



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından ortaklaşa finanse edilmektedir.

İKLİM DEĞİŐİŐKLIĐİNE KARŞI HASSAS SANAYİ SEKTÖRLERİNİN ADAPTASYON KAPASİTESİNİN RİSK DEĞERLENDİRMESİ YOLUYLA GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

Sanayi Sektörlerinin İklim Değişikliğine
Uyum Kapasitesinin Arttırılması için
Politika Önerileri

Şubat 2026



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŐİŐKLIĐİ BAKANLIĞI



Çevre ve İklim Eylemi
Sektör Operasyonel Programı



İKLİM DEĞİŐİŐKLIĐİ
BAŞKANLIĞI



CLIMATECH4
INDUSTRY



İSTANBUL
SANAYİ ODASI



TÜBİTAK
MAM



İSTANBUL
SANAYİ ODASI



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından ortaklaşa finanse edilmektedir.

İKLİM DEğİşİKLİğİNE KARşI HASSAS SANAYİ SEKTÖRLERİNİN ADAPTASYON KAPASİTESİNİN RİSK DEğERLENDİRMESİ YOLUYLA GELİşTİRİLMESİ PROJESİ

Sanayi Sektörlerinin İklim Değişikliğine
Uyum Kapasitesinin Arttırılması için
Politika Önerileri

şubat 2026



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇEVRE, şEHİRCİLİK VE
İKLİM DEğİşİKLİğİ BAKANLIğI



Çevre ve İklim Eylemi
Sektör Operasyonel Programı



İKLİM DEğİşİKLİğİ
BAşKANLIğI



CLIMATECH4
INDUSTRY 4



İSTANBUL
SANAYİ ODASI



Bu yayın, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti'nin mali desteğiyle hazırlanmıştır. İçeriğinden yalnızca İstanbul Sanayi Odası sorumludur.
Türkiye Cumhuriyeti ve Avrupa Birliği'nin görüşlerini yansıttırarak yorumlanamaz.

ISBN: 978-625-6720-24-4
İSO Yayın No: 2026/2
Sertifika No: 52731

Şubat 2026
İstanbul

İstanbul Sanayi Odası
Ekonomik Araştırmalar ve Kurumsal Finans Şubesi
Meşrutiyet Caddesi No:63
34430 Beyoğlu İstanbul
Tel: (212) 252 29 00 (pbx)
www.iso.org.tr

Grafik Tasarım ve Uygulama:
Foresight İletişim Hizmetleri Ticaret Anonim Şirketi
<https://foresight.ist/>

Tüm hakları İstanbul Sanayi Odası'na aittir.
Bu yayındaki bilgiler ancak kaynak gösterilmek suretiyle kullanılabilir.

PROJE EKİBİ



TÜBİTAK MAM

Dr. Ece Gizem ÇAKMAK
Dr. Tuğba DOĞAN GÜZEL
Dr. Deniz SARI
Doç. Dr. Haldun KARAN
Dr. Melike Neşe TEZEL OĞUZ
Enes Furkan SANCAK
Fatih Kemal DİNÇER
Mithat Sinan BİNİCİ
Dr. Ayşegül AVİNAL
Ceren TOSUN
Dr. Pembe ÖZER ERDOĞAN
Dr. Recep PARTAL
Dr. Volkan PELİTLİ
Gizem SOĞUKPINAR

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
İklim ve Yaşam Bilimleri Başkan Yardımcılığı



İSTANBUL SANAYİ ODASI İSTANBUL SANAYİ ODASI

Burçin DEĞİRMENCİOĞLU
Erbil BÜYÜKBAY
Özge GÜVEN
Özlem ERCAN
Hüseyin TANRIVERDİ

Bu rapordaki verilere uyulmaksızın üretilecek ürünlerden TÜBİTAK MAM ve İSO sorumlu değildir. Tüm hakları saklıdır. Bu eserin tamamı ya da bir bölümü, 4110 sayılı Yasa ile değişik 5846 sayılı FSEK.'nu uyarınca, kullanılmazdan önce hak sahibinden 52. Maddeye uygun yazılı izin alınmadıkça, hiçbir şekil ve yöntemle işlenmek, çoğaltılmak, çoğaltılmış nüshaları yayılmak, satılmak, kiralanmak, ödünç verilmek, temsil edilmek, sunulmak, telli/telsiz ya da başka teknik, sayısal ve/veya elektronik yöntemlerle iletilmek suretiyle kullanılamaz.

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	5
ŞEKİL LİSTESİ	5
KISALTMALAR LİSTESİ	6
1. GİRİŞ	7
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İMALAT SANAYİ ÜZERİNDEKİ GENEL ETKİLERİ	10
2.1. Fiziksel Riskler	14
2.1.1 Kuraklık ve Su Stresi	17
2.1.2 Sıcaklık Artışı	22
2.1.3 Aşırı Hava Olayları	27
2.1.4 Orman Yangını	32
2.1.5 Deniz Seviyesi Yükselmesi	34
2.2. Geçiş Riskleri	35
2.2.1 Politika ve Yasal Riskler	35
2.2.1.1 Uluslararası Mevzuat Kaynaklı Riskler	36
2.2.2 Teknolojik Riskler	41
2.2.3 Pazar Riskleri	42
2.2.4 İtibar Riskleri	43
3. SEKTÖREL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ RİSK ANALİZLERİ SONUÇLARI	44
4. GENEL DEĞERLENDİRME	54
KAYNAKÇA	60

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Proje kapsamında çalışma gerçekleştirilen alt sektörler ve tesis sayıları	46
Tablo 3.2: İklim tehlikeleri ve kritik altyapı ve operasyonlar bazında beklenen etkiler	50
Tablo 3.3: İklim tehlikeleri bazında mevcut durum ve gelecek projeksiyonu açısından risk değerlendirme sonuçları – Kritik altyapı ve operasyon sayısı	52
Tablo 4.1: İmalat sanayiinin iklim değişikliğine uyum kapasitesini arttırmaya yönelik önlem önerileri, ilgili paydaşlar ve tahmini vadeleri	57

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Atmosferik karbondioksit konsantrasyonu (CO ₂ ppm) (a) ve Küresel yüzey sıcaklığı (sıcaklık anomalisi, °C) (b) değişimi	11
Şekil 2.2: Türkiye'nin Ulusal Katkı Beyanı sürecinde taahhüt ettiği emisyon azaltım hedefleri	13
Şekil 2.3: Marmara Bölgesi'nde yıllık toplam yağış miktarı ve kurak gün sayısı değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)	19
Şekil 2.4: Marmara Bölgesi'nde SPEI kuraklık indisi değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)	21
Şekil 2.5: Marmara Bölgesi'nde yıllık sıcaklık değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)	23
Şekil 2.6: Marmara Bölgesi'nde ısıtma ve soğutma ihtiyacı değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)	26
Şekil 2.7: Marmara Bölgesi'nde yaşanan aşırı hava olayları (2008–2025)	27
Şekil 2.8: Marmara Bölgesi'nde meydana gelen aşırı hava olaylarının hadiseye (a) ve illere (b) göre dağılımı (2008–2025)	28
Şekil 2.9: Marmara Bölgesi'nde yağış indislerinin değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)	30
Şekil 2.10: Marmara Bölgesi için yangın hava indeksi değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)	33
Şekil 2.11: Yıllara göre bölgede deniz seviyesi yükselmesi (2020–2150)	34
Şekil 3.1: Proje kapsamında çalışma gerçekleştirilen tesislerin dağılımı	45
Şekil 3.2: İklim tehlikeleri bazında belirlenen kritik altyapı veya operasyonların dağılımı	47
Şekil 3.3: Proje kapsamında öne çıkan fiziksel riskler	50
Şekil 3.4: İklim değişikliği risklerinin genel değerlendirilmesi	53

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AKAKDO	Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CCAGP	İklim Değişikliğine Uyum Hibe Programı – Climate Change Adaptation Grant Programme
CDD	Soğutma gün dereceleri – Cooling degree days
CMIP	Birleşmiş Model Karşılaştırma Projesi – Coupled Model Intercomparison Project
COP	Taraflar Konferans – Conference of Parties
CSDDD	Kurumsal Sürdürülebilirlik Özen Yükümlülüğü Direktifi – Corporate Sustainability Due Diligence Directive
ÇŞİDB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
C3S	Copernicus İklim Değişikliği Servisi – Copernicus Climate Change Service
EEA	Avrupa Çevre Ajansı – European Environment Agency
EFFIS	Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi – European Forest Fire Information System
ETS	Emisyon Ticaret Sistemi
EUDR	AB Ormansızlaşmanın Önlenmesi Tüzüğü – EU Deforestation-Free Regulation
FWI	Yangın Hava İndeksi – Fire Weather Index
GSYİH	Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
GÜS	Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu
HDD	Isıtma gün dereceleri – Heating degree days
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli – Intergovernmental Panel on Climate Change
İDB	İklim Değişikliği Başkanlığı
İSO	İstanbul Sanayi Odası
KOBİ	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
KYKD	Karbon yakalama, kullanma ve depolama
MET	Mevcut En İyi Teknikler
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NDC	Ulusal Katkı Beyanı – Nationally Determined Contribution
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
PRO	Üretici Sorumluluğu Örgütü
RCP	Temsili Konsantrasyon Yolları – Representative Concentration Pathways
SKDM	Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması – Carbon Border Adjustment Mechanism
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndisi – Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index
SSP	Ortak Sosyoekonomik Yollar – Shared Socio-economic Pathways
SYD	Sanayide Yeşil Dönüşüm
TB	Ticaret Bakanlığı
TGİP	Türkiye Yeşil Sanayi Projesi – Türkiye Green Industry Project
TSRS	Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları
TÜBİTAK MAM	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu – Marmara Araştırma Merkezi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WEF	Dünya Ekonomik Forumu – World Economic Forum
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü – World Meteorological Organization
WCRP	Dünya İklim Araştırma Programı – World Climate Research Programme

1

GİRİŞ

İstanbul Sanayi Odası koordinatörlüğünde ve TÜBİTAK MAM ortaklığında yürütülen “İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi (ClimaTech 4 Industry)” projesi Avrupa Birliği ve T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından İklim Değişikliğine Uyum Hibe Programı kapsamında ortaklaşa finanse edilmektedir. İklim Değişikliğine Uyum Hibe Programı (CCAGP), iklim değişikliğine uyum projelerinin Türkiye’de yerel ve bölgesel seviyede uygulanmasını desteklemek için tasarlanmıştır. CCAGP, toplulukların dirençliliğini artırmayı, doğal kaynaklar ile ekosistemi korumayı ve etkilenebilir sosyal grupların yanı sıra şehirlerin ve ekonomik sektörlerin uyum kapasitesini geliştirmeyi hedeflemektedir. Nihai Faydalanıcısı, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı (İDB) olup, ÇŞİDB Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, Avrupa Birliği Yatırımları Daire Başkanlığı Hibe Programının Sözleşme Makamı’dır. Projenin hedef grubu ve nihai faydalanıcıları üzerindeki beklenen etkisi, iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle başa çıkmada kilit bir ortak olarak özel sektörün farkındalığını artırmak ve imalat şirketlerini, iklimle ilgili riskleri değerlendirip uyum önlemleri geliştirmeleri konusunda desteklemektir. Böylelikle, Türkiye’deki imalat sanayinin iklim değişikliğine karşı uyum kapasitesinin artırılmasına katkıda bulunulması ve dolaylı olarak toplulukların ve toplumun direncinin artırılması hedeflenmektedir. Projenin temel amacı, iklim değişikliğinin imalat sanayi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ve sektörel uyum stratejilerinin oluşturulmasıdır. Bu çerçevede seçilen 3 alt sektör arasında bulunan gıda ürünleri, tekstil ürünleri ile orman, kağıt ürünleri, mobilya ve basım sanayilerinde faaliyet gösteren 10 tesiste temiz üretim etütlerini de kapsayan detaylı iklim değişikliği risk değerlendirmesi analizleri yapılmıştır. Buna ek olarak seçilen 30 tesiste genel bir değerlendirme çalışması yapılarak 3 alt sektör bazında iklim değişikliği risklerinin azaltılması amacıyla hayata geçirilebilecek stratejilerin değerlendirildiği sektörel eylem planlarının hazırlanması hedeflenmiştir. Ayrıca sanayi sektörlerinde karar vericilere genel bir bakış açısı sunulması amacıyla çalışmanın temel sonuçlarını, sektörel bazda toplanan verilerin özetini ve sanayi sektörleri uyum kapasitesini arttırmak amacıyla önerilebilecek uyum eylemlerine ilişkin

değerlendirmeleri içeren bir rapor hazırlanması hedeflenmiştir.

Projenin en önemli bileşenlerinden biri farkındalık ve bilinçlendirme amacıyla organize edilmiş olan ve 2 döngüde özel sektör, kamu ve sivil toplum kuruluşlarından toplam 135 temsilcinin katılım sağladığı Mini MBA programıdır. TÜBİTAK MAM araştırmacıları ile finans ve kurumsal sürdürülebilirlik konusunda uzman kişiler tarafından gerçekleştirilen Mini MBA programı; her biri 3 saat süreli toplam 6 oturumda iklim değişikliği temel kavramlar, risk analizi, temiz üretim ve denetimi, iklim uyum finansmanı ve kurumsal sürdürülebilirlik raporlaması konu başlıklarında 6 haftada tamamlanmıştır. Bu program çerçevesinde, proje kapsamında geliştirilen sanayi sektörlerine yönelik iklim değişikliği risk değerlendirmesi metodolojisinin projeye dahil edilmemiş tesislerde de uygulanabilmesi amacıyla bilinçlendirme çalışması yapılması hedeflenmiştir. Bunun dışında proje kapsamında teknoloji, finansman, iletişim odaklarında ve son olarak sanayiden uygulama örneklerinin paylaşıldığı 4 farklı çevrimiçi seminer düzenlenmiştir. Bu etkinliklere toplam 1.024 kişi katılım sağlamıştır. Söz konusu seminerler vasıtasıyla ulusal ve uluslararası çerçevede sanayi sektörleri odaklı temiz teknolojilerin geliştirilmesine yönelik işbirliğinin artırılması hedeflenmiştir. Ayrıca proje kapsamında hazırlanması hedeflenen Sektörel Uyum Stratejileri’ne girdi sağlanması amacıyla kamu, özel sektör, akademi ve sivil toplum kuruluşları temsilcilerinin yer aldığı yarım gün süren 3 sektörel çalıştay planlanmış olup, 21-29 Mayıs 2025 tarihleri arasında fiziki olarak düzenlenen çalıştaylarda toplam 90 katılımcının sektörde gerçekleştirilecek fiziksel ve geçiş risklerine ilişkin görüş ve değerlendirmeleri alınmıştır. Son olarak proje sonuçlarının paydaşlara aktarımının hedeflendiği “Sanayinin İklim Uyumunun Güçlendirilmesi Konferansı” başlıklı bir konferans 29 Eylül 2025 tarihinde fiziki olarak düzenlenmiştir. 100’ün üzerinde katılımcının yer aldığı bu toplantı çerçevesinde iklim değişikliğine uyuma yönelik ülkemizden ve Avrupa’dan güncel gelişmeler paylaşılmıştır. Devamında düzenlenen panel oturumunda konuşmacılar tarafından iklim değişikliğine uyum çerçevesinde küresel düzenlemeler, teknolojiler, finansal kaynaklar ve iklim risklerinin raporlaması konularında bilgiler aktarılmıştır. Konferans sektörel deneyim paylaşımları ve iyi uygulamalar özelinde sektör ve Ar-Ge temsilcilerinin sunumları ile tamamlanmıştır. Proje kapsamında gerçekleştirilen tüm faaliyetler projenin web sitesi (www.iso.org.tr/climatech-industry-4/index.html)

üzerinden paydaşlara aktarılmıştır.

Proje çalışmaları kapsamında hazırlanan bu raporda sanayi sektörlerinde genel olarak öngörülen iklim değişikliği riskleri fiziksel ve geçiş riskleri odaklarında değerlendirilmiş, Marmara Bölgesi özelinde iklim değişikliğinin mevcut durumu ve gelecek projeksiyonları ortaya konmuş, proje kapsamında üç sektör için elde edilen bulgular sanayi sektörleri genelinde değerlendirilerek, imalat sanayinde iklim değişikliğine uyum kapasitesinin artırılmasına yönelik olarak hayata geçirilebilecek uyum önlemleri öneriler halinde paylaşılmıştır.

İmalat sanayii için belirlenen riskler; politika ve yasal riskler, teknolojik riskler, pazar ve itibar riskleri ile sıcaklık artışı, kuraklık, aşırı yağış ve sel gibi fiziksel riskleri kapsayan bütüncül bir çerçevede değerlendirilmiştir. Fiziksel riskler imalat sanayi açısından en kritik alan olarak öne çıkmakta olup doğal hammaddelerin temininde zorluklar, su kaynaklarına erişimde sorunlar, altyapı hasarları, lojistikte aksaklıklar ve üretim verimliliğinde düşüşler yaratabilmektedir. Teknolojik riskler ise özellikle dijital izleme, enerji verimli prosesler ve düşük su/enerji tüketimli sistemlerin yetersizliği nedeniyle orta vadede uyum ihtiyacını artırmaktadır. Pazar riskleri sürdürülebilir ürün talebinin yükselmesi, girdi maliyetlerindeki artışlar ve tedarik zinciri kırılganlıkları nedeniyle sektörlerin rekabet gücünü sınırlandırmaktadır. Buna ek olarak politika ve yasal düzenlemelerdeki hızlı dönüşüm ile sürdürülebilirlik odaklı raporlama zorunluğunun artmasına bağlı itibar kaybı riski, sanayi sektörlerinin hem operasyonel hem de kurumsal düzeyde proaktif uyum ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Bu çerçevede imalat sanayiine yönelik uyum önlemleri; tedarik zincirinin çeşitlendirilmesi, alternatif hammadde kullanımının değerlendirilmesi, sözleşmeli tarım ve döngüsel ekonomi uygulamalarının yaygınlaştırılması gibi kaynak güvenliğine odaklanan adımları; su verimliliği, ileri arıtma ve susuz proseslerin geliştirilmesi gibi kaynak yönetimi çözümlerini; enerji verimliliği, dijitalleşme, yenilenebilir enerji yatırımları ve çalışan eğitimi gibi temiz teknoloji uygulamalarını kapsamaktadır. Ayrıca altyapı dayanıklılığının artırılması, drenaj ve arıtma sistemlerinin güçlendirilmesi, kritik ekipmanların korunması ve düzenli iklim risk analizlerinin gerçekleştirilmesi kısa vadede fiziksel etkilerin azaltılmasına katkı sağlayacak önlemler olarak öne çıkmaktadır. Bunlara ek olarak uluslararası mevzuat uyumu, finansal teşvikler, sigorta modelleri ve üniversite-sanayi işbirliklerinin



geliştirilmesi, sektörün uyum kapasitesini kurumsal düzeyde güçlendirecek mekanizmalar arasında yer almaktadır. Sonuç olarak sanayide iklim değişikliğine uyumun ancak bütüncül bir risk yönetimi yaklaşımı, paydaş işbirliği ve uzun vadeli planlama ile mümkün olabilecektir.

Bu raporda sunulan analizler, imalat sanayiinin iklim değişikliği kaynaklı risklerini bütüncül bir çerçevede değerlendirmekte ve sektör genelinde uygulanabilecek uyum önlemlerini sistematik olarak ortaya koymaktadır. Çalışmanın kapsamı gereği, öneriler ayrıntılı uygulama takvimleri veya performans göstergeleriyle desteklenmemiş olsa da, rapordaki bulgular politika yapıcılar, düzenleyici kurumlar ve sektörel paydaşlar için yol gösterici nitelikte olup imalat sanayiinin uyum kapasitesinin güçlendirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Gelecek dönemde alt sektörler özelinde uygulamaya yönelik uyum yol haritalarının ilgili paydaşlarla birlikte geliştirilmesi, sektörün iklim risklerine karşı dayanıklılığını artıracaktır.

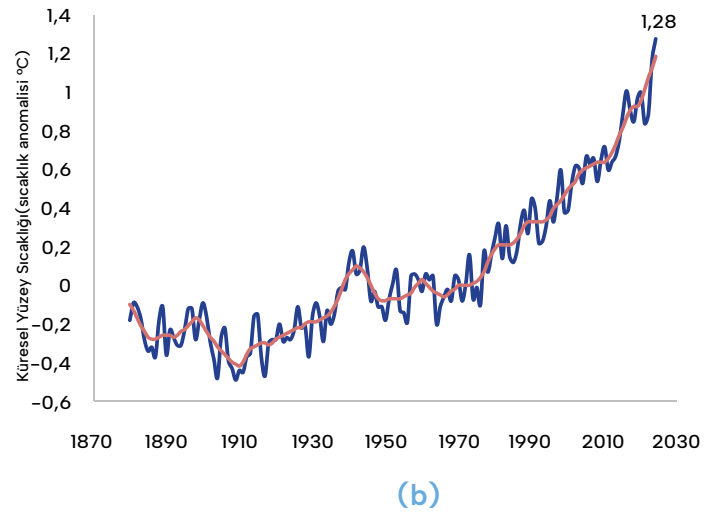
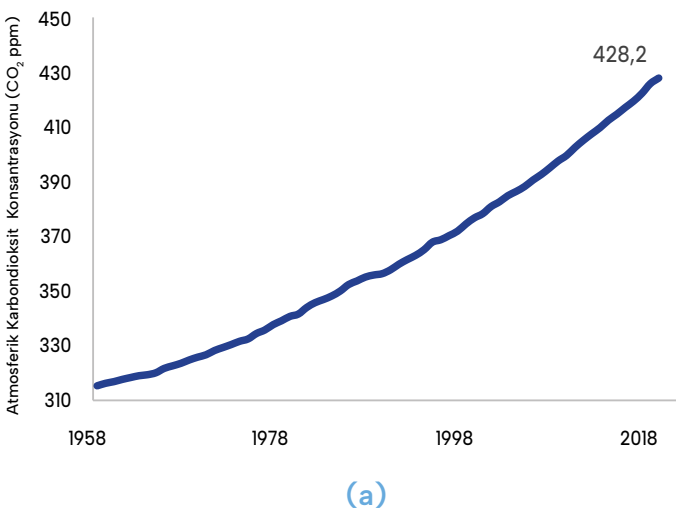
2

İKLİM
DEĞİŞİKLİĞİNİN
İMALAT SANAYİ
ÜZERİNDEKİ
GENEL ETKİLERİ

İklim değişikliği, “karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan değişiklik” olarak tanımlanmaktadır (BMİDÇS, 1992). Güneşten gelen radyasyonun atmosferde (bulutlar, aerosoller vb.) ve yeryüzünde (okyanus, deniz ve göl gibi su kütleleri; kar örtüsü; buzullar; bitki örtüsü vb.) yutulma, iletme ve yansıtma-saçılma oranlarında meydana gelen değişim ve dalgalanmalar, küresel sıcaklık artışında belirleyici bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, Dünya’nın prezisyon hareketi ve El Niño gibi doğal iklim döngüleri de iklim sisteminde önemli etkiler yaratmaktadır. Ancak hızlı nüfus artışı, buna paralel olarak artan tüketim eğilimleri, sanayileşme, enerji talebindeki yükseliş ve fosil yakıt kullanımının yaygınlaşması gibi antropojenik (insan kaynaklı) faktörler, günümüzde iklim değişikliğinin en kritik belirleyicileri olarak öne

çıkmakta ve küresel ısınmayı doğal süreçlerin ötesinde hızlandırmaktadır. Sanayi devrimi öncesi dönemden bu yana küresel yüzey sıcaklığı ve atmosferik karbondioksit konsantrasyonundaki artış birlikte değerlendirildiğinde iki parametre arasında güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir. Şekil 2.1’de gösterildiği üzere 2024 yılı itibarıyla küresel ortalama yüzey sıcaklığı sanayileşme öncesinden bu yana yaklaşık 1,28°C artmış, artış hızı ise on yılda ortalama 0,2°C seviyesine ulaşarak tarihte eşî benzeri görülmemiş bir ivme kazanmıştır. Kayıtlara göre yaşanan son 10 yıl kaydedilen en sıcak yıllar olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan 2025 Ekim ayında ölçülen atmosferik karbondioksit konsantrasyonu 428,2 ppm değerine ulaşmıştır. Bu değer, sanayi devrimi öncesi seviyelerin yaklaşık %50 üzerinde olup, iklim açısından güvenli eşik olarak kabul edilen 350 ppm seviyesinin ise çoktan aşılmış olduğunu göstermektedir (NASA_a, 2025).

Şekil 2.1 – Atmosferik karbondioksit konsantrasyonu (CO₂ ppm) (a) ve Küresel yüzey sıcaklığı (sıcaklık anomali, °C) (b) değişimi



Bu iki parametredeki eğilim, atmosferde sera gazı birikiminin hızla sürdüğünü ve küresel ısınmanın uzun vadeli, kalıcı etkiler yaratma potansiyelinin giderek güçlendiğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda ülkeler, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması ve iklim değişikliği etkilerine karşı önlem alınabilmesi için uluslararası düzeyde müzakereler yürütmekte ve çeşitli politika adımları atmaktadır. İnsan kaynaklı faaliyetlerin neden olduğu küresel ısınmanın iklim üzerindeki etkilerine karşı uluslararası alanda atılan ilk ve en önemli adım, 1992 yılında düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda (Rio Dünya Zirvesi) imzaya açılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)'dir. BMİDÇS'nin imzaya açıldığı dönemde Türkiye EK-I (sanayileşmiş ülkeler/pazar ekonomisine geçiş sürecinde olan ülkeleri) ve EK-II (sanayileşmiş ülkeler) listesine dahil edilmiş, 2001 yılında düzenlenen 7. Taraflar Konferansı'nda özel koşulları tanınarak EK-I listesinde kalmaya devam etmiştir. 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren Sözleşme'ye ülkemiz 24 Mayıs 2004 tarihinde 189. Taraf olarak katılmıştır. Diğer yandan, 1997 yılında gerçekleştirilen 3. Taraflar Konferansı'nda imzalanan ve 16 Şubat 2005 tarihinde fiilen yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'nün EK-B listesinde yer alan Sözleşme'nin EK-I Tarafları için sayısallaştırılmış sera gazı salım sınırlama veya azaltım yükümlülükleri belirlenmiş olup, 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne Taraf olan Türkiye, Protokol kabul edildiğinde Sözleşme'ye taraf olmadığından EK-B listesine dahil edilmemiş ve herhangi bir sayısallaştırılmış salım sınırlama veya azaltım yükümlülüğü olmamıştır (ÇŞİDB_a, 2025). BMİDÇS'ye taraf olan ülkeler, Sözleşme'nin en üst düzey karar organı olan Taraflar Konferansı'nda (COP) temsil edilmekte ve tüm taraflar her yıl bir araya gelerek iklim değişikliği ile ilgili müzakereleri sürdürmektedir. 2015 yılının Kasım ayında Paris'te düzenlenen 21. Taraflar Konferansı (COP21) önemli bir dönüm noktası olmuş, iklim değişikliği tehdidine karşı küresel tepkiyi güçlendirmek amacıyla iklim değişikliği konusunda yasal olarak bağlayıcılığı olan uluslararası Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Paris Anlaşması ile küresel ısınmanın sanayi öncesi döneme göre 2°C'nin altında, tercihen 1,5°C derece ile sınırlandırılmasını hedeflemektedir. Ayrıca, Tarafların belirlediği "ulusal olarak belirlenmiş katkılar" (NDC'ler) yoluyla yol haritalarının ortaya koyulması ve önümüzdeki yıllarda çabaların güçlendirilmesi, gelişmiş ülke Taraflarının Küçük Ada Devletleri başta olmak üzere ihtiyacı olan gelişmekte olan ülkelere finans, teknoloji ve kapasite

Paris Anlaşması 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe girmiş olup, 22 Nisan 2016 tarihinde Anlaşma'yı imzalayan Türkiye, 6 Ekim 2021 tarihi itibarıyla Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde onaylamıştır.

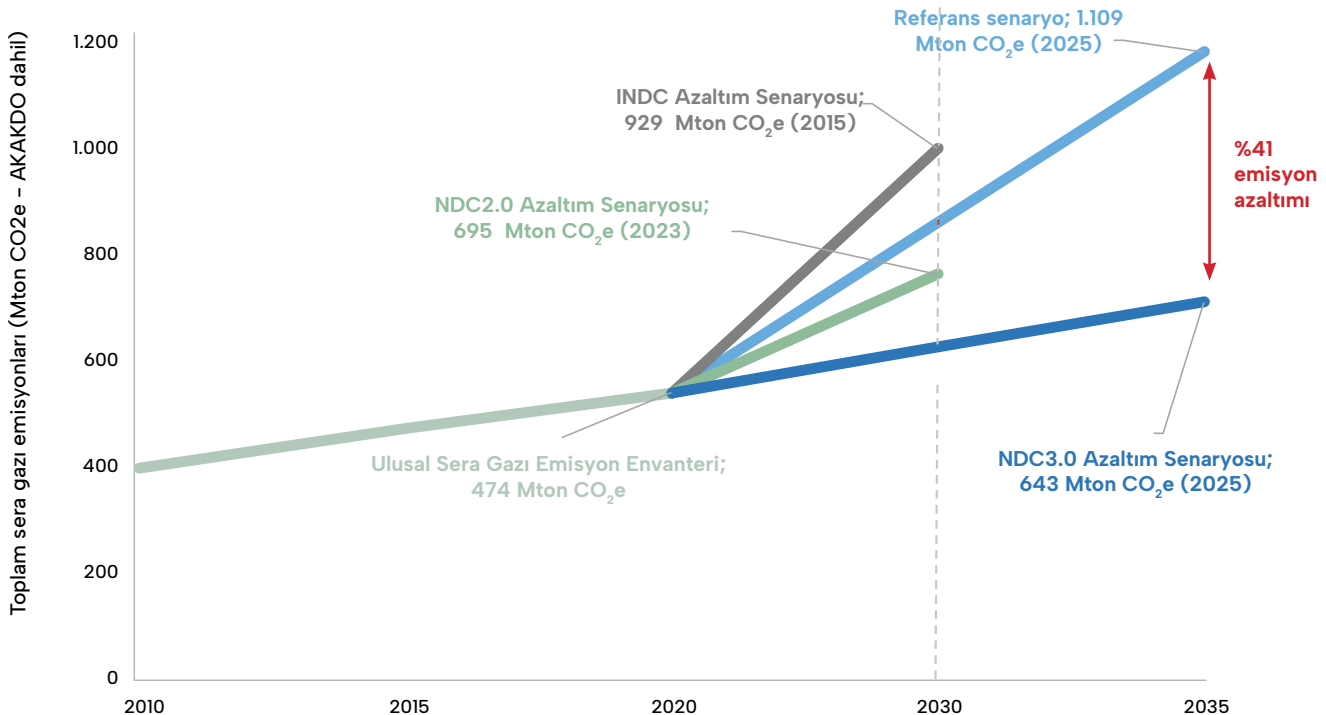
geliştirme desteğinin hızlandırılması gibi konular üzerinde durmaktadır (UNFCCC, 2015). Paris Anlaşması 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe girmiş olup, 22 Nisan 2016 tarihinde Anlaşma'yı imzalayan Türkiye, 6 Ekim 2021 tarihi itibarıyla Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde onaylamıştır (ÇŞİDB_a, 2025).

Paris Anlaşması'nın kabul edildiği COP21 öncesinde ülkeler, hazırladıkları sera gazı emisyonu azaltımına ilişkin iyi niyet beyanlarını (INDC-Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı) BMİDÇS Sekreteryası'na iletmıştır. Ülkemiz 30 Eylül 2015 tarihinde Sekreteryaya iletmış olduğu ulusal katkısında sera gazı emisyonlarında 2030 yılında artıştan %21 oranında azaltım katkısı hedeflediğini beyan etmiştir. Paris iklim konferansı öncesinde niyet edilen ulusal katkı beyanı şeklinde hazırlanan ulusal azaltım taahhütleri, Paris Anlaşması onaylandıktan sonra Ulusal Olarak Belirlenen Katkı (NDC) şeklinde resmileştirilerek, Sekreteryaya sunulmuştur. Ülkemiz NDC'sinin güncellenmesine (NDC2.0) ilişkin çalışmalar 2022 yılında yürütülmüş olup, 27. Taraflar Konferansı çerçevesinde 2030 yılı için belirlenen azaltım hedefinin %41'e yükseltildiği ve emisyonların 2038 yılında pik yapması beklendiği açıklanmıştır (ÇŞİDB_a, 2025). Paris anlaşması çerçevesinde NDC'lerin her beş yılda bir güncellenmesi öngörülmüş olup, ülkemiz adına bildirim bu yıl düzenlenen 30. Taraflar Konferansı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. NDC3.0 olarak da isimlendirilen bu süreçte daha önce 2030 yılı için belirlenen %41 oranında azaltım hedefi 2035 yılına genişletilmiştir (Şekil 2.2). Sayısallaştırılmış azaltım taahhüdünün yanı sıra Ulusal Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)'nin ve yeşil taksonomi sınıflandırmasının 2026 yılı ile devreye alınması ve 81 ilde Yerel İklim Değişikliği

Eylem Planları'nın hazırlanması gibi önemli hedefleri de barındıran güncel NDC, tüm sektörlerde 2053 net sıfır hedefine ulaşabilmek için her yıl GSYİH'nin en az %1,7'si kadar ilave yatırıma ihtiyaç duyulacağını öngörmektedir (NDC, 2025). Bu belge, sanayi sektörleri açısından yatırım kararlarını ve rekabet koşullarını şekillendiren yeni bir ekonomik çerçeve sunmakta; yeşil finansman olanaklarının genişlemesini, yeşil ekonomiye dayalı yeni büyüme alanlarının oluşmasını ve tedarik zincirinden KOBİ'lere uzanan kapsamlı bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmektedir. Öte yandan küresel ölçekte emisyon taahhütlerinin güncel durumuna bakıldığında Kasım 2025 itibariyle 113 ülke tarafından güncellenen taahhütlere göre 2035 yılında küresel sera gazı emisyonlarının 2019 seviyelerine kıyasla %12 oranında azaltımı hedeflenmektedir (UNFCCC, 2025). Paris Anlaşması hedefleri açısından değerlendirildiğinde ise Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ye göre, küresel ısınmayı yaklaşık 1,5°C ile sınırlamak için sera gazı emisyonlarının 2025'ten önce pik seviyelerine ulaşması ve 2030'a kadar 2019 seviyelerine kıyasla %43 oranında düşürülmesi gerekmektedir. Küresel sıcaklık artışını 2°C civarında sınırlamak için ise emisyonların 2025'e kadar zirve seviyelerine ulaşması ve 2030'a kadar 2019 seviyelerine kıyasla yaklaşık %25 oranında azaltılması gerektiği öngörülmektedir (IPCC_b, 2022). Dünyanın yaşadığı en sıcak yıl olarak kayıtlara geçen

2024 yılında, küresel yıllık ortalama sıcaklık artışı sanayi öncesi döneme kıyasla 1,55°C civarına ulaşmış bulunmakta, ancak bu değer Paris Anlaşması'nda belirlenen ve uzun yıllar ortalaması olarak değerlendirilen 1,5°C'lik sıcaklık artışı limitinin kalıcı olarak aşıldığı anlamına gelmemektedir. Yıllık ortalamalarda meydana gelen kısa süreli bu aşımaların her bir kesrinin önem arz ettiği ve yaşamlarımız, ekonomilerimiz ve gezegenimiz üzerinde geri dönmeyecek değişiklikler oluşturduğu bilim camiası tarafından sıklıkla vurgulanmaktadır (WMO_a, 2025). Son yıllarda aşırı hava olaylarının sıklığında ve şiddetinde yaşanan artış ile bitki örtüsündeki belirgin değişimler, iklim değişikliğinin en görünür sonuçları arasında yer almaktadır. İklim değişikliğiyle birlikte ortalama sıcaklıkların sürekli yükselmesi; yağış rejimlerinde zamansal ve mekânsal düzensizlikler; sıcak hava dalgaları, uzun süreli kuraklıklar, aşırı yağış ve buna bağlı sel olayları ile dolu, fırtına ve hortum gibi ekstrem olaylarda gözlenen artışlar, özellikle tarım, sağlık ve enerji sektörlerini derinden etkilemektedir. Bu etkiler, gıda güvenliğinden su kaynaklarının yönetimine, altyapı dayanıklılığından toplum sağlığına kadar günlük yaşamın pek çok alanında önemli sonuçlar doğurmaktadır (IPCC, 2021). İklim değişikliği, küresel ölçekte ekonomileri doğrudan etkileyen en kritik faktörlerden biri haline gelmiştir. İmalat sanayi, yüksek

Şekil 2.2 – Türkiye'nin Ulusal Katkı Beyanı sürecinde taahhüt ettiği emisyon azaltım hedefleri



enerji ve hammadde bağımlılığı, yoğun su kullanımı, küresel tedarik zincirlerine entegrasyonu ve istihdam yaratmadaki rolü nedeniyle iklim risklerine karşı kırılgan sektörlerden biridir. İklim değişikliği ile ilgili olarak sanayi sektörleri için değerlendirilebilecek risk kategorileri fiziksel ve geçiş riskleri olarak iki ana grupta değerlendirilmektedir. Sıcaklık artışı, kuraklık, aşırı hava olayları gibi fiziksel riskler, üretim süreçlerinde kesintilere, altyapı hasarlarına ve maliyet artışlarına yol açabilmektedir. Öte yandan, geçiş riskleri altında değerlendirilen ve düşük karbonlu ekonomiye geçiş süreciyle birlikte değişen politika, piyasa ve teknoloji dinamikleri, imalat sanayini kapsamlı uyum ve dönüşüm adımları atmaya zorlamaktadır.

Uluslararası düzeyde yapılan analizler, iklim değişikliğinin sanayi sektöründe yaratacağı etkilerin giderek daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 6. Değerlendirme Raporu'nda, sanayinin özellikle enerji yoğun alt sektörlerinde iklim değişikliğine bağlı fiziksel kayıpların yanı sıra geçiş riskleri nedeniyle de ciddi uyum ve dönüşüm baskısı altında olduğu vurgulanmaktadır. İmalat sanayinin dayandığı küresel ölçekli tedarik zincirlerinde oluşabilecek fiziksel etkiler, yalnızca yerel üretimi değil, sınır ötesi ticareti ve sanayileri de etkileyerek ekonomik zararları artırabilmektedir (IPCC, 2021). Örneğin; 2011 yılında Tayland'da meydana gelen sel felaketi, başta otomotiv ve elektronik olmak üzere sanayi bölgelerinde uzun süreli üretim kesintilerine yol açmış ve bu durum küresel tedarik zincirlerinde ciddi aksamalar yaratmıştır. Bu olay, iklim kaynaklı afetlerin yerel sınırları aşarak küresel ölçekte ekonomik etkiler doğurabileceğini göstermiştir (O'Neill, 2022). Dünya Ekonomik Forumu (WEF) tarafınca yayınlanan 2025 yılı Küresel Riskler Raporu'na göre, iklim değişikliği ile ilişkilendirilebilecek aşırı hava olayları, biyoçeşitlilik kaybı, doğal sistemlerde geri dönüşü olmayan değişim ve doğal kaynakların tükenmesi gibi riskler önümüzdeki on yılın en kritik küresel tehditleri arasında değerlendirilmektedir (WEF, 2025). İklim değişikliğinin ekonomik etkilerinin değerlendirildiği güncel bir çalışmaya göre ise 1,5°C'lik küresel ısınma seviyesine ulaşıldığında küresel gayri safi yurtiçi hasılanın ortalama %3,2 oranında kaybedileceği, 3°C'de ise bu değer %10'a ulaşacağı öngörülmektedir (Waidelich, P., Batibeniz, F., Rising, J., Kikstra, J.S., Seneviratne, S.I., 2024). Etkileri tüm sektörlerde ve dünya genelinde hissedilen COVID-19 pandemisi nedeniyle 2018 yılında bu değer %3,1 seviyesine gerilediği dikkate alındığında, iklim değişikliğinin ekonomik faaliyetler üzerinde ne denli

İklim değişikliği ile ilgili olarak sanayi sektörleri için değerlendirilebilecek risk kategorileri fiziksel ve geçiş riskleri olarak iki ana grupta değerlendirilmektedir.

ciddi etkiler doğurabileceği görülmektedir (Stacy, B., 2023). Dolayısıyla, imalat sanayinde iklim değişikliğinin yaratacağı risklerin sistematik olarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. İmalat sanayiinde iklim değişikliği kaynaklı riskler iki ana kategori altında ele alınmaktadır: fiziksel riskler, iklim olaylarının doğrudan etkilerini ifade ederken; geçiş riskleri, düşük karbonlu ekonomiye geçiş sürecinde politika, piyasa, teknoloji ve itibar kaynaklı değişimleri kapsamaktadır. Bu bölümde her iki risk üzerine örnekler paylaşılarak, sektörün uyum kapasitesinin geliştirilmesine yönelik değerlendirmelere temel oluşturulması hedeflenmiştir.

2.1. Fiziksel Riskler

İmalat sanayinde üretim faaliyetleri yürüten ve bu sektörde operasyonlarını sürdüren şirketler ve işletmeler, bulundukları coğrafi konumlar ile sahip oldukları tedarik zincirlerinin karmaşık yapısal özellikleri ve bağlantı ağları dikkate alındığında, iklim değişikliğinin sebep olduğu ve tetiklediği çok çeşitli ve geniş yelpazede fiziksel risk faktörlerine doğrudan ve dolaylı olarak maruz kalmakta ve bu risklerle karşı karşıya bulunmaktadır. Bu fiziksel riskler ve tehditler arasında fırtınalar ve şiddetli rüzgar olayları, seller ve taşkınlar, dolu yağışları, ortalama ve ekstrem sıcaklık değerlerinde yaşanan artışlar, heyelan ve toprak kaymaları, kuraklık ve uzun süreli yağışsızlık dönemleri, su kaynaklarında yaşanan kıtlık ve yetersizlikler ile orman yangınları ve doğal alanların tahribatı gibi çok sayıda farklı olay ve durum yer almaktadır. Üç Uluslu Yukarı Ren Bölgesi'nde dokuz sektörde yapılan anket çalışması, iklim risklerine maruziyet, algılanan uyum ihtiyacı ve fiili uyum önlemleri arasında belirgin farklar olduğunu göstermektedir. Bölgedeki işletmelerin %57'si

sıcak hava dalgalarından etkilendiğini bildirirken, %59'u ısıya uyum ihtiyacını öncelikli görmekte ve %50'si ısıya yönelik önlem aldığını belirtmiştir. Şiddetli yağışlardan %30'u, kuraklıktan ise %23'ü etkilenmediğini ifade etmiştir. Dolu ve fırtına hadiselerinden %22'si etkilendiğini belirtmiştir. Çalışma kapsamında incelenen 100 işletmenin %18'i hiçbir uyum önlemi almadığını beyan ederken, tüm iklim risklerinden etkilenme ve uyum ihtiyacı oranlarının önlem oranlarından yüksek olduğu belirlenmiştir. Özellikle şiddetli yağış, sel, dolu ve fırtınalar için ciddi bir uyum açığı olduğu tespit edilmiştir (Scholze, ve diğerleri, 2023). 2022'de doğal afetlerden kaynaklanan küresel ekonomik kayıplar yaklaşık 313 milyar \$'a ulaşmış olup; bu rakam 21. yüzyıl ortalamasının (301 milyar \$) üstünde; 2000 yılına oranla %17 daha fazladır (AON, 2023). 21. yüzyılın ortalarına gelindiğinde, iklim değişikliğinin hiç yaşanmadığı varsayımsal bir senaryoyla karşılaştırıldığında, ekonomik kayıpların küresel gayri safi yurtiçi hasılanın %4,2 ile %18,1 arasında bir oranına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Avrupa kıtası için öngörülen ekonomik kayıp oranı ise %2,8 ile %10,5 arasında bir aralıkta değişiklik göstermektedir (Swiss Re Institute, 2021). 2024 yılında meydana gelen 373 aşırı hava olaylarından kaynaklı ekonomik kayıp 223,8 milyar \$ olup; yaklaşık 167 milyon insan etkilenmiş ve 16.000'den fazla insanda hayatını kaybetmiştir (CRED, 2025). Dünya genelinde 5.000 üzerinde büyük ölçekli firmanın tesislerinin konumları üzerinden gerçekleştirilen bir değerlendirmede tüm sektörlerin kuraklık ve sıcaklık artışına bağlı risklere önemli ölçüde maruz kaldığı ve varlıklarının yaklaşık %33-38'inin bu tehlikelere yüksek düzeyde açık olduğu gösterilmiştir. Özellikle yüksek enerji ve su tüketimine bağımlı imalat sanayi başta olmak üzere, ulaştırma, enerji üretimi, madencilik ve tarım gibi kaynak yoğun sektörlerde bu riskler daha belirgindir. Analize dahil edilen firmalar için varlıklarının yaklaşık %18-23'ü ise sel ve orman yangınları açısından yüksek risk altında olup, bu tehlikeler tesislerde ciddi hasarlara, tekrarlayan kayıplara ve operasyonel aksamalara yol açabilmektedir. Deniz seviyesi yükselmesi ile fırtına ve hortum kaynaklı riskler daha düşük bir varlık oranını tehdit etse de, bu tehlikeler varlıklar, şirketler ve ekonomiler üzerinde bölgesel ve küresel ölçekte uzun vadeli ve geniş kapsamlı etkiler yaratabilmektedir. (Moody's, 2021). Fiziksel riskler, etkilerin ortaya çıkış şekilleri ve zaman dilimi açısından değerlendirildiğinde, akut fiziksel riskler ve kronik fiziksel riskler olmak üzere iki temel ve farklı kategoriye ayrılmakta ve sınıflandırılmaktadır.

Sel ve taşkın felaketleri, fırtına ve hortum gibi şiddetli hava olayları, orman yangınları ve kontrolsüz yangın olayları ve aşırı sıcak hava dalgaları gibi ani bir şekilde ortaya çıkan, beklenmedik zamanlarda meydana gelen ve acil müdahale gerektiren olaylar ve durumlar sebebiyle oluşabilecek olan riskler ve tehditler akut fiziksel riskler grubu içerisinde değerlendirilmekte ve bu kategoriye dahil edilmektedir. Bu tür ani gelişen ve çoğu zaman öngörülmesi güç olan olaylar ve afetler, sanayi tesislerinde ve üretim birimlerinde üretim faaliyetlerinin durmasına ve kesintiye uğramasına, fiziksel altyapı unsurlarında ciddi hasarların ve tahribatların meydana gelmesine, enerji arzında ve elektrik tedarikinde aksamalar ve düzensizliklerin yaşanmasına ve lojistik zincirinde ciddi bozulmalara, sevkiyat gecikmelerine ve dağıtım ağlarında aksaklıklara yol açabilmekte ve işletmelerin operasyonel devamlılığını tehdit edebilmektedir. Etkilerinin ve sonuçlarının daha uzun vadede görüldüğü ve ortaya çıktığı grupta yer alan kronik fiziksel riskler ve uzun dönemli tehditler arasında ise ortalama sıcaklık değerlerinde yaşanan sürekli ve kalıcı artışlar, yağış miktarı ve yağış rejimi gibi temel meteorolojik parametrelerin uzun vadeli değişimi ve sapmaları, deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyı alanlarının etkilenmesi, kuraklık ve su kaynaklarının azalması, doğal ekosistemlerin bozulması ve biyolojik çeşitlilik kayıpları gibi çok sayıda farklı risk faktörü ve tehdit unsuru yer almakta ve bulunmaktadır. Bu kronik etkiler ve uzun dönemli değişimler, üretim tesislerinde ve endüstriyel alanlarda soğutma sistemleri ve iklimlendirme ekipmanlarının kullanımında artışa bağlı olarak enerji maliyetlerinin önemli ölçüde artmasına, su kaynaklarına erişimde ve su temininde ciddi zorluklar ve kısıtlamalar yaşanmasına, hammadde tedarikinde aksaklıklar ve temin güçlükleri ortaya çıkmasına ve çalışanların sağlığı, güvenliği ve genel refahı üzerinde olumsuz ve zararlı etkilere neden olabilmekte ve işletmelerin sürdürülebilirliğini uzun vadede tehdit edebilmektedir. Yapılan projeksiyonlar ve modelleme çalışmaları, küresel ölçekte sıcaklık artışının 1,5°C seviyesine ulaşması durumunda 2030 yılına gelindiğinde toplam çalışma saatlerinin yaklaşık %2,2'sinin, yani tam zamanlı istihdam açısından 80 milyon işe denk gelen bir miktarın, yükselen sıcaklıklar ve buna bağlı olarak artan ısı stresi nedeniyle kaybedileceğini ortaya koymaktadır. Bu tahmin ve hesaplama, özellikle tarım sektörü ve inşaat sektöründe yürütülen işlerin büyük ölçüde gölgeli alanlarda gerçekleştirildiği varsayımına dayanmaktadır. Ancak eğer bu işlerin doğrudan güneş ışığına maruz

açık alanlarda yürütüldüğü daha gerçekçi bir senaryo ele alınırsa, bu durumda kaybedilecek çalışma saatlerinin oranı %3,8 seviyesine yükselmekte ve bu da tam zamanlı istihdam açısından 136 milyon işe denk gelen çok daha büyük bir verimlilik kaybına işaret etmektedir. Küresel ısınmanın 2030 yılından sonra da devam etmesi ve sıcaklık artışlarının daha da yükselmesi durumunda, işgücü verimliliğinde yaşanacak düşüşlerin çok daha ciddi boyutlara ulaşması kaçınılmaz olacaktır. İşyerlerinde yaşanan ısı stresinin neden olduğu ekonomik kayıplar incelendiğinde, 1995 yılında bu kayıpların 280 milyar \$ seviyesinde olduğu tahmin edilmekteyken, 2030 yılına gelindiğinde bu rakamın dramatik bir şekilde artarak 2.400 milyar \$ yükseleceği ve bu olumsuz etkilerin en yoğun şekilde düşük ve alt-orta gelir grubundaki ülkelerde hissedileceği öngörülmektedir (ILO, 2019). Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'de 2023 yılı boyunca toplam 5.283 adet ölümcül iş kazası meydana gelmiştir. Bu ölümcül kazaların 100 tanesinin birincil veya ikincil nedeni olarak hava koşulları tespit edilmiştir. 2021 yılında ise çevresel ısıya maruz kalma nedeniyle toplam 36 iş kazasında ölüm vakası meydana gelmiştir. 2011-2021 yılları arasındaki on yıllık dönemde ise çevresel ısıya bağlı ölümcül iş kazalarının toplam sayısı 436 olarak kaydedilmiştir (Bureau of Labor Statistics, 2025). İklim değişikliğinin küresel ticaret üzerinde yaratmış olduğu ekonomik risklerin toplam değerinin yaklaşık olarak 81 milyar \$ civarında bir seviyede olması beklenmektedir. Sanayi üretimi ve tüketimi ile ilişkili ekonomik faaliyetler ve bunların etkileri de hesaplamalara dahil edildiğinde, bu rakamın en az 122 milyar \$ seviyesine kadar yükseldiği görülmektedir. İklim değişikliğinin neden olduğu çeşitli aksaklıklar ve kesintiler özellikle tedarik zincirini önemli ölçüde etkilemektedir. Taşımacılık operasyonlarının etkilenmesi nedeniyle, teslimatlarda yaşanan aksaklıklar ve gecikmeler özellikle ağırlıklı bir şekilde hissedilmektedir. Eylül 2022 tarihinde Karayipler bölgesini ve ABD'yi vuran Ian Kasırgası, sevkiyat miktarlarında %75 oranında bir düşüşe ve nakliye sürelerinde ortalama 2,5 günlük bir artışa neden olmuştur. Hava koşullarının yarattığı olumsuz etkiler, aynı zamanda ABD'deki tüm yol gecikmelerinin yaklaşık %23'ünün temel nedeni olarak ortaya çıkmaktadır ve bu durum nakliye şirketlerine yıllık bazda 2 milyar ila 3,5 milyar \$ arasında değişen önemli bir maliyet yükü getirmektedir. Bu maliyetlerin oluşmasının altında yatan nedenler arasında vardiya kesintileri, transit

süreçlerinde bekleme maliyetleri, gecikme ücretleri ve müşteri elde tutma ile ilgili zorluklar gibi çeşitli faktörler bulunmaktadır (Economist Impact, 2025). Proje kapsamında değerlendirilen tesislerin yer aldığı Marmara Bölgesi'nde değişen iklim koşullarını kapsamlı bir şekilde analiz edebilmek ve değişim süreçlerini detaylı olarak inceleyebilmek amacıyla, klimatolojik veriler bölge sınırları içerisinde yer alan ve uzun yıllar boyunca kesintisiz olarak sistematik ölçümler gerçekleştiren Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı olarak faaliyet gösteren Florya, Kartal, Bursa, Kocaeli ve Tekirdağ meteoroloji gözlem istasyonlarından temin edilmiş ve araştırma kapsamında kullanılmıştır. Bölgede gelecek dönemlerde ortaya çıkması beklenen ve değişecek olan iklim koşullarını modellemek ve incelemek amacıyla da, uluslararası iklim araştırmaları kapsamında hazırlanan ve bilimsel camiada yaygın olarak kabul gören CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) projesi kapsamında üretilen ve geliştirilmiş olan iklim simülasyon verilerinden de yoğun bir şekilde faydalanılmıştır ve bu veriler analizlere dahil edilmiştir. CMIP6 verileri, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 6. Değerlendirme Raporu'nun temelini oluşturan kapsamlı ve detaylı bir veri setidir. Gelecekteki iklimi koşullarını tahmin etmek için, iklim değişikliğini etkileyecek ekonomik, sosyal ve fiziksel değişiklikler hakkında varsayımların yapılması gerekir. Bu nedenle, projeksiyonlar belli senaryo kabulleri eşliğinde yapılmakta olup; SSP ve RCP'ler (Shared Socio-economic Pathways- Ortak Sosyoekonomik Yollar ve Representative Concentration Pathways- Temsili Konsantrasyon Yolları) iklim modellerinin projeksiyonlarını oluşturmak için ihtiyaç duyduğu makul emisyon senaryolarıdır. SSP'ler, demografik, ekonomik, teknolojik, sosyal, yönetim ve çevresel faktörler gibi toplumun unsurlarındaki makul alternatif değişiklikleri tanımlamak için kullanılırlar. Senaryolarla çalışmanın amacı geleceği tahmin etmek değil, çok çeşitli olası gelecekler altında sağlam kararlara ulaşmak için belirsizlikleri daha iyi anlamaktır. İfadenin İlk sayısı varsayılan ortak sosyoekonomik yolu, ikincisi ise 2100 yılındaki yaklaşık küresel etkin radyatif zorlamayı ifade etmektedir (O'Neill, ve diğerleri, 2017). Söz konusu radyatif zorlamayı ifade eden rakamlar sanayi öncesi seviyelere göre 2100 yılına kadar toplam radyatif zorlamanın hedeflenen miktarda artmasına neden olacak sera gazı konsantrasyonlarını ifade ederler.

Su kaynaklarına erişim sanayi sektörleri açısından kilit bir rol oynamakta, oluşabilecek herhangi bir kuraklık işletmelerin üretim sürekliliğini ciddi bir biçimde etkileyebilmektedir.

Bölgedeki meteorolojik parametrelerin gelecek yıllara ait değişimlerini inceleyebilmek için IPCC 6. Değerlendirme Raporu'nda (IPCC, 2022) yer verilen ve CMIP6 projesinde kullanılan modellerden biri olan Fransa Ulusal Meteoroloji Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques) CM6-1 HR iklim modeli kullanılmıştır. SSP senaryolarından ise kötümser senaryo olan SSP5-8.5 senaryosuna ait çıktılar değerlendirmeye alınmıştır. Bu çerçevede ilerleyen bölümlerde sanayi tesisleri açısından öne çıkan fiziksel risk grupları özelinde değerlendirmelere yer verilmiştir.

2.1.1 Kuraklık ve Su Stresi

Sanayi sektörlerinde yapılan üretimler genellikle su kullanımını içermektedir. Su hammadde olarak (örn; gıda ve içecek sektörleri), soğutma suyu olarak (örn; demir-çelik, yarı iletken üretimi, cam sanayi) ve yıkama durulama (örn; kağıt, deri, tekstil sanayi) gibi farklı amaçlar için çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Sanayi sektörlerinde kullanılmakta olan su miktarı kamusal kullanım miktarlarına oranla çok daha fazladır. Avrupa Birliği üye devletleri 2022 yılında tüketilen toplam suyun yaklaşık %34'ünü elektrik santrallerinde soğutma amacıyla kullanırken bunu tarım (%29), evsel tüketim (%21) ve imalat sanayi (%15) takip etmiştir (EEA, 2024). Bu verilere göre, imalat sanayinin doğrudan kullandığı su miktarı %15 seviyesinde olmasına rağmen; tarım, elektrik üretimi ve evsel su kullanımı gibi sektörler için yapılan dolaylı su kullanımları da göz önüne alındığında, imalat sanayinin toplam su ayak izi açısından çok daha büyük bir paya sahip olduğu değerlendirilebilir. Dolayısıyla su kaynaklarına erişim sanayi sektörleri açısından kilit bir rol oynamakta, oluşabilecek herhangi bir kuraklık işletmelerin üretim sürekliliğini ciddi bir

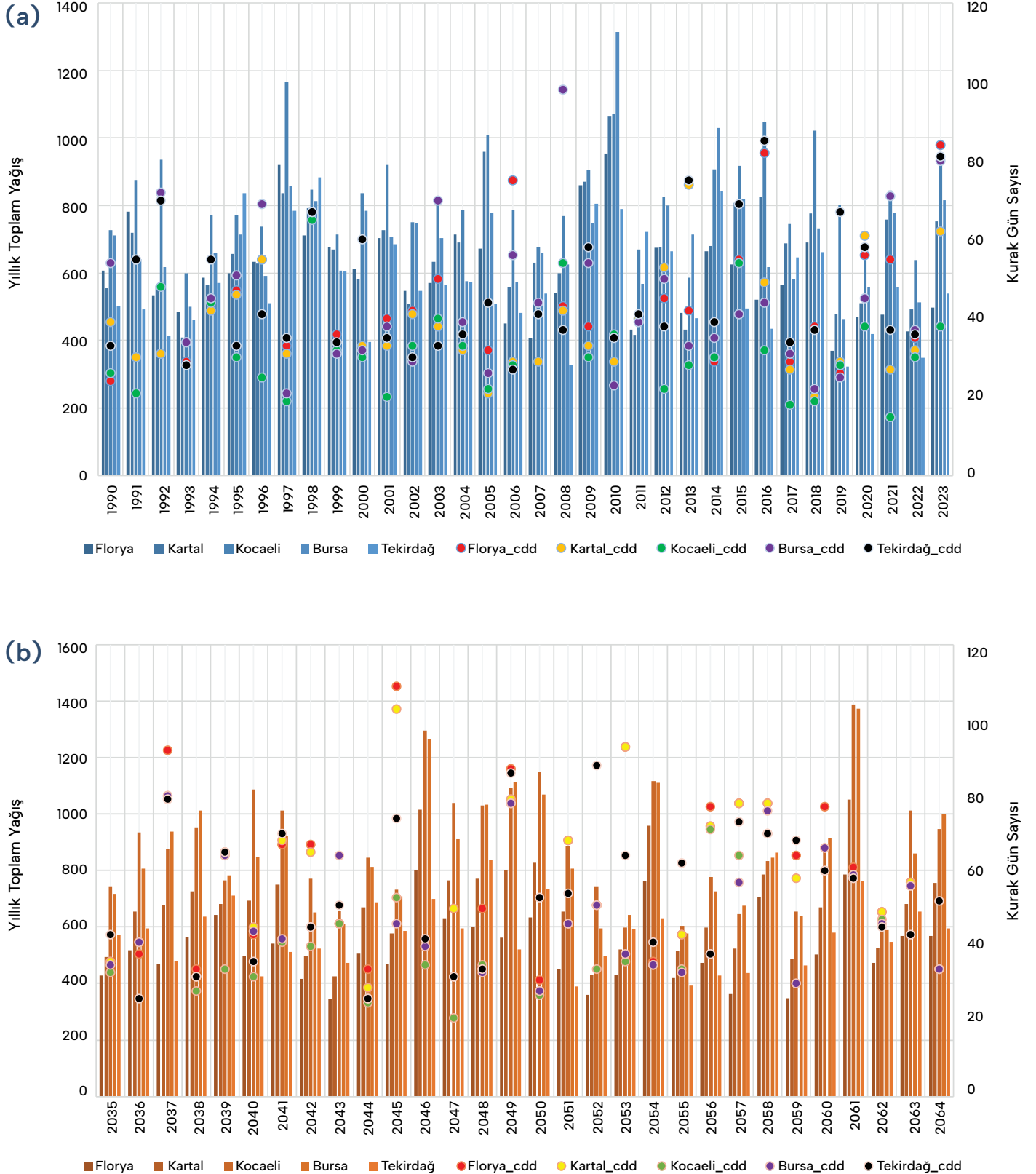
biçimde etkileyebilmektedir. 2022 yılında Avrupa'da yaşanan kuraklığın neden olduğu ekonomik kayıp 22 milyar \$ iken; Amerika'da 16 milyar \$'dır. 2022 yılı en maliyetli 10 olay tablosundaki üç kuraklık olayı, tehlikenin küresel ölçekte giderek artan önemini vurgulamaktadır. Özellikle Avrupa ülkelerindeki toplam kuraklık kayıpları, 2003 yazından bu yana en yüksek seviyeye ulaşırken, ABD, genel ekonomik kayıplar açısından 2012'den bu yana en kötü kuraklığı 2022'de yaşamıştır (AON, 2023).

Küresel ölçekte kuraklık nedeniyle sanayi tesislerinde üretimin durdurulduğu pek çok örnekle karşılaşmak mümkündür. Örneğin, 2019 yılında Hindistan'ın Chennai şehrinde yaşanan kuraklık sebebiyle bölgedeki tekstil ve deri üretim tesisleri faaliyetlerini durdurmak zorunda kalmış, bu felaket sonrasında yerel yönetimlerin ileri atıksu arıtma ve yağmur suyu toplama sistemlerinin genişletilmesi yönündeki faaliyetleri ile riskin azaltılması için çalışmalar yürütülmüştür (Joseph, R., 2022). ABD'nin Kaliforniya eyaletinde 2021 ve 2022 yıllarında yaşanan kuraklığın tarımla bağlantılı sektörlerle etkisinin değerlendirildiği bir çalışma, su tedarikinde %40'lara varan azalmanın, 700 bin hektar üzerinde ekili araziye doğrudan etkilediğini ve tarımsal üretimdeki gelir kayıplarının 1,7 milyar \$ seviyesine yükseldiğini ortaya koymuştur. Kuraklık, bölgede tarıma bağımlı süt ve et ürünleri üretimi yapan gıda tesislerinde 3,5 milyar \$'a varan gelir kaybına neden olarak bölgesel ekonomik etkileri arttırmıştır (Medellín-Azuara, J., Escrivá-Bou, A., Rodríguez-Flores, J.M., Cole, S.A., Abatzoglou, J.T., Viers, J.H., Santos, N., Sumner, D.A., 2022). Avrupa genelinde iklim değişikliğine bağlı kuraklık riskinin yaratacağı etkilerin değerlendirildiği bir diğer çalışmada ise güneydeki ülkelerin ekonomik büyüklüklerine göre günümüzde kuraklıktan en fazla etkilenen bölgeler olduğu ancak, küresel ısınmanın artması ile birlikte batı Avrupa'nın da giderek daha fazla risk altına gireceği değerlendirilmiştir. Kuraklığın özellikle tarımsal üretim başta olmak üzere, su temini, enerji üretimi ve nehir taşımacılığı gibi ekonomik açıdan önemli sektörler de ciddi zararlar oluşturabileceği ve bölgesel ölçekte gayrisafi yurtiçi hasılanın %1-2 oranında, tarımın ağırlıklı olduğu bölgelerde ise tarım gelirlerinin %15 oranında kaybedilebileceği belirtilmiştir (Motta, C., Naumann, G., Gomez, D., Formetta, G., Feyen, L., 2025). Dünya Bankası tarafından kuraklığın ekonomik etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada, gelişmekte olan ülkelerde normal koşullarla karşılaştırıldığında, orta

şiddette kuraklığın büyümeyi ortalama yaklaşık %0,39, aşırı kuraklık koşullarının ise ortalama yaklaşık %0,85 oranında azalttığı ortaya konmuştur. Buna karşın gelişmiş ülkelerde orta şiddette kuraklık etkilerinin mevcut önlemler sayesinde ekonomide hissedilmediği, aşırı kuraklık koşullarında ise gelişmekte olan ülkelerin yarısı seviyesinde ekonomik kayıpların olduğu belirtilmiştir (Esha, Z., Damania, R., Engle, N., 2023). Su sadece üretimde doğrudan kullanımı ile değil, özellikle nehir yolu taşımacılığının kullanıldığı bölgelerde ulaşım sürekliliği açısından da önemli bir meta olarak görülmektedir. Örneğin, Almanya'da Ren Nehri'nde su seviyesinin 30 gün boyunca düşük seyretmesi sebebiyle gemilerde daha az yük taşınabilmiş bu da hem navlun ücretlerinin artmasına hem de tesislerde üretimin aksamasına sebep olarak üretimde yaklaşık %1'lik bir düşüşe yol açmıştır. Uzmanlar, bu durumun iklim değişikliğiyle bağlantılı değişen yağış düzeninden kaynaklandığını ve özellikle 2018 ile 2022 yıllarında yaşanan kuraklık hadiselerinin bölgedeki kimya ve petrokimya tesislerini doğrudan etkileyerek ekonomik faaliyetleri ciddi şekilde aksattığını belirtmiştir (Kyllmann, C., 2023). Küresel ölçekte gemi trafiği açısından önemli geçiş yollarının da iklim değişikliğinden etkilenmekte olup, 2024 yılında Panama Kanalı'nda yaşanan kuraklık sebebiyle günlük gemi geçiş sayısı 38'den 24'e düşmüştür. Aynı dönemde Süveyş Kanalı'nda gemilere yönelik saldırılar sebebiyle yaşanan kesinti ile birlikte navlun maliyetlerinde yaşanan artışın dünya genelinde tüketici fiyatlarının %0,6 seviyesinde artmasına sebep olacağı öngörülmüştür (UNCTAD, 2024). Proje kapsamında değerlendirilen tesislerin yer aldığı Marmara Bölgesi'nde kuraklığa ilişkin bir değerlendirme yapabilmek adına bölgede bulunan 5 meteorolojik istasyonun verileri ve projeksiyon verileri irdelenmiş ve Şekil 2.3'te verilmiştir. Geçmiş dönem verilerine bakıldığında, Kocaeli 826,3 mm ortalama yağış ile bölgenin en yağışlı istasyonu olarak öne çıkmaktadır. Bunu sırasıyla 703,3 mm ile Bursa, 661,9 mm ile Kartal, 601,6 mm ile Florya ve 570,3 mm ile Tekirdağ takip etmektedir. Yıllık toplam yağış değerleri incelendiğinde bölgedeki en yüksek yağış 1.313,7 mm ile Bursa'ya düşmüştür. Minimum yıllık yağış değerleri açısından Tekirdağ 323,6 mm ile en kurak yılı yaşamış, bu değer bölgedeki kuraklık riskinin özellikle batı kesiminde yüksek olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca bölgedeki istasyonlarda günlük toplam yağış miktarının 1mm'nin altında kaldığı ardışık maksimum gün sayısı olarak tanımlanan kurak dönem süreleri

de hesaplanmıştır. Bu meteorolojik gösterge, bir bölgenin iklim karakteristiğini anlamak ve potansiyel kuraklık risklerini değerlendirmek açısından büyük önem taşımaktadır. 1990-2023 yılları arasında bir veri setini kapsayan analizler, Tekirdağ'ın ortalama 46,6 kurak gün ile en fazla kuru dönemi yaşayan istasyon konumunda olduğunu gösterirken; 45,9 gün ile Bursa ikinci sıradadır. Kocaeli ise 32,5 gün ile en az kurak gün yaşayan istasyon olmuştur, bu da yağışların daha düzenli dağıldığını göstermektedir. Maksimum kurak gün sayılarına bakıldığında, Bursa'da 98 gün, Tekirdağ'da 85 gün ve Florya'da 84 gün gibi oldukça uzun kuru dönemler yaşanabildiği görülmektedir. Gelecek dönem projeksiyonları bölgede önemli değişimlere işaret etmektedir. En dikkat çekici değişim Bursa'da gözlenmektedir; ortalama yağışın 703,3 mm'den 851,8 mm'ye yükselmesi beklenmektedir, bu yaklaşık %21'lik bir artışa karşılık gelmektedir. Kocaeli'nde de yağışın 826,3 mm'den 889,4 mm'ye çıkması öngörülmektedir. Kartal'da yağış 661,9 mm'den 672,9 mm'ye hafif artarken, Florya'da tersine bir eğilim görülmekte ve yağışın 601,6 mm'den 527,9 mm'ye düşmesi beklenmektedir, bu yaklaşık %12'lik bir azalmadır. Tekirdağ'da ise yağış 570,3 mm'den 580,9 mm'ye çok hafif artacaktır. Kurak gün sayılarındaki artış ise daha endişe vericidir. Florya'da kurak günler 43,4'ten 57,9'a çıkarak %33'lük bir artış gösterecektir. Kartal'da bu artış daha dramatik olup 38,6 günden 56.0 güne yükselecektir, bu %45'lik bir artış anlamına gelmektedir. Kocaeli'nde kurak günler 32,5'ten 44,1'e çıkacak, Bursa'da ise nispeten aynı seviyede kalarak 45,9'dan 46,5'e hafif yükselecektir. Tekirdağ'da 46,6'dan 53,7'ye bir artış beklenilmektedir. Maksimum kurak gün projeksiyonları ise ekstrem kuraklık riskinin artacağını göstermektedir. Florya'da maksimum kurak gün sayısının 84'ten 109'a, Kartal'da 74'ten 103'e çıkması beklenmektedir. Bu değerler, gelecekte su kaynakları yönetimi ve üretim planlamaları açısından ciddi zorluklar yaratabilecek uzun kuru dönemlerin yaşanabileceğine işaret etmektedir. Elde edilen sonuçlar göre toplam yağış miktarlarında bazı bölgelerde artış görülse de, kurak gün sayılarındaki genel artış eğilimi, yağışların daha yoğun ancak daha kısa süreli olacağına ve ardından daha uzun kuru dönemlerin yaşanacağına işaret etmektedir. Standartlaştırılmış Yağış - Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) iklimsel su dengesine dayandığından kurak dönemlerin tanımlanmasında önerilmekte olup; sınıflandırması 2,00 ve üzeri (aşırı nemli), 1,50 – 1,99

Şekil 2.3 – Marmara Bölgesi’nde yıllık toplam yağış miktarı ve kurak gün sayısı değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)



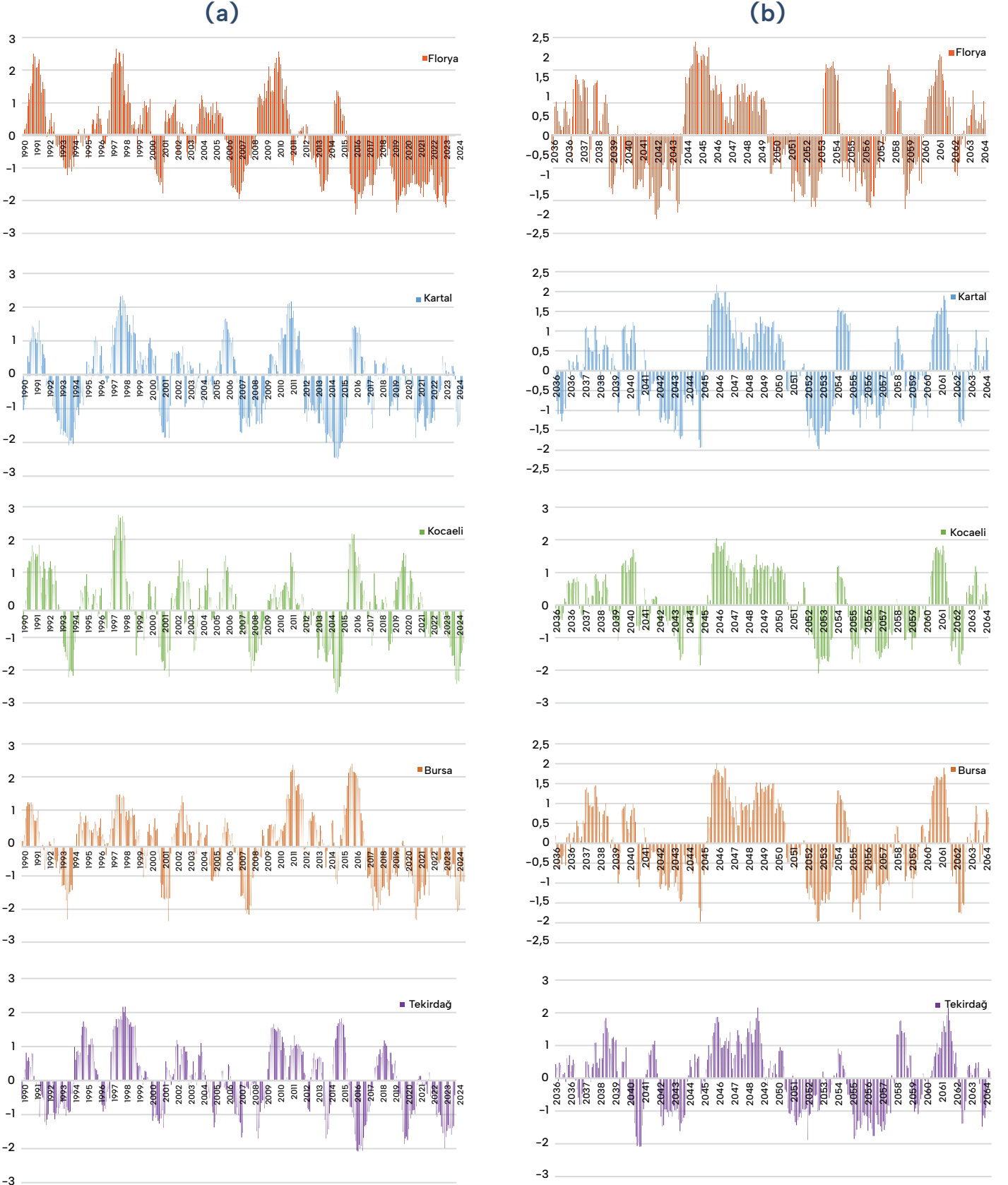
(çok nemli), 1,00 – 1,49 (orta nemli), 0 – 0,99 (hafif nemli), 0 – (-0,99) (hafif kurak), (-1,00) – (-1,49) (orta kurak), (-1,50) – (-1,99) (şiddetli kurak), (-2,00) ve altı (aşırı kurak) olarak tanımlanır. Bölgedeki istasyonlar verileri kullanılarak SPEI indisleri hesaplanmış ve Şekil 2.4’te verilmiştir. 1990’ların başındaki belirgin nemli faz 1993-1994’te hızla negatife dönmekte, 1998-2003 arasında yeniden kuvvetli pozitif değerlere tırmanma yaşansa da 2016’dan itibaren bölgesel kuraklıkların sıklaştığı görülmektedir. Özellikle bölgedeki tüm istasyonların son 5 yıl içerisinde kurak bir süreç geçirmektedir. Ortalama SPEI, Florya-Kartal-Kocaeli hattında +0,35 civarında pozitif iken Bursa ve özellikle Tekirdağ’da +0,15 düzeyinde olup; buna karşılık kurak ayların payı tüm istasyonlarda %22-25 bandındadır. Aşırı kurak (SPEI $\leq$ -2) aylara ise 2007 ve 2016-2018 yıllarında daha sık rastlanılmıştır. Projeksiyon sonuçları incelendiğinde ise 2035-2042 arası çoğu istasyonda negatif rejim hâkimdir. 2043-2050 arasında önce kuraklık indisinde bir azalma olacağı ve 2047-2049’da Bursa ve Tekirdağ dâhil tüm noktalarda güçlü nemli faz (aylık SPEI $>$ 1,5) gözlemlense de; 2051-2058’de yeniden kalıcı bir kuraklık eğilimi başlayacağı görülmektedir. 30-yıllık projeksiyon ortalamaları ile SPEI indisinin Florya ve Kartal’da +0,10 civarında, Kocaeli +0,05, Bursa -0,05, Tekirdağ -0,15’e gerilediği; Marmara’nın batısında (özellikle Tekirdağ) gelecekte hafif-orta derecede kurak koşulların görece daha baskın olacağı hesaplanmaktadır. Aynı dönemde kurak ay payı %27-30’a tırmanırken nemli ay payı %17’ye düşmektedir. Bölgede kurak/kuru aylara maruz kalma olasılığı mevcut döneme kıyasla yaklaşık %20 artması nemli ay sıklığının ise %15 azalması beklenmektedir. Ortalama SPEI değeri +0,35 ile bölge ortalamasının üzerinde seyreden Florya’da, gelecek dönemde ortalama SPEI değeri +0,10’a gerileyerek neredeyse nötr bir konuma düşecektir. Kurak ay payı %23’ten %28’e yükselmekte, bu da yılın yaklaşık 3,4 ayının kurak koşullarda geçeceğini ifade etmektedir. 2036-2039 ve 2051-2054 yılları arası Florya için özellikle riskli dönemler olup; ardışık üç-dört aylık kuraklık periyotlarının olasılığının %40’a çıktığı hesaplanmıştır. Mevcut dönemde +0,35 ortalama SPEI değeri ile Florya ile birlikte bölgenin en nemli iki istasyonundan biri olan Kocaeli ise 2035-2065 döneminde +0,05’e gerileyecektir. 2045-2055 arasında üst üste sekiz-dokuz kurak ay görülme olasılığının %35’e çıkacağı belirlenmiştir. Gelecek projeksiyonlarında Bursa’nın ortalama SPEI değeri -0,05’e düşerek bölgede

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Türkiye Kuraklık Projeksiyonları Raporu’nda (MGM, 2021), küresel ısınmanın etkisiyle sıcaklık girdilerine dayanan kuraklık indislerinin öneminin giderek arttığını vurgulamaktadır.

negatif ortalamaya sahip iki istasyondan biri olacağı öngörülmektedir. Özellikle, 2038-2042 ve 2053-2057 dönemleri bölge için kritik olup; toplam dokuz yıllık süreçte aylık SPEI değerlerinin %65’i negatif aralıkta seyredecek ve ortalama -0,55 değerine ulaşacaktır. Mevcut durumda bölgedeki yağış rejiminin en değişkenlik gösteren istasyonu olan Tekirdağ’ın, gelecek dönemde kurak ay payı %30’a çıkacağı ve yılın yaklaşık 3,6 ayı kurak koşullarda geçeceği tahmin edilmektedir. 2041-2044 yılları arasında Tekirdağ’ın yıllık ortalama SPEI değerinin -0,85’e düşmesi ve bu dört yıllık süreçte aşırı kurak (SPEI $\leq$ -2) ayların sayısının 11’e ulaşması beklenmektedir. 2055-2058 yılları arasında ise riskin daha da derinleşerek ortalama SPEI’nin -1,05’e düşeceği ve üst üste on iki aylık kuraklık periyodu görülme olasılığının %28’e çıkacağı hesaplanmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Türkiye Kuraklık Projeksiyonları Raporu’nda (MGM, 2021), küresel ısınmanın etkisiyle sıcaklık girdilerine dayanan kuraklık indislerinin öneminin giderek arttığını vurgulamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye genelinde geçmişte yaşanan ve gelecekte beklenen meteorolojik kuraklık olaylarının kapsamlı bir analizi yapılmıştır. Çalışmada, mevcut gözlemler ve HadGEM2-ES (RCP4.5) projeksiyonu kullanılarak SPEI-12 indisleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, bölgede şu anda görülen hafif-orta kurak koşulların gelecekte daha belirgin hale geleceğini göstermektedir. Özellikle 2030 yılından itibaren bölgenin hafif-orta kurak dönemleri çok daha sık yaşayacağı öngörülmektedir.

Şekil 2.4 – Marmara Bölgesi’nde SPEI kuraklık indisi değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)



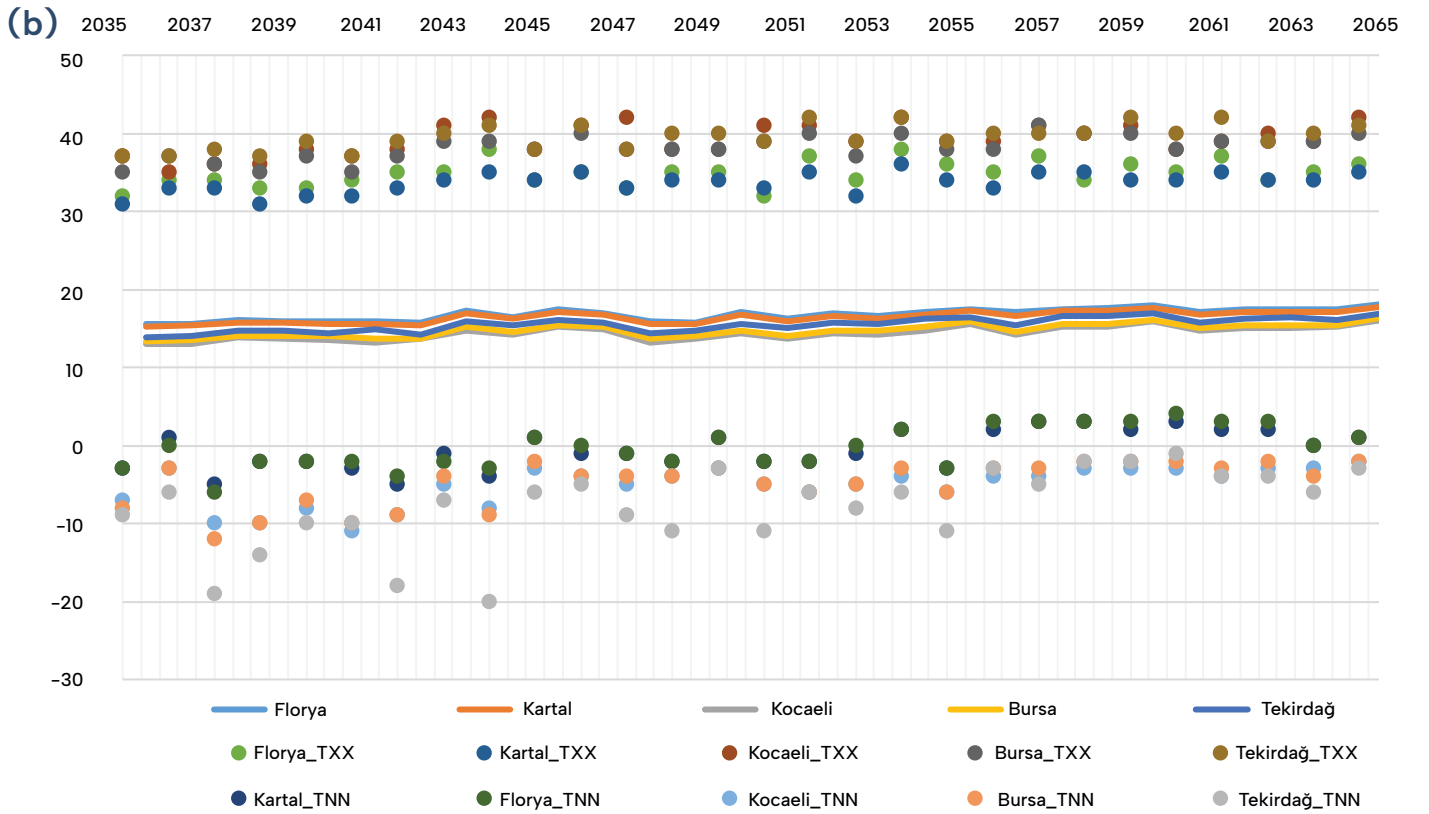
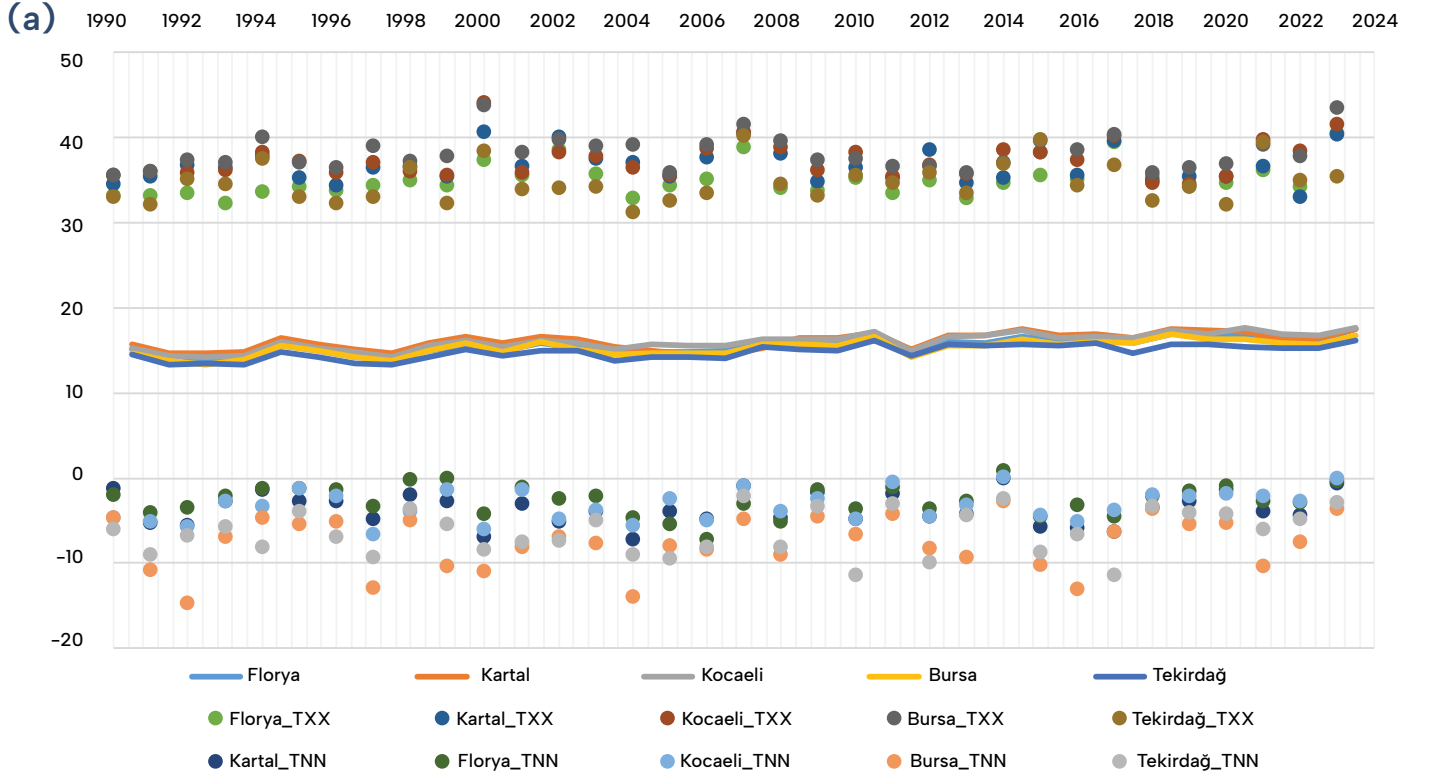
2.1.2 Sıcaklık Artışı

İklim değışikliğı sonucunda yükselen küresel sıcaklıklar, değışen soğutma ihtiyacı sebebiyle sanayilerde enerji tüketiminde ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Artan sıcaklıklar, hem işçi verimliliğini düşürmekte hem de üretim süreçlerinde kullanılan suyun buharlaşmasını hızlandırmaktadır. Bu durum, soğutma ihtiyacını artırarak daha fazla enerji ve su tüketimine yol açmaktadır. Yapılan araştırmalar, soğutma için gerekli olan endüstriyel enerji ihtiyacının önümüzdeki 25 yıl içerisinde yıllık olarak %1,8 ila %3,1 oranında artabileceğini ortaya koymaktadır (UNEP, 2023). Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) hazırladığı kapsamlı rapora göre, dünya genelinde giderek artan sayıda çalışanın sıcaklık stresine maruz kaldığı tespit edilmiştir. Raporda, geçmişte aşırı sıcak hava koşullarına alışkın olmayan coğrafi bölgelerin günümüzde giderek artan sağlık riskleriyle karşı karşıya kaldıkları, halihazırda sıcak iklim koşullarında çalışmakta olan işçilerin ise giderek daha tehlikeli ve zorlu koşullarda çalışmaya devam etmek zorunda kaldıkları açıkça ifade edilmiştir. Çalışmada, ısı stresinin çalışanlar için son derece ciddi bir tehdit oluşturduğu ve bunun hızla çeşitli hastalıklara, sıcak çarpmasına ve hatta ölümcül sonuçlara yol açabilen, görünmez ve sessiz bir katil niteliğı taşıdığı özellikle vurgulanmaktadır. Ayrıca, uzun vadede ısı stresine maruz kalan çalışanların ciddi kalp rahatsızlıkları, akciğer hastalıkları ve böbrek sorunları gibi kronik sağlık problemleri yaşayabileceğı de raporda belirtilmektedir. Verilere bakıldığında, Afrika kıtası, Arap ülkeleri ve Asya-Pasifik bölgesindeki işçilerin aşırı sıcak hava koşullarına en fazla maruz kalan gruplar arasında olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde iş gücünün sırasıyla %92,9'u, %83,6'sı ve %74,7'si aşırı sıcaklık koşullarından etkilenmektedir. 2020 yılı verilerine göre, bu oranların tümü küresel ortalama olan %71'in oldukça üzerinde seyretmektedir. 2020 yılında dünya genelinde yaklaşık olarak 4.200 işçinin sıcak hava dalgaları ve bunların doğrudan etkileri nedeniyle hayatını kaybettiğı tahmin edilmektedir. Yine aynı yıl içerisinde, toplam 231 milyon işçi sıcak hava dalgalarına maruz kalmış olup, bu sayı 2000 yılına kıyasla yüzde 66 oranında bir artış göstermiştir. Avrupa ve Orta Asya bölgesi, 2000-2020 yılları arasındaki yirmi yıllık dönemde yüzde 17,3'lük bir artışla aşırı sıcaklığa maruz kalmada en büyük ve en dikkat çekici artışı yaşayan bölge olmuştur. Bu oran, küresel ortalama olan %8,8'lik artışın neredeyse tam iki katını temsil etmektedir. Söz konusu bölgede 2000 yılından günümüze kadar geçen süre zarfında, ısı kaynaklı iş kazalarının oranında %16,4'lük önemli bir artış kaydedilmiştir (ILO, 2024).

Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) hazırladığı kapsamlı rapora göre, 2000 yılından günümüze kadar geçen süre zarfında, Avrupa ve Orta Asya bölgesinde ısı kaynaklı iş kazalarının oranında %16,4'lük önemli bir artış kaydedilmiştir.

Çin'de yaşanan sıcak hava dalgalarının endüstriyel üretkenlik üzerindeki etkilerinin değerlendirildiğı bir çalışmada, 1998-2007 yılları arasında faaliyet gösteren tesislerde sadece bir günde yaşanan 32°C üzerindeki sıcaklık seviyelerinin tesis bazında 10.000 \$'dan fazla ek maliyete sebep olduğu ortaya konmuştur (NBER, 2017). Sario ve arkadaşları, gerçekleştirdikleri literatür derleme çalışması kapsamında 21 küresel ve 28 bölgesel araştırmayı incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre yüksek sera gazı emisyon senaryosunun gerçekleşmesi durumunda 2100 yılına kadar olan süreçte işgücü verimliliğinde yaşanacak kayıpların %10 ile %40 arasında değışen oranlarda gerçekleşeceği, bununla birlikte GSYİH kayıplarının ise %1,8 ile yüzde 23 arasında değışen geniş bir aralıkta seyredeceğı öngörülmektedir. Özellikle tarım sektöründe yaşanacak verimlilik kaybının %30 ile %50'nin oldukça üzerinde rakamlara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Batı Afrika bölgesi, Güneydoğu Asya ülkeleri ve Orta ile Güney Amerika kıtaları, ısı kaynaklı ekonomik etkilerden en yoğun şekilde etkilenenler olacak coğrafi bölgeler arasında öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, Güney Avrupa ülkelerinde, ABD'nin bazı belirli bölgelerinde ve Avustralya'da da benzer şekilde önemli düzeyde etkiler gözlemlenecektir. Orta ile yüksek emisyon senaryolarının gerçekleşmesi halinde Güney Avrupa bölgesinde %0,4 ile %0,9 arasında değışen oranlarda verimlilik kaybı, ABD'de %10,2 oranında ücret kaybı ve Çin'de ise %16 ile %17 arasında değışen oranlarda işgücü kapasitesi kaybı yaşanacağı öngörülmektedir. Tarım sektörü, ısı kaynaklı olumsuz etkilerden en şiddetli şekilde etkilenenler olacak sektör konumundadır; bunun yanı sıra inşaat, imalat, ulaştırma, hizmet sektörü ve madencilik gibi diğer önemli ekonomik sektörler de çeşitli düzeylerde olumsuz etkilerle karşılaşacaktır (De Sario, ve diğerleri, 2023).

Şekil 2.5 – Marmara Bölgesi’nde yıllık sıcaklık değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)



Proje kapsamında değerlendirilen tesislerin yer aldığı Marmara Bölgesi içerisinde yer alan ve bölgeyi en iyi temsil edecek uzun dönemli ölçüm geçmişine sahip Florya, Kartal, Kocaeli, Bursa ve Tekirdağ istasyonları ile ve CNRM CM6-1 HR iklim projeksiyonlarına ait sıcaklık verileri incelenmiş olup; hem ortalama sıcaklıklar hem de ekstrem değerlerde önemli değişimler ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.5). Ortalama sıcaklık değerleri istasyonlara göre küçük farklılıklar göstermekte, özellikle Marmara'nın iç kesimlerinde yer alan Bursa ve Tekirdağ istasyonlarında diğerlerine göre daha düşük yıllık ortalama sıcaklıklar kaydedilmiştir. 5 istasyonun 1990-2023 yılları arasındaki ortalama sıcaklıklarının ortalaması 15,5°C olarak hesaplanmıştır. En yüksek ortalama sıcaklık değerleri 16,1°C ile Kartal istasyonunda ölçümlenmiştir. Bölgede ayrıca uç sıcaklık değerleri de incelenmiş olup; en yüksek maksimum sıcaklık (TXX) değerlerinin 31-44°C arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir. İnceleme dönemi içerisinde en yüksek sıcaklıklar 44,1°C ile Kocaeli istasyonunda gözlemlenmiştir. En düşük minimum sıcaklık (TNN) değerleri ise özellikle bölgede -15°C'ye kadar indiği dönemler olduğu görülmüştür. Sıcaklık değerlerinin yıllar içerisinde değişimi incelendiğinde üç parametrenin de artış trendi içerisinde olduğu görülmektedir. Gelecek dönem projeksiyonları, bölgede önemli değişimlere işaret etmektedir. En dikkat çekici değişim ortalama sıcaklıklarda gözlenmektedir; Florya'da sıcaklığın 15,56°C'den 16,88°C'ye yükselmesi beklenmektedir, bu yaklaşık 1,3°C'lik bir artışa karşılık gelmektedir. Kartal'da da sıcaklık 16,07°C'den 16,57°C'ye çıkacaktır. Maksimum sıcaklık değerlerinde ise endişe verici artışlar beklenmektedir. Tekirdağ'da maksimum sıcaklık ortalaması 34,7°C'den 39,8°C'ye çıkarak yaklaşık 5°C'lik bir artış gösterecektir. Kocaeli'nde bu değer 37,4°C'den 39,4°C'ye yükselecektir. Ekstrem maksimum değerlere bakıldığında, Tekirdağ'da 43°C'ye, Kocaeli ve Bursa'da 42°C'ye kadar çıkabilecek sıcaklıklar öngörülmektedir. Minimum sıcaklıklarda ise genel bir ısınma trendi görülmektedir. Florya'da ortalama minimum sıcaklık -3,7°C'den -0,4°C'ye yükselecek, Kartal'da -2,6°C'den -0,2°C'ye çıkacaktır. Bu değerler, kış aylarında don olaylarının azalacağını göstermektedir. Ancak ekstrem minimum sıcaklık projeksiyonları hala dikkat çekicidir; Tekirdağ'da -20°C'ye, Bursa'da -12°C'ye kadar düşebilecek soğuk hava dalgaları yaşanabilecektir. 2019-23 döneminde, 1981-2010 dönemine kıyasla OECD ve ortak ülkelerinde ortalamanın üzerinde sıcaklıkların görüldüğü yılda ortalama 30 gün daha yaşandı. OECD ve ortak ülkelerde, 1981-2010 referans dönemine kıyasla 2019-2023 döneminde tahmini olarak %12 daha fazla insan bu tür koşullara maruz kalmıştır (OECD,

Ortalama 0,5-1,3°C sıcaklık artışı ve ekstrem sıcaklıklarda 2-5°C'lik artışların yaşanacağı öngörülen Marmara Bölgesi'nde genel ısınma eğilimine rağmen, ekstrem sıcaklık olaylarının (hem sıcak hem soğuk) daha sık ve şiddetli yaşanması beklenmektedir.

2024). Ortalama 0,5-1,3°C sıcaklık artışı ve ekstrem sıcaklıklarda 2-5°C'lik artışların yaşanacağı öngörülen Marmara Bölgesi'nde genel ısınma eğilimine rağmen, ekstrem sıcaklık olaylarının (hem sıcak hem soğuk) daha sık ve şiddetli yaşanması beklenmektedir. Kış ayları sıcaklıklarında da genel bir ısınma trendi görülmektedir. Tüm bu koşullar, enerji talebi yönetimi, sektörel adaptasyon stratejileri ve ekstrem hava olaylarına hazırlık açısından bölge için önemli zorluklar yaratması beklenmektedir.

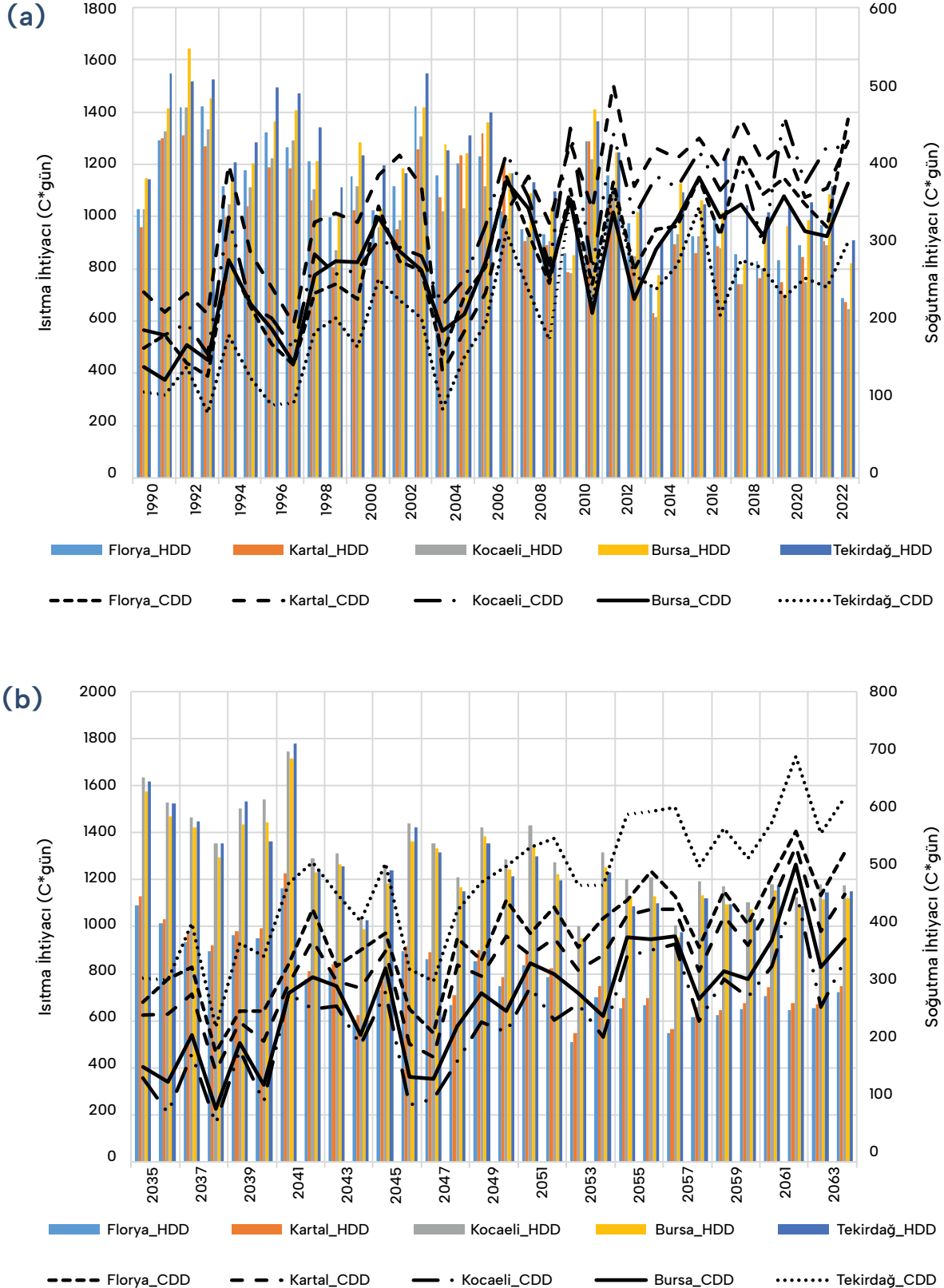
Maksimum sıcaklığın 35°C'yi aştığı günler aşırı sıcak günler olarak tanımlanmakta olup; bu durum insan sağlığını etkileyen bir eşik olarak kabul edilir. Yüksek gece sıcaklıklarıyla ilişkilendirilen tropikal geceler, uyku bozuklukları ve geceleri serinleme yetersizliği nedeniyle insan sağlığı için riskler oluştururken, artan ekonomik maliyetlere de yol açmaktadır (Maes, ve diğerleri, 2022). Hindistan'da, emisyonlar yüzyılın ortasına kadar azaltılmazsa, ülkenin yılda 118 gün üzerinde 35°C'yi aşan sıcaklık yaşaması ve çalışanların aşırı ısıya maruz kalması nedeniyle çalışma saatlerinin yılda 19,6 saat azalması beklenmektedir. Florya istasyonundan 1990-2024 yılları arasında ortalama 1,2 gün 35°C'yi aştığı kayıtlanmış olup; gelecek projeksiyonlarında bu rakamın yaklaşık iki katına çıkarak ortalama 2,3 güne ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu hadise ile karşılaşma olasılığı ise %40'tan %60'a çıkacaktır.

Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından bir dizi olağandışı sıcak gün ve gecenin ardından yerel aşırı ısının biriktiği dönem olarak tanımlanan sıcak hava dalgaları, insan ölümlerinin artması, kuraklık ve su kalitesi, orman yangınları ve duman, elektrik kesintileri ve tarımsal

kayıplar gibi sağlıkla ilgili veya ekonomik riskler gibi birçok riski artırmaktadır. 2022 yılında Çin’de 70 günden fazla süren bir sıcak hava dalgası yaşanırken; Birleşik Krallıkta 40,3°C ile rekor bir sıcak hava dalgası yaşanmıştır. 2018 yılında 220 milyondan fazla savunmasız insanın sıcak hava dalgalarına maruz kaldığı belirlenmiştir (WMO_b, 2025). 2024’ün en ölümcül 10 doğa felaketinden altısı sıcak hava dalgalarıdır. İlk üç sırada Yunanistan ile İtalya, Güney Doğu Asya ve Suudi Arabistan’da yaşanan hadiseler gelmektedir. İklim değişikliğinin etkisiyle hem sıklık hem de şiddet açısından artış göstermekte, doğal ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturmakta olan sıcak hava dalgalarının etkisi sadece doğal çevreyle sınırlı kalmayıp, modern ekonominin temel direklerinden biri olan sanayi sektörü üzerinde de önemli ve çok yönlü riskler barındırmaktadır. Sanayi tesislerinin operasyonel verimliliğinden çalışan sağlığına, enerji tüketiminden tedarik zinciri yönetimine kadar geniş bir yelpazede olumsuz sonuçlar doğurabilen bu iklim olayı, üretim süreçlerinin sürdürülebilirliği ve ekonomik istikrar açısından giderek daha kritik bir tehdit hâline gelmektedir. Marmara Bölgesi için 1990-2023 dönemi ile 2035-2064 projeksiyonları birlikte ele alındığında, bölgenin hem daha sık hem de daha uzun süreli sıcak hava dalgaları yaşayacağı öngörülmektedir. Bölgede yaşanan sıcak hava dalgası sıklığı ortalama 13 gün iken; gelecek projeksiyonlarında 15 güne çıkması beklenmektedir. Florya istasyonu verilerine göre bölgede 2000 yılında 25, 2010’da 27, 2012’de 21, 2015’te 25, 2019’da 38 ve 2023’te 44 gün sıcak hava dalgası yaşanmış gün olarak tanımlanabilir. Yıl içerisinde yaşanacak sıcak hava dalgası sayısı ile sıklığı (toplam gün sayısı) birlikte ele alındığında, gelecekte yalnızca daha fazla sayıda sıcak hava dalgası yaşanacağı değil, bu dalgaların daha uzun sürdüğü ve zaman zaman yıl içinde kümeleneyeceği görülmektedir. Kocaeli için geçmiş dönemde ortalama yılda 2.2 dalga ve yaklaşık 10-15 gün sıcak hava dalgası varken, projeksiyon döneminde dalga sayısı 2,5-2,6’ya, dalga günleri ise 20 günün üzerine çıkacaktır. Tekirdağ’da geçmişte bazı yıllarda hiç dalga yokken veya sadece birkaç günle sınırlıyken, gelecekte neredeyse her yıl belirli sayıda sıcak hava dalgası hadisesi ve ciddi süreler (20-30 gün) öngörülmektedir. Projeksiyon sonuçları her yaz mevsiminde en az bir, çoğu zaman birkaç sıcak hava dalgası ve bunların toplamda haftalar süren etkileriyle karşılaşılacağını göstermektedir. 2042-2043 yıllarında Florya ve Kartal’da 16-21 gün, Kocaeli ve Bursa’da 21-26 gün, Tekirdağ’da 17-23 gün sıcak hava dalgası yaşanması beklenirken; 2061-2062 yıllarında bu baskı daha da artmakta; Florya’da 35-31, Kartal’da 37-38, Kocaeli’nde

33-38, Bursa ve Tekirdağ’da 29-38 gün bu etkiye maruz kalınacağı tahmin edilmektedir. Soğutma gün dereceleri (Cooling degree days - CDD), esasen bir binanın soğutulması için gerekli olan enerji talebinin dolaylı bir ölçüsüdür. Bu gösterge, dış ortam sıcaklığının belirlenen eşik değerin üzerine çıktığı günlerde, sıcaklık farkının ve bu farkın süresinin bir fonksiyonu olarak hesaplanması ile elde edilmektedir. Resmi olarak belirlenmiş bir eşik sıcaklık değeri olmamakla birlikte MGM tarafından bu değer 22°C olarak kabul edilmektedir. Bu çerçevede yapılan hesaplamalara göre, bölgedeki en yüksek soğutma ihtiyacı Kartal’da hesaplanmış olup; ortalama 339°C gündür. 30 yılı aşkın süredeki değerler incelendiğinde tüm bölgelerde soğutma ihtiyacı 2 katına çıkmıştır. Bölgedeki en düşük soğutma ihtiyacı ise Tekirdağ’dadır. Isıtma gün dereceleri (Heating degree days - HDD), belirli bir zaman diliminde (gün, ay veya yıl bazında) dış ortam sıcaklığı ile iç mekan konfor sıcaklığı arasındaki farkı dikkate alarak, bir binanın ısıtma ihtiyacının şiddetini ve süresini ölçen önemli bir iklim göstergesidir. Isıtma gün derecelerinin hesaplanmasında, genellikle bir eşik sıcaklık değeri baz alınır. Bu eşik değer, ülkeden ülkeye ve hatta bölgeden bölgeye farklılık gösterebilmektedir. Türkiye’de MGM tarafından bu eşik sıcaklık 15°C olarak kabul edilmektedir. Bölgedeki en yüksek ısıtma ihtiyacı yıllık ortalama 1.642 °C gün ile Bursa’da, en düşük ise 1.319°C gün ile Kartal’dadır. Yıllar içerisindeki ısıtma ihtiyacı değerleri incelendiğinde bir azalma trendi olduğu, ortalama sıcaklıkların yükseldiğine ve kış mevsimlerinin ılımanlaştığına işaret etmektedir (Şekil 2.6). Gelecek projeksiyon sonuçları incelendiğinde ise 2035-2065 yılları arasında Florya’da ısıtma ihtiyacı 1.071,4°C gün seviyesinden 775,9°C güne düşerek %27,6’lık bir azalma gösterecektir. Kartal’da ise bu rakam yaklaşık %19’dur. Bölgedeki soğutma ihtiyacının en yüksek artışı gösterdiği bölge Tekirdağ olup; 211,2°C gün seviyesinden 474,2°C güne yükselerek %124,5’lik dramatik bir artış göstermektedir. Florya’da soğutma ihtiyacı %35,4 artarak 279,6°C günden 378,7 °C güne çıkması beklenmektedir. Marmara Bölgesi için de konumsal değişiklikler göz önüne alındığında Florya ve Kartal’da “daha az ısıtma, daha fazla soğutma”, Kocaeli’nde “daha fazla ısıtma, daha az soğutma” ve Tekirdağ’da “minimal ısıtma artışı, ekstrem soğutma artışı” ihtiyaçlarının yaşanacağı belirlenmiştir. Özellikle yüksek soğutma ihtiyacı artışı olan bölgelerde elektrik şebekesi kapasitesinin ve enerji kaynaklarının güçlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 2.6 – Marmara Bölgesi’nde ısıtma ve soğutma ihtiyacı değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)

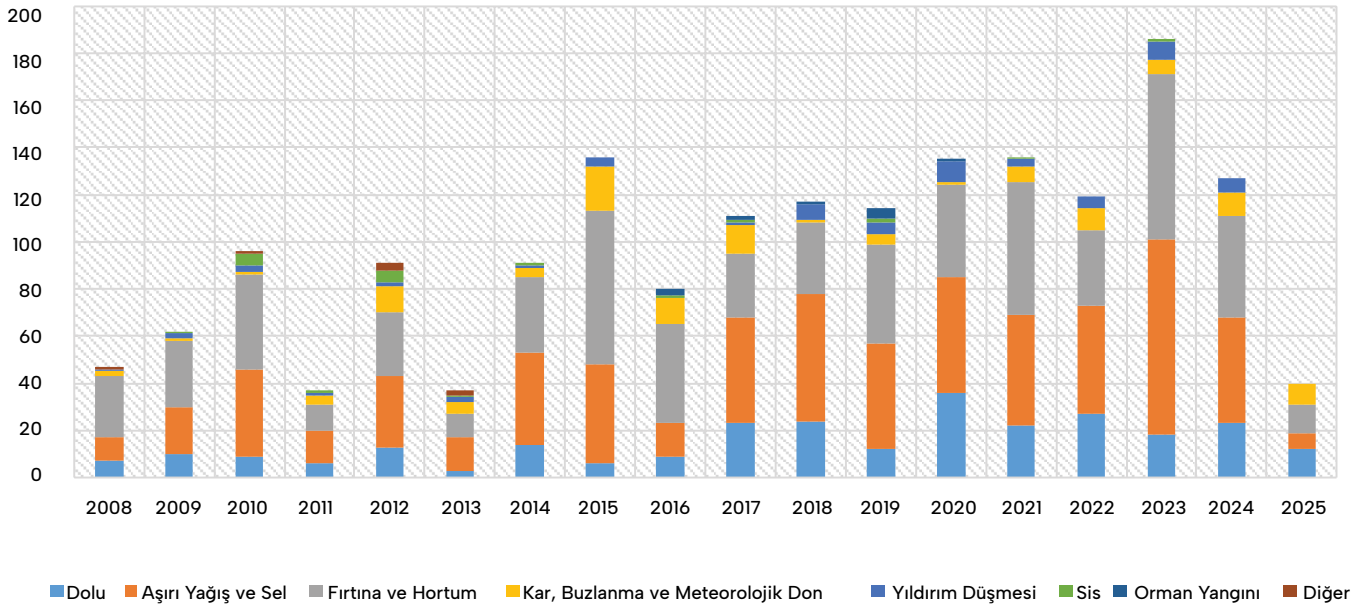


2.1.3 Aşırı Hava Olayları

İmalat sanayi üretim tesislerinin aşırı yağış ve sele maruz kalması ürünlerin zarar görmesine ve tesislerde hasar oluşmasına sebep olabilir. Şiddetli sel baskınları, üretim tesisinde bulunan ürünlere, yüksek bütçeli imalat makinalarına ve malzemelere zarar vererek üretimi sekteye uğratabilir. Bu tür afetlerin ardından oluşan yüksek onarım maliyetleri, firmaları ekonomik olarak etkilemektedir. Yapılan bir araştırma sonucunda, Asya kıtasında yer alan tesislerin yaklaşık %19-24'ünün sel riskine karşı yüksek oranda savunmasız olduğu görülmüştür (UNEP, 2023). Aşırı hava olaylarının neden olduğu etkiler, bölgesel açıdan ekonomide ciddi aksaklıklara yol açarken, işletmeleri yeni stratejiler

geliştirmeye ve iklim değişikliğine uyum sağlamaya zorlamaktadır. Çalışma çağındaki her bir kişinin ölümü, her bir sakatlık ve bir afet sonucu altyapıda meydana gelen her hasar, birkaç neslin üretim potansiyelini azaltmaktadır. 2000 ile 2015 yılları arasında, insan faaliyetlerinin neden olduğu veya aşırı hava olayları sonucu her yıl 23 milyon çalışma ömrü yılının kaybedildiğini tahmin edilmektedir (ILO, 2025). Aşırı hava olaylarının değişimine dair genel bir bakış açısı sunmak adına Marmara Bölgesi'nde son yıllarda meydana gelen aşırı hava olayları incelenmiş olup Şekil 2.7'de yer verilen grafik, bölgenin iklim değişikliğine bağlı meteorolojik değişimlerini açıkça ortaya koymaktadır.

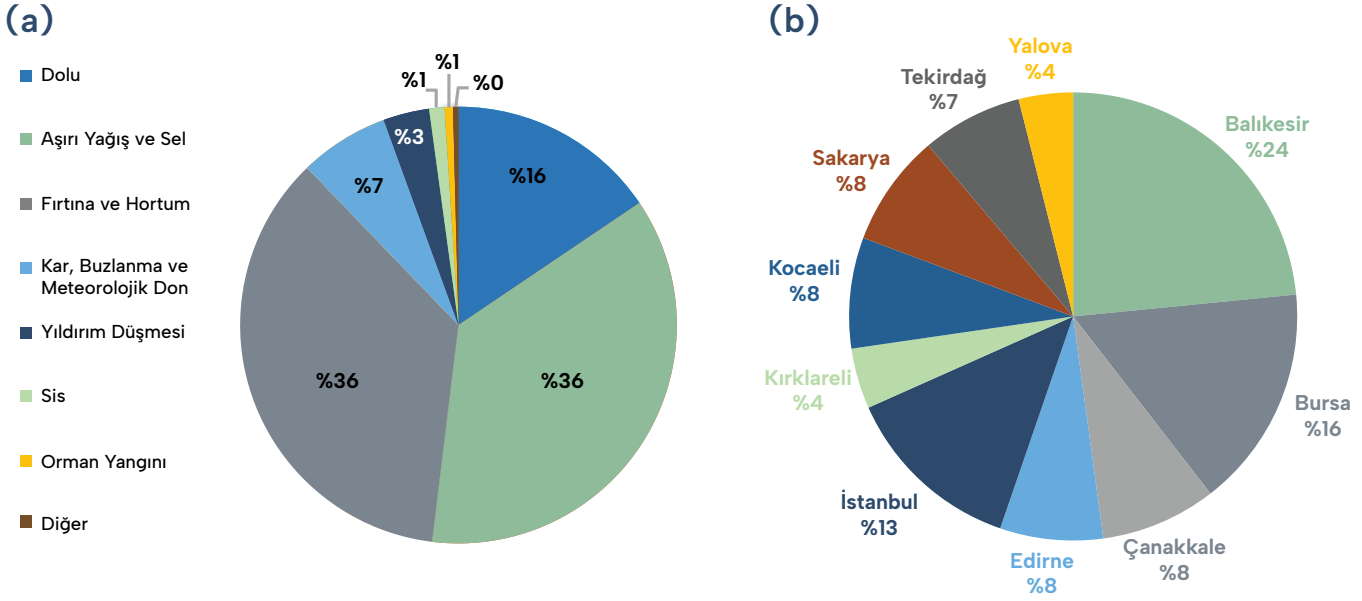
Şekil 2.7 – Marmara Bölgesi'nde yaşanan aşırı hava olayları (2008–2025)



2008-2025 yılları arasında meydana gelen meteorolojik olayların analiz edildiği bu veri seti, 18 yıllık süreçte toplam 1.762 olayın kaydedildiğini göstermektedir. Veriler incelendiğinde, en sık karşılaşılan meteorolojik olayın 641 vakayla “Aşırı Yağış ve Sel” olduğu görülmektedir. Bu kategori, özellikle 2023 yılında 83 olayla zirve yapmış ve yıllar içinde sürekli bir artış eğilimi sergilemiştir. İkinci sırada ise 632 olayla “Fırtına ve Hortum” yer almakta olup, 2015 yılında 65 vakayla en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Üçüncü sırada ise 274 olayla “Dolu” bulunmaktadır ve 2020 yılında 36 olayla en fazla görülmüştür. “Kar, Buzlanma ve Meteorolojik Don” olayları 117 kez meydana gelmiş, özellikle 2015

yılında 19 olayla dikkat çekmiştir. “Yıldırım Düşmesi” 60 kez, “Sis” olayları ise 20 kez kaydedilmiştir. Yıllık dağılıma bakıldığında, en fazla olayın 186 vakayla 2023 yılında, en az olayın ise 37’şer vakayla 2011 ve 2013 yıllarında gerçekleştiği görülmektedir. 2010 yılında 96 olay kaydedilirken, 2015 sonrasında genel olarak olay sayılarında artış trendi gözlemlenmektedir. 2020 yılında 135, 2021 yılında 136 olay meydana gelmiş ve bu yükseliş 2023’te 186 olayla en yüksek noktaya ulaşmıştır. 2025 yılı için ise, yılın henüz tamamlanmamış olması nedeniyle 40 olay kaydedilmiştir. Marmara Bölgesi’nde meydana gelen aşırı hava olaylarının hadiseye ve illere göre dağılımı Şekil 2.8’de verilmiştir.

Şekil 2.8 – Marmara Bölgesi’nde meydana gelen aşırı hava olaylarının hadiseye (a) ve illere (b) göre dağılımı (2008–2025)



İnceleme zamanı içerisinde en fazla aşırı hava olayına maruz kalan il 413 vakayla Balıkesir’dir. Balıkesir, özellikle 2010 yılında 46 olayla zirve yapmış ve yıllar boyunca sürekli yüksek bir eğilim göstermiştir. İkinci sırada 283 olayla Bursa yer almaktadır; 2021 yılında 36 vakayla en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Üçüncü sırada ise 230 olayla İstanbul bulunmaktadır; 2015 yılında 33 olayla en fazla etkilenmiştir. Bu dönem içerisinde Çanakkale’de 147, Sakarya’da 143, Kocaeli’nde 141, Edirne’de 131 ve Tekirdağ’da 128 vaka yaşandığı kayıt altına alınmıştır. En az etkilenen illerden birisi 69 olay ile Yalova olmuştur. Bölgesel olarak bakıldığında, 2010 öncesinde daha düşük olay sayıları görülürken, 2015 sonrasında tüm illerde belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Özellikle 2020-2024 döneminde olay sayılarında ciddi artışlar yaşanmıştır; bu durum iklim değişikliğinin bölgesel etkilerini ortaya koymaktadır. Aşırı hava olaylarından kaynaklı zararlar incelendiğinde, özellikle ulaşım sektörü bu durumdan olumsuz etkilenmiştir; karayolu, deniz ve hava ulaşımında aksamalar meydana gelmiş, çok sayıda trafik kazası yaşanmış, yollar kapanmış ve ulaşım araçları zarar görmüştür. Zira ürünler ve tarım alanları da büyük ölçüde etkilenmiştir; ekili araziler, sebze bahçeleri, meyve ağaçları ve endüstri bitkileri zarar görmüş, aşırı yağış ve don nedeniyle çiçekler ve meyveler dökülmüş, birçok tarım arazisi su altında kalmıştır. Yerleşim yerleri

ve altyapı da ciddi hasar görmüştür; evler ve işyerleri sular altında kalmış, çatılar uçmuş, bacalar yıkılmış, duvarlar çökmüş, elektrik, enerji nakil ve haberleşme hatlarında arızalar ve kopmalar yaşanmıştır. Son olarak, insan ve hayvan sağlığı da tehdit altına girmiştir; yıldırım düşmesi, soğuk hava ve seller nedeniyle can kayıpları ve yaralanmalar olmuş, hayvanlar telef olmuş ve şehir içi ulaşım aksamıştır.

Şiddetli yağışlar, ani sellere neden olarak, heyelanları tetikleyerek ve potansiyel olarak hem insanları hem de ekonomik altyapıyı etkileyerek ülkeler için önemli tehlikeler oluşturmaktadır. 2019 ve 2023 yılları arasında aşırı yağış olaylarına maruz kalan en yüksek arazi payına sahip OECD ve ortak ülkeleri arasında Endonezya (%37,3), Kolombiya (%28,2), Peru (%22,4) ve Brezilya (%15,8) yer almaktadır. 2023 yılında Avrupa, kıta genelinde 1,6 milyon insanı etkileyen şiddetli sel felaketi yaşamıştır. İtalya’daki seller Mayıs ayında 36.000 kişinin yerinden olmasına ve 15 kişinin ölümüne yol açarken, Ağustos 2023’te Slovenya’nın üçte ikisi sular altında kalmış ve altı kişi hayatını kaybetmiştir. Eylül 2023’te ise Yunanistan, Bulgaristan ve Türkiye’de rekor yağışlar 29 ölüme neden olmuş, sadece Yunanistan’da 700 km²’lik alan su altında kalmıştır (OECD, 2024).

İmalat sanayi üretim tesislerinin aşırı yağış ve sele maruz kalması ürünlerin zarar görmesine ve tesislerde hasar oluşmasına sebep olabilir. Şiddetli sel baskınları,

Şiddetli yağışlar, ani sellere neden olarak, heyelanları tetikleyerek ve potansiyel olarak hem insanları hem de ekonomik altyapıyı etkileyerek ülkeler için önemli tehlikeler oluşturmaktadır. 2023 yılında Avrupa, kıta genelinde 1,6 milyon insanı etkileyen şiddetli sel felaketi yaşamıştır.

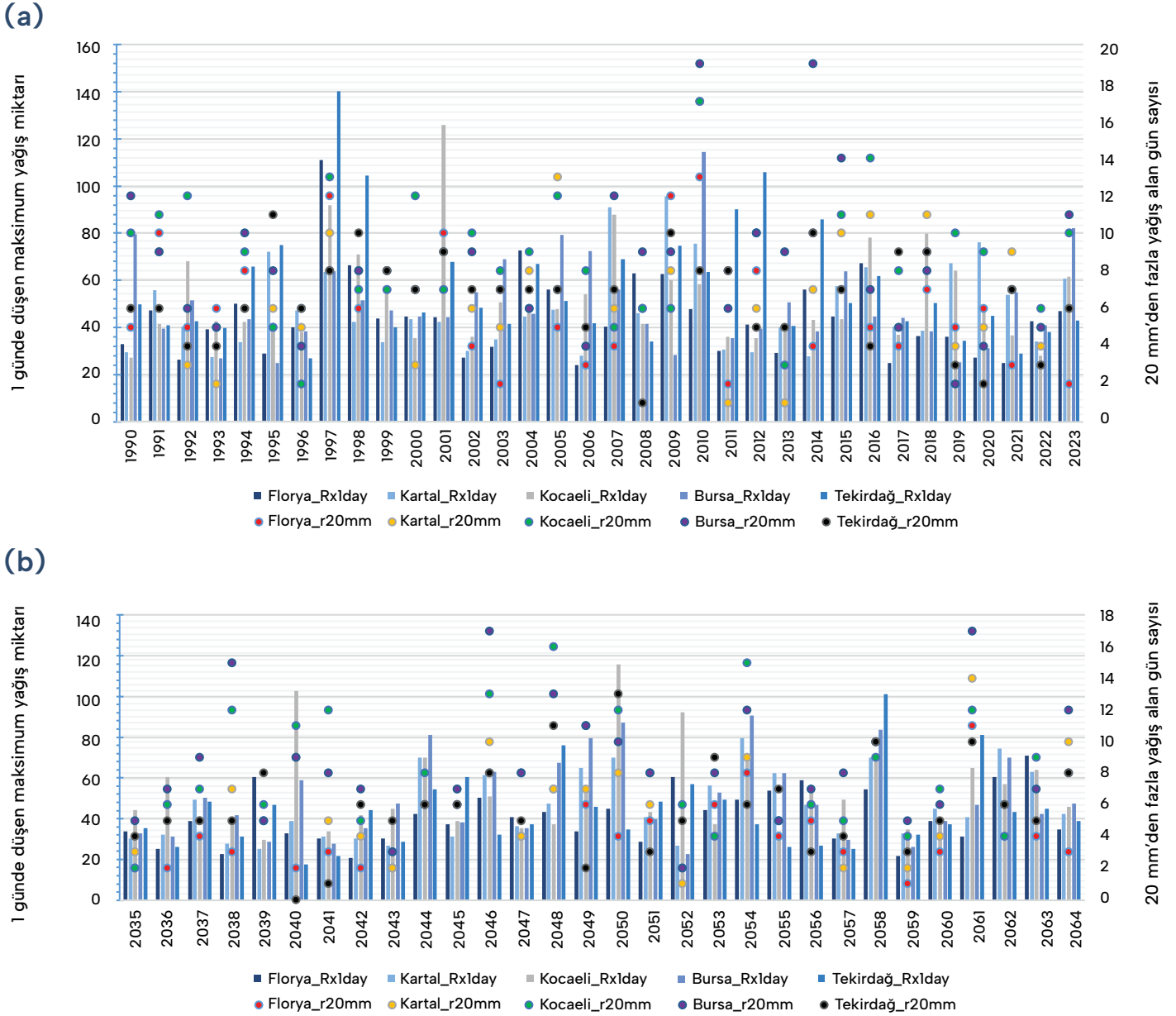
üretim tesisinde bulunan ürünlere, yüksek bütçeli imalat makinalarına ve malzemelere zarar vererek üretimi sekteye uğratabilir. Bu tür afetlerin ardından oluşan yüksek onarım maliyetleri, firmaları ekonomik olarak etkilemektedir. Yapılan bir araştırma sonucunda, Asya kıtasında yer alan sanayi sektörünün yaklaşık %19-24'ünün sel riskine karşı yüksek oranda savunmasız olduğu görülmüştür (UNEP, 2023).

Yarı iletken üretim endüstrisi diğer sanayilere oranla daha pahalı ve suya duyarlı ekipman üretimi yapmakta oldukları için firmalarca sel riskleri daha büyük önem arz etmektedir. Oluşacak hasarların ekonomik olarak firmaları etkiliyor olması sebebiyle 2011 yılında yaşanan Tayland sel felaketi ardından bir yarı iletken üretim tesisi, kurtarma ve yeniden inşa için gerekli olan maliyetleri karşılamamak için hasar alan mevcut üretim tesislerinden birisini kalıcı olarak kapatma kararı almıştır (Moody's, 2021). 2019 yılında, yoğun sel baskınları Tayland otomotiv endüstrisinde büyük ölçekli aksamalara yol açmıştır. Orijinal Ekipman Üreticileri Tayland'ın otomobil parçası üretiminin %10'unu oluşturan fabrikalardaki üretim faaliyetlerini durdurmak zorunda kalmıştır. Toyota South Africa Motors ise 2022'de yaşanan şiddetli bir sel felaketinin ardından Güney Afrika'daki Durban fabrikasını üç ay boyunca kapatmak zorunda kalmıştır. Bu kapanmanın yol açtığı mali kayıplar yaklaşık 1,48 milyar \$'a ulaşırken,

üretimde yaklaşık 70.000 araçlık bir düşüş yaşanmış ve araç başına ortalama 21.000 \$ harcanmıştır (UNEP, 2024).

Yoğun yağış karakteristiklerindeki değişimler ve bu değişimlerin kentsel altyapı planlaması ile taşkın risk yönetimi açısından taşıdığı önemi anlamak, bölgesel iklim adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Marmara Bölgesi'nde 20 mm'den fazla yağışın düştüğü gün sayısı da aşırı yağış ve sel riski odağında incelemeye alınmış olup; ortalama 7 gündür. Florya'da yoğun yağışlı gün sayısının 5,9'dan 4,5'e düşmesi (%23,7 azalma), kıyı kesimlerinde ekstrem yağış olaylarının sıklığında belirgin bir azalmaya işaret etmektedir. Bölgede 1 günde düşen maksimum yağış miktarı incelendiğinde ise %8,1'lik azalmanın (44,4 mm'den 40,8 mm'ye) ve ekstrem maksimum değerlerdeki %36,2'lik bir azalışın (111,0 mm'den 70,8 mm'ye) olacağı tahmin edilmektedir. Kartal istasyonunda ise biraz daha farklı bir değişim gözlemlenmektedir. Yoğun yağışlı gün sayısında %5,1'lik bir azalma (7,9'dan 7,5'e) ve maksimum günlük yağış miktarındaki %4,7'lik azalma (48,5 mm'den 46,2 mm'ye) hesaplanmıştır. Geçmiş dönem içerisinde 1 günde maksimum düşen yağış miktarının 95,7 mm olarak kayıtlı olduğu Kartal'da gelecek projeksiyonlar 79,5 mm olarak tahmin etmektedir. Bölgede ortalama en yüksek yağmurun düştüğü istasyon 57 mm ile Tekirdağ olup; 1 gün içerisinde en fazla yağış 1997 yılında 140 mm ile Tekirdağ'a düşmüştür. Ekstrem maksimum değerlerde %27,8'lik bir azalma (140,1 mm'den 101,1 mm'ye) olsa da; yoğun yağışlı gün sayısındaki %18,2'lik artış (11,0'dan 13,0'a), bazı olağandışı yıllarda yoğun yağışların beklenmedik şekilde artabileceğinin göstergesidir. Kuraklık açısından bölgenin en sıkıntılı alanlarından biri olan Tekirdağ aynı zamanda ani taşkın riskleri açısından da tehdit altındadır. Bursa ve Kocaeli bölgelerindeki yağış karakteristiklerinde dikkat çekilebilir bir değişim gözlenmemiştir. Bölgedeki yağış indislerine ait sonuçlar Şekil 2.9'da verilmiştir.

Şekil 2.9 – Marmara Bölgesi’nde yağış indislerinin değişimi, (a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)



Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından ileride olabilecek taşkınların zararlarını asgariye indirebilmek amacıyla taşkın öncesi, taşkın sırasında ve taşkın sonrasında alınabilecek tedbirleri belirlemek ve başta belediyeler olmak üzere ilgili kamu kuruluşlarını yönlendirmek amacıyla Marmara Havzası Taşkın Yönetim Planı hazırlanmış ve 2023 yılında yayınlanmıştır (TOB, 2023). Marmara Havzası’nda taşkın riski taşıyan dere kesimlerinin il ve risk gruplarına göre dağılımı incelendiğinde, en fazla riskli kesimin İstanbul’da yer aldığı, bunu Kocaeli, Yalova ve Bursa’nın izlediği görülmektedir. İstanbul’da 20’si “Çok Yüksek” ve 27’si

“Yüksek” düzeyde olmak üzere toplam 85 dere kesimi bulunurken; Kocaeli’nde 16 “Çok Yüksek” ve 18 “Yüksek” riskli kesimle birlikte toplam 57 kesim tespit edilmiştir. Bursa’da 4 “Çok Yüksek” ve 7 “Yüksek” riskli olmak üzere toplam 27, Yalova’da 6 “Çok Yüksek” ve 8 “Yüksek” riskli olmak üzere toplam 29 kesim; Tekirdağ’da 3 “Çok Yüksek” ve 7 “Yüksek” riskli olmak üzere 22, Çanakkale’de 1 “Çok Yüksek” ve 5 “Yüksek” riskli olmak üzere 19, Balıkesir’de ise 2 “Yüksek” riskli kesim dahil toplam 8 kesim yer almaktadır. Özellikle Kocaeli İzmit-Başıskele-Kartepe aksında Kumla ve Kiraz dereleri, Bursa Gemlik’te Karsak Çayı, Kocaeli İzmit’te Akarca

Fırtına ve hortumlar, kentlerde bulunan binalar, doğal yapılar ve altyapılar üzerinde hasara yol açarken; elektrik kesintileri, su baskınları ve ulaşım sorunları gibi sonuçlar da ortaya çıkabilir. 2021’de ABD’nin güneyinde yaşanan bir fırtına hadisesi sonrası kamyon taşımacılığı sektörü bir hafta içinde 127 milyon araç saati kaybına ve yaklaşık 8,3 milyar \$ zarara uğramıştır.

Deresi, Yalova Merkez’de Balaban ve Eyrek dereleri ile İstanbul’da Fatih İlçe İçi Deresi, Kağıthane Deresi ve Umur Deresi gibi akarsular “Çok Yüksek” risk sınıfında öne çıkmakta; bu durum, yoğun yerleşim ve ekonomik faaliyet alanlarıyla çakışan taşkın yataklarında afet riskinin son derece kritik düzeyde olduğunu göstermektedir.

Fırtına ve hortumlar, kentlerde bulunan binalar, doğal yapılar ve altyapılar üzerinde hasara yol açarken; elektrik kesintileri, su baskınları ve ulaşım sorunları gibi sonuçlar da ortaya çıkabilir. 2021’de ABD’nin güneyinde yaşanan bir fırtına hadisesi sonrası kamyon taşımacılığı sektörü bir hafta içinde 127 milyon araç saati kaybına ve yaklaşık 8,3 milyar \$ zarara uğramıştır. 2019’daki Eberhard Fırtınası, Belçika, Hollanda ve Almanya’da büyük demiryolu şirketlerini güvenlik nedeniyle seferleri iptal etmeye zorlamış ve 900 milyon ila 1,5 milyar € arasında sigortalı kayıplara yol açmıştır. Konteyner limanı faaliyetlerinde fırtına kaynaklı aksaklıklar nedeniyle yıllık 7,5 milyar \$’a yakın maddi kayıp yaşanmaktadır. Fırtına ve hortum olayları yalnızca liman altyapısına zarar vermemekte; aynı zamanda gemilerin rota değiştirmesi ve limanların kapanması nedeniyle ek maliyetlere de neden olmaktadır. 2017’deki Harvey Kasırgası, Houston Limanı’nı bir hafta kapatmış ve 2,5 milyar \$’a yakın kayba yol açmıştır. Ayrıca şiddetli

fırtınalar kargoların denize düşmesi sonucunda da maddi kayıplara neden olmaktadır. 2021’in ilk dört ayında bu etkiden kaynaklı 54,4 milyon \$ kayıp tespit edilmiştir (UNEP, 2024). 2021’de Teksas’ta şiddetli bir kış fırtınası petrokimya tesislerini aksatarak küresel tedarik zincirlerini sekteye uğratmış ve kimyasal üretiminin %80’i durmuştur. Bu durum üç temel plastik türünün (polietilen, polipropilen, PVC) üretimini etkilemiş ve arabalardan tıbbi ekipmana kadar birçok ürünün üretiminde kesintiler meydana gelmiştir. Kesinti küresel yarı iletken kıtlığına yol açmış ve PVC ihracat fiyatları ton başına 1.775 \$’a yükselmiştir. 2017’de meydana gelen Harvey Kasırgası, Teksas’taki Arkema tesisinin yedek güç ünitelerine zarar vermiş ve yaşanan elektrik kesintisi uçucu kimyasalların yanmasına neden olmuştur. Bu hasar 2,5 km yarıçaptaki herkesin tahliye edilmesine ve firma yetkililerinin cezai suçlamalarla karşı karşıya kalmasına yol açmıştır (UNEP, 2023). MGM tarafından 34 knot’ın üstündeki rüzgarlar fırtına olarak tanımlanmaktadır. Tekirdağ’da yılda ortalama 3,9 gün fırtınalı gün olarak nitelendirilirken; Kocaeli’nde 4,7 gün, Bursa 5,4 gün ve İstanbul’da 3 gündür. Marmara Bölgesi’nde 2008-2025 arası aşırı yağış ve sel hadisesinden sonra en fazla meydana gelen aşırı hava olayı toplam 632 vaka ile fırtına ve hortumdur. Her yıl ortalama 35 hadise bölgede kayıtlanırken; en sık Balıkesir ve Bursa’da meydana gelmiştir. Yüzey ve alt atmosfer sıcaklıklarının artması, buharlaşmanın artması ve atmosferin su buharı içeriğinin artması sonucunda hortumların oluşumunda artışlar meydana gelir. Bu nedenle fırtına ve hortum oluşumu sıklığından önümüzdeki dönemlerde artışların da yaşanabileceği öngörülmektedir. Dolu oluşumunda, Kümülonimbüs (Cb) bulutları içinde soğumuş su damlacıkları yukarı hareketlerle taşınarak donma seviyesinin üstüne çıkar ve donarak buza dönüşür. Bulut içi sirkülasyonun fazla olması dolu tanelerinin büyümesine neden olur. Kümülonimbüs içerisindeki yukarı cereyanların hızlı olması, yerde oldukça sıcak bir havanın ve yukarı seviyelerde soğuk havanın varlığının bir işaretidir. Bulut tabanı ile tepesi arasındaki sıcaklık farkı fazladır. Bu nedenle dolu hadiseleri genellikle sıcak mevsimlerde daha sık gözlenmektedir. Dolu sıklığındaki küresel eğilimler belirsizliğini korurken, yeni araştırmalar iklim değişikliğinin özellikle dolu şiddetini artırarak dolu fırtınası davranışını etkileyebileceğini göstermektedir. Daha sıcak yüzey sıcaklıkları ve artan atmosferik istikrarsızlık, daha büyük ve daha zararlı dolu tanelerinin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. 21. yüzyılın sonuna doğru Avrupa genelinde “klasik” şiddetli

dolu fırtınalarının olma olasılığı (sıklığı) büyük ölçüde azalacak, fakat Güney/Orta Avrupa’da, özellikle Akdeniz çevresinde, yeni tip daha sıcak gök gürültülü sistemler nedeniyle çok büyük dolu olaylarının göreceli payı ve etkisi artacak; yani daha seyrek ama daha yıkıcı dolu hadiselerinin yaşanması beklenmektedir (Kahraman, Kendon, Fowler, & Short, 2025). Avrupa Şiddetli Hava Laboratuvarı’na (ESWD) göre, 2024 yılında 10.092 dolu raporu sunulmuştur. Marmara Bölgesi’nde 2008-2025 arası ortalama yılda 15 dolu hadisesi zarar veren hava olayı olarak kayıtlanmıştır. Dolu hadiseleri en sık Balıkesir ve Bursa illerinde meydana gelmiştir. Yıldırım, bulut ile yer arasında yüksek gerilimli elektriklenme hareketidir. Farklı elektrik yüklerine sahip bulut ve yer arasındaki potansiyel farkından kaynaklanır. Yıldırım, dikey gelişmeli kümülonimbüs (Cb) bulutlarında meydana gelir ve bazen buluttan yere, bazen de yerden buluta doğru olur. Şimşek, gök gürültüsü ve sağanak yağış, kümülonimbüs bulutlarının belirtileridir. Küresel sıcaklıktaki her 1°C’lik artış yıldırım düşmelerinde yaklaşık %12’lik bir artışa yol açabileceğini göstermektedir. Bu, ısınma mevcut hızıyla devam ederse, yüzyılın sonuna kadar yalnızca ABD’de yıldırım düşmelerinde potansiyel olarak %50’lik bir artış anlamına gelmektedir (Romps, Seeley, Vollaro, & Molinar, 2014). Marmara Bölgesi’nde 2008-2025 arası toplam 60 yıldırım olayı kayıtlanmış olup; her yıl ortalama 4 hadise bölgede meydana gelmektedir. Yıldırım düşmesi hadiseleri en sık Balıkesir’de meydana gelmiştir.

2.1.4 Orman Yangını

İklim değişikliği sonucunda küresel olarak artışta olan sıcaklıklar orman yangınlarının sıklığını arttırmaktadır. OECD ve ortak ülkelerdeki orman alanları, giderek artan bir şekilde yüksek düzeyde orman yangını tehlikesine maruz kalmış durumdadır. Hem insan yaşamı ve güvenliği açısından oluşturduğu risk hem de ormanların karbon yutağı kapasiteleri açısından taşıdığı kritik önem nedeniyle kritik bir afet olarak kabul edilmektedir. 2019-2023 yılları arasındaki dönemde küresel ölçekte yanan toplam alanların %24,5’inin OECD ve ortak ülkelerinin topraklarında gerçekleşirken; 2024 yangın sezonu, kayıtlara geçen tarih boyunca en yüksek ikinci karbon emisyonuna neden olmuştur. 2024 yılında Şili, Kolombiya, Yunanistan, Yeni Zelanda, Portekiz, Türkiye ve ABD gibi birçok ülkede de benzer şekilde çok daha fazla sayıda yangın olayı kaydedilmiş ve raporlanmıştır (OECD, 2024). 2024 yılında Türkiye’de toplam 3.797 adet orman yangını meydana gelmiş ve kaydedilmiştir. Bu yangınların yaklaşık %15’lik bir kısmı Marmara Bölgesi’nde gerçekleşmiş olup, bu bölgede toplam 3.365

2024 yılında Türkiye’de toplam 3.797 adet orman yangını meydana gelmiş ve kaydedilmiştir. Bu yangınların yaklaşık %15’lik bir kısmı Marmara Bölgesi’nde gerçekleşmiş olup, bu bölgede toplam 3.365 hektarlık bir alan yangınlar sonucunda zarar görmüş ve tahrip olmuştur.

hektarlık bir alan yangınlar sonucunda zarar görmüş ve tahrip olmuştur. Bu rakam, Türkiye genelinde orman yangınları kaynaklı yanan toplam alanın yaklaşık %12’sine denk gelmektedir (OGM, 2025).

Orman yangınlarına karşı savunmasız olan endüstriyel bölgelerde bulunan üretim tesisleri için ortada ciddi bir risk bulunmaktadır. Yaşanan bir orman yangını sonucunda imalat sanayinde üretimin durması, geçici olarak yolların kapanması, ekipmanların hatta tesisin büyük hasarlar alması ve tedarik zincirinde yaşanabilecek olan aksamalar söz konusudur. Yaşanan bu olumsuzluklar, üretim süreçlerinin etkilenmesine, piyasalarda arz-talep dengesinin bozulmasına ve fiyat artışlarına sebep olabilmektedir. Özellikle hammadde olarak ağaç kullanılan orman ve kağıt endüstrileri ile meyve-sebze üretimi yapan tarım sektörleri için orman yangınları daha da ciddi bir meseledir. Ayrıca orman yangınları neticesinde bölgenin hidrolojisinin ciddi oranda etkilenmesi söz konusudur. Yanan zeminin hidrofobik özelliğe bürünüp alanın su geçirmez hale gelmesi ve sel riskinin artması da muhtemel bir durumdur (UNEP, 2023).

2021 yılında ABD’nin Kaliforniya eyaletinde yaşanan orman yangınları 80’den fazla sektörü etkilemiştir. Yaşanan yangınlar sadece üretim tesislerini değil aynı zamanda temel ulaşım yollarının kapanmasıyla tedarik zincirlerinde gecikmeye ve üretim süreçlerinde olumsuz durumlara sebep olmuştur. Yaşanan bu olumsuzluklar yaklaşık olarak 637 milyon \$ zarara ve 42,7 milyar \$ ekonomik aksamaya sebep olmuştur (Garman, 2019). Haziran 2023’teki Kanada orman yangınları sırasında

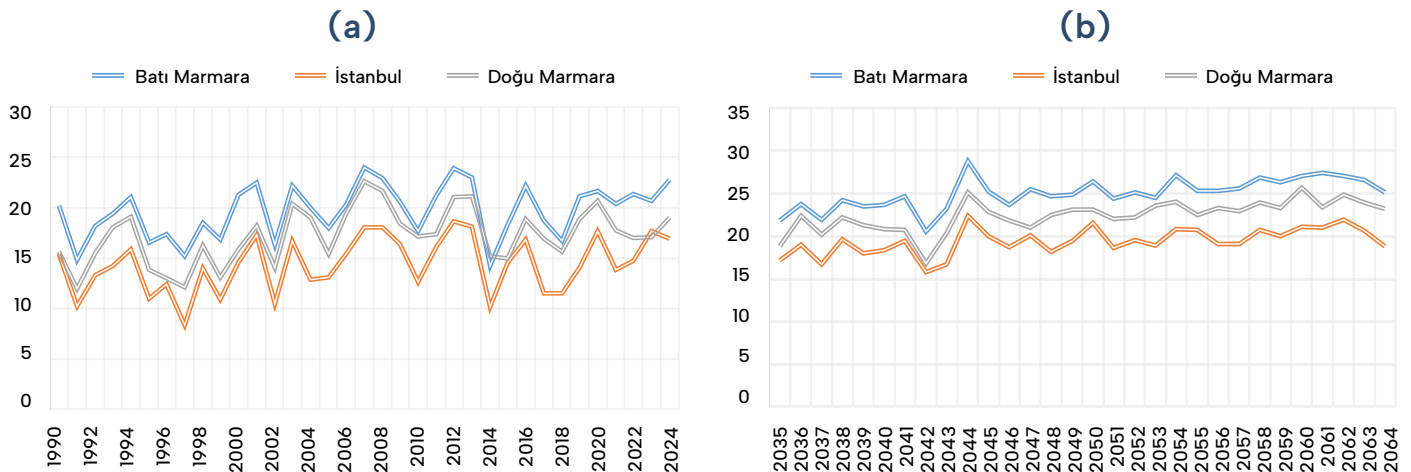
Chicago ve New York City kötü hava kalitesi ve düşük görüş mesafesiyle karşı karşıya kalmıştır. Bu nedenle teslimatlar Chicago'da 26-28 Haziran'da, New York'ta ise 5-7 Haziran'da iki gün kadar gecikmiştir.

Yangın Hava İndeksi (Fire Weather Index-FWI), ormancılık, yerel planlama ve afet risk yönetiminde kullanılan, kuraklık tehlikesi kategorisine ait bir göstergedir. Yüksek endeks değerleri, orman yangını riskinin arttığını gösterir. Kanada Ormancılık Servisi tarafından geliştirilen bu indeks, sıcaklık, yağış, bağıl nem ve rüzgâr hızı gibi hava değişkenlerini kullanarak yangın tutuşma ve yayılma koşullarını tahmin etmekte olup şu şekilde sınıflandırılmaktadır: çok düşük: <5,2; düşük: 5,2 - 11,2; orta: 11,2 - 21,3; yüksek: 21,3 - 38,0; çok yüksek: 38,0 - 50,0; aşırı: >=50,0.

Marmara Bölgesi'nde yaşanması olası bir orman yangını riskine yönelik veriler, Copernicus İklim Değişikliği Servisi (C3S) tarafından, C3S İklim Veri Deposu'ndaki (CDS) reanaliz verilerine dayanarak derlenmiş ve Şekil 2.10'da verilmiştir. Gözlenen veriler, ERA5 reanalizine dayanan ve sürekli güncellenen bir veri setinden alınmıştır. Copernicus Acil Durum Yönetim Servisi (CEMS), bu verileri Küresel ECMWF Yangın Tahmin modeli (GEFF) ve Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS) için kullanmaktadır. Simüle edilen veriler, EURO-CORDEX deneyinden alınan 5 model simülasyonuna dayanmaktadır. Bu simülasyonlar günlük çözünürlükte, 0.1° x 0.1° mekansal çözünürlükte olup, CMIP projesi kapsamında çalıştırılan RCP8.5 senaryolarının ortalamalarını içermektedir. Tahmin sonuçları incelendiğinde bölgedeki orman yangını riski mevcut durumun üstünde olacağı ve bu riskin yıllar içerisinde de artacağı beklenmektedir. Batı

Marmara Bölgesi'nde mevcut dönemde FWI değerleri 14,23 ile 23,99 arasında değişmekte olup; ortalama 19,82 civarındadır. Gelecek projeksiyonunda ise değerler 20,53 ile 29,19 arasında hareket etmekte ve ortalama 24,45'e yükselmektedir. Bu durum, Batı Marmara'da yangın riskinin yaklaşık %23 oranında artacağını göstermektedir. İstanbul'da ise 1990-2024 yılları arasındaki FWI değerleri 8,33 ile 18,66 arasında değişirken, gelecek projeksiyonunda bu aralık 15,76 ile 23,40'a yükselmektedir. İstanbul için ortalama FWI değeri yaklaşık 14,5'ten 18,8'e çıkmakta, bu da %30'a varan bir artışa karşılık gelmektedir. En düşük FWI değerlerinin bile mevcut durumun ortalamasına yaklaşması, İstanbul'da yangın riskinin sürekli yüksek seviyelerde seyredeceğini göstermektedir. Doğu Marmara Bölgesi'nde 11,97 ile 22,60 arasında değişmekte olan FWI değerleri, gelecek projeksiyonunda 16,83 ile 25,76 aralığına yükselmektedir. Ortalama değer yaklaşık 17,5'ten 21,2'ye çıkmakta, bu da %21 civarında bir artışa işaret etmektedir. Marmara Bölgesi'ndeki FWI değerlerinde belirgin artışlar beklenmekte, bu durum iklim değişikliğinin yangın riski üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. İstanbul'daki %30'luk artış en dramatik değişimi temsil ederken, Batı Marmara'daki ekstrem değerlerin artması ve Doğu Marmara'daki genel yükseliş, bölge genelinde orman yangını önleme ve müdahale sistemlerinin acilen güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Gelecek dönemde minimum FWI değerlerinin bile mevcut dönemin ortalamalarına yaklaşması, yangın sezonunun uzayacağını ve risk seviyesinin kronik olarak yüksek kalacağını göstermektedir.

Şekil 2.10 – Marmara Bölgesi için yangın hava indeksi değişimi,
(a) Mevcut durum (1990–2024), (b) Gelecek projeksiyonu (2035–2065)



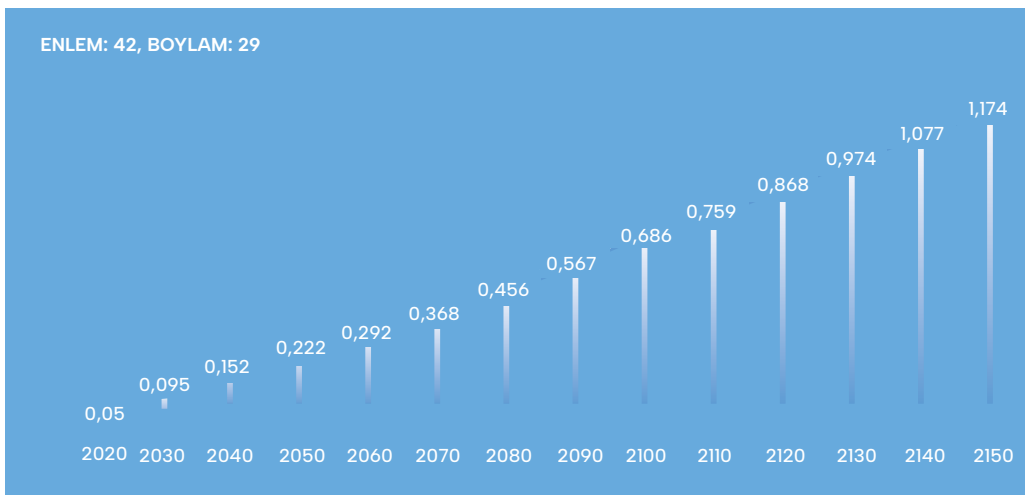
2.1.5 Deniz Seviyesi Yükselmesi

Kıyı bölgeleri ve sahil şeritleri, iklim değişikliğinin çok yönlü ve kapsamlı etkilerine karşı özellikle savunmasız ve kırılgan konumdadır. Dünya genelindeki kıyı bölgeleri, toplam dünya nüfusunun yaklaşık %40'ına ev sahipliği yapmakta ve küresel ekonomik çıktının ve üretimin son derece önemli ve kayda değer bir kısmını oluşturmaktadır. Tüm dünyada gerçekleştirilen küresel ticaretin ve uluslararası mal alışverişinin %80'inden fazlası doğrudan deniz taşımacılığına ve deniz yolu lojistiğine dayanmaktadır. Bu nedenle, iklim kaynaklı deniz seviyesi artışı, kıyı toplulukları, ekonomileri ve ekosistemleri için önemli olup; ciddi tehditler oluşturması beklenmektedir. Deniz seviyesi artışı ve kıyı iklimi riskleri arasındaki karmaşık etkileşimler, yoğun nüfuslu kıyı şeritlerinin kırılgan kıyı ekosistemleri üzerindeki etkileri ve buna karşılık ekosistem bozulması ve iklim değişikliğinin kıyı toplulukları ve geçim kaynakları üzerinde oluşturduğu tehdit, uyarlanmış ve koordineli politika müdahaleleri gerektiren karmaşık zorluklar ortaya koymaktadır. Deniz seviyesinin yükselmesine bağlı kıyı taşkınlarının 2100 yılına kadar küresel GSYİH'nın %4'üne eşdeğer yıllık kayıplara yol açması beklenmektedir. (OECD_a, 2025) Kıyı bölgelerinde yer alan altyapı sistemleri, deniz seviyeleri giderek yükseldikçe iklim değişikliğinin etkilerine karşı özellikle savunmasız ve hassas bir duruma gelecektir. 2010 yılından 2100 yılına kadar olan zaman diliminde, aşırı yüksek deniz seviyelerine maruz kalan liman tesislerinde işlenen ve elleçlenen kargo miktarının, Avrupa kıyı şeridi boyunca yaklaşık 200

milyon ton kadar artış gösterebileceği öngörülmektedir. Tahmini küresel ortalama deniz seviyesi yükselişleri ve gelgit hareketlerinin, okyanus dalgalarının ve fırtına kaynaklı dalgalanmaların birleşik etkilerine göre yapılan analizlerde, RCP8.5 iklim senaryosu kapsamında tüm liman tesislerinin %64'ünün su altında kalma tehlikesiyle karşı karşıya kalması beklenmektedir. Bu arada, Avrupa genelindeki deniz taşımacılığı ve liman trafiğinin %60'ından fazlasının, yüksek deniz seviyesi riski ve tehlikesi taşıyan liman tesislerine olan bağlantılara ve bu limanlarla gerçekleştirilen operasyonlara bağımlı olduğu görülmektedir. Bu kritik durum, küresel ve bölgesel ölçekte faaliyet gösteren nakliye şirketleri için ciddi bir operasyonel ve stratejik risk oluşturmaktadır (UNEP, 2024).

IPCC 6. Değerlendirme Raporu'na göre, küresel ısınma ile birlikte buzulların erimesinin artacağı öngörülmekte olup; bu etkilerin özellikle kutup noktalarında daha şiddetli hissedileceği tahmin edilmektedir. Deniz seviyesi altındaki su formlarının da bu etkilerden etkileneyeceği ve deniz seviyelerinde artış beklenildiği belirtilmektedir. Küresel ortalama deniz seviyesindeki artışlar bölgesel olarak değişmektedir. 1970'lerden itibaren antropojenik etkilerin artmasıyla birlikte deniz seviyesinde hızlı bir artış gözlemlenmektedir. 1901-1990 döneminde 1,4 mm/yıl olan yükselme değerleri, 1970-2015 döneminde 2,1 mm/yıl ve 1993-2015 döneminde 3,2 mm/yıl olarak gözlemlenmiştir. 2006-2015 döneminde ise bu artışın 3,6 mm/yıl olduğu gözlemlenmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre yapılan tahminlerde, 2100 yılına kadar deniz seviyesinde 10-20 mm/yıl yükselme öngörülmektedir.

Şekil 2.11 – Yıllara göre bölgede deniz seviyesi yükselmesi (2020-2150)





Dolayısıyla, elde edilen bilgilere dayanılarak, ülkemizde deniz seviyesi değişimlerinin ve fırtına dalgalarının neden olabileceği olumsuz durumlar belirtilmiştir. Marmara Bölgesi için değerlendirme için Karadeniz kıyı şeridini temsil eden referans bir nokta (Enlem:42°, Boylam:29°) seçilmiştir. Veri seti olarak IPCC 6. Değerlendirme Raporu ve NASA'nın "Sea Level Change and Projection Tool" kullanılmıştır. 1995-2014 dönemi referans alınarak çeşitli SSP5-8.5 simülasyonlarına göre sonuçlar elde edilmiştir (NASA_b, 2025). Belirlenen konumdaki deniz suyu seviyesi değişiminin en kötümser senaryo (SSP5-8.5) simülasyon sonuçları Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Senaryo sonuçlarına göre toplam artış 2030'da 0,10 (0,04-0,15) düzeyindeyken 2050'de 0,22 (0,13-0,34), 2090'da 0,57 (0,37-0,82), 2100'de 0,69 (0,46-0,99) ve 2150'de 1,17 (0,72-1,79) seviyesine yükselmekte, zamanla hem mutlak değer hem de belirsizlik aralığı belirgin biçimde genişlemektedir. Artış hızları da bu tabloyu destekler nitelikte olup; 2040-2060 döneminde hız 6,0 (4,0-9,0), 2080-2100 döneminde ise 10,0 (6,0-16,0) olarak öngörülmektedir. Bölgede 2100 yılında meydana geleceği öngörülen 0,7 m'lik deniz seviyesi artışı nedeniyle bölge içerisinde önemli yeri olan Ambarlı Limanı, Tuzla Limanı, Yalova Limanı, Bandırma Limanı ve Derince Limanları başta olmak üzere kıyı kesimdeki birçok altyapının etkileneceği öngörülmektedir (Climate Central, 2025).

2.2. Geçiş Riskleri

İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında, kuruluşların sera gazı emisyonlarını azaltması, enerji verimliliğini artırması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi için gerekli dönüşüm sürecinin yönetilmesi "geçiş riskleri" altında ele alınmaktadır. Politika ve mevzuat değişiklikleri, teknolojik yenilikler, piyasa dinamiklerindeki kaymalar ve tüketici tercihlerindeki dönüşüm gibi unsurlar bu risklerin kapsamını ve düzeyini belirleyen temel etmenlerdir. Sanayi sektörlerinin yüksek emisyon yoğunluğuna sahip olması, emisyon azaltımını teknik ve ekonomik açıdan güçleştirmektedir. Net sıfır emisyon hedeflerine yönelik küresel eğilimin hız kazanması ise sanayi sektörleri açısından politika uyumu, teknolojik dönüşüm ve yatırım ihtiyaçlarına ilişkin önemli zorlukları beraberinde getirmektedir. Geçiş risklerinin ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri, tüm paydaşlar açısından bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalı ve dikkatle değerlendirilmelidir. İş gücü kapasitesi, finansman kaynaklarına erişim ve yerel paydaşların sürece etkin katılımı gibi unsurlar, sürdürülebilir ve dengeli bir dönüşümün başarısı için kritik önem taşımaktadır (UNEP, 2023; EPA, 2025).

2.2.1 Politika ve Yasal Riskler

Politika ve yasal riskler, uyum sağlama gerekliliğinin aciliyeti nedeniyle sanayi sektörleri için öncelikli bir

alan olarak öne çıkmaktadır. Politika araçları genel olarak sınırlayıcı ve uyumu teşvik edici olmak üzere iki başlık altında değerlendirilmektedir. Sınırlayıcı politikalar, iklim değişikliğine neden olan olumsuz faaliyetleri azaltmayı hedeflerken; uyumu teşvik edici politikalar, iklim değişikliğinin etkilerine karşı direnç oluşturmayı ve uyum kapasitesini artırmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda su verimliliği, atık yönetimi ve gıda güvenliğine ilişkin mevzuatların yakından izlenmesi, ulusal ve uluslararası düzenlemelere hızlı uyum sağlanması ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi temel öncelikler arasında yer almaktadır. Avrupa Birliği mevzuatlarına uyum, karbon ayak izi raporlaması ve diğer iklim bağlantılı zorunluluklar ise sanayi sektörleri üzerinde doğrudan etkiye sahip önemli düzenleyici unsurlar arasındadır.

2.2.1.1 Uluslararası Mevzuat Kaynaklı Riskler

Sanayi sektörleri, küresel iklim politikalarının giderek sıkılaştığı bir dönemde uluslararası düzenlemelerden kaynaklanan önemli risklerle karşı karşıyadır. Özellikle Avrupa Birliği (AB) başta olmak üzere ülkemiz açısından büyük ticaret ortaklarının iklim ve sürdürülebilirlik alanındaki yeni politika çerçeveleri, ihracat odaklı sanayi sektörleri için uyum yükümlülüklerini artırmaktadır. Bu çerçevede işletmelerin karbon ayak izi hesaplamaları, sürdürülebilirlik raporlaması, enerji verimliliği yatırımları ve düşük karbonlu üretim teknolojilerine geçiş gibi alanlarda uluslararası standartlara uyum sağlaması beklenmektedir. Uyumun gecikmesi, ihracat pazarlarında rekabet gücünün azalması, ilave mali yükler ve pazar kaybı gibi çeşitli ekonomik riskleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle uluslararası mevzuatın yakından takibi ve uyum süreçlerinin stratejik olarak yönetilmesi, işletmeler açısından kritik önem taşımaktadır.

Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal)

Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal), Paris Anlaşması'nın gerektirdiği yeşil dönüşüm sürecini desteklemek amacıyla oluşturulan kapsamlı bir politika paketidir. Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar kıtayı iklim nötr hale getirme hedefini temel alan bu mutabakat, adil geçiş ilkesine dayalı olarak iklim değişikliğiyle mücadelede ekonomik ve sosyal dönüşümü içermektedir. Şubat 2023 tarihinde sunulan Yeşil Mutabakat Sanayi Planı (Green Deal Industrial Plan) ise, yeşil teknolojilerin üretimini artırmayı, temiz enerji

Sanayi sektörleri, küresel iklim politikalarının giderek sıkılaştığı bir dönemde uluslararası düzenlemelerden kaynaklanan önemli risklerle karşı karşıyadır.

pazarına yönelik yatırımları teşvik etmeyi, sıfır emisyon hedefi doğrultusunda sanayi sektörlerinde rekabetçiliğin sağlanmasına yönelik politikaların arttırılması ve iklim nötrlüğe geçişi hızlandırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçlara ulaşabilmek için oluşturulan plan dört temel başlıkta yapılandırılmıştır.

1. Öngörülebilir, uyumlu ve basitleştirilmiş bir idari çerçeve oluşturulması (Örneğin; net sıfır üretim hedefini destekleyecek uygun düzenleyici ortamların hızla oluşturulması)
2. Finansmana hızlı erişim sağlanması (Örneğin; yeşil dönüşüm yatırımlarının artması ile birlikte, yeterli ve sürdürülebilir finansman kaynaklarına erişimin kolaylaştırılması)
3. Becerilerin geliştirilmesi (Örneğin; iş gücünün temiz teknolojiler ve yeşil dönüşümün gerektirdiği becerilerle donatılması)
4. Dayanıklı tedarik zincirleri için açık ve adil ticaret (Örneğin; güvenilir tedarik mekanizmaları oluşturularak uluslararası rekabetin adil şekilde yürütülmesinin güvence altına alınması) (EC_a, 2025; TB_a, 2025).

Bu kapsamda Türkiye, Avrupa Birliği'nin Yeşil Mutabakat Sanayi Planı'na uyum sağlamak ve küresel rekabet gücünü korumak amacıyla hem politika hem de uygulama düzeyinde çeşitli çalışmalar yürütmektedir. İlk olarak 2021 yılında yayımlanan "Türkiye Yeşil Mutabakat Eylem Planı" ile sınırda karbon düzenlemesi, yeşil finansman, temiz ekonomik ve güvenli enerji arzı, sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir akıllı ulaşım, iklim değişikliği ile mücadele ve döngüsel ekonomi gibi temel alanlarda yol haritaları oluşturulmuştur

(TB_a, 2025). Sanayi sektörlerinin rekabet gücünü artırmak için verimli bir yeşil dönüşüm sağlamak, yeşil dönüşümü hızlandırmak, karbonsuzlaştırma çabalarını yoğunlaştırmak ve bu alanda teknik kapasiteyi hedefleriyle başlatılan Türkiye Yeşil Sanayi Projesi ile KOSGEB ve TÜBİTAK üzerinden yeşil dönüşüm ile ilişkili projelere kredi destekleri sağlanmaktadır (TGİP, 2025). Bunun dışında sanayi sektörlerinde sera gazı emisyonlarının izlenmesi, doğrulanması ve raporlanması, Ulusal Emisyon Ticaret Sistemi'nin kurulması, enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılması ve yeşil teknoloji yatırımlarının teşvik edilmesi gibi ana başlıklarda farklı kamu kurumlarınca yürütülen çalışmalar bulunmaktadır. Bunun yanında ihracatçı sektörler için sınırda karbon düzenlemesine uyum rehberleri, sektör analizleri ve teknik destek mekanizmaları geliştirilerek firmaların AB pazarındaki konumlarını koruması hedeflenmektedir. Temmuz 2021 tarihinde, Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın "Sera gazı emisyonlarında 2030 yılına kadar asgari %55 azaltım sağlanması" hedefine yönelik "Fit-for-55" (55'e uygun) adlı revizyon paketi açıklanmıştır. Bu paket, yenilenebilir enerji kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması, hafif araçlara yönelik yeni emisyon performans standartlarının belirlenmesi, arazi kullanımı kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltımı, emisyon azaltımında çaba paylaşımı, Emisyon Ticaret Sistemi gibi çeşitli alanlarda düzenlemeler içermektedir (DB, 2024). AB Konseyi, 25 Nisan 2023 tarihinde '55'e Uyum' paketi kapsamında yer alan aşağıdaki temel mevzuatları kabul etmiştir:

- AB ETS Direktifi'nin revizyonu,
- Denizcilik Alanında Sera Gazı Emisyonları İzleme Raporlama ve Doğrulanmasına İlişkin AB Tüzüğü,
- AB ETS havacılık kurallarını revize eden AB Direktifi
- Sosyal İklim Fonu kurulmasına ilişkin AB Tüzüğü
- Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'nı kuran AB Tüzüğü (EC_b, 2025; DB, 2024)

Paketin içerisinde bulunan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), dünyada ilk kez uygulamaya konulacak olup, uluslararası ticareti etkilemesi beklenen önemli unsurlardan biri olarak sayılmaktadır. Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (Carbon Border Adjustment Mechanism-

CBAM), Mayıs 2023 tarihinde AB Resmi Gazetesi'nde yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu mekanizma, küresel ölçekte karbon kaçakını azaltmak amacıyla, AB'ye ithal edilen belirli malların üretiminde ortaya çıkan yerleşik karbon emisyonlarının bedelinin ödendiğini teyit eden bir sistemdir. SKDM çerçevesinde 2026 itibarıyla ilk aşamada demir-çelik, çimento, alüminyum, gübre, elektrik ve hidrojen sektörlerinde mali yükümlülükler devreye girecek olup, kapsamın orta vadede farklı sektörleri dahil edecek şekilde genişletilebileceği öngörülmektedir (DB, 2024). Yeşil Mutabakat kapsamındaki düzenlemelerin, ürün tedarik zincirlerinde karbon yoğunluğunu azaltmayı zorunlu kılarak sanayi sektörleri üzerinde doğrudan ve dolaylı maliyetler yaratması beklenmektedir.

AB Ormansızlaşmanın Önlenmesi Mevzuatı

Ormansızlaşma ve orman bozulumunun önlenmesi amacıyla 9 Haziran 2023 tarihinde yayımlanan Ormansızlaşmanın Önlenmesi Tüzüğü (EU Deforestation-Free Regulation-EUDR) kapsamında ormansızlaşmaya sebep olan soya, sığır eti, palm yağı, ahşap/ağaç ürünleri, kakao, kauçuk, kahve ve bunlardan elde edilen belirli ürünleri üretimde girdi olarak kullanan çikolata, mobilya, lastik, deri gibi ürünlerin AB pazarına girişinde ormansızlaşmaya/orman bozulumuna yol açmadığına ve insan ve işçi haklarına uygun üretildiğine yönelik beyan zorunlu hale getirilmiştir. İlk etapta büyük işletmeler için 30 Aralık 2025, küçük ve mikro işletmeler için 30 Haziran 2026 itibarıyla başlatılması planlanan uygulama dönemi Aralık 2025'te yapılan güncelleme ile birer yıl ertelenmiştir. Uygulama döneminde, AB pazarına arz edilecek veya AB'den ihraç edilecek mevzuat kapsamı ürünlerin, ormansızlaşmaya sebep olmaması, ilgili ülkenin ulusal mevzuatına uygun üretilmiş olması ve beraberinde özen yükümlülüğü beyanı taşıması gerekmektedir. Tamamen geri dönüştürülmüş hammadde kullanılarak üretilen ürünler mevzuat kapsamına dahil olmamakla birlikte mevzuatın Ek-1 listesinde yer alan ürünlerin üretimde belirli bir miktarda birincil hammadde olarak kullanılması durumunda söz konusu birincil hammadde için özen yükümlülüğü ortaya çıkacaktır (TB_b, 2025).

AB Atık Çerçeve Direktifi

Atıkların çevresel etkilerinin azaltılması, döngüsel ekonominin teşvik edilmesi ve kaynak verimliliğinin artırılması amacıyla 2023 yılında revize edilen AB Atık Çerçeve Direktifi kapsamında özellikle tekstil ve plastik atıklarının ve gıda ambalaj atıklarının

izlenebilirliği ve üretici sorumluluklarına ilişkin hükümler güçlendirilmiştir. Yeni düzenlemeler doğrultusunda, malzeme yoğun sektörlerde üretici sorumluluğu ilkesinin güçlendirilmesi hedeflenmekte, yüksek hacimli üretim, hızlı tüketim döngüsü ve yüksek atık oluşumuna neden olan sektörler öncelikli alanlar arasında değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, ilgili sektörlerde faaliyet gösteren firmaların, ürünlerinin yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu atıkları azaltmaları, atıkların geri kazanımını kolaylaştıracak şekilde ekotasarım ilkelerine göre üretim yapmaları ve atıkların izlenebilirliğini sağlayacak sistemler kurmaları beklenmektedir. Mevzuat kapsamında, üreticiler için genişletilmiş üretici sorumluluğu (GÜS) sistemleri öngörülmekte olup, bu sistemler aracılığıyla üreticiler, piyasaya sürdükleri ürünlerin kullanım ömrü sonrasındaki atık yönetim süreçlerinden mali ve/veya operasyonel olarak sorumlu tutulmaktadır. Üreticilere kendileri adına GÜS yükümlülüklerini yerine getirmek üzere bir Üretici Sorumluluğu Örgütü (PRO) atanacak olup, PRO'lar aracılığıyla tüketicilere sürdürülebilir tüketim, ürünlerin doğru kullanımı, yeniden kullanım ve tamir imkanları gibi konularda bilgilendirme yapılması planlanmaktadır. AB ile ihracat bağlantısı bulunan firmaların, bu çerçevede atık kayıt sistemleri, ürün etiketleme, geri dönüşüm oranları

raporlaması ve ürün bazlı izlenebilirlik mekanizmaları gibi gerekliliklere uyum sağlamaları beklenmektedir. Bu yükümlülükler doğrultusunda, üreticilerin ürünlerinin çevresel etkilerini en aza indirecek önlemleri almaları ve sürdürülebilir üretim modellerine geçişi hızlandırmaları hedeflenmektedir (TB_c, 2025). Yine 2025 yılında revize edilen AB Ambalaj ve Ambalaj Atığı Tüzüğü ile AB pazarına ihraç edilecek tüm ambalaj malzemelerinin 2030 itibariyle %100 geri dönüştürülebilir olması; ambalajlarda geri dönüştürülebilir içerik kullanımının artırılması ve ambalaj üretiminde birincil hammadde kullanımının azaltılması amaçlanmaktadır. Bu çerçevede, AB içinde uygulanmaya başlanan dijital ürün pasaportu uygulamaları ve atık bilgi platformları gibi dijital çözümler, önümüzdeki dönemde dış pazarlara erişim açısından önem kazanacaktır (TB_d, 2025).

AB Sürdürülebilir Ürünler için Eko Tasarım Yönetmeliği

2024 yılında yürürlüğe giren Sürdürülebilir Ürünler için Eko-Tasarım Tüzüğü (Eco-design for Sustainable Products Regulation-ESPR) çerçevesinde 2024-2027 döneminde demir-çelik, alüminyum, tekstil ürünleri, mobilya, lastik, deterjan, boya, mineral yağ, kimyasal, bilgi teknolojileri cihazları ile enerji yoğun ürünlerde ürün bazlı eko-tasarım kurallarının belirlenmesi



hedeflenmektedir. Bu yönetmeliğe uyum sağlanabilmesi için ürün tasarım süreçlerinin döngüsel ekonomi ilkelerine göre yeniden yapılandırılması, ürünlerin bileşenleri, geri dönüştürülmüş içeriği ve çevresel etkileri hakkında belgelendirme ve veri yönetimi altyapısının oluşturulması, ürünlerin dijital pasaport ile izlenebilirliğini sağlayacak sistemlerin kurulması, AB pazarına yönelik üretim yapan firmalar için uygunluk değerlendirme süreçlerine hazırlanılması gerekmektedir. Türkiye'deki üreticilerin eko tasarım odaklı Ar-Ge yatırımlarını artırmaları, tedarik zinciri şeffaflığını sağlamaları ve dijital altyapılarını güçlendirmeleri gerekecektir (TB_e, 2025).

AB Kurumsal Sürdürülebilirlik Özen Yükümlülüğü Direktifi

2024 yılında kabul edilen Kurumsal Sürdürülebilirlik Özen Yükümlülüğü Direktifi (Corporate Sustainability Due Diligence Directive - CSDDD) ile tedarik zinciri boyunca çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğin güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Direktif kapsamında çocuk işçiliği, zorla çalıştırma, işçi sağlığı ve güvenliği ihlalleri, ormansızlaşma, biyolojik çeşitlilik kaybı, çevre kirliliği ve Paris Anlaşması'na uyumlu bir iklim geçiş planının oluşturulması konuları ele alınmaktadır. Özellikle AB merkezli müşterilere üretim yapan firmaların raporlama yükümlülükleri çerçevesinde daha şeffaf, izlenebilir ve sürdürülebilir üretim süreçleri oluşturması gerekecektir. AB net cirosu 2028 yılı itibarıyla 900 milyon € üzeri, 2029 itibarıyla ise 450 milyon € üzeri olan firmalar kapsama dahil edilecek olup, küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ) doğrudan mevzuat kapsamında değerlendirilmemekle birlikte kapsama dahil edilen büyük şirketlerin tedarikçisi veya alt sağlayıcısı olarak mevzuat hükümlerinden etkilenecektir (TB_f, 2025).

2.2.1.2 Ulusal Mevzuat Kaynaklı Riskler

Sanayi sektörleri açısından ulusal mevzuat kaynaklı iklim riskleri de giderek daha belirgin hale gelmekte ve uluslararası düzenlemelerin ulusal politikalara yansımaları sonucunda işletmeler için yeni yükümlülükler doğurmaktadır. Türkiye, başta AB olmak üzere küresel iklim politikalarındaki gelişmelere uyum sağlamak amacıyla emisyon ticaret sistemi, karbon fiyatlandırma mekanizmaları, sürdürülebilirlik raporlama standartları ve yeşil finansman düzenlemeleri gibi alanlarda kapsamlı bir mevzuat dönüşümü yürütmektedir. Bu dönüşüm, işletmelerin ulusal ölçekte karbon yönetimi, enerji verimliliği uygulamaları, temiz üretim

süreçleri ve çevresel performans izleme sistemlerine uyum sağlamasını zorunlu kılmaktadır. Uluslararası gerekliliklerin ulusal mevzuata entegrasyonu, sanayi sektörlerinin rekabet gücünü koruması açısından uzun vadede kritik öneme sahip olmakla birlikte, kısa vadede uyum maliyetleri, yatırım ihtiyacı ve kurumsal kapasite gereklilikleri gibi önemli operasyonel ve finansal riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle işletmelerin hem ulusal politikaları hem de bunların uluslararası çerçeveyle ilişkisini bütüncül bir şekilde değerlendirerek stratejik uyum planları geliştirmesi gerekmektedir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (2004)

1992 yılında Brezilya'nın Rio de Janeiro kentinde Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzaya açılmış olan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), insan kaynaklı çeşitli faaliyetlerin neden olduğu küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede uluslararası düzeyde atılmış önemli bir adımdır. Sözleşmeye taraf 196 ülke ve Avrupa Birliği (AB) bulunmaktadır. Sözleşme, taraf olan ülkelerin sera gazı emisyonlarının azaltılmasını, ekosistemin iklim değişikliğine uyum sağlamasını, sera gazı yutaklarının (ormanlar, okyanuslar) korunmasını ve insan kaynaklı etkilerin sınırlandırılmasını hedeflemektedir. Ayrıca eşitlik ilkesi ve farklılaştırılmış sorumluluklar çerçevesinde, araştırma ve teknoloji alanlarında iş birliği yapılmasına yönelik planlar içermektedir. Türkiye 24 Mayıs 2004 tarihinde BMİDÇS'ye 189. taraf olarak katılmıştır. BMİDÇS ayrıca Kyoto Protokolü (2020 yılına kadar) ve Paris Anlaşması (2020 yılından sonra) olmak üzere iki uygulama aracına sahiptir (İDB_a, 2025).

Kyoto Protokolü (2009)

BMİDÇS kapsamında toplanan 3. Taraflar Konferansı'nda (COP3) kabul edilen Kyoto Protokolü, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında atılacak adımları belirlemek amacıyla hazırlanmıştır. BMİDÇS ile Kyoto Protokolü arasındaki temel fark, Kyoto Protokolü'nün yasal olarak bağlayıcı taahhütler içermesidir. Protokole göre EK- B ülkelerinin; 2008-2012 yıllarını kapsayan birinci taahhüt döneminde sera gazı emisyonlarını 1990 seviyesinin en az %5 altına düşürmesi, 2013-2020 yıllarını kapsayan ikinci taahhüt döneminde ise en az %18 oranında azaltılması hedeflenmiştir. Protokol, gelişmiş ülkelere yönelik sayısallaştırılmış emisyon azaltım hedefleri belirleyen ilk uluslararası anlaşma olma özelliği taşımaktadır. 2005

yılında yürürlüğe giren protokole Türkiye, Ağustos 2009 tarihinde taraf olmuştur. Protokolün 2020 yılında sona ermesi ve yükümlülüklerin taraf ülkelerce tam olarak yerine getirilmemesi sebebiyle, iklim değişikliğiyle mücadelede yeni bir çerçeve sunmak üzere Paris Anlaşması kabul edilmiştir (ETKB, 2025).

Paris Anlaşması (2016)

2015 yılında Paris'te düzenlenen 21. Taraflar Konferansı'nda (COP21) kabul edilen Paris Anlaşması, ilk kez 2020 sonrası dönem için küresel ölçekte tüm ülkenin sera gazı emisyonlarını azaltmayı ve iklim değişikliği risklerine karşı uyum kapasitelerini güçlendirmeyi taahhüt ettiği bir anlaşmadır. Anlaşma, antropojenik sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ısınmayı, sanayi devrimi öncesi döneme kıyasla 2°C'nin altında tutmayı ve 1.5°C ile sınırlamayı uzun vadeli hedef olarak belirlemiştir. Anlaşma kapsamında ulusal katkılar, azaltım, uyum, kayıp/zarar, finansman, teknoloji geliştirme ve transferi, kapasite geliştirme, şeffaflık ve durum değerlendirmesi konularına ilişkin uygulama usulleri belirlenmek üzere bir çerçeve oluşturmuştur. Anlaşma'nın Kyoto Protokolünden farklı olarak en önemli sayılan özelliği hem gelişmiş ve hem de gelişmekte olan ülkelerin Ulusal Katkı Beyanı (Nationally Determined Contribution - NDC) yoluyla sürece katılmalarıdır. Bu beyanlar, taraf ülkelerin kendi ulusal koşullarına göre belirlediği, bağlayıcılığı olmayan ve gönüllülük esasına dayanan hedeflerden oluşmakta ve anlaşmaya aşağıdan yukarı bir yaklaşım kazandırmaktadır. Taraf ülkelerin her beş yılda bir yeni veya güncellenmiş NDC'lerini sunmaları gerekmektedir (İDB_b, 2025). Ülkemiz adına NDC3.0 olarak da isimlendirilen güncel katkı beyanı 2025 yılında sunulmuş olup, ülke genelinde toplam sera gazı emisyonlarının referans senaryoya kıyasla 2035 yılında %41 oranında azaltımı hedeflenmektedir.

Türkiye'nin Uzun Dönemli İklim Stratejisi

Türkiye, Paris Anlaşması'na taraflar olmasının ardından Ulusal Katkı Beyanı (NDC), İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı ve 2053 Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejisi çalışmalarına başlamıştır. 2053 Uzun Dönemli İklim Stratejisi, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın koordinasyonunda hazırlan ve Kasım 2024'te BMİDÇS Sekreteryası'na sunulmuştur. Dünyada yaşanması beklenen köklü değişim ve dönüşüm sürecine paralel olarak hazırlanan bu strateji,

sadece iklim değişikliği azaltım ve uyum sektörlerine yönelik yol haritası sunmakla kalmayıp, teknoloji, adil dönüşüm, iklim finansmanı ve kapasite geliştirme gibi alanlarda da önerileri içermektedir. Stratejide, sera gazı emisyonlarının azaltımına yönelik belirlenmiş 7 sektörde 35 strateji yer alırken, iklim değişikliğine uyum kapasitesinin artırılmasına yönelik ise 11 sektör için 38 strateji bulunmaktadır. Toplamda, 18 sektör ve 4 yatay kesen alanı kapsayan strateji, 89 farklı konuda plan ve politika içermektedir.

Sanayi sektörlerinde 2053 Net Sıfır Emisyon hedefi doğrultusunda enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, döngüsel ekonomi ve ileri teknolojilerin yaygınlaştırılmasıyla emisyon yoğunluğunun azaltılması hedeflenmektedir. Strateji kapsamında yapılan değerlendirmelere göre, özellikle AB SKDM kapsamındaki sektörler arasında yer alan, demir-çelik, çimento, alüminyum ve gübre üretim sektörlerinde 2040 ve 2053 için öngörülen yüksek oranlı emisyon azaltımları, toplamda 73,1 milyar USD seviyesinde yatırım ihtiyacını ortaya koymaktadır. Yüksek enerji talebi ve proses emisyonları nedeniyle "hard-to-abate (azaltımın güç olduğu)" olarak sınıflandırılan sektörlerde dönüşümün hızlandırılması için geçiş finansmanı araçlarının geliştirilmesi vurgulanmaktadır. Strateji kapsamında sanayi sektörlerinde sera gazı emisyonlarının azaltımı için belirlenen öncelik alanları şu şekildedir:

- › Enerji verimliliği potansiyelinin en üst seviyede değerlendirilmesi
- › Sanayide yenilenebilir enerji kullanımının artırılması
- › Ürün bazında karbon ayak izinin azaltılması
- › Hidrojen teknolojilerinin uygulanması
- › Karbon yakalama, kullanma ve depolama teknolojilerinin uygulanması (KYKD)
- › Sürdürülebilirlik raporlamalarının yaygınlaştırılması
- › Ozon tabakasını incelten maddeler ile florlu sera gazları kullanımının azaltımı

İklim değişikliğine uyum kapsamında yapılan değerlendirmelere göre ise, ülkemizin içinde yer aldığı Akdeniz Havzası'nda iklim değişikliğine bağlı tehlikelerin şiddeti ve sıklığı giderek arttığı, özellikle kuraklık, aşırı yağış ve sıcak hava dalgaları gibi tehlikelerin bölgede

14 Ocak 2025 tarihli ve 32782 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan ve 1 Aralık 2025 tarihi itibariyle yürürlüğe girecek olan Endüstriyel Emisyonların Yönetimi Yönetmeliği ile sanayi tesislerinin çevresel performanslarının arttırılması hedeflenmektedir.

daha yoğun hissedildiği aktarılmıştır. Özellikle 2022 ve 2023 yıllarında uzun yıllar ortalamasının üzerinde sıcaklıkların kaydedildiği ve aşırı hava olaylarının sayısının ise hızla yükseldiği vurgulanmıştır. Bununla paralel olarak iklim kaynaklı afetlerin Türkiye’de büyük ekonomik ve sosyal kayıplara yol açtığı, 1970-2021 döneminde sel felaketleri nedeniyle 28 milyar USD zarar ve 758 can kaybı olduğu belirtilmiştir. İklim afetlerinin Türkiye ekonomisine yıllık ortalama maliyeti GSYİH’nin %2,2’sine ulaşmış olup, iklim değişikliği etkileri ile birlikte bu oranın gelecekte orta ve yüksek emisyon senaryolarında sırasıyla %2,8 ve %3,2 seviyelerine yükselmesi beklenmektedir. Strateji kapsamında sanayi sektörlerinde iklim dirençliliğinin arttırılması için belirlenen öncelik alanları şu şekildedir:

- › İmalat sanayinde daha yüksek teknolojiye sahip ve iklim dostu ürünlere geçiş yaparak kırılganlığın azaltılması ve uyum kapasitesinin artırılması,
- › Üretim tesislerinin afetlerden korunmasına yönelik planlamaların yapılması, özellikle büyük endüstriyel kazalar açısından yüksek risk taşıyan stratejik ve büyük ölçekli tesislere öncelik verilmesi,
- › İmalat sanayinde gönüllü girişimler, sektör temsilcileri ve meslek kuruluşları aracılığıyla uyum kapasitesinin güçlendirilmesi,
- › Başta KOBİ’ler olmak üzere sanayi işletmelerinde uyuma yönelik teknik kapasitenin artırılması,

› İmalat sanayinde fiziksel iklim risklerini değerlendirmek için bir risk analiz aracının geliştirilmesi,

› İmalat sanayinde su verimliliği uygulamalarının benimsenmesi değerlendirilmesi (İDB_c, 2025). Bununla birlikte, su kaynakları yönetimi, enerji üretimi, binalar ve altyapı, tarımsal üretim, ulaştırma, sosyal kalkınma ve afet risk azaltımı gibi alanlarda önerilen politikaların da sanayi sektörlerini dolaylı yoldan etkilemesi nedeniyle büyük önem taşıdığı değerlendirilmektedir.

Endüstriyel Emisyonların Yönetimi Yönetmeliği

14 Ocak 2025 tarihli ve 32782 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan ve 1 Aralık 2025 tarihi itibariyle yürürlüğe girecek olan Endüstriyel Emisyonların Yönetimi Yönetmeliği ile sanayi tesislerinin çevresel performanslarının arttırılması hedeflenmektedir. Yönetmelik çerçevesinde kapsama giren yaklaşık 6.000 sanayi tesisi için Sanayide Yeşil Dönüşüm (SYD) belgesi düzenlenerek, tesisin çevresel performansı ile orantılı olarak teşvik, hibe ve kredi benzeri finansal mekanizmalara başvurabilmesi sağlanacaktır. Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarih itibariyle faaliyette olan tesislerden 31 Aralık 2028’e kadar en az F seviyesinde ve 31 Aralık 2030’a kadar ise en az D seviyesinde SYD belgesi almaları beklenmektedir. Çevresel performans seviyesinin belirlenmesi amacıyla kullanılacak olan Mevcut En İyi Teknikler (MET) ve MET ile ilişkili emisyon seviyesi (MET-İES) değerleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’na belirlenecektir (ÇŞİDB_b, 2025).

2.2.2 Teknolojik Riskler

Sanayi sektörlerinde karbon yoğun süreçlerin optimize edilmesi, enerji verimliliği yüksek sistemlere geçiş ve düşük emisyonlu üretim tekniklerinin geliştirilmesi, kritik bir dönüşüm alanı olarak görülmektedir. Ancak bu teknolojik dönüşüm; yüksek yatırım gereksinimi, mevcut altyapıyla uyumsuzluk ve uygulamadaki belirsizlikler nedeniyle çeşitli riskler barındırmaktadır. Özellikle daha düşük karbonlu ürünlerin yaygınlaştırılması sürecinde işletmelerin rekabet gücünde geçici kayıplar yaşanabilmekte, yeni teknolojilere geç adaptasyon ise sektörel kırılganlık yaratabilmektedir. Bu nedenle teknolojik dönüşüm, fırsatların yanı sıra ciddi bir geçiş riski de içermektedir (OECD_b, 2025). Sanayi sektörleri



açısından ortaya çıkan teknolojik alanlar arasında özellikle elektrifikasyon, yeşil hidrojenin sanayi süreçlerinde kullanımı, karbon yakalama, kullanma ve depolama (KYKD) çözümleri, dijital ikiz tabanlı üretim optimizasyonu, ileri malzeme teknolojileri ve gerçek zamanlı veri izleme sistemleri öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin ölçeklenebilirliği ve tedarik zincirlerinin henüz olgunlaşmamış olması, uygulamada hem finansal hem operasyonel riskleri artırmaktadır. Ülkemiz özelinde değerlendirildiğinde, bazı sektörlerde dijitalleşme, enerji verimliliği yatırımları, ısı pompası uygulamaları, atık ısı geri kazanımı, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve proses optimizasyonu gibi teknolojilere yönelik ilginin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, ileri seviye dönüşüm gerektiren hidrojen kullanımı, biyokütle bazlı prosesler veya KYKD uygulamalarına yönelik teknolojik ve ekonomik olgunluk hala sınırlıdır (TÜBİTAK, 2022). Ulusal sanayi politikalarının Ar-Ge destekleri, üniversite-sanayi işbirlikleri ve yeşil

finansman mekanizmaları ile güçlendirilmesi durumunda, bu teknolojilerin ölçeklenme riski azaltılarak rekabet avantajına dönüştürülebileceği değerlendirilmektedir.

2.2.3 Pazar Riskleri

Pazar riskleri, sanayi sektörleri için en yüksek olasılık ve aciliyet düzeyine sahip risk grupları arasında değerlendirilmektedir. İklim değişikliğinin neden olduğu üretim kayıpları, hammadde maliyetlerindeki artış ve sürdürülebilirlik kriterlerine göre değişen tüketici talepleri, firmaların piyasa konumlarını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca yeşil tedarik zinciri standartları ve düşük karbon ayak izine sahip ürünlere yönelik talep giderek artarken, bu taleplere cevap veremeyen işletmeler pazardan dışlanma riskiyle karşı karşıya kalabilmektedir. Dolayısıyla firmaların tedarik planlamalarını yeniden yapılandırma, kaynak verimliliğine dayalı stratejiler geliştirmeleri ve sürdürülebilir ürün geliştirme kapasitelerini artırmaları kritik önem taşımaktadır.

Pazar risklerinin artmasında, küresel ölçekte hızla benimsenen yeşil ürün standartları, karbon ayak izi doğrulama sistemleri ve eko-etiketleme uygulamaları önemli rol oynamaktadır. Özellikle AB'nin SKDM ve Yeşil Mutabakat kapsamındaki ürün gereklilikleri, ihracata dayalı sanayi sektörleri için hem uyum maliyetlerini hem de pazar kaybı risklerini artırmaktadır. Bu çerçevede çelik, çimento, alüminyum, kimyasallar ve gübre gibi sektörlerde karbon yoğun ürünlerin rekabetçiliği azalmakta; düşük karbonlu alternatifler ise hızla pazar payı kazanmaktadır. Ayrıca küresel tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik kriterlerinin zorunlu hale gelmesi, işletmelerin yalnızca kendi operasyonlarını değil, tüm tedarik ağlarını sera gazı emisyonları ve çevresel performans açısından dönüştürmelerini gerektirmektedir. Uluslararası şirketler için Kapsam 3 emisyonlarına (dolaylı sera gazı emisyonları) yönelik baskılarının artması, KOBİ'lerin büyük üreticilerin tedarikçileri olarak ek raporlama, sertifikasyon ve doğrulama yükümlülükleriyle karşılaşmasına yol açmaktadır. Bu durum, özellikle hazır giyim, otomotiv, elektronik ve gıda işleme gibi küresel değer zincirlerine bağlı sektörlerde pazar risklerini daha görünür hâle getirmektedir. Tüketici eğilimleri de pazar risklerini şekillendiren kritik unsurlardan biridir. Yenilenebilir enerji kullanımı, geri dönüştürülebilir malzeme içeriği veya düşük karbon ayak izi gibi çevresel performans göstergeleri, hem bireysel tüketici tercihlerinde hem de kurumsal satın alma politikalarında temel belirleyici hâline gelmektedir. Bu dönüşüme ayak uyduramayan firmalar, yalnızca iç pazarda değil, ihracat pazarlarında da talep daralmasıyla karşılaşabilmektedir. Bununla birlikte sürdürülebilir ürün geliştirme kapasitesine yatırım yapan işletmeler, daha yüksek katma değerli ürünler üretme ve marka imajını güçlendirme fırsatına sahip olmaktadır.

2.2.4 İtibar Riskleri

İtibar riskleri, sanayi sektöründe firmaların uzun vadeli rekabet gücünü ve piyasa konumunu doğrudan etkileyen kritik bir risk grubu olarak öne çıkmaktadır. İklim değişikliği ile mücadele ve uyum konusunda yetersiz kalan ya da çevresel etkilerini şeffaf biçimde yönetemeyen işletmeler, tüketiciler, yatırımcılar ve düzenleyici kurumlar nezdinde güven kaybı yaşayabilmektedir. Sürdürülebilirlik kriterlerinin giderek daha görünür hale geldiği küresel pazarlarda, bu durum marka değerinin azalmasına ve yeni pazarlara erişimin kısıtlanmasına yol açabilir. Bu nedenle sanayi işletmelerinin çevresel performanslarını izleme,

raporlama ve şeffaf iletişim süreçlerini güçlendirmeleri, itibar risklerini azaltmak açısından kritik görülmektedir. İtibar risklerinin artmasının bir diğer nedeni, küresel ölçekte şirketlerin çevresel ve sosyal performanslarına yönelik bilgi talebinin keskin biçimde yükselmesidir. Sürdürülebilirlik raporlaması, ürün çevresel beyanları, karbon ayak izi doğrulama sistemleri ve tedarikçi değerlendirme mekanizmaları artık sadece gönüllü uygulamalar olmaktan çıkmış, birçok pazarda zorunlu hale gelmiştir. Bu çerçevede, raporlama yapmayan veya eksik/yanlış bilgi paylaşan firmaların yatırımcı nezdindeki güvenilirliği hızla zayıflamakta, kurumsal derecelendirme kuruluşları tarafından verilen değerlendirme notlarının düşmesi ise finansmana erişimi zorlaştırabilmektedir. Ayrıca iklim değişikliği ile ilişkili çevresel skandallar veya çevreye zarar veren uygulamaların kamuoyunda görünür hâle gelme hızı, sosyal medya ve dijital iletişim araçlarının etkisiyle çok daha artmıştır. Tedarik zincirlerinde uyumsuzluk, işçi hakları ihlalleri, çevresel kirlilik veya karbon ayak izi konusunda yanıltıcı iletişim (yeşil aklama-greenwashing) gibi unsurlar, işletmelerin itibarına büyük zarar verebilmekte ve uzun dönemli pazar kayıplarına yol açabilmektedir. Bu nedenle firmaların güvenilir veri yönetimi, doğrulanabilir raporlama süreçleri ve paydaş iletişim stratejilerini güçlü bir şekilde kurgulamaları büyük önem taşımaktadır. Türkiye açısından bakıldığında, AB pazarına ihracat yapan birçok sektör için uyum gereklilikleri artarken, düşük karbonlu üretim kapasitesi sınırlı olan firmalar özellikle fiyat rekabetinde zorlanmaktadır. Bu durum, itibar riskleri açısından da önem taşımaktadır; zira sürdürülebilirlik kriterlerine uygun üretim yapamayan veya uyum stratejilerini kamuoyu ile etkin şekilde paylaşamayan şirketler, hem uluslararası müşteriler hem de yatırımcılar tarafından daha düşük prestije sahip olarak değerlendirilebilmektedir. İşletmelerin yaşam döngüsü analizi, ürün çevresel beyanı, karbon ayak izi hesaplaması ve sürdürülebilir ürün tasarımı gibi alanlarda kurumsal yetkinliklerini güçlendirmeleri, itibar risklerini azaltmada da kritik rol oynamaktadır. Ulusal ölçekte geliştirilen yeşil dönüşüm destekleri, yeşil OSB uygulamaları ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin teşvik edilmesi gibi mekanizmaların da firmaların pazar risklerini azaltmada önemli bir rol oynayacağı değerlendirilmektedir.

3

SEKTÖREL
İKLİM
DEĞİŞİKLİĞİ
RİSK ANALİZLERİ
SONUÇLARI

İklim değişikliği risk değerlendirmesi, seçilen sektörlerde iklim değişikliğinin potansiyel etkilerini anlamak ve bu etkilerle başa çıkmak için aksiyon alınması gereken alanları değerlendirmek amacıyla kullanılan bir yaklaşımdır. İklim değişikliği risk değerlendirmesi, seçilen sektörlerde iklim değişikliğinin potansiyel etkilerini anlamak ve bu etkilerle başa çıkmak için aksiyon alınması gereken alanları değerlendirmek amacıyla kullanılan bir yaklaşımdır. İklim değişikliği ile ilgili olarak sanayi sektörleri için değerlendirilebilecek risk kategorileri fiziksel ve geçiş riskleri olarak iki ana grupta değerlendirilmektedir. Fiziksel riskler, iklim değişikliğinin ortaya koyduğu sıcaklık artışı, kuraklık, aşırı yağış ve sel, deniz seviyesi yükselmesi gibi çeşitli tehlikeler sonucu tesis altyapısının zarar görmesi, doğal kaynakların azalması sebebiyle hammadde temininde güçlükler ve tedarik zincirinde aksamalar yaşanması gibi riskleri tanımlamaktadır. Geçiş risklerine verilebilecek örnekler arasında ise politika değişimi nedeniyle kaynakların kullanımına sınırlama getirilmesi, iklim riski analizi gerçekleştirilmeyen projelere daha az güvenle yatırım yapılması ve verimsiz süreçlere dayalı ürünlere daha az talep olması gibi finansman ve piyasa

riskleri ve toplumun ihtiyaçlarının dikkate alınmaması nedeniyle oluşabilecek itibar riskleri yer almaktadır. Proje kapsamında hazırlanan metodoloji ile tesis özelindeki fiziksel risklerin detaylı bir şekilde ortaya konması hedeflenmiş olup, sektör özelinde geçiş riskleri ise sektör temsilcilerinin katılım sağladığı çalıştaylar, ikili görüşmeler ve literatür taraması doğrultusunda ortaya konmuştur.

Proje kapsamında özellikle fiziksel risklerin değerlendirilmesi amacıyla IPCC metodolojisini temel alan bir değerlendirme aracı hazırlanarak gıda ürünleri, tekstil ürünleri ile orman, kağıt ürünleri, mobilya ve basım sanayilerinde faaliyet gösteren 40 tesiste iklim değişikliği risk değerlendirme çalışmaları yürütülmüştür. Söz konusu tesislerin faaliyet gösterdiği alt sektörlerin dağılımına Tablo 3.1'de yer verilmiş olup, tekstil ürünleri üretimi sektöründe 14, gıda ürünleri üretimi ve orman, kağıt ürünleri, mobilya ve basım sanayilerinde ise 13'er tesiste çalışmalar tamamlanmıştır. Tesislerin Marmara Bölgesi içindeki dağılımına bakıldığında (Şekil 3.1) sırasıyla %38, %20 ve %15 oranlarında İstanbul, Tekirdağ ve Kocaeli illerinin öne çıktığı görülmektedir.

Şekil 3.1 – Proje kapsamında çalışma gerçekleştirilen tesislerin dağılımı



SEKTÖREL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ RİSK ANALİZLERİ SONUÇLARI

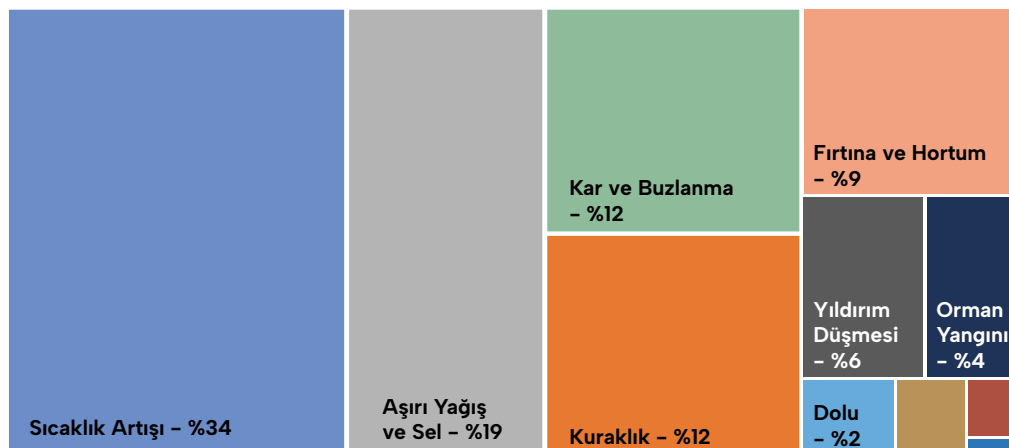
Tablo 3.1 – Proje kapsamında çalışma gerçekleştirilen alt sektörler ve tesis sayıları

NACE Kodu	Tesis Sayısı
Gıda Ürünleri Üretimi	
10.11.01 : Sığır, koyun, keçi vb. hayvanların kesimi ve kesim sırasındaki etin işlenmesi (mezbahacılık) (taze, soğutulmuş veya dondurulmuş olarak saklanması dahil)	1
10.13.01 : Et ve kümes hayvanları etlerinden üretilen pişmemiş köfte vb. ürünlerin imalatı	1
10.39.01 : Sebze ve meyve konservesi imalatı (salça, domates püresi dahil, patatesten olanlar hariç)	1
10.39.02 : Kavrulmuş, tuzlanmış vb. şekilde işlem görmüş sert kabuklu yemişler ile bu meyvelerin püre ve ezmelerinin imalatı (Pişirilerek yapılanlar)	1
10.39.02: Kavrulmuş, tuzlanmış vb. şekilde işlem görmüş sert kabuklu yemişler ile bu meyvelerin püre ve ezmelerinin imalatı (Pişirilerek yapılanlar)	1
10.39.90 : Başka yerde sınıflandırılmamış meyve ve sebzelerin başka yöntemlerle işlenmesi ve saklanması (kesilmiş ve paketlenmiş olanlar dahil)	1
10.51.03 : Süt tozu, peynir özü (kazein), süt şekeri (laktöz) ve peynir altı suyu (kesilmiş sütün suyu) imalatı (kati veya toz halde süt, krema dahil)	1
10.72.01 : Peksimet, bisküvi, gofret, dondurma külahı, kâğıt helva vb. ürünlerin imalatı (çikolata kaplı olanlar dahil)	1
10.72.02 : Tatlı veya tuzlu hafif dayanıklı fırın ve pastane ürünlerinin imalatı (kurabiyeler, krakerler, galeta, gevrek halkalar vb.)	1
10.82.01 : Çikolata ve kakao içeren şekerlemelerin imalatı (beyaz çikolata ve sürülerek yenilebilen kakaolu ürünler hariç)	1
10.82.04 : Lokum, pişmaniye, helva, karamel, koz helva, fondan, beyaz çikolata vb. imalatı (tahin helvası dahil)	1
10.82.07 : Kakao tozu, kakao ezmesi/hamuru ve kakao yağı imalatı	1
10.84.03 : Sos ve çeşnilerin imalatı (soya sosu, ketçap, mayonez, hardal sosu, çemen, mango çeşnisi vb.) (baharat, sirke ve salça hariç)	1
10.89.06 : Başka yerde sınıflandırılmamış çeşitli gıda ürünleri imalatı (çabuk bozulan hazır gıdalar, peynir fondüleri, şeker şurupları vb. dahil)	1
Tekstil Ürünleri Üretimi	
13.10.15 : Suni ve sentetik elyafların bükülmesi ve iplik haline getirilmesi (filament ipliği ve suni ipek elyafı imalatı hariç)	2
13.20.17 : Doğal kil ve yünden dokuma kumaş imalatı	1
13.20.22 : Suni ve sentetik filamentlerden ve devamsız elyaflardan dokuma kumaş (sunî ve sentetik elyaftan dokuma tül kumaş dahil) imalatı (havli veya şönil kumaş, havlu kumaş, tülbent, pelüş vb. İlmeği kesilmemiş kumaşlar ile kot, kadife ve tafting kumaşlar hariç)	3
13.20.24 : Cam elyafından dokuma kumaş imalatı (cam elyafından dar kumaşlar dahil)	1
13.30.01 : Kumaş ve tekstil ürünlerini ağartma ve boyama hizmetleri (giyim eşyası dahil)	4
13.30.02 : Tekstil elyaf ve ipliklerini ağartma ve boyama hizmetleri (kasarlama dahil)	1
13.30.03 : Kumaş ve tekstil ürünlerine baskı yapılması hizmetleri (giyim eşyası dahil)	1
15.11.10 : Deri ve kürklü deri imalatı (kürkün ve derinin tabaklanması, sepiilenmesi, boyanması, cilalanması ve işlenmesi) (işlenmiş derinin başka işlemlere tabi tutulmaksızın yalnızca tamburda ütülenmesi ve kurutulması hariç)	1
Orman, Kâğıt Ürünleri, Mobilya ve Basım Sanayii	
16.21.02 : Sıkıştırılmış lif, tahta ve tabakalardan kontrplak, MDF, sunta, vb. levha imalatı	1
17.12.07 : Kâğıt ve mukavva imalatı (daha ileri sanayi işlemleri için rulo veya tabaka halinde) (ziftli, lamine, kaplanmış ve emprenye edilmiş olanlar ile krepon ve kırışık kâğıtlar dahil)	3
17.21.12 : Kâğıt veya mukavvadaki koli, kutu ve benzeri muhafazaların imalatı	2
17.21.13 : Oluklu kâğıt ve oluklu mukavva imalatı (rulo veya tabaka halinde)	1
17.22.02 : Kullanıma hazır tuvalet kâğıdı, kâğıt mendil, temizlik veya yüz temizleme için kâğıt mendil ve havlular ile masa örtüsü ve peçetelerin imalatı (kâğıt hamurundan, kâğıttan, selüloz vatkadandan veya selüloz lifli ağlardan yapılmış)	2
31.01.01 : Büro, okul, ibadethane, otel, lokanta, sinema, tiyatro vb. kapalı alanlar için mobilya imalatı (taş, beton, seramikten olanlar hariç) (vestiyer, dosya dolapları, mihraplar, minberler, kürsüler, öğrenci sıraları, büro tipi sandalye ve koltuklar, vb.)	2
31.01.02 : Laboratuvarlar ve teknik bürolar için tezgâhların ve mobilyaların imalatı (mikroskop masaları, laboratuvar masaları (vitrinli, gaz memeli, musluk tertibatlı, vb.), çeker ocaklar, teçhizatsız çizim masaları, vb.)	1
31.09.04 : Yatak odası, yemek odası, banyo dolabı, genç ve çocuk odası takımı, gardırop, vestiyer, vb. imalatı (gömme dolap, masa, zigon vb. dahil)	1

IPCC iklim değişikliği risk değerlendirmesinin, tehlike (hazard), maruziyet (exposure) ve kırılganlık (vulnerability) arasındaki etkileşimi dikkate alan üç boyutlu bir çerçevede yapılmasını önermektedir. IPCC, tehlikeyi “can kaybına, yaralanmaya veya diğer sağlık etkilerine, ayrıca mülk, altyapı, geçim kaynakları, hizmet sağlama ve ekosistemlerde hasar ve kayıplara neden olabilecek doğal veya insan kaynaklı bir fiziksel olay veya eğilimin olası oluşumu” olarak tanımlamaktadır. Bu nedenle, iklimle ilgili bir olay (örn; aşırı hava olayları) veya iklim değişkenleri üzerindeki bir eğilim (örn; ortalama sıcaklıklardaki artış) iklim tehlikesi olarak sınıflandırılabilir. Risk değerlendirmesinin ikinci bileşeni olan maruziyet, IPCC tarafından “insanların varlığı; geçim kaynakları; türler veya ekosistemler; çevresel işlevler, hizmetler ve kaynaklar; altyapı veya olumsuz etkilenebilecek yer ve ortamlardaki ekonomik, sosyal, çevresel veya kültürel varlıklar” olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, risk altındaki unsurlar (örn; vatandaşlar, altyapı, varlıklar) maruziyet değerlendirmesi için tanımlanabilirken, maruz kalma derecesi ve süresinin değiştirilmesi riskin artmasına veya azalmasına neden olabilir (örn; kıyı bölgelerdeki nüfus yoğunluğu). IPCC tarafından “olumsuz etkilenme eğilimi veya yatkınlığı” olarak tanımlanan ve risk değerlendirmesinin son bileşeni olan kırılganlık, zararlar karşısındaki duyarlılık ve başa çıkma-uyum sağlama kapasitesinin mevcut olmaması gibi çeşitli kavram ve unsurları kapsar. Kırılganlık iki farklı özelliği bünyesinde barındırır; fiziksel, sosyal ve ekonomik faktörlere (örn; yaş dağılımı, altyapı projeleri için kullanılan malzemelerin türü) bağlı duyarlılık (sensitivity) ve vatandaşların ve kuruluşların iklim değişikliği ile ilgili etkilerle başa çıkma ve bunlara uyum sağlama becerisine (örn; erken uyarı sistemlerinin mevcudiyeti, yerel bilgi) bağlı kapasite (adaptive

capacity) (IPCC, 2020). Proje kapsamında oluşturulan iklim değişikliği risk değerlendirme metodolojisi tehlike, maruziyet ve kırılganlık bileşenlerini dikkate almaktadır. Bu çerçevede projede fiziksel risklerin değerlendirilebilmesi amacıyla TÜBİTAK MAM ekibi tarafından geliştirilen excel tabanlı risk değerlendirme aracı kullanılarak tesis özelinde iklim değişikliği etki, etkilenebilirlik ve risk analizlerinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Söz konusu analizler çerçevesinde tesislerde iklim değişikliğinden en fazla etkilenmesi beklenen altyapı ve operasyonların belirlenmesi sonrasında her bir kritik altyapı ve operasyon için kırılganlık ve maruziyet seviyeleri tesis yetkilileri ile istişare edilerek detaylandırılmıştır. Değerlendirme esnasında oluşabilecek etkilerin kapsamı ve etki seviyesi, daha önce tesiste yaşanmış hadiseler ve riskin azaltılması amacıyla tesiste alınmış veya alınması planlanan önlemlere yönelik veriler toplanmıştır. Excel tabanlı risk değerlendirme aracı vasıtasıyla toplanan veriler 5X5 ölçekli matrisler kullanılarak analiz edilmiştir. Bu bölümde her üç sektör için elde edilen sonuçların imalat sanayi genelinde değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmaya dahil edilen 40 tesis için belirlenen yaklaşık 600 adet kritik altyapı ve operasyonun ilişkilendirildiği iklim tehlikelerinin dağılımına Şekil 3.2’de yer verilmiştir. Her üç sektörde ortak olarak öne çıkan fiziksel risklerin ağırlıklı olarak sıcaklık artışı (%34), aşırı yağış ve sel (%19), kar ve buzlanma (%12), kuraklık (%12), fırtına ve hortum (%9), yıldırım düşmesi (%6), orman yangını (%4), dolu (%2) ve diğer (%2) olarak görülmektedir. Bunları sırasıyla fırtına ve hortum (%9), yıldırım düşmesi (%6) ve orman yangını (%4) gibi tehlikeler takip etmektedir. Ayrıca, daha düşük oranlarda da olsa dolu (%2) ve deniz seviyesi yükselmesi (%1) gibi spesifik tehlikelerin de kritik altyapı ve operasyonlarla doğrudan ilişkilendirildiği tespit edilmiştir.

Şekil 3.2 – İklim tehlikeleri bazında belirlenen kritik altyapı veya operasyonların dağılımı



İklim değişikliği kaynaklı risklerin analizi, yalnızca üretim tesislerinin fiziksel sınırları ile kısıtlı tutulmamalı; ham madde tedarikinden lojistik ağlara kadar tüm operasyonel süreçleri kapsayan bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmalıdır. Tesis bazında gerçekleştirilen değerlendirmeler, sıcaklık artışı, kuraklık ve aşırı yağış ile sel başta olmak üzere pek çok iklim tehlikesinin üretim altyapısı, enerji sistemleri ve çalışan sağlığı üzerinde belirleyici etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Ancak bu tehlikelerin etki alanı yalnızca tesis sınırlarıyla kalmamakta; aynı iklim baskıları, tedarik zincirinin farklı halkalarında ve lojistik ağların kritik düğüm noktalarında da kendini göstermektedir. Analiz sonuçları, tesislerin bulunduğu konumların ötesinde, küresel ve yerel ölçekte geniş bir coğrafyaya yayılan kritik bağımlılıkların iklim tehlikelerine açık olduğunu göstermektedir.

Örneğin, tekstil sektörü için hayati önem taşıyan pamuk tedarikinde Adana, Gaziantep ve Kahramanmaraş gibi yerel merkezlerin yanı sıra Amerika ve Özbekistan gibi dış pazarlarda yaşanan sıcaklık artışı ve kuraklık baskısı, hammadde güvenliğini doğrudan tehdit etmektedir. Benzer şekilde, gıda sektörü için stratejik olan buğday, şeker ve süt tozu üretiminin yoğunlaştığı İç Anadolu'da kuraklık ve sıcaklık artışı; Karadeniz'de fındık üretimini vuran aşırı yağış, sel ve don olayları; Brezilya ve Finlandiya gibi bölgelerden tedarik edilen selüloz ve kağıt operasyonlarını etkileyen orman yangınları, değer zincirinin ne denli kırılgan olduğunu kanıtlamaktadır. Operasyonel süreklilik açısından lojistik merkezlerin konumu da bu bütüncül risk haritasının kritik bir parçasıdır. Kocaeli ve İstanbul gibi stratejik limanlarda deniz seviyesi yükselmesi riski; İzmit, İzmir ve Gemlik limanları ile İstanbul Havalimanı gibi ana ulaşım arterlerinde yoğunlaşan fırtına ve hortum olayları, sevkiyat hatlarında ciddi aksamalara yol açma potansiyeli taşımaktadır. Ayrıca, Avustralya'daki yün ve viskon tedarikinden Endonezya ve Malezya'daki yağ üretimine kadar uzanan küresel ağda görülen orman yangınları ve kuraklık gibi ekstrem olaylar, iklim riskinin yerel bir sorun değil, sınır ötesi bir dayanıklılık meselesi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu veriler ışığında, iklim değişikliğine uyum stratejilerinin sadece tesis bazlı iyileştirmeleri değil, farklı coğrafyalardaki ham madde kaynaklarını ve lojistik düğüm noktalarını koruyacak çeşitlendirme ve risk yönetimi yaklaşımlarını içermesi zorunluluk arz etmektedir.

Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan kritik altyapı ve operasyonların, hammadde tedariki ve depolama, su temini ve suya bağımlı süreçler, enerji ve soğutma altyapısı, lojistik operasyonlar, çalışanların

maruziyeti ve depolama ve üretim tesisleri olmak üzere 6 ana başlıkta gruplandırılabilceği görülmektedir. Bu çerçevede, hammadde tedariki ve depolama süreçleri, pamuk, yün, keten ve ham deri gibi doğal hammaddeler ile iplik, kumaş ve çeşitli kimyasalların güvenli şekilde depolanmasını gerektirdiğinden iklim koşullarına oldukça duyarlı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle açık alanda depolanan kağıt ve selüloz gibi hammaddelerin aşırı yüksek sıcaklıklarda kendiliğinden tutuşma riski taşıması, bu alanlardaki hassasiyeti artırmaktadır. Su temini ve suya bağımlı süreçler ise soğutma kuleleri, temizlik operasyonları, üretim hattı ve atıksu altyapısının kesintisiz çalışmasını zorunlu kılmakta, dolayısıyla su stresi bu yapıların işleyişini doğrudan etkilemektedir. Kuyu suyu seviyelerindeki düşüşler ve barajlardaki çekilmeler, su yoğun sektörlerde üretimin devam ettirilebilmesi için tankerle su taşınmasına veya kapasite düşüşlerine yol açabilmektedir. Enerji ve soğutma altyapısı, özellikle soğutma sistemleri, kompresörler ve enerji dağıtım ağları üzerinden üretimin sürekliliği için kritik olup sıcak hava dalgalarına bağlı olarak soğutma ihtiyacının artması ile bu sistemlerin arızasında artış gözlenebilmektedir. Kompresörlerin belirli seviyelerin üzerindeki ortam sıcaklıklarında devre dışı kalması, basınçlı hava ile çalışan tüm üretim proseslerinin durmasına neden olabilen önemli bir risk olarak öne çıkmaktadır. Lojistik operasyonlar, karayolu ve denizyolu taşımacılığına bağımlı tedarik zinciri yapısı nedeniyle aşırı hava olayları esnasında ciddi aksamalar yaşanabilmektedir. Fırtına ve hortum hadiselerinin liman operasyonlarını ve vinç kullanımını durdurması, özellikle ithal hammaddeye bağımlı tesislerde hammadde arz güvenliğini tehdit etmektedir. Çalışanların maruziyeti de sıcaklık artışı açısından hem iş sağlığı ve güvenliği hem de verimlilik açısından önemli bir kırılganlık alanı olarak dikkate alınmaktadır. Özellikle boyahane, kurutma, pişirim gibi sıcaklık ve nem seviyelerinin yüksek olduğu alanlarda çalışan personelin tansiyon düşmesi ve sıcak çarpması gibi sağlık sorunları yaşaması iş gücü kaybına neden olmaktadır. Son olarak, depolama ve üretim tesisleri; soğuk hava depoları ve üretim süreçlerine bağlı hassas alanlar başta olmak üzere sıcaklık artışı ve aşırı hava olaylarına karşı yüksek duyarlılık taşımaktadır. Soğutma gruplarında kapasite yetersizliği nedeniyle depolanan gıda hammadde ve son ürünlerinin bozulması ve müşteri geri bildirimleri, bu alanlardaki finansal riskleri somutlaştırmaktadır.

Genel itibarıyla imalat sanayi, üretim süreçlerinin çok aşamalı yapısı, yüksek kaynak kullanımı ve yoğun

tedarik zinciri ilişkileri nedeniyle iklim değişikliği kaynaklı tehlikelere karşı oldukça hassas bir yapı göstermektedir. Aşırı yağış ve sel tehlikesi açısından, özellikle tesis altyapısı, atıksu arıtma altyapısı, depolama alanları ve lojistik hatlar üzerinde ciddi risklerin olduğu öngörülmektedir. Yaşanan sel hadiselerinde atıksu hatlarının yükü taşıyamaması sonucu üretim alanlarını su basması ve elektrik pano odaları gibi kritik altyapıların hasar görmesi nedeniyle üretimin haftalarca durduğu ve milyon dolarlara varan sigorta tazminatlarının olduğu örnekler ile karşılaşmıştır. Su baskınları yalnızca fiziksel hasara neden olmakla kalmamakta, aynı zamanda üretim kayıpları, hammaddenin zarar görmesi ve çevresel risklerin artmasına da zemin hazırlamaktadır. Bu durum, üretim sürekliliği ve maliyet yönetimi açısından önemli bir zorluk oluşturmaktadır.

Sıcaklık artışı, çalışan sağlığından üretim kalitesine kadar birçok kritik alanı etkilemektedir. Yüksek sıcaklık, ekipmanların aşırı ısınmasına, verimlilik kayıplarına ve soğutma/iklimlendirme sistemlerinin kapasite sınırına ulaşmasına neden olarak üretim süreçlerinde aksamalara yol açabilmektedir. Özellikle dijital baskı ve hassas dokuma makinelerinde ortam sıcaklığının belirli seviyelerin üzerine çıkması, iplik kopması, mürekkep kurumaması, makine parçalarının genleşmesi gibi etkenlere bağlı olarak üretim kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca, yangın riski ve ısıya duyarlı hammaddelerin bozulma olasılığı da sıcaklık artışıyla birlikte yükselmektedir. Kimyasal depolarda kontrolsüz ısınma sonucu reaksiyon riskleri operasyonel güvenliği tehdit eden temel unsurlar arasındadır. Dolayısıyla sıcak hava dalgaları, hem operasyonel hem de güvenlik açısından sanayi sektörleri için belirgin bir tehdit oluşturmaktadır.

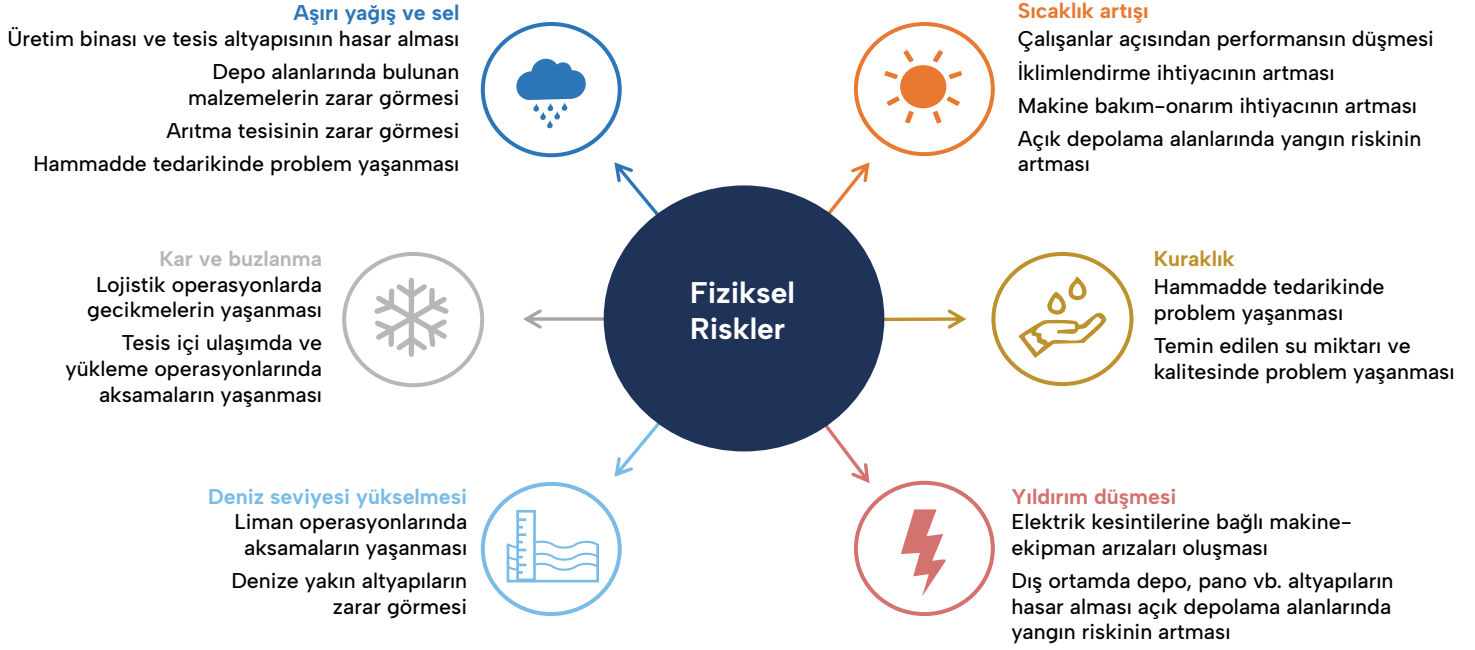
Kar yağışı ve buzlanma tehlikesi ise özellikle lojistik ağları ve tedarik zincirini etkileyerek üretimin kesintiye uğramasına neden olabilmektedir. Çalışanların tesise erişiminde yaşanan sorunlar, iç ve dış lojistikte gecikmeler ve enerji altyapısında ortaya çıkan verimsizlikler, bu tür hava olaylarının üretime doğrudan yansımaları güçlendirmektedir. Özellikle ağaç ürünleri ve mobilya üretimlerinin gerçekleştirildiği alt sektörlerde düşük sıcaklıkların tutkal hazırlama sürelerini uzatması ve elektronik aksamli makinelerin arızaya geçmesine bağlı olarak kış aylarında önemli verim kayıplarının yaşandığı örnekler ortaya konmuştur. Buna ek olarak, stok ve hammadde koşullarının bozulması gibi ikincil etkiler de operasyonları olumsuz etkileyebilmektedir.

Kuraklık ve su kaynaklarına erişimde yaşanan sıkıntılar,

suya bağımlılığı yüksek olan sektörler için stratejik bir tehdit konumundadır. Su teminine yönelik kesintiler, soğutma ve temizlik süreçlerinin aksamasına ve üretimin tamamen durmasına dahi yol açabilmektedir. Tarımsal hammaddelere dayalı gıda ürünleri üretiminde rekolte düşüşü ve hasat takvimindeki kaymalar, hammadde fiyatlarında dalgalanmalara ve tedarik kısıtlarına neden olmaktadır. Aynı zamanda tarımsal temelli hammaddelerin bulunduğu sektörlerde arz daralması ve maliyet artışları gibi etkiler de ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle su yönetimi, sanayi sektörlerinin iklim dirençliliği açısından en kritik bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Fırtına ve hortum hadiseleri ve bununla birlikte değerlendirilebilecek uzun vadeli deniz seviyesi yükselmesi tehlikesi ise özellikle lojistik, dış alan operasyonları ve altyapı güvenliği açısından risk yaratmaktadır. Şiddetli rüzgârlar, açık alandaki ekipmanlara ve güneş enerjisi panellerine zarar verebilir; liman altyapısındaki riskler ise deniz aşırı tedarik akışını aksatabilmektedir. Özellikle tehlikeli madde silolarının devrilme riski ve limanlardaki gemi yanaşma operasyonlarının durması, ekonomik kaybı yüksek bir seviyeye taşımaktadır. Yıldırım düşmesi de elektrik altyapısı ve makine parkı üzerinde ciddi hasarlara yol açabilecek bir diğer önemli tehlike olarak değerlendirilmektedir. Yıldırım düşmesi sonucu kağıt stok sahalarında çıkan ve günlerce süren yangınlar ile UPS sistemlerinin zarar görmesi sonucu yaşanan duruşlar, paratoner ve topraklama sistemlerinin hayati önemini kanıtlamaktadır.

Proje kapsamında değerlendirilen 40 tesis için öne çıkan tehlikelerle ilişkili olarak kritik altyapı ve operasyonlar ile beklenen etkilere ilişkin özet bilgilere Şekil 3.3 ve Tablo 3.2'de yer verilmektedir. Genel itibarıyla, imalat sanayi iklim değişikliğinin çok boyutlu etkilerine karşı oldukça kırılgan bir yapı sergilemektedir. Bu nedenle, sektör genelinde risk değerlendirmelerinin yapılması, kritik altyapının güçlendirilmesi ve iklim uyum stratejilerinin operasyonel süreçlere entegre edilmesi giderek daha büyük bir önem taşımaktadır.

Şekil 3.3 – Proje kapsamında öne çıkan fiziksel riskler



Tablo 3.2 – İklim tehlikeleri ve kritik altyapı ve operasyonlar bazında beklenen etkiler

İklim tehlikesi	Kritik altyapı / operasyon	Beklenen etkiler
Aşırı Yağış ve Sel	Atıksu altyapısı (atıksu arıtma, foseptik/iletim hatları, açık havuzlar), üretim binaları/çatıları, stok/depo alanları, pano & trafo merkezleri, enerji altyapısı, lojistik	Su baskını ve taşkın, bina/çatı drenaj sorunları, arıtma yükünün artması/taşma ve deşarj kriterlerinin sağlanamaması ile çevresel kirlilik ve cezaî yaptırım riski, açık sahadaki hammadde ve stoklarda zaiyat/hasar, elektrik kesintileri, üretim kesintisi, sevkiyat gecikmeleri ve planlama aksamaları, altyapı hasarı ve ek müdahale maliyetleri (vidanjör vb.)
Sıcaklık Artışı	Çalışma ortamı, üretim prosesleri, depolama, soğutma/iklimlendirme, kompresör grupları, elektrik pano odaları/trafo merkezleri, atıksu arıtma prosesleri, yangına hassas açık stok alanları	İş gücü verim kaybı ve ısı stresi kaynaklı sağlık problemleri, proses stabilitesinin bozulmasıyla kalite düşüşü, ekipmanların aşırı ısınmaya bağlı arızalanması (kompresör/chiller vb.) ve bakım-onarım maliyet artışı, soğutma kapasitesi yetersizliği nedeniyle ürün bozulması, arıtma veriminde düşüş ve koku şikayet/ceza riski, yangın riski artışı, elektrik pano odalarında ısınma ile yangın riski, açık stoklarda yangın riski; tarımsal hammaddelerde hasat kayması/verim kaybı ve tedarik dalgalanması
Kar ve Buzlanma	Tedarik zinciri ve lojistik (hammadde/ürün, yurtiçi-yurtdışı), tesis içi lojistik (forklift vb.), üretim prosesleri, enerji/buhar iletim hatları ve kazanlar, atıksu arıtma prosesleri, stok yönetimi, çalışan ulaşımı	Yol kapanmaları ve sevkiyat gecikmeleri, hammadde/ürün tedarikinde kesinti ve ihracatta aksama, soğuk nedeniyle bazı makinelerde arıza/kapasite düşüşü, stoklarda form bozulması/küflenme ve fire artışı, üretim aksamaları, buhar hatlarında ısı kaybı ile enerji tüketim artışı, stoklarda form bozulması, çalışanların tesise ulaşamaması ve vardiya planı bozulması, iç lojistikte kazalar, arıtma veriminde düşüş

İklim tehlikesi	Kritik altyapı / operasyon	Beklenen etkiler
Kuraklık	Su temini (kuyu/şebeke), suya bağlı tüm prosesler (yıkama, temizlik, hammadde besleme), soğutma sistemleri, enerji/buhar iletim hatları-kazanlar, hammadde tedariki	Su kıtlığı ve/veya kuyu seviyelerinde düşüş, üretim kısıtı/ duruş ve maliyet artışı (tanker/ilave su alımı, arıtma/ iyileştirme ihtiyacı), soğutma ve temizlik süreçlerinde kesintiler, su kalitesine bağlı olarak proses performans/ kalite kaybı, tarımsal hammaddede arz düşüşü ve fiyat dalgalanması, su geri kazanım teknolojileri ve alternatif su kaynaklarına bağımlılığın artması
Fırtına ve Hortum	Tedarik zinciri ve lojistik (karayolu, denizyolu), açık alan operasyonları, tesis altyapısı/çatı elemanları, silolar (tehlikeli atık vb.), toz toplama sistemleri, elektrik şebekesi dalgalanmaları, GES panelleri	Deniz/kara taşımacılığında duraksama ve ithalat-ihracat gecikmeleri, çatı/altyapı hasarı ve ekipman devrilme/ dağılma riski (silo vb.) ile can-mal kaybı, elektrik dalgalanması/kesintisiyle üretim verim kaybı ve ekipman zararları, açık alanlarda operasyonda kesinti, çevresel risk (örn; toz toplama sisteminin etkilenmesi)
Yıldırım Düşmesi	Elektrik altyapısı (pano, trafo vb.), UPS/jeneratör sistemleri, makine parkı, stok alanları (özellikle yanıcı materyaller), tehlikeli atık geçici depolama alanları, açık alanda çalışanlar	Elektrik kesintisi ve gerilim darbeleri, ekipman/ elektronik hasarı ve üretim duruşu, UPS devre dışı kalırsa operasyonel/idari süreçlerin aksaması, açık stok alanlarında yangın ve stok kaybı, tehlikeli atık alanında yangının kritik ekipmanlara sirayet riski, yıldırım sırasında açık alanda çalışanlar için İSG riski
Dolu	Çatı GES panelleri	Panel hasarı, üretim kaybı/onarım ihtiyacı, performans düşüşü
Deniz Seviyesi Yükselmesi	Kıyı tesisleri (üretim, depo, hurda vb. alanlar), limanlar üzerinden tedarik ve sevkiyat	Kıyı tesislerinde su basması ve operasyonların durması, liman altyapısında hasar/erişim kısıtı, lojistik gecikmeler ve maliyet artışı, deniz taşımacılığına bağımlı tedarikte kırılganlığın artması
Orman Yangınları	Orman ürünleri temelli hammadde tedariki (kereste, MDF, sunta, seren vb.), açık alanda depolanan yanıcı stoklar, orman alanlarına yakın tesisler	Hammadde arzında daralma ve fiyat artışı, tedarik sürelerinde uzama, stok/ürün kaybı, üretim planlarında aksama/duruş riski

Proje kapsamında değerlendirilen 40 tesis özelinde mevcut durum ve gelecek projeksiyonları açısından iklim tehlikeleri bazında gerçekleştirilen risk değerlendirmesi sonuçları, özellikle sıcaklık artışı, kuraklık, aşırı yağış ve sel ile kar ve buzlanma tehlikelerinin hem mevcut durumda hem de gelecek projeksiyonlarında kritik düzeyde risk oluşturduğunu teyit etmektedir (Tablo 3.3).

Sıcaklık artışı tehlikesi açısından mevcut durumda orta/ yüksek seviyesinde değerlendirilen risklerin, gelecek projeksiyonlarında şiddetlendiği öngörülmekte, bu durum da sıcaklık artışının tesislerin operasyonel sürekliliği üzerindeki en yaygın ve şiddetli tehdit olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde riskin arttığı

kuraklık tehlikesi açısından sonuçlar, özellikle su yoğun operasyonlar ve hammadde tedarik zinciri gibi kritik süreçlerin kuraklık karşısındaki kırılganlığının gelecekte çok daha kritik bir boyuta ulaşacağına işaret etmektedir. Daha kısıtlı seviyede değişimin gözlemlendiği dolu, kar ve buzlanma gibi iklim tehlikeleri açısından sonuçlar, iklim değişikliğiyle birlikte bazı bölgelerde öngörülen kar yağışlı gün sayısındaki azalma beklentisini yansıtmakla birlikte hala önemli sayıda kritik altyapı ve operasyonu orta üzeri riski barındırdığını ve kış koşullarına hazırlığın önemini koruduğunu göstermektedir. Tabloda yer alan fırtına, hortum, dolu ve orman yangını gibi diğer iklim tehlikeleri incelendiğinde, bu unsurların mevcut durumda dahi kritik altyapı ve operasyonlar

Tablo 3.3 – İklim tehlikeleri bazında mevcut durum ve gelecek projeksiyonu açısından risk değerlendirme sonuçları – Kritik altyapı ve operasyon sayısı

İklim Tehlikesi / Kritik Altyapı ve Operasyon Sayısı	Risk – Mevcut Durum					Risk – Gelecek Projeksiyonu				
	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Sıcaklık Artışı	0	0	40	149	16	0	0	0	104	101
Kuraklık	0	1	9	49	13	0	0	3	39	30
Aşırı Yağış ve Sel	0	1	27	83	7	0	0	12	93	13
Fırtına ve Hortum	0	0	14	37	4	0	0	18	34	3
Dolu	0	0	3	5	2	0	0	3	5	2
Kar ve Buzlanma	0	2	33	39	0	0	11	57	6	0
Rüzgar Yönü Değişimi	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
Sis	0	1	2	0	0	0	1	2	0	0
Yıldırım Düşmesi	0	1	24	12	0	0	1	24	12	0
Deniz Seviyesi Yükselmesi	0	2	5	0	0	0	0	2	5	0
Orman Yangını	0	0	10	12	2	0	0	3	15	6

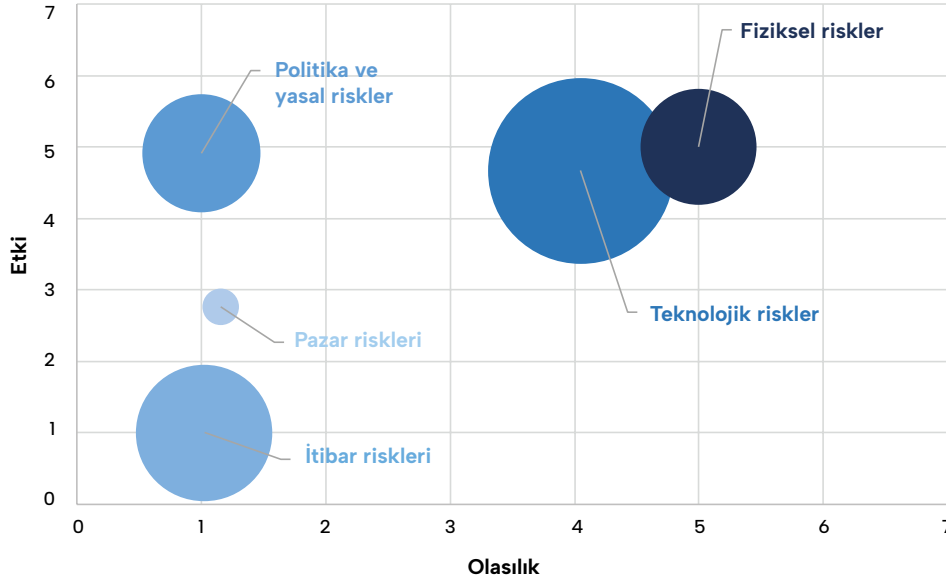
üzerinde önemli bir baskı oluşturduğu, gelecek projeksiyonlarında ise bu baskının şiddetini koruyarak veya artarak devam edeceği değerlendirilmektedir. Özellikle deniz seviyesi yükselmesi ve orman yangını gibi tehlikelerin, zamanla daha üst risk kategorilerine evrilerek operasyonel süreçler için daha kritik bir tehdit haline geleceği öngörülmektedir. Bu durum, tesislerin sadece ana iklim olaylarına değil, çeşitlenen ve şiddeti artan tüm iklimsel risklere karşı bütüncül bir hazırlık içerisinde olması gerektiğini doğrulamaktadır. Sonuç olarak tesislerin operasyonel mimarisini oluşturan kritik altyapı ve süreçlerin büyük bir kısmının iklim tehlikelerine karşı ciddi bir maruziyet içerisinde olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle sıcaklık artışı, kuraklık ve sel gibi tehlikelerin, altyapı unsurlarını düşük risk kategorilerinden hızla yüksek ve çok yüksek risk kategorilerine taşıdığı görülmektedir. Bu durum, tesis bazlı uyum stratejilerinin sadece genel bir yaklaşım değil, her bir kritik altyapı bileşeni ve operasyonel süreç özelinde özelleştirilmiş teknik çözümler gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Tesisler özelinde gerçekleştirilen fiziksel risk değerlendirmesinin yanı sıra, proje kapsamında gerek düzenlenen çalıştayda gerekse sonrasında yürütülen anket çalışmasında toplanan veriler dikkate alınarak sektör temsilcileri nezdinde risklerin önem seviyesi açısından değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ortaya konan risk ifadeleri politika ve yasal riskler, teknolojik riskler, pazar riskleri, itibar riskleri ve fiziksel riskler olmak üzere Türkiye Sürdürülebilirlik

Raporlama Standartları ile uyumlu 5 kategori altında gruplandırılmıştır. Riskler kamu, özel sektör, akademi ve sivil toplum kuruluşları temsilcilerinin dahil edildiği üç farklı oturumda her sektör özelinde değerlendirilmiş olup, bu bölümde üç sektör için ortalama olarak gerçekleştirilen değerlendirmeye ver verilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken, her grup için hesaplanan ortalama puanlar 1-5 aralığında normalize edilmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 3.4'te paylaşılmıştır. Şekil 3.4'de, farklı risk gruplarının “etki”, “olasılık”, “uyum sağlama ihtiyacı” ve “uyum sağlama aciliyeti” boyutlarında karşılaştırmalı bir analizini sunulmaktadır. Grafik üzerinde balonların konumu olasılık ve etki seviyelerini (x ve y eksenleri), büyüklüğü uyum sağlama ihtiyacını, renk tonları ise açık kırmızıdan koyu kırmızıya doğru artan şekilde uyum sağlama aciliyetini temsil etmektedir.

Üç farklı sektör için elde edilen ortalama skorlar, imalat sanayi geneli açısından iklim değişikliğiyle bağlantılı risklerin çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, fiziksel riskler ve teknolojik risklerin imalat sanayi genelinde hem en yüksek etkiye hem de en yüksek gerçekleşme olasılığına sahip risk grupları olarak öne çıktığı görülmektedir. Her iki risk kategorisinin de yüksek uyum sağlama ihtiyacı ve aciliyet skorları, imalat sanayinin karşı karşıya olduğu dönüşüm baskısının güçlü ve kaçınılmaz olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede iklim koşullarının değişmesi, aşırı hava olayları sıklığının artması, kuraklığa bağlı olarak su

Şekil 3.4 – İklim değişikliği risklerinin genel değerlendirilmesi



temini güçlükleri, altyapı kırılganlıkları ve enerji talebinde yaşanan dalgalanmalar, sanayi sektörleri için stratejik düzeyde dikkate alınması gereken risklerin başında gelmektedir. Benzer şekilde, düşük karbonlu üretim teknolojilerine geçiş, dijitalleşme, otomasyon, veri temelli üretim ve süreç optimizasyonu gibi alanlardaki hızlı değişim, teknolojik riskleri sektör için kritik bir dönüşüm alanı haline getirmektedir. Şekil 3.4'te politika ve yasal risklerin gerçekleşme olasılığı oldukça yüksek görünmekle birlikte, etki düzeyi orta seviyededir. Ancak uyum sağlama aciliyeti görece yüksek çıkmaktadır. Bu durum, sanayi sektörlerinde faaliyet gösteren tesislerin hem ulusal düzeyde hem de AB başta olmak üzere uluslararası piyasalarda giderek sıkılaştan iklim ve çevre düzenlemelerine uyum sağlamak sürecinde karşılaştığı zorlukları ortaya koymaktadır. Karbon fiyatlandırması, sınırda karbon düzenlemeleri, su verimliliği ve atık yönetimi yükümlülükleri, ürün bazlı sürdürülebilirlik standartları ve zorunlu raporlama gereklilikleri, düzenleyici çerçevenin yakın dönemde en çok etkisi görülecek başlıkları arasında yer almaktadır. Pazar riskleri tüm parametrelerde en düşük değerlere sahip olmakla birlikte, sanayi sektörleri açısından tamamen önemsiz bir risk kategorisi olarak değerlendirilmemelidir. Kısa vadede pazar koşulları ve talep dinamikleri iklim değişikliği nedeniyle sınırlı seviyede etkileniyor yönünde bir değerlendirme yapılsa da, tüketici davranışlarında sürdürülebilir ürünlere yönelim, döngüsel ekonomi uygulamalarının yaygınlaşması ve tedarik zincirlerinin karbon ayakizi temelli yeniden yapılandırılması gibi eğilimler dikkate alındığında pazar risklerinin orta ve uzun vadede artma

olasılığının yüksek olması öngörülmektedir. Bu nedenle tesislerin ürün ve süreç tasarımlarında sürdürülebilirlik odaklı yenilikçilik kapasitesini artırması önem taşımaktadır.

İtibar riskleri sanayi sektörlerinde görece düşük etki ve düşük olasılık skorlarına sahip olmakla birlikte, uyum sağlama ihtiyacı ve aciliyet açısından orta-yüksek seviyede öne çıkmaktadır. Bu durumun, yatırımcılar, müşteriler ve kamuoyu nezdinde çevresel-sosyal yönetim alanındaki beklentilerin hızla artmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Özellikle şeffaf ve doğru raporlama yapılmaması, yeşil aklama olarak değerlendirilebilecek uygulamalar veya tedarik zincirinde çevresel risklerin kontrol edilememesi, firmalar açısından önemli itibar kayıplarına neden olabilmektedir.

Genel olarak bakıldığında, sanayi sektörleri açısından iklim değişikliği kaynaklı risklerin yalnızca fiziksel etkilerden ibaret olmadığı; aynı zamanda düzenleyici çerçeve, teknolojik gereklilikler, pazar dinamikleri ve kurumsal itibar boyutlarında da güçlü bir dönüşüm baskısı yarattığı görülmektedir. Sektör genelinde uyum kapasitesi yüksek olan işletmelerin bu dönüşümü bir riskten ziyade rekabet avantajı yaratacak bir fırsata dönüştürme potansiyeli bulunmaktadır. Bu doğrultuda düşük karbonlu ve kaynak verimli üretim teknolojilerine geçiş, enerji ve su verimliliğini artıran yatırımlar, tedarik zinciri boyunca izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik uygulamalarının güçlendirilmesi, dijitalleşme ve otomasyonun yaygınlaştırılması, imalat sanayinin iklim risklerine karşı daha dirençli bir yapıya kavuşmasına katkı sağlayacaktır.

4

GENEL
DEĞERLENDİRME

Proje kapsamında değerlendirilen üç sektör için ortaya konan riskler politika ve yasal riskler, teknolojik riskler, pazar riskleri, itibar riskleri ve fiziksel riskler olmak üzere Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları

(TSRS) ile uyumlu 5 kategori altında gruplandırılmıştır. Her bir risk grubu için projeye dahil edilen 3 sektörde gerçekleştirilen değerlendirmeler genel olarak şu şekilde özetlenmiştir:

Sanayi sektörleri genelinde en kritik risk grubu fiziksel riskler olarak değerlendirilmektedir. Sıcaklık artışı, kuraklık, sel ve diğer aşırı hava olayları; doğal hammaddelerin kalitesini ve tedarikini doğrudan etkilemekte, su temininde güçlükler yaratmakta ve tesis altyapılarını zorlamaktadır. Lojistikte yaşanan aksaklıklar ve soğutma/iklimlendirme sistemlerindeki yetersizlikler üretim verimliliğini düşürmektedir. Bu çerçevede sanayi sektörleri açısından oluşturulabilecek öncelik alanları şu şekildedir:

- Acil durum eylem planlarının hazırlanması,
- Su ve enerji altyapısının güçlendirilmesi,
- Kritik ekipman ve stokların iklim tehlikelerine karşı korunması,
- Alternatif hammadde ve üretim teknolojilerine yönelim.

Teknolojik riskler, yüksek etki ve orta vadeli uyum ihtiyacı ile öne çıkmaktadır. Dijitalleşme, otomasyon ve düşük su/enerji tüketimli üretim sistemleri sanayi genelinde kritik dönüşüm alanlarıdır. Çoğu sektörde izleme altyapısı ve Ar-Ge yatırımlarının yetersizliği riskleri artırmaktadır. Bu çerçevede sanayi sektörleri açısından oluşturulabilecek öncelik alanları şu şekildedir:

- Dijital izleme ve raporlama sistemlerinin kurulması,
- Enerji verimli ekipman ve proses modernizasyonu,
- Susuz/az suyla üretim teknolojilerinin geliştirilmesi,
- Üniversite-sanayi iş birlikleriyle yeni çözümlerin pilot uygulamaları.

Pazar riskleri, sanayi sektörlerinde yüksek olasılık ve aciliyet düzeyi ile kritik görülmektedir. İklim değişikliği kaynaklı maliyet artışları, tedarik zincirinde aksamalar ve tüketici beklentilerinin sürdürülebilir ürünlere kayması sektörlerin rekabet gücünü doğrudan etkilemektedir. Bu çerçevede sanayi sektörleri açısından oluşturulabilecek öncelik alanları şu şekildedir:

- Tedarik planlamalarının yeniden yapılandırılması,
- Döngüsel ekonomi uygulamalarının yaygınlaştırılması,

- Ürünlerde sürdürülebilirlik kriterlerinin entegrasyonu,
- Tarım ve doğal kaynak temelli girdilerin güvence altına alınması.

Politika ve yasal riskler, orta etki ancak yüksek uyum aciliyeti ile öne çıkmaktadır. AB mevzuatları (atık çerçeve direktifi, eko-tasarım, ambalaj, ormansızlaşma vb.), karbon ve su ayak izi raporlama yükümlülükleri ve ulusal düzenlemeler sektörlerin üretim süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Bu çerçevede sanayi sektörleri açısından oluşturulabilecek öncelik alanları şu şekildedir:

- Ulusal mevzuatların uluslararası standartlara hızla uyumlaştırılması,
- Denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi,
- Sektörel rehberler hazırlanması,
- Mevzuat belirsizliklerinin giderilmesi ve firmaların bilgilendirilmesi.

İtibar riskleri, düşük olasılık ama yüksek uyum ihtiyacı ile kritik görülmektedir. ESG (çevresel, sosyal, yönetim) kriterlerine uyumsuzluk, greenwashing algısı veya raporlama eksiklikleri yatırımcı güvenini zedeleyebilir. Bu çerçevede sanayi sektörleri açısından oluşturulabilecek öncelik alanları şu şekildedir:

- Şeffaf raporlama ve denetim sistemleri,
- Sürdürülebilirlik etiketlerinin doğru ve güvenilir kullanımı,
- Kamuoyu ve tüketiciye güven veren iletişim stratejileri.

Genel olarak değerlendirildiğinde, sanayi sektörleri açısından iklim değişikliğine bağlı risklerin yalnızca fiziksel etkilerle sınırlı kalmadığı; aynı zamanda mevzuat değişiklikleri, teknolojik dönüşüm gereklilikleri, pazar talepleri ve kurumsal itibar gibi çok boyutlu dinamikleri de beraberinde getirdiği görülmektedir. Bu projede gıda ürünleri, tekstil ürünleri ile orman, kağıt ürünleri, mobilya ve basım sanayilerinde faaliyet gösteren 40 tesiste yürütülen ayrıntılı risk değerlendirmeleri; sıcaklık artışı, kuraklık, aşırı yağış ve sel, fırtına ve hortum, dolu, kar ve buzlanma, deniz seviyesi yükselmesi ve orman yangını gibi çok çeşitli iklim tehlikelerinin, tedarik zinciri, lojistik, su-enerji altyapısı, üretim hatları, depolama alanları ve çalışan sağlığı üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler yarattığını ortaya koymuştur.

Uyum sürecinde proaktif davranan firmalar, bu riskleri yönetmekle kalmayıp aynı zamanda sürdürülebilirlik temelli dönüşüm sürecinde rekabet avantajı elde

edebilecektir. Özellikle kompresör ve soğutma sistemlerinin iyileştirilmesi, GES yatırımları, atık ısı ve su geri kazanım sistemleri, alternatif hammadde ve tedarikçi uygulamaları, acil durum eylem planlarının iklim risklerine göre güncellenmesi gibi halihazırda devreye alınmış veya planlanan uygulamalar; iklim risklerinin yönetilmesi kadar enerji ve su maliyetlerinin düşürülmesi, üretim sürekliliğinin korunması ve kurumsal itibarın güçlendirilmesi açısından da önemli eş faydalar sağlamaktadır.

Bu doğrultuda su ve enerji verimliliğini artıran yatırımlar, döngüsel ekonomi uygulamaları, alternatif hammadde ve üretim modelleri ile kamu-özel sektör iş birlikleri, sanayide dirençli ve çevresel olarak sürdürülebilir üretim sistemlerinin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Tesis örnekleri incelendiğinde; atık ısının iklimlendirmede kullanılması, biyogaz üretimi ve kullanımı, atıksu geri kazanımı, atıkların ve tarımsal yan ürünlerin hammadde olarak değerlendirilmesi, rota optimizasyonu ve intermodal taşımacılık gibi uygulamaların, hem iklim değişikliğine uyum kapasitesini hem de sera gazı emisyon azaltımını desteklediği görülmektedir.

Bu çerçevede sanayi sektörleri geneli açısından iklim değişikliğine uyum kapasitesini arttırmaya yönelik önlem önerileri, önlemin hayata geçirilmesinde kilit rol oynayabilecek paydaşlar ve önlemin tamamlanması için öngörülen vadeler (kısa: 0-1 yıl, orta: 1-3 yıl, uzun: 3-5 yıl) Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablodaki önlemler; saha ziyaretleri, sektörel çalıştaylar ve kritik altyapı/operasyon bazlı risk analizlerinde öne çıkan kırılganlık alanları dikkate alınarak sektörel iyi uygulama

örnekleri ve geliştirilmesi gereken alanlar üzerinden derlenmiştir.

İmalat sanayiinin iklim değişikliğine uyum kapasitesini arttırmaya yönelik önlemlerin, bütüncül bir risk yönetimi yaklaşımıyla ele alınması gerekmektedir. Bu kapsamda öncelikle tedarik zinciri ve hammadde yönetiminin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Hammadde tedarikinde çeşitlendirmeye gidilmesi, alternatif hammaddelerin kullanılması, sözleşmeli tarım gibi uzun vadeli tedarik modellerinin geliştirilmesi ve döngüsel ekonomi uygulamalarıyla kaynak bağımlılığının azaltılması, sektörün iklim kaynaklı arz şoklarına karşı dayanıklılığını artıracak önlemler arasında önceliklendirilmektedir. Özellikle tekstil, gıda ve orman ürünleri gibi hammadde arzı doğrudan iklim koşullarına bağlı olan sektörlerde, hammadde kaynaklı risklerin izlenmesi ve yerel tedarik zincirlerinin iklim dirençli hale getirilmesi operasyonel süreklilik için belirleyicidir. Buna ek olarak, su verimliliği ve kaynak yönetimi alanında ileri arıtma teknolojilerinin kullanılması, proses sularının yeniden kullanımı, su tüketimini azaltan veya tamamen ortadan kaldıran susuz proseslerin yaygınlaştırılması ve yan ürünlerin proses içinde değerlendirilmesi hem çevresel hem de operasyonel açıdan kritik uyum adımları olarak ortaya konmuştur. Sektörel analizler, kuyu suyu kullanımı ve soğutma sistemleri gibi suya bağımlı süreçlerin, artan kuraklık riskine karşı en hassas noktaları oluşturduğunu ve bu alanlardaki teknolojik dönüşümün bir seçenekten ziyade zorunluluk haline geldiğini göstermektedir.



Tablo 4.1 – İmalat sanayiinin iklim değişikliğine uyum kapasitesini arttırmaya yönelik önlem önerileri, ilgili paydaşlar ve tahmini vadeleri

Önlem Önerileri	Paydaşlar	Vade
Tedarik Zinciri ve Hammadde Yönetimi		
Tedarikçi çeşitlendirmesi, izlenebilirlik sistemlerinin kurulması ve ESG uyumlu tedarikçi seçimi	Özel sektör	Kısa-Orta
Özel sektör-çiftçi işbirliği ve sözleşmeli tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması	Özel sektör, Kamu	Orta
Alternatif hammadde kullanımının artırılması (bitkisel protein, mikro-alg, bambu, kenevir, geri dönüştürülmüş elyaf vb.)	Özel sektör, Ar-Ge	Orta-Uzun
Kaliteli/kuraklığa dayanıklı tohum geliştirilmesi, iklim dayanıklı ürünlerin artırılması	Ar-Ge	Orta-Uzun
İklim senaryolarının tesis risk analizlerine entegre edilmesi	Özel sektör	Orta
Lojistikte alternatif rotaların belirlenmesi, rota optimizasyonu, intermodal taşımacılık	Özel sektör	Kısa-Orta
Lojistikte karbon ayak izini azaltacak araç/teknolojilerin seçimi	Özel sektör	Orta
Atıkların kaynağında ayrıştırılması, geri dönüştürülmüş malzeme kullanım oranının artırılması	Özel sektör, Kamu	Orta
Döngüsel ekonomi uygulamalarının desteklenmesi (geri dönüşüm merkezleri, yeniden kullanım platformları, tekstilden-tekstile dönüşüm vb.)	Kamu, Özel sektör, Ar-Ge	Orta
Yüksek iklim riski altındaki hammaddeler için (pamuk, buğday, şeker, kakao, fındık vb.) iklim risk haritaları oluşturulması ve tedarik sözleşmelerine iklim risk hükümlerinin entegre edilmesi	Özel sektör, Kamu, Ar-Ge	Orta
Kritik hammaddelerde (atık kağıt, MDF/sunta, selüloz vb.) şirket içi toplama merkezlerinin ve geri kazanım altyapısının güçlendirilmesi ile dışa bağımlılığın azaltılması	Özel sektör	Orta-Uzun
Su Verimliliği ve Kaynak Yönetimi		
Su verimliliği yatırımları (geri kazanım, ileri arıtma, dijital su tüketimi izleme sistemleri ve raporlama, yağmur suyu hasadı)	Özel sektör	Kısa-Orta
Su Verimliliği Yönetmeliği uygulama ve denetim faaliyetleri	Kamu, Özel sektör	Kısa-Orta
Yeraltı suyu kullanımının denetlenmesi, alternatif kaynakların yeniden kullanımına yönelik düzenlemeler	Kamu	Orta
Su verimli teknolojiler ve alternatif üretim tekniklerinin geliştirilmesi (susuz boyama, dikey tarım vb.)	Ar-Ge	Orta-Uzun
Yan ürünlerin (meyve/sebze posası vb.) ve tarımsal atıkların alternatif ürünlere dönüştürülmesi	Özel sektör, Kamu, Ar-Ge	Orta

GENEL DEĞERLENDİRME

Önlem Önerileri	Paydaşlar	Vade
Düşük Karbonlu Üretim ve Temiz Teknolojiler		
Enerji etütlerinin gerçekleştirilmesi ve enerji verimli teknolojilere yönelik dönüşüm planlaması (motor, ekipman, LED, izolasyon, atık ısı geri kazanımı vb.)	Özel sektör	Kısa-Orta
Merkezi izleme ve dijitalleşme yatırımları ile süreç optimizasyonu	Özel sektör, Ar-Ge	Orta
Çalışanların temiz üretim ve mevzuat konusunda eğitilmesi, tesislerde uzman bulundurulması	Özel sektör	Kısa
Yenilenebilir enerji yatırımları ve düşük su tüketimli teknolojilere geçişin desteklenmesi	Özel sektör, Kamu, Finans	Orta-Uzun
Tüketicilerin geri dönüştürülmüş ve düşük karbonlu ürünler konusunda bilinçlendirilmesi (kamu spotları vb.)	Kamu	Orta
Finansman teşviklerinde kademeli destek sistemi	Finans	Orta
Altyapının Güçlendirilmesi		
Soğutma sistemleri, arıtma tesisleri ve enerji altyapısının güçlendirilmesi, modernizasyonu	Özel sektör, Kamu	Kısa-Orta
Drenaj sistemlerinin ve sel/taşkın koruyucu altyapının geliştirilmesi	Özel sektör, Kamu	Kısa-Orta
Kritik ekipmanların yükseltilmesi ve fabrika altyapısının iklime dirençli tasarımı	Özel sektör	Orta
Risk analiz yöntemlerinin uygulanması (HAZOP vb.) ve düzenli tatbikatlar yapılması	Özel sektör	Orta
Açık stok ve depolama alanlarının (kağıt balyaları, kömür stok sahaları, tarımsal ürün depoları vb.) iklim risklerine göre kapalı veya korunaklı alanlara taşınması ya da korunma önlemlerinin (bariyer, sprinkler, paratoner vb.) güçlendirilmesi	Özel sektör	Kısa-Orta
Elektrik panoları, UPS odaları, kompresör ve chiller üniteleri gibi kritik ekipmanların aşırı sıcaklık, aşırı yağış ve sel, yıldırım düşmesi gibi iklim tehlikelerine karşı yedekleme ve koruma sistemleri ile güçlendirilmesi	Özel sektör	Kısa
Politika, Finansman ve İşbirliği		
Mevzuat uyumunun hızlandırılması ve uluslararası standartlarla uyumlu hale getirilmesi	Kamu	Kısa
İklim risklerinin sigorta kapsamına alınması, küçük üreticilere özel destekler	Finans, Kamu	Orta
Esnek finansman, KOBİ'ler için ön fizibilite desteği gibi uygulamaların yaygınlaştırılması, AB fonları ve ETS fonlarının kullanılması	Finans, Kamu	Orta-Uzun
Sektörel rehberlerin hazırlanması, OSB'ler için master planların teşviki	Kamu	Orta
Üniversite-sanayi işbirliği ve pilot çalışmaların artırılması	Özel sektör, Ar-Ge	Orta-Uzun