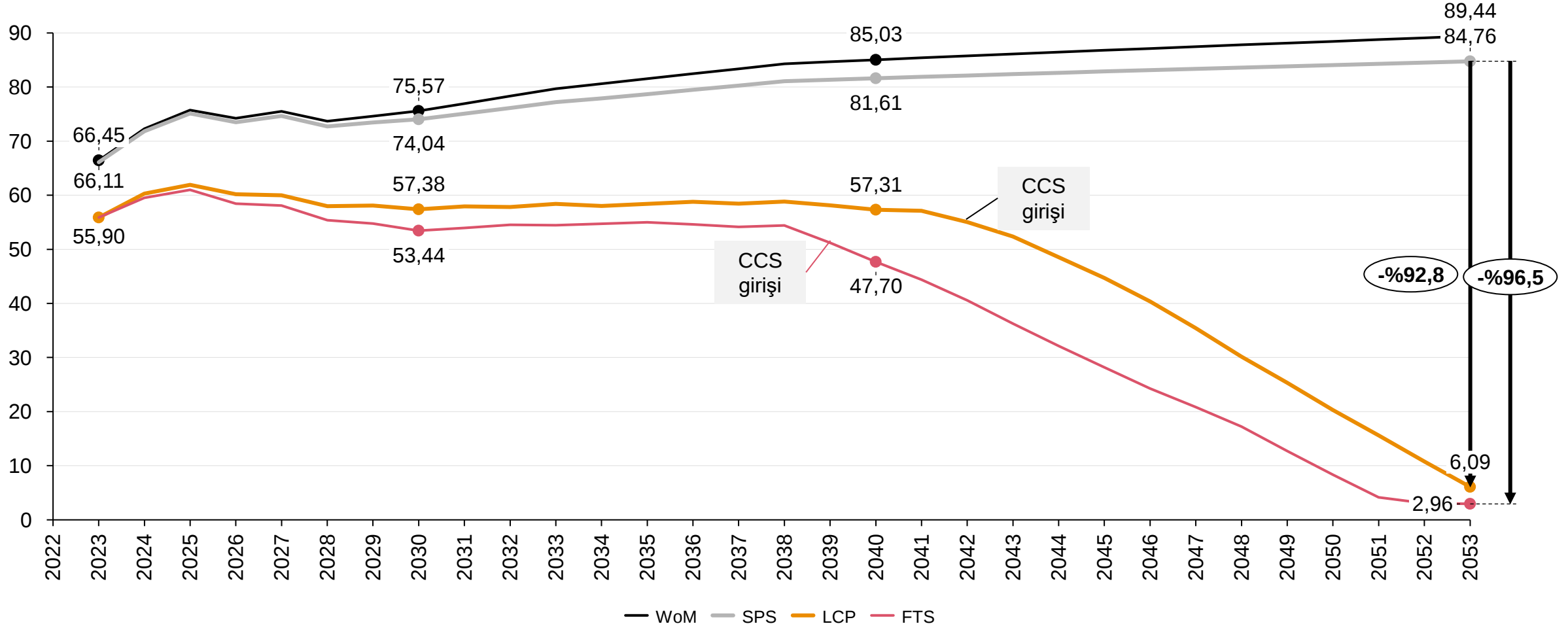
Çimento iç talebinde ve ihracatında artış öngörüsüne rağmen klinker/çimento oranının düşmesi nedeniyle toplam klinker üretim ihtiyacının 80 mt'un altında kalması beklenmektedir

Toplam Klinker Üretimi Tahmini (Milyon Ton)



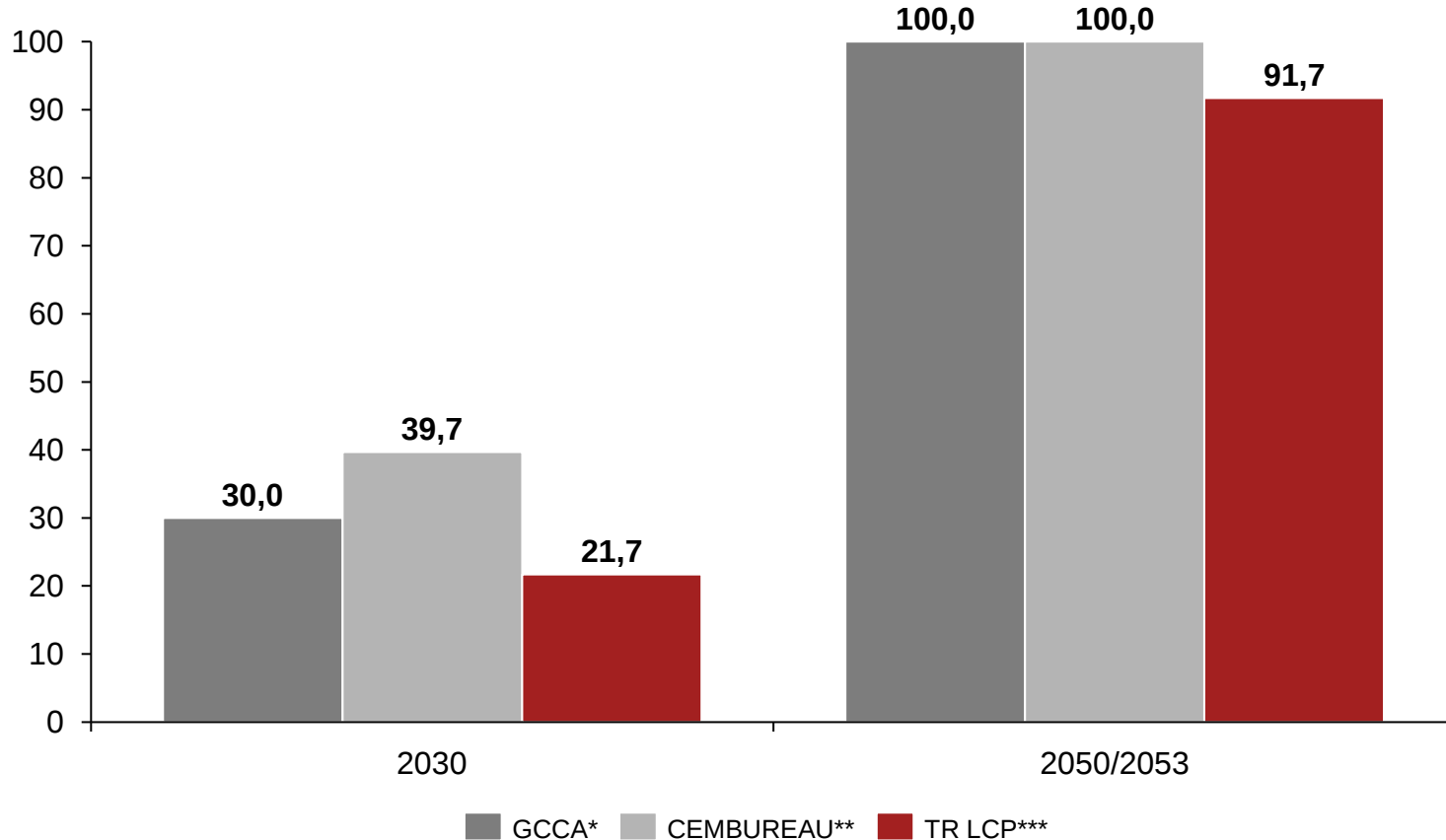
Optimal senaryoda (LCP), 2053 yılında çimento sektöründen kaynaklanan emisyonların SPS'ye kıyasla ~%93 oranında azalacağı tahmin edilmektedir

Emisyonlar (Milyon Ton CO₂)



Türkiye'nin LCP senaryosundaki emisyonların 2021 emisyonlarına kıyasla ~%92 oranında azalacağı öngörülmektedir

Çimento Sektöründe Emisyon Azaltım Hedefleri (%, emisyon azaltımı)



Bu raporda kıyaslama amacıyla Küresel Çimento ve Beton Birliği (GCCA)* ve Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREAU)** tarafından hazırlanan iki önemli uluslararası çimento dekarbonizasyon yol haritası çalışmasına atıfta bulunulmuştur.



Düşük Karbonlu Yol Haritası Senaryosunda (LCP), 2021 emisyonlarına kıyasla 2030, 2040 ve 2053 yıllarında sırasıyla %21,7, %21,8 ve %91,7 emisyon azaltımı beklenmektedir. Çimento sektöründe net sıfır emisyon seviyelerine yaklaşmak ancak karbon yakalama, kullanma ve depolama teknolojilerinin uygulanması ile mümkündür.

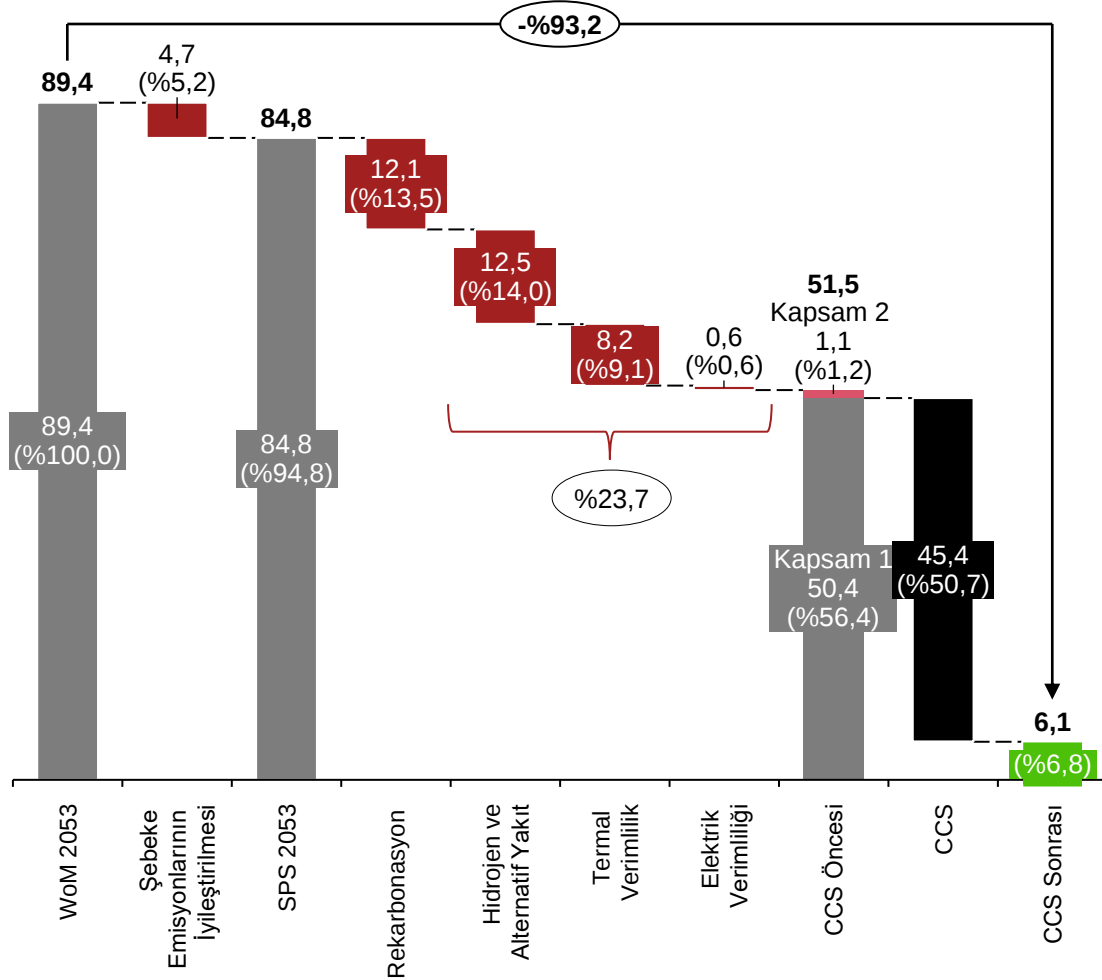
* GCCA. The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete - 2020 Baz Yılı ile karşılaştırıldığında, çimento değer zinciri boyunca emisyon azaltımı.

** CEMBUREAU. Reaching Climate Neutrality Along The Cement and Concrete Value Chain By 2050. - 1990 Emisyonu ile karşılaştırıldığında, çimento değer zinciri boyunca emisyon azaltımı.

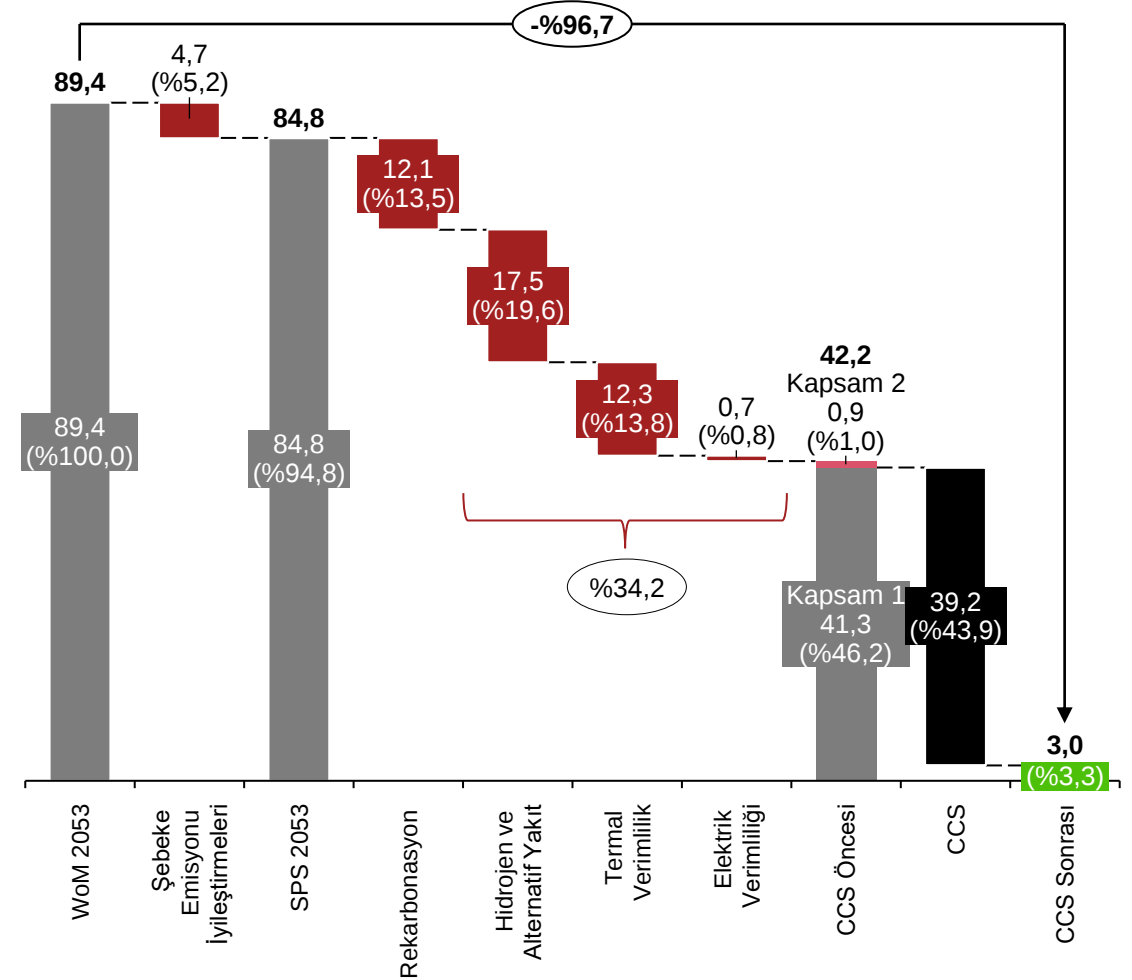
*** 2021 Emisyonları ile karşılaştırıldığında emisyon azaltımı

2053 yılında WOM senaryosuna kıyasla LCP ve FTS senaryolarında CCS kullanımının toplam emisyonlarda sırasıyla %50,7 ve %43,9'luk azalmaya katkıda bulunacağı tahmin edilmektedir

LCP Senaryosu – Emisyonlar (Mt)



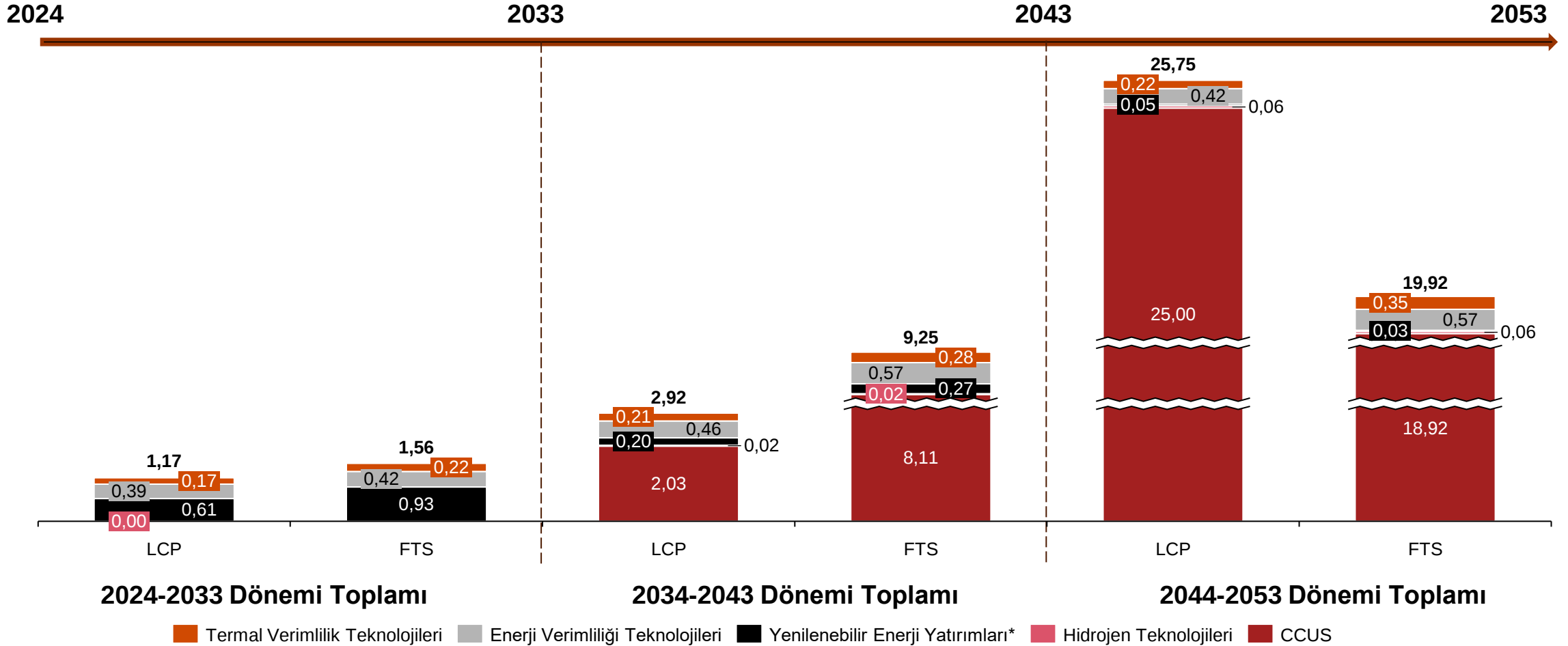
FTS Senaryosu – Emisyonlar (Mt)



- Beton, tasarım ve inşaat malzeme verimliliği kaldırıcının etkisi, LCP ve FTS senaryolarındaki çimento talep projeksiyonlarına dahil edilmiştir.
- Emisyon değerleri Kapsam 1 + Kapsam 2 emisyonlarını temsil etmektedir. CCS etkisi sadece Kapsam 1 emisyonları içindir.

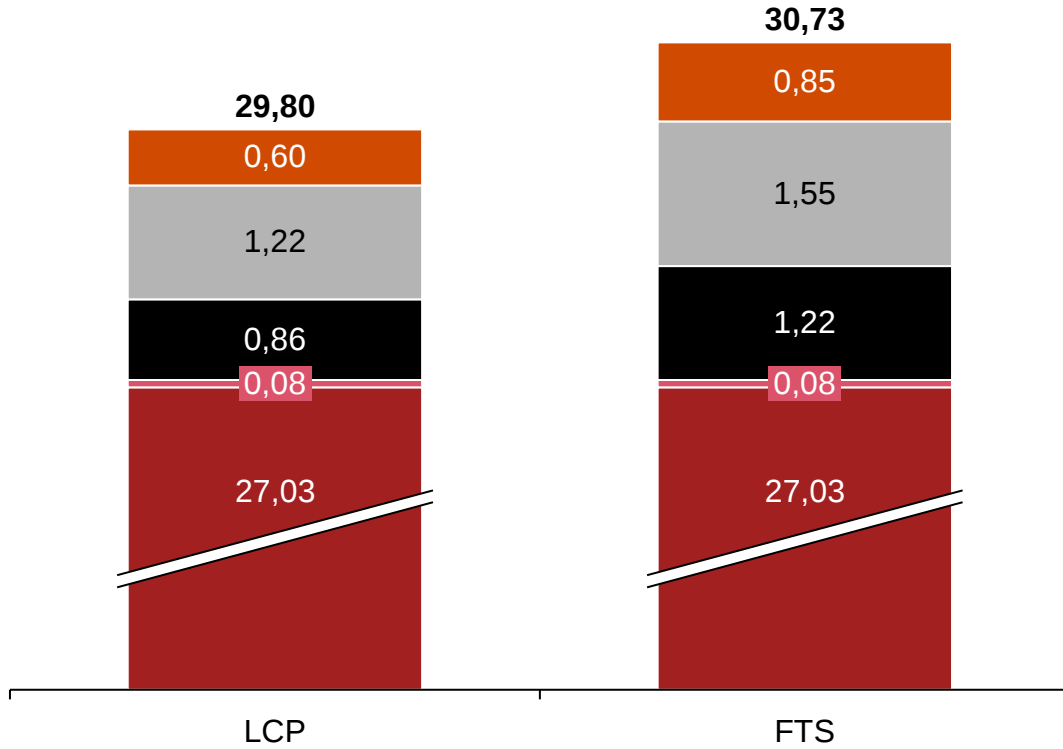
CCS'nin devreye girmesiyle birlikte LCP'deki toplam yıllık yatırım ihtiyacının 2044-2053 döneminde ~25 milyar dolara yükselmesi beklenmektedir

Senaryolara Göre Seçilmiş Dönemler için Toplam Yatırım Gereksinimi (Milyar Dolar)

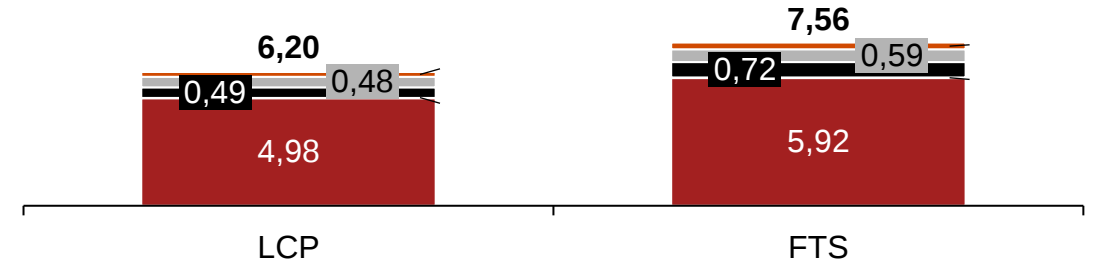


Azaltım senaryolarında toplam yatırımlarımın net bugünkü değerinin 6,2 - 7,6 milyar dolar arasında olacağı öngörülmektedir

Toplam Yatırımlar
(2024-2053, Milyar Dolar)



Toplam Yatırımların Net Bugünkü Değeri
(2024-2053, Milyar Dolar)**



Termal Verimlilik Teknolojileri Enerji Verimliliği Teknolojileri Yenilenebilir Enerji Yatırımları* Hidrojen Teknolojileri CCUS

*RES, GES ve WHR yatırımları

**Yatırım maliyetleri NBD olarak hesaplanırken iskonto oranı %7 alınmıştır.

Politika Önerileri - Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Karbon Yakalama, Kullanma ve
Depolama Teknolojileri (CCUS)

Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Alternatif Yakıt Kullanımı

Yeşil Enerji

Proses İyileştirilmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

İnşaatta Malzeme Verimliliği

Rekarbonasyon

Ar&Ge

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Endüstriyel Simbiyoz

Politika & Pazar

1. Ülke genelinde klinker ikamesinde kullanılabilecek, çimentomsu diye adlandırabilecek doğal (puzolan), yan ürün (yüksek fırın cürufu ve kül) ve atık malzemelere ilişkin kaynak haritalamasına yönelik çalışmalar yapılması
2. Yüksek fırın cürufu ve uçucu külün Türkiye içindeki çimento fabrikalarında kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmaların yürütülmesi
3. Türkiye'de olası kalsine kil yatırımının ve kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmaların yürütülmesi ve bu çalışmalar ile beraber olası kalsine kil kaynaklarının detaylandırılması
4. Çimento katkısı olarak kullanılabilecek alternatif malzemelerin kullanımının yaygınlaştırılması

Politika Önerileri - Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)

Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Alternatif Yakıt Kullanımı

Yeşil Enerji

Proses İyileştirilmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

İnşaatta Malzeme Verimliliği

Rekarbonasyon

Ar&Ge

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Endüstriyel Simbiyoz

Politika & Pazar

1. Türk çimento sektöründe karbon yakalama ve kullanma kapasitesinin artırılmasına yönelik faaliyetlerin gerçekleştirilmesi
2. Çimento sektörünün kullanımına açık kamu ve/veya özel bölgesel karbon taşıma ve depolama ağının oluşturulması
3. Çimento içerikli malzemelerde karbon kürü veya enjeksiyonu yoluyla karbon kullanımı yöntemlerinin araştırılması ve teknolojilerin geliştirilmesi

Politika Önerileri - Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)

Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Alternatif Yakıt Kullanımı

Yeşil Enerji

Proses İyileştirilmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

İnşaatta Malzeme Verimliliği

Rekarbonasyon

Ar&Ge

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Endüstriyel Simbiyoz

Politika & Pazar

1. Yeni kurulacak atık ısı geri kazanımı (WHR) tesisleri için mevcut teşvik sistemlerinin geliştirilmesi

Politika Önerileri - Alternatif Yakıt Kullanımı

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)

Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Alternatif Yakıt Kullanımı

Yeşil Enerji

Proses İyileştirilmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

İnşaatta Malzeme Verimliliği

Rekarbonasyon

Ar&Ge

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Endüstriyel Simbiyoz

Politika & Pazar

1. Endüstriyel ATY (RDF) tedarikinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması
2. Büyükşehir Belediyesi/Belediye katı atık sahalarında, katı atıklardan evsel ATY üretiminin sağlanması için biyolojik kurutma prosesini içeren Mekanik-Biyolojik İşleme (MBT) tesisleri kurulmasının değerlendirilmesi
3. Büyükşehir belediyeleri, OSB'ler ve sanayi tesisleri atıksu arıtma tesislerinden çıkan kurutulmuş arıtma çamurlarının çimento sektöründe kullanılmasının sağlanması
4. Limanlarda gemilerden kaynaklanan sintine ve slaç gibi sıvı atıkların susuzlaştırılarak çimento sektöründe kullanımının yaygınlaştırılması
5. Alternatif yakıtların biyokütle analizlerinin yapılması amacıyla yetkilendirilmiş laboratuvarların kurulmasının sağlanması
6. Zorunlu enerji etütleri ve kıyaslama çalışmaları kapsamında alternatif yakıt oranının artırılması için mali veya finansal desteklerin geliştirilmesine ilişkin faaliyetlerin yürütülmesi
7. Alternatif yakıtların kullanım oranlarının artırılması için kapalı alternatif yakıt stok alanı ve besleme sistemleri yatırımlarının yapılması

Politika Önerileri - Yeşil Enerji

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)

Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Alternatif Yakıt Kullanımı

Yeşil Enerji

Proses İyileştirilmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

İnşaatta Malzeme Verimliliği

Rekarbonasyon

Ar&Ge

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Endüstriyel Simbiyoz

Politika & Pazar

1. Termal enerji için yeşil enerji kaynaklarının (hidrojen) ve teknolojilerinin (plazma, mikrodalga vb.) kullanılmasına yönelik çalışmaların yaygınlaştırılması
2. Çimento sektörü için yeşil hidrojenin ticari olarak kullanılabilir ve uygun maliyetli hale getirilmesi için mevcut ve uygun teknolojilerin tespit edilmesine yönelik çalışmaların yürütülmesi
3. Çimento sektörü özelinde değerlendirme çalışmaları yapılarak yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılmasının sağlanması

Politika Önerileri - Proses İyileştirilmesi

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)

Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Alternatif Yakıt Kullanımı

Yeşil Enerji

Proses İyileştirilmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

İnşaatta Malzeme Verimliliği

Rekarbonasyon

Ar&Ge

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Endüstriyel Simbiyoz

Politika & Pazar

1. Çimento fabrikalarının CO₂ azaltımına yönelik mevcut en iyi tekniklere (MET) uyumlarının artırılmasına yönelik kıyaslama çalışmalarına devam edilmesi
2. Çimento döner fırın ısı gücü tüketiminin (kcal/kg klinker) azaltılmasına yönelik kıyaslama ve denetim çalışmalarının sürdürülmesi.
3. Çimento üretim süreçlerinde karbon salımını en aza indirecek teknolojik dönüşüm çözümlerinin geliştirilmesi
4. Çimento sektöründe elektrik enerjisi tüketiminin (kWh/ton çimento) azaltılmasına yönelik kıyaslama ve değerlendirme çalışmalarına devam edilmesi.

Politika Önerileri - Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)

Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Alternatif Yakıt Kullanımı

Yeşil Enerji

Proses İyileştirilmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

İnşaatta Malzeme Verimliliği

Rekarbonasyon

Ar&Ge

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Endüstriyel Simbiyoz

Politika & Pazar

1. Çimento sektöründe herkes için fırsat eşitliği sağlanarak kadınlar ile diğer özel politika gerektiren grupların istihdamının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması
2. Çimento sektöründe yeşil dönüşüm süreci kapsamında yeni nitelik ve becerilere sahip işgücünün yetiştirilmesine yönelik çalışmaların yürütülmesi
3. Yeşil ve dijital dönüşüm konusunda sektör paydaşlarının farkındalıklarının artırılması amacıyla karbon azaltımıyla ilgili gelişim programlarının hazırlanması ve uygulanması
4. Yeşil dönüşüm sürecinin gerektirdiği işgücü ihtiyacı doğrultusunda gerekli eğitim programlarının hazırlanması ve uygulanması

Politika Önerileri - İnşaat Malzeme Verimliliği

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)

Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Alternatif Yakıt Kullanımı

Yeşil Enerji

Proses İyileştirilmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

İnşaat Malzeme Verimliliği

Rekarbonasyon

Ar&Ge

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Endüstriyel Simbiyoz

Politika & Pazar

1. Hazır beton üretiminde ve inşaat sahalarında düşük karbonlu çimentonun kullanımının ve verimliliğinin önceliklendirilmesi

Politika Önerileri - Rekarbonasyon

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması

Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)

Atık Isı Enerji Geri Kazanımı

Alternatif Yakıt Kullanımı

Yeşil Enerji

Proses İyileştirilmesi

Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler

İnşaatta Malzeme Verimliliği

Rekarbonasyon

Politika & Pazar

Ar&Ge

ETS

Ticaret Modeli

Ulusal Politika Belgeleri

Yeşil Dönüşüm Finansmanı

İş Birlikleri

Endüstriyel Simbiyoz

1. Çimento üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında ve doğrulanmasında CO₂ yutağı olarak rekarbonasyonun (yeniden karbonatlaşma) dahil edilmesine yönelik çalışmaların yapılması

Politika & Pazar Politika Önerileri

Girdi & Teknoloji

Çimento Üretiminde Klinker Kullanımının Azaltılması
Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCUS)
Atık Isı Enerji Geri Kazanımı
Alternatif Yakıt Kullanımı
Yeşil Enerji
Proses İyileştirilmesi
Kapsayıcı İstihdam ve Beceriler
İnşaatta Malzeme Verimliliği
Rekarbonasyon

Politika & Pazar

Ar&Ge
ETS
Ticaret Modeli
Ulusal Politika Belgeleri
Yeşil Dönüşüm Finansmanı
İş Birlikleri
Endüstriyel Simbiyoz

Çelik ve Alüminyum sektörü Politika & Pazar eksenindeki politikalara ek olarak;

Ar-Ge

1. Düşük karbonlu beton ve çimento üretimi için yenilikçi bağlayıcıların araştırılması ve uygulama projelerinin desteklenmesi

ETS

1. SKDM kapsamında emisyon ölçüm ve raporlama esasları belirlendiğinde bu alandaki uygulamalarımızın AB nezdinde tanınırlığının sağlanması için girişimlerde bulunulması

Ulusal Politika Belgeleri

1. Kamu ve özel sektörün düşük karbonlu çimento kullanımını teşvik edecek düzenlemeler yapılması

İş Birlikleri

1. İlgili kamu kurumları, bağlı kuruluşları ve üniversiteler ile çimento fabrikaları arasındaki iş birliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması

Endüstriyel Simbiyoz

1. Endüstriyel simbiyoz ağı oluşturularak farklı endüstrilere ait atık ve yan ürünlerin çimentoda kullanım açısından analiz edilmesi ve kullanıma uygun olanların belirlenmesi

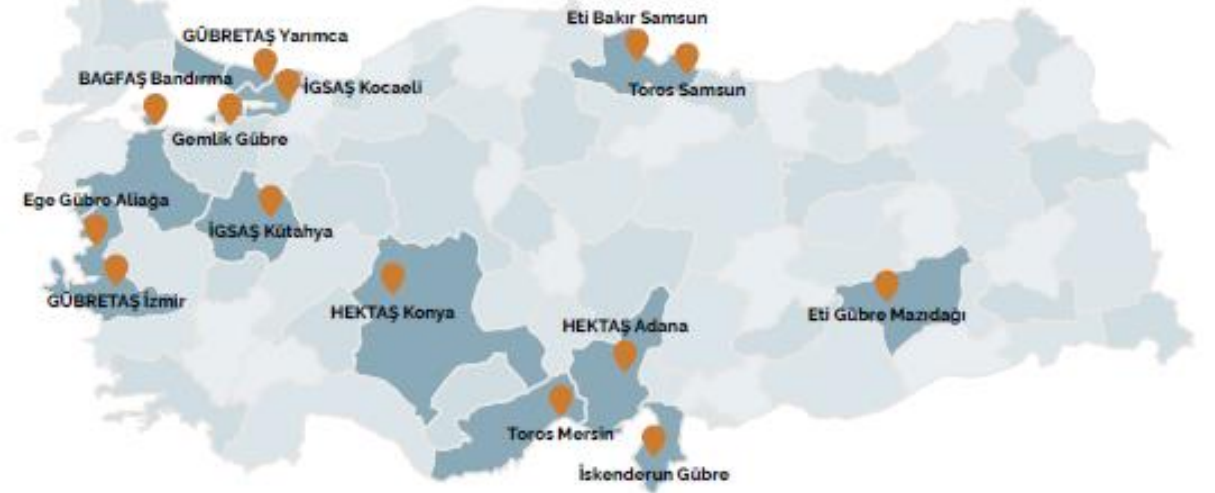
Yeşil Gübre



Mevcut Durum ve Senaryolar

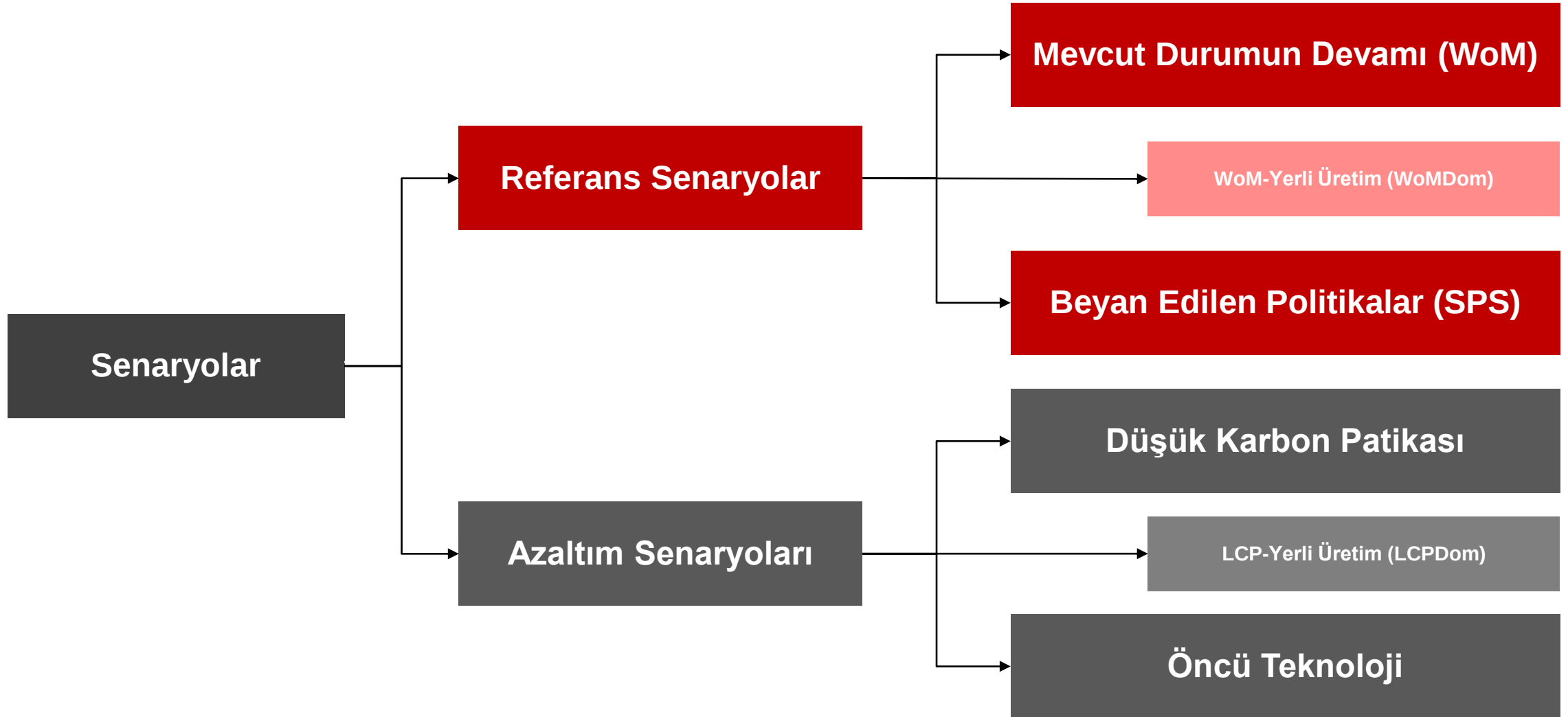
Gübre Sektörünün Mevcut Durumu

- Artan gübre kullanımı
- Üretim, tüketimi karşılamıyor
- %90-95 ithal hammaddeye bağımlılık
- Tesislerin büyük kısmı eski (45+ yaş)
- Tesislerin enerji/emisyon yoğunluğu yüksek





Senaryolar



Modelin Yapısı

Çok dönemli doğrusal programlama modeli: [TR-Gübre]

Amaç Fonksiyonu

- 2020-2053 planlama ufku boyunca toplam indirgenmiş maliyetin en aza indirilmesi

Kısıtlamalar: Maliyetler

- Yatırım maliyeti
- İşletme ve bakım maliyeti
- Girdi malzemelerinin maliyeti
- Emisyonların maliyeti

Kısıtlamalar: Arz-Talep Dengesini

- Gübre türleri
- Kritik girdiler
- N, P, K eşdeğerleri
- İthalat için ayrı hesaplama

Kısıtlamalar: Üretim Prosesleri

- Her gübre türü için girdi-çıktı matrisleri
- Her kritik girdi için girdi-çıktı matrisleri

Kısıtlamalar: Yatırımlar

- Gübre üretimi için yeni eklenen kapasiteler
- Kritik girdi üretimi için yeni eklenen kapasiteler

Kısıtlamalar: Emisyonlar

- Her bir proses ve gübre için detaylı emisyon hesaplaması
- Azaltım senaryoları için emisyon kısıtlamaları
- Gölge fiyatların hesaplanması

GAMS Optimizasyon Yazılımı

2020 - 2053

Çıktılar

Her senaryo altında
optimum teknoloji yolu

- Her bir gübre türü için yıllık maliyetler
- Sektörün toplam indirgenmiş maliyeti

Emisyon projeksiyonları

Yatırım ihtiyacı

Enerji ihtiyacı

Her bir hammadde için talep

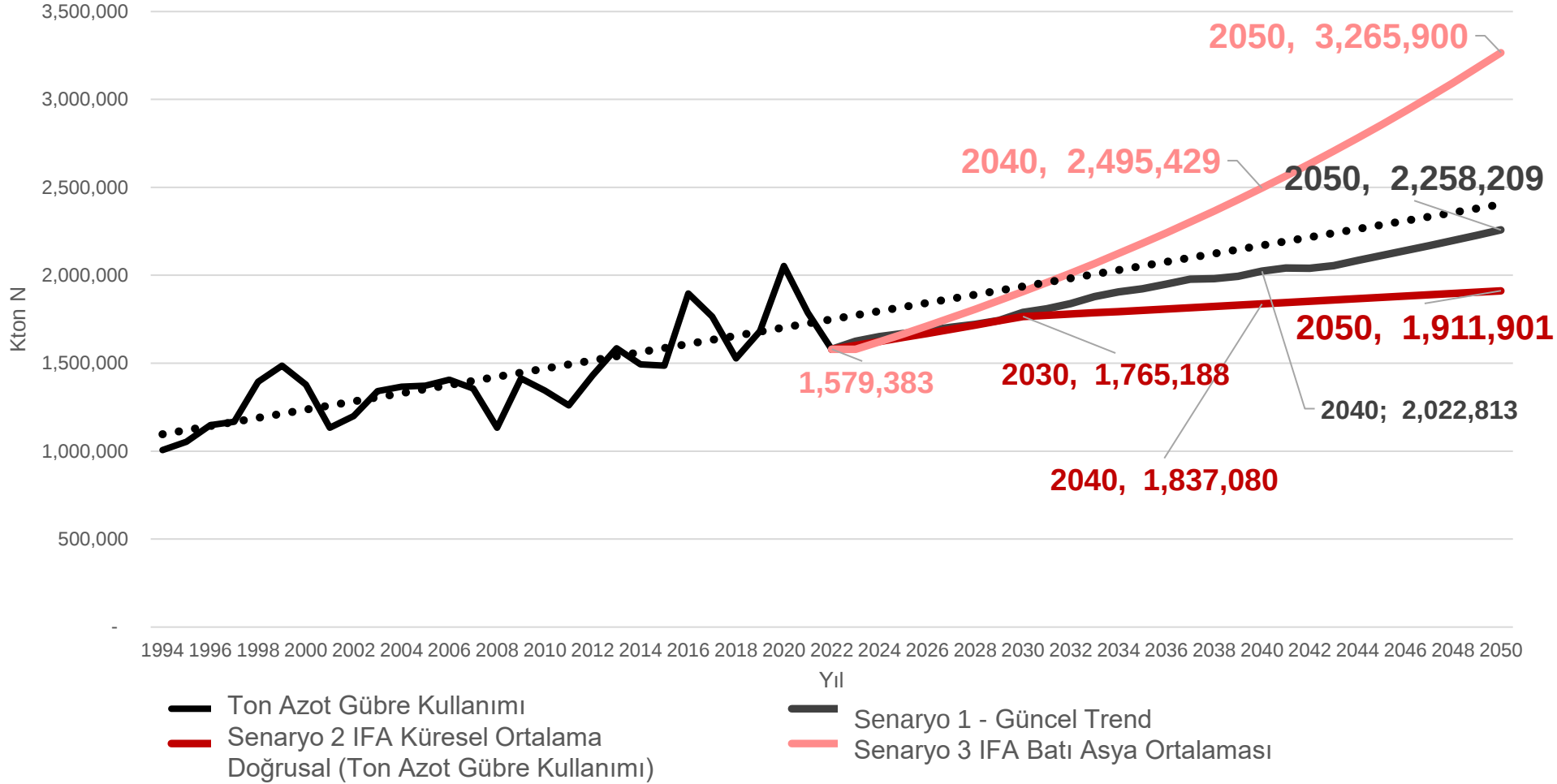
Modelin Yapısı

Senaryolarda Kullanılan Düşük Karbonlu Teknolojiler	Faz 1 (2024-2025)	Faz 2 (2026-2038)	Faz 3 (2039-2053)
N ₂ O Katalitik Azaltma Sistemi Kurulumu/Yenilenmesi	●	●	
Yeşil Amonyak		●	●
Mavi Amonyak		●	●
Elektrifikasyon		●	●
Enerji Verimliliği	●	●	●
Şebeke Elektrik Emisyon Faktörü	●	●	●
Üreticiler Tarafından Yerinde Yenilenebilir Enerji Üretimi/Tüketimi		●	●
Gübre Kullanım Verimliliği	●	●	●
Organik/OM Gübre Tüketimi	●	●	●
Boru Hattına Hidrojen Enjeksiyonu		●	



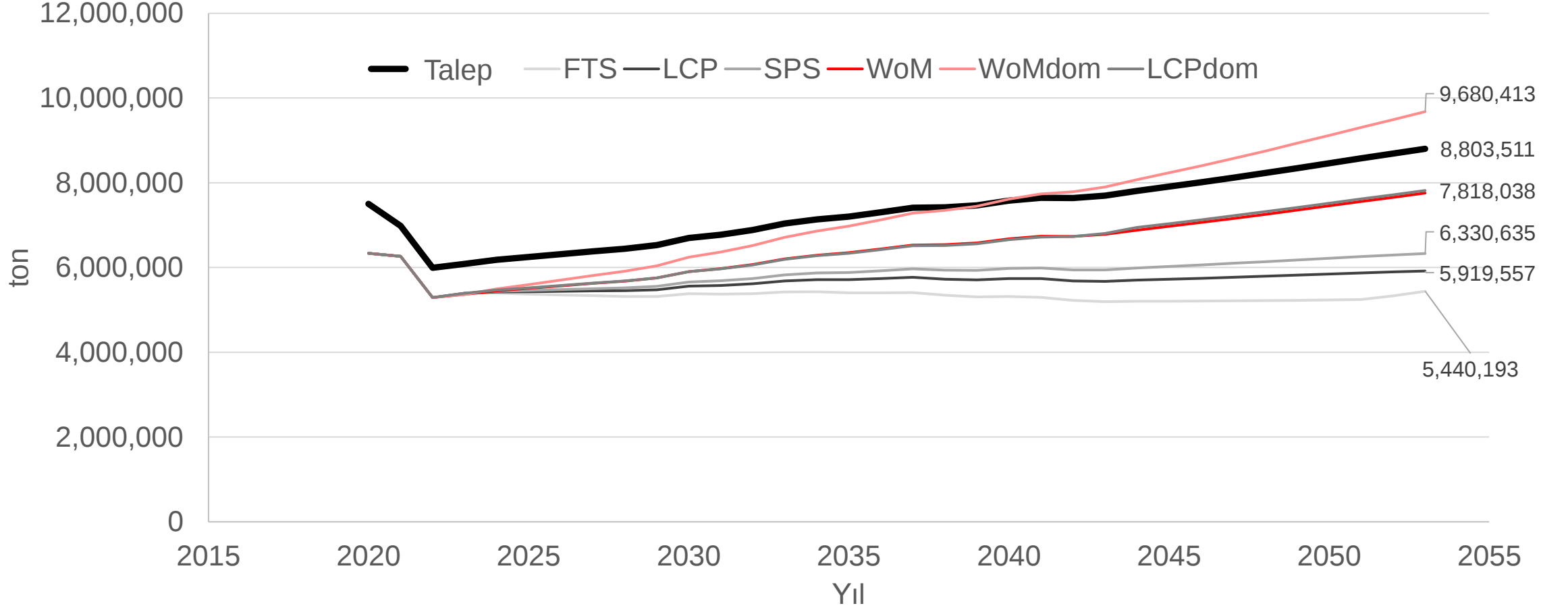
Modelin Yapısı

Azot Talep Tahmini

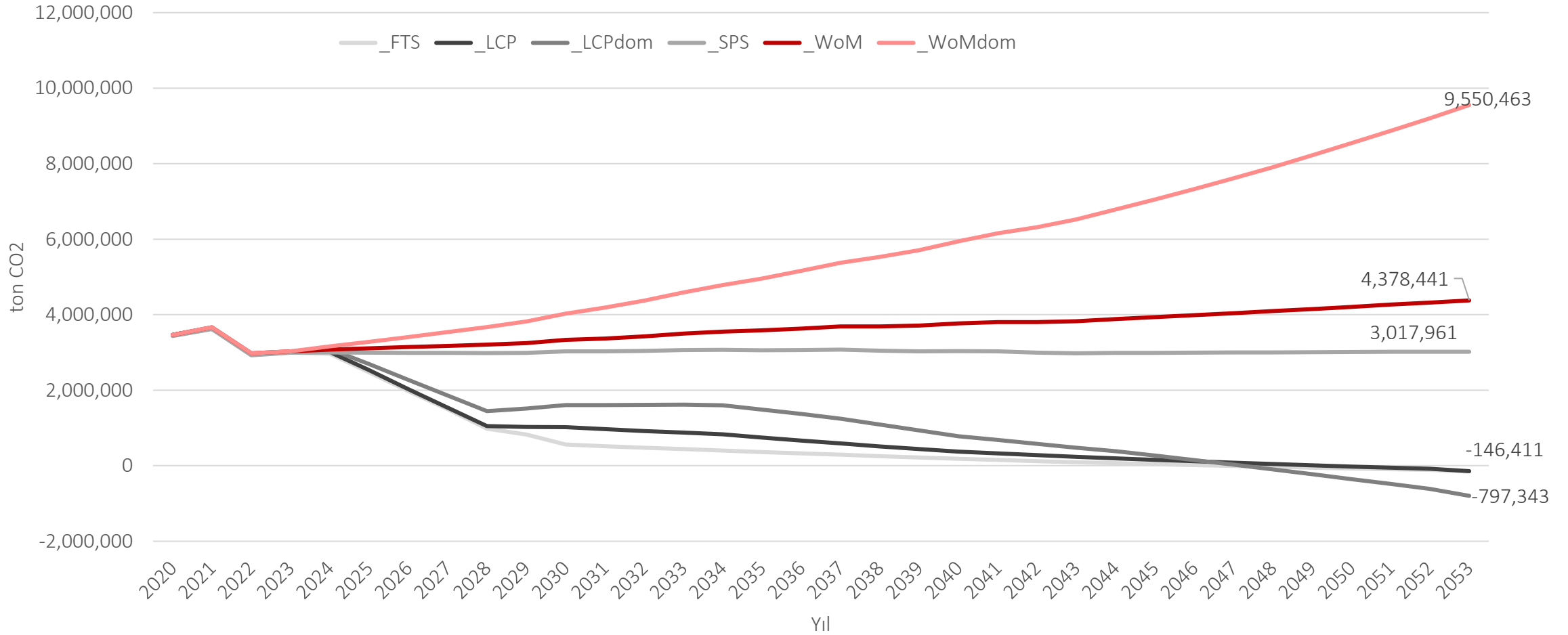


- S1- 20 yıllık ortalama değişime göre
- S2: IFA Küresel Azot Talep Projeksiyonu
- S3: IFA Batı Asya Azot Talep Projeksiyonu

2020-2053 Projeksiyonunda Her Bir Senaryo için Talep ve Üretim

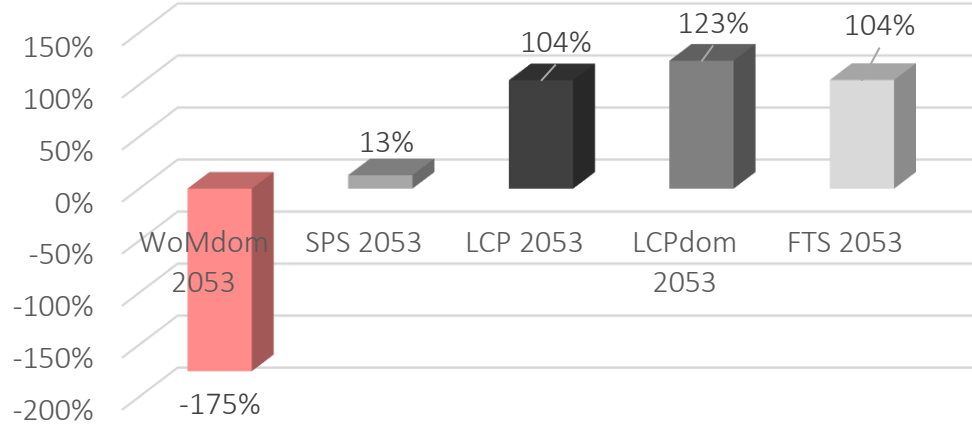


2020-2053 Dönemi için Sera Gazı Emisyon Projeksiyonu

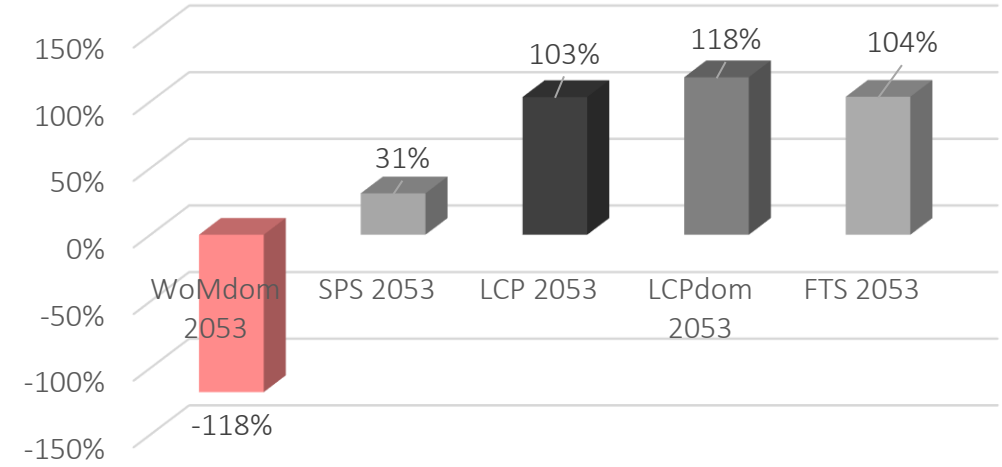


Mevcut Duruma Senaryosuna Göre Emisyon Azaltım Oranı

Mevcut Durumun Devamı (WoM) 2020 ile
Karşılaştırıldığında Emisyon Azaltımı



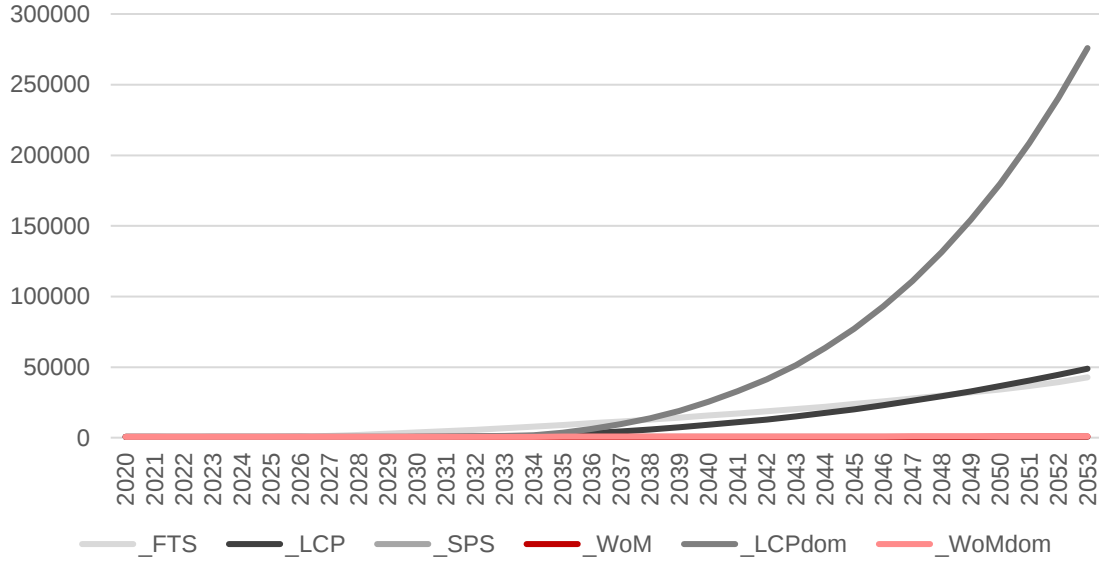
WoM 2053 ile Karşılaştırıldığında Emisyon Azaltımı



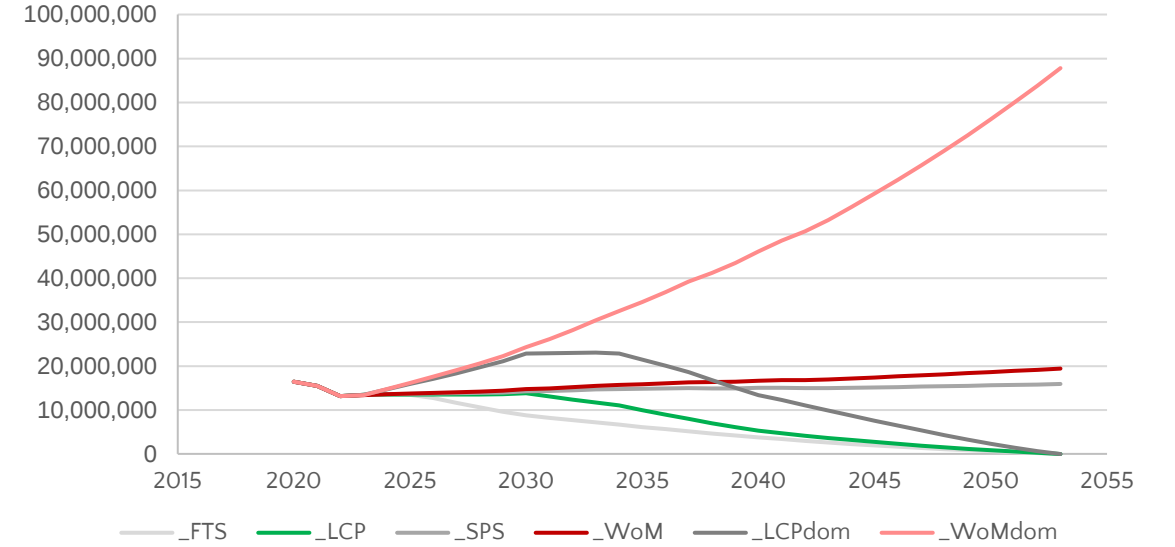
	WoM 2020 ile Kıyaslama	WoM 2030 ile Kıyaslama	WoM 2053 ile Kıyaslama
WoMdom 2030	-16%	-21%	
WoMdom 2053	-175%		-118%
SPS 2030	13%	9%	
SPS 2053	13%		31%
LCP 2030	71%	69%	
LCP 2053	104%		103%
LCPdom 2030	54%	52%	
LCPdom 2053	123%		118%
FTS 2030	84%	83%	
FTS 2053	104%		104%

2020-2053 Projeksiyonunda Enerji Kullanımı

Elektrik (GJ)



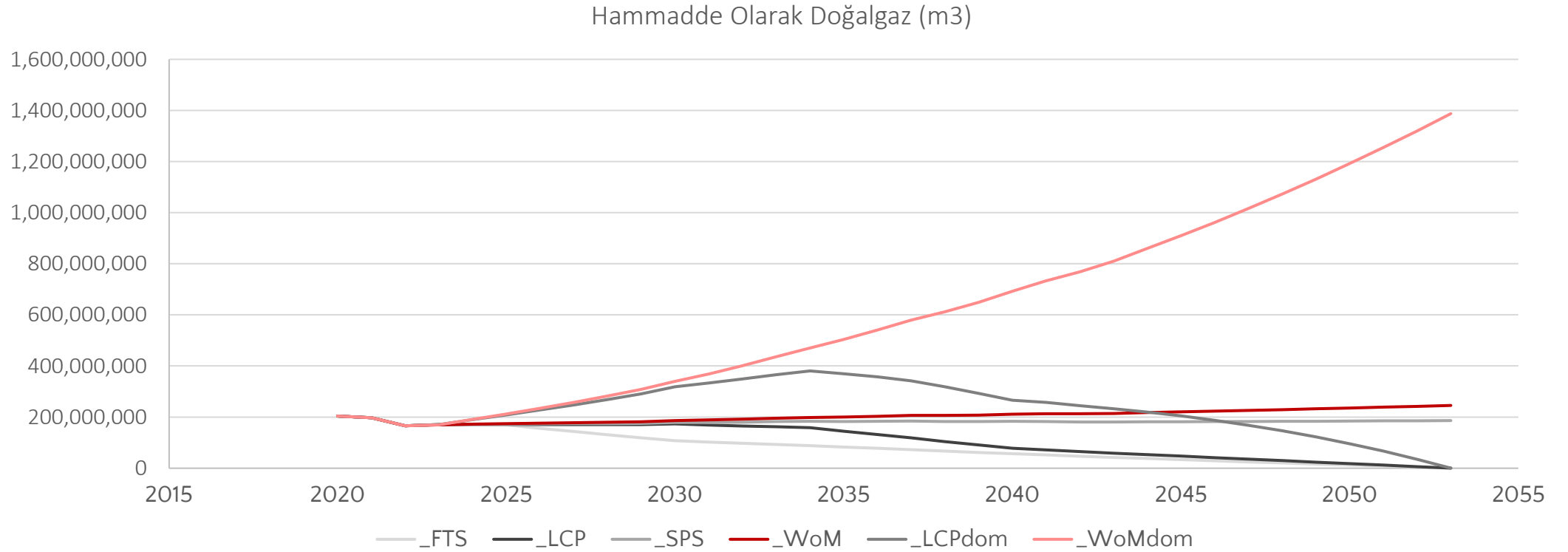
Isı Enerjisi için Doğalgaz (GJ)



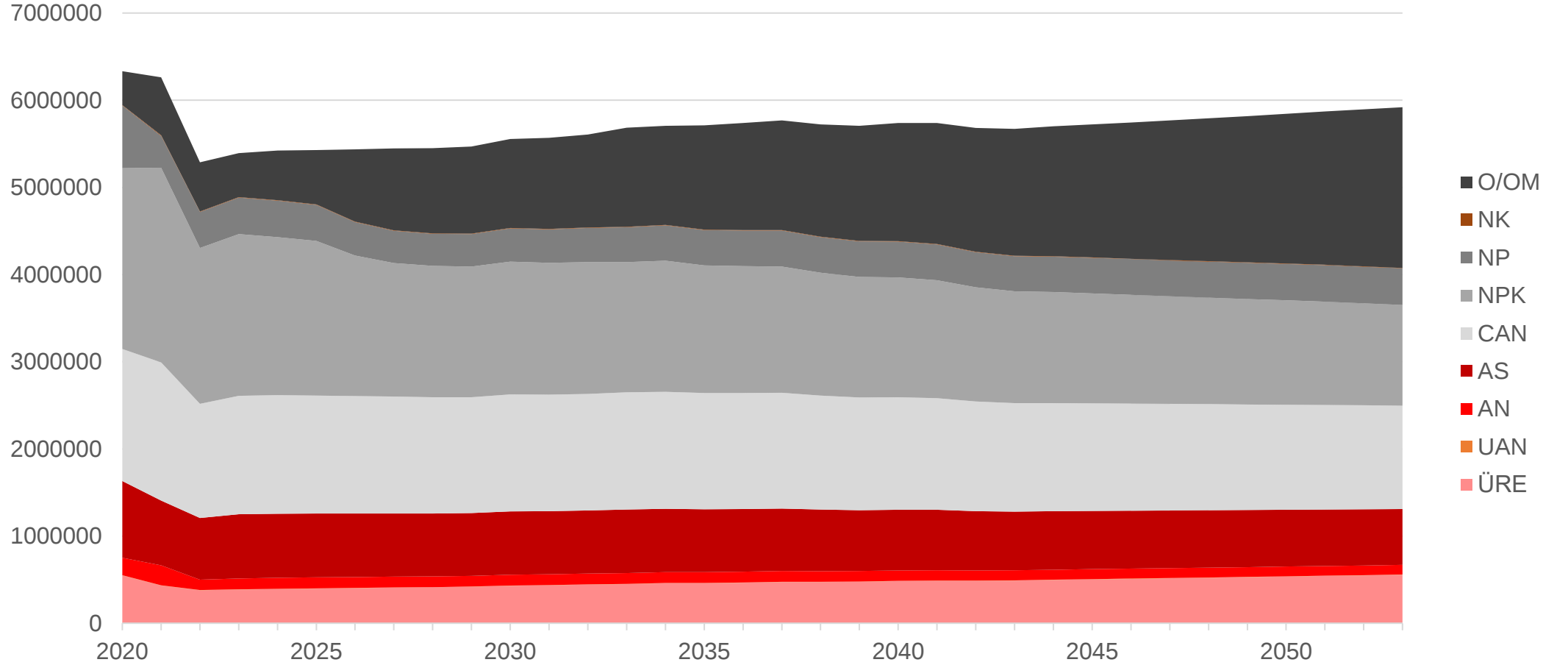
- Isı pompaları vb. gibi sektördeki elektrifikasyon yatırımları, LCP ve FTS senaryolarında ısı enerjisi kaynağı olarak doğalgaz kullanımını azaltırken elektrik enerjisi ihtiyacını artırmaktadır.
- Elektrifikasyon teknolojilerine yapılan yatırımların modele katkısı LCP senaryosunda 2030-2035 yılları arasında, FTS senaryosunda ise 2025 yılından itibaren görülmektedir.

2020-2053 Projeksiyonunda Her Bir Senaryo için Hammadde Kullanımı

Yeşil amonyak yatırımları, amonyak üretiminde hammadde olarak ihtiyaç duyulan doğal gaz miktarında önemli bir azalma sağlamaktadır.



LCP Senaryosu: 2020-2053 Periyodunda Gübre Türü Bazında Üretim Değerleri

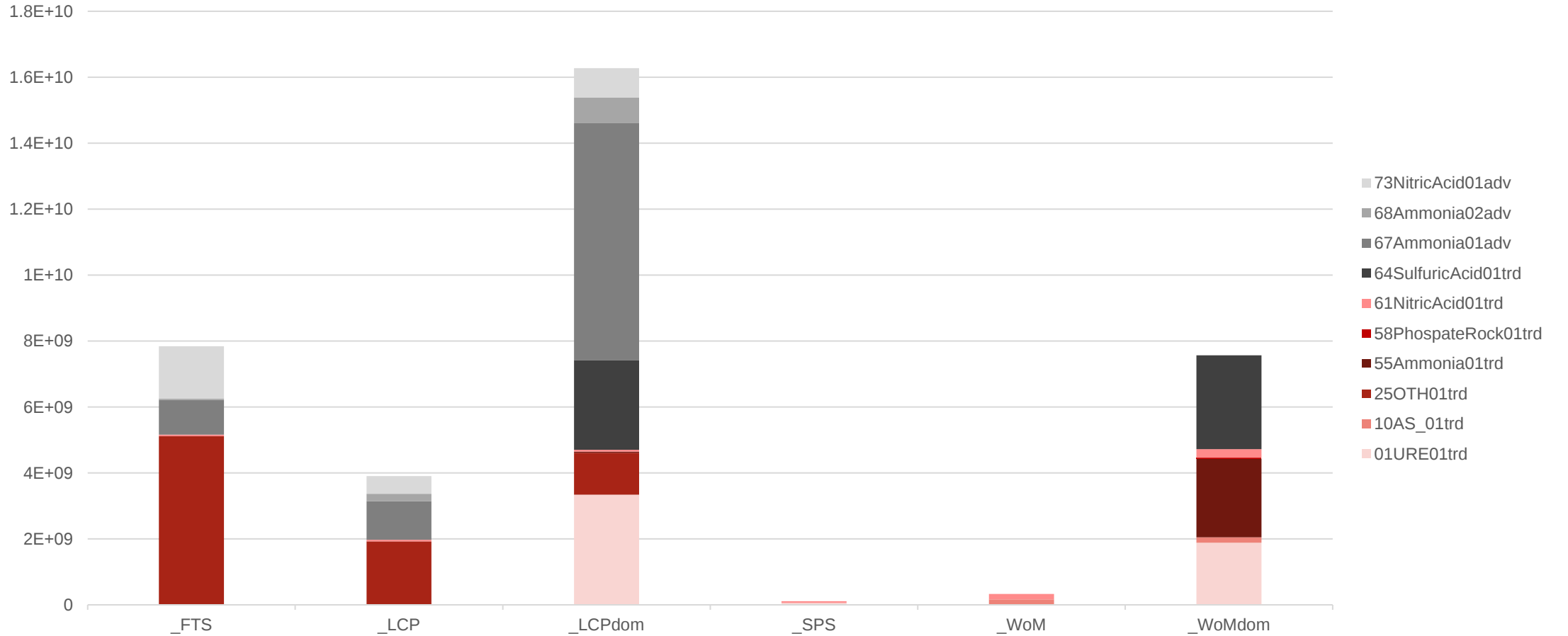


FTS – 2053'te Kalan Emisyonlar

Gübre/Hammade	Emisyonlar (ton CO2)		
	Kapsam 1	Kapsam 3 (Beşikten Kapiya)	Toplam
Üre	-232.834		-232.834
UAN	-1.080	2.194	1.114
AN		80.166	80.166
AS		87.408	87.408
CAN		315.925	315.925
NPK		13.366	13.366
NP		660	660
NK		504	504
Organomineral/Organik/Diğer		-788	-788
Amonyak	2.041		2.041
Nitrik Asit	76.253		76.253
Toplam	-155.620	499.436	343.816

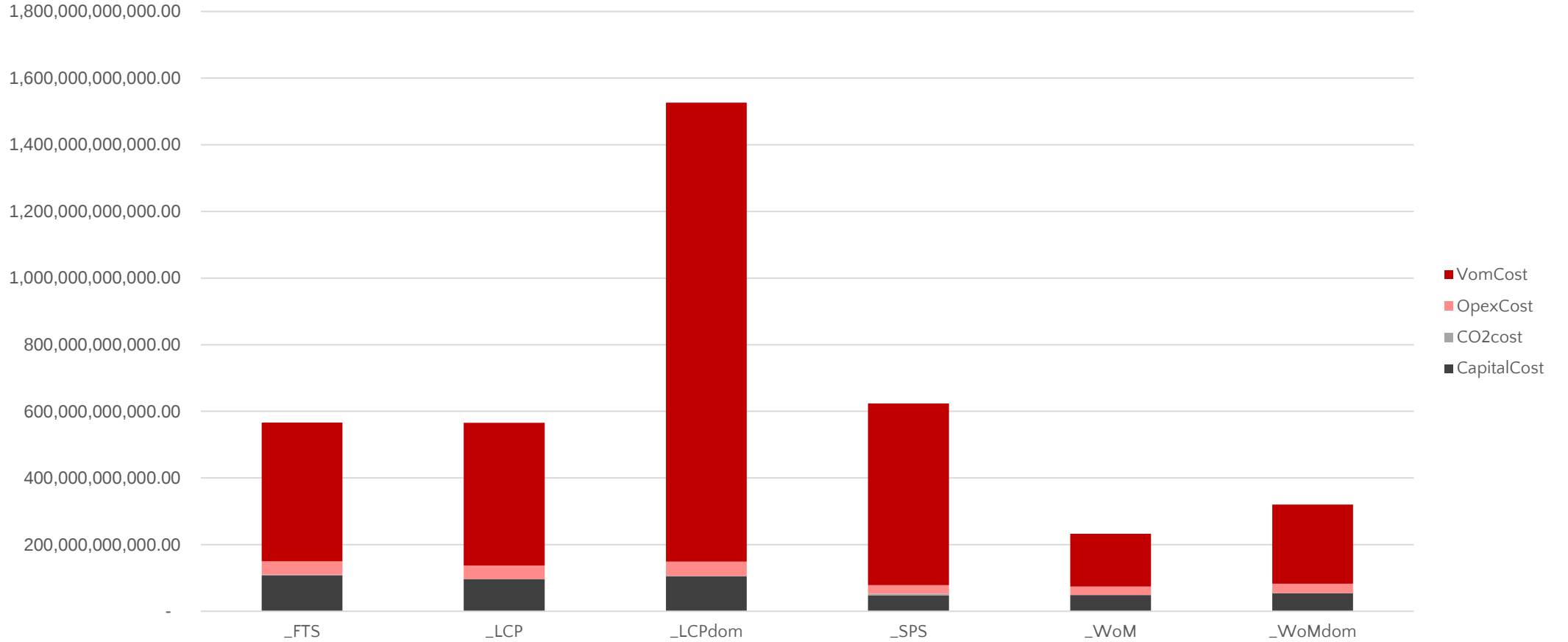
Yatırım Maliyetleri

Toplam Yatırım Maliyeti 2023-2053



Yatırım Maliyetleri

Ortalama Yıllık Yatırım Maliyeti



Politika Çerçevesi

Politika Eksenleri

Proses İyileştirmeleri ve
Teknolojik Dönüşüm

Politika ve Mevzuat

Sürdürülebilir ve Döngüsel
Tedarik Zinciri Yönetimi

İstihdam ve Kapasite
Geliştirme

Politika Başlıkları

1. Emisyon Azaltıcı Teknolojik Yatırımlar
2. Enerji Verimliliği ve Yönetimi
3. Yenilenebilir Enerji Yatırımları

1. Karbon Vergisi ve Emisyon Ticareti
2. Teşvikler ve Finansal Destek Mekanizmaları
3. Ulusal Politika Belgeleri ve Raporlar
4. Kamu/Özel Sektör İş Birlikleri ve Paydaş Katılımı

1. Emisyon Azaltıcı Teknolojik Yatırımlar
2. Teşvikler ve Finansal Destek Mekanizmaları
3. Ulusal Politika Belgeleri ve Raporlar

1. Eşitlikçi İstihdam Sağlama ve Eğitim Faaliyetleri

Uygulama Zamanı / Aralığı

- Faz 1 (2024 – 2025)
- Faz 2 (2026 – 2038)
- Faz 3 (2039 – 2053)

Politika Türü

- Yasal
- Finansal
- Teknik
- Sosyal

İlgili Paydaşlar

- Sorumlu / Koordinatör Kurum
- İlgili Kurumlar
 - Devlet Kurumları
 - Özel Sektör
 - Araştırma Kuruluşları
 - Finansal Kurumlar
 - Kullanıcı Sektörler

Politika Önerileri

Politika ve Mevzuat	Uygulama Süresi / Aralığı		
	Faz 1 (2024 – 2025)	Faz 2 (2026 – 2038)	Faz 3 (2039 – 2053)
Türkiye'de planlanan pilot ETS ve SKDM'nin, gübre fiyatları, hammadde ithalatı, gübre üretim/tüketimi, ihracat ve tarımsal faaliyetler üzerinde etkilerinin değerlendirilerek, entegre bir gübre-tarım-gıda etki değerlendirmesi yapılması.	✓	✓	
ETS kapsamında ücretsiz tahsisatlandırma yapılırken sektörel bazda değerlendirmelerin (tesislerin mevcut durumu, teknolojisi ve ürettiği ürünler) dikkate alınması.	✓	✓	
Gübre sektöründe kullanılan katalizörlerin yerli üretiminin teşvik edilmesi		✓	
Düşük emisyonlu teknolojilerin yaygınlaşmasını hızlandırmak için, finans ve bankacılık araçları üzerinden gübre sektörünün teşvik edilmesi	✓	✓	✓
Organik, yavaş salımlı, OM ve mikrobiyal kaynaklı gübre üretiminin/tüketiminin desteklenmesi, biyogaz/çöp gazı tesislerinin gübre/kompost tesisi kurmasının desteklenmesi	✓	✓	
Biyogaz tesislerinin sıvı ve katı atıklarının, mevzuat ile uyumlu şekilde katı/sıvı gübreye dönüştürülmesi için teşviklerin (YEKDEM [Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması] kapsamında ve Tarımsal Desteklemeler) geliştirilmesi	✓		
Gübre sektöründe Orta ve yüksek sıcaklıklı ısı pompalarının sanayide yaygınlaşmasını hızlandırmak amacıyla maliyet düşürücü Ar-Ge çalışmalarının desteklenmesi	✓	✓	

Politika Önerileri

Politika ve Mevzuat	Uygulama Süresi / Aralığı		
	Faz 1 (2024 – 2025)	Faz 2 (2026 – 2038)	Faz 3 (2039 – 2053)
Gübre sektörü ana girdisi olan Yeşil Hidrojen ve Yeşil Amonyakın üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla; metan pirolizi teknolojilerinin, elektrolizör maliyetlerinin ve deniz suyu arıtma teknolojilerinin maliyetlerini düşürmeye yönelik Ar-Ge projelerinin desteklenmesi	✓	✓	
2030 yılından sonra, sadece mavi ve yeşil amonyak projelerine teşvik sağlanması ve yeni yapılacak gri amonyak tesisleri için yatırım teşvik belgesi düzenlenmemesi		✓	
Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim için Ulusal Eylem Planı'nın hazırlanması kapsamında tarım sektörü altında gübre üretimi ve tüketimine yönelik bir strateji ve eylemin dahil edilmesi (ÇŞİDB)	✓	✓	
Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'na gübre sektörü girdi ve çıktıların yansıtılması	✓	✓	
Nitrik Asit üretimi kaynaklı emisyonlarının azaltılması konusunda NACAG ile çalışılması, teknik ve finansal destek olanaklarının değerlendirilmesi	✓	✓	
Gübre sektöründe tüm üreticileri temsil edecek STK'ların kurulmasına destek sağlanması	✓		
Gübre firmalarının, küresel iklim değişikliği ve gıda güvenliği konularında kadınları ve dezavantajlı grupları bilinçlendirme faaliyetleri kapsamında ilgili kuruluşlarla iş birliği yapması	✓		

Politika Önerileri

Politika ve Mevzuat	Uygulama Süresi / Aralığı		
	Faz 1 (2024 – 2025)	Faz 2 (2026 – 2038)	Faz 3 (2039 – 2053)
Gübre sektörünün CCUS teknolojilerine yapacağı Ar-Ge çalışmalarının ve yatırımların desteklenmesi	✓	✓	
Gübre Sektöründe, Yeşil ve Mavi Hidrojen ve Amonyak teknolojilerinin geliştirilmesi ve yatırımlarının teşvik edilmesi	✓	✓	✓
Mevcut gübre tesislerinin enerji verimliliği performansının (Atık ısı kullanımı, modernizasyon vb.) iyileştirilmesi için teşviklerin etkinliğinin artırılması	✓	✓	
ETS/SKDM kapsamında öncelikli sektörlerden olan gübre sektörünün enerji öz tüketimine yönelik kapasite tahsisinde önceliklendirilmesi	✓	✓	
Gübre Sektörü için Sanayide Yeşil Dönüşüm finansal teşvik mekanizmalarına erişimin kolaylaştırılması	✓	✓	

Politika Önerileri

Sürdürülebilir ve Döngüsel Tedarik Zinciri Yönetimi	Uygulama Süresi / Aralığı		
	Faz 1 (2024 – 2025)	Faz 2 (2026 – 2038)	Faz 3 (2039 – 2053)
AB Ortak Tarım Politikası'nda yer alan çapraz uyum kurallarının (conditionality) ve ekotedbir (eco-schemes) destekleri göz önünde bulundurularak, İyi tarım uygulamaları ve organik tarıma desteklerin artırılması, karbon hasadı ve tarımsal üretimde emisyon azaltan uygulamalara yönelik desteklerin hayata geçirilmesi	✓	✓	
Sentetik hammadde kullanımının azaltılması için gübre üretiminde organik atıkların kullanımının artırılmasına yönelik (Evsel organik atıklar, hayvansal atıklar, doğal kaynaklar vb.) desteklerin genişletilmesi	✓	✓	
Organik/OM gübre üretiminde kullanılabilecek evsel, hayvansal, tarımsal vb. atıkların, biyogaz tesislerinin ve diğer doğal kaynakların envanter ve haritalamasının yapılması	✓	✓	

Politika Önerileri

İstihdam ve Kapasite Geliştirme	Uygulama Süresi / Aralığı		
	Faz 1 (2024 – 2025)	Faz 2 (2026 – 2038)	Faz 3 (2039 – 2053)
Gübre Sektöründe yeşil dönüşüm sürecinde, adil geçişin sağlanması, ihtiyaç duyulacak yeni nitelik ve becerilerin belirlenmesi ve uygun işgücünün yetiştirilmesi	✓	✓	✓
Gübre Sektöründe yeşil dönüşüm sürecinin işgücü talebinde ortaya çıkaracağı yeni nitelik ve beceri gerekliliklerinin belirlenmesi ile yeni niteliklere sahip işgücünün yetiştirilmesine yönelik çalışmaların koordinasyonu		✓	✓



5

Sonraki Adımlar

Yeşil Dönüşüm Yol haritasının başarı ile hayata geçirilmesi birçok farklı politika alanında yürütülecek faaliyetlerin gerçekleştirilmesine bağlıdır



Paydaşlara yol gösterecek ulusal yasal çerçevenin tamamlanması



İklim değişikliğiyle mücadele çabasının etkin koordinasyonu



Sektör paydaşlarına ve finansal kurumlara rehberlik edecek yeşil taksonominin tasarımı



Yeşil finansman mekanizması ve ürünlerinin geliştirilmesi



İklim taahhütlerini yerine getirmek için kurumsal kapasite geliştirilmesi



Şirketlerin yeşil dönüşüm yol haritalarını ortaya koyması



Yeşil ve dijital becerilerin artırılması alanında iş gücünün desteklenmesi

Başta Ulusal Emisyon Ticaret Sistemi ve İklim Yasası olmak üzere yeşil dönüşüme yönelik düzenlemelerin hızlı bir şekilde tamamlanması ve Türk mevzuatında yer bulması gerekmektedir. Üreticiler, düşük karbonlu dönüşümlerini planlamak için **yasal netliğe** ihtiyaç duyacaktır.

Hemen her Bakanlığın yeşil dönüşümle ilgili farklı sorumluluk alanları bulunmaktadır. Ulusal seviyede hem kamu paydaşları arasında hem de kamu ve özel sektör arasında etkili iletişimi sağlayacak, iklim değişikliğiyle mücadele ve yeşil ekonomik dönüşüm faaliyetlerini takip edecek **etkili koordinasyona** ihtiyaç olacaktır.

Politika yapıcılar, üreticiler, yatırımcılar ve finansal kurumlar dahil olmak üzere tüm paydaşların, kendi faaliyetlerinin çevresel etkisini anlamalarına, yeşil büyüme fırsatlarını belirlemelerine ve yeşil politikaları risk yönetimlerine dahil etmelerine yardımcı olmak için **yeşil taksonomi** gereklidir.



Yeşil finansman mekanizmaları ve ürünleri; karbonsuzlaşma hedeflerine ulaşılmasında kritik öneme sahiptir. Türkiye'nin dinamik iklim gündeminde paydaşların ihtiyacı olan yeşil finansmanı alabilmeleri için, **kamu, özel sektör ve uluslararası finans kurumları** arasında **iyi tasarlanmış iş birliklerine** ihtiyaç vardır.

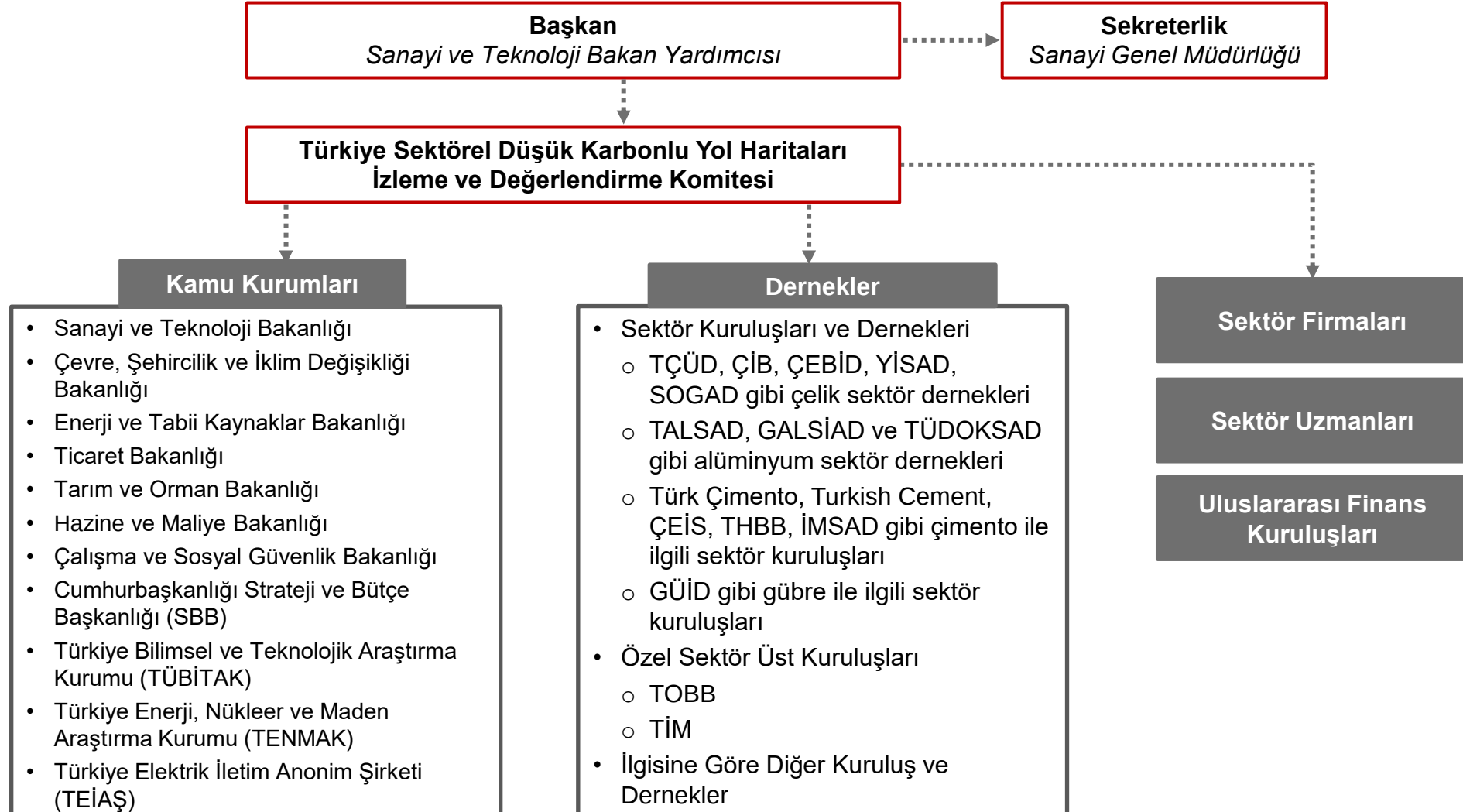
Türkiye'deki pek çok üretici, özellikle de KOBİ'ler, yeşil dönüşümün temel bileşenleriyle ilgili henüz yeterince bilgi sahibi değildir. Adaptasyon stratejilerinin geliştirilip uygulanması için **kurumsal kapasitenin geliştirilmesi** gerekecektir.

Yeşil dönüşüm, üreticilerin rekabet edebilirliğinde yeni risk ve fırsat alanları yaratmaktadır. Şirket düzeyinde gerçekleştirilecek iklim politikaları **etki değerlendirme analizleri** ve düşük karbonlu üretime geçiş için **fizibilite çalışmaları**; gelecek karbonsuzlaşma stratejileri ve yatırım kararları için kritik rol oynayacaktır.

Yeşil dönüşüm ve dijitalleşme, **yeni yeşil iş tanımları ve yeni beceri setleri** doğurmaktadır. Yeşil ve dijital teknolojiler kapsamında, yeni/yeniden beceri geliştirmeyle iş gücünün desteklenmesi gerekecektir.

Hazırlanan yol haritalarındaki politika önerilerinin uygulanma sürecini ve sonuçlarını düzenli olarak izleyen ve değerlendiren bir Komite kurulması planlanmaktadır

İzleme ve Değerlendirme Komitesi





T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

#MILLİ
TEKNOLOJİ
HAMLESİ



TÜBİTAK



European Bank
for Reconstruction and Development



TEŞEKKÜRLER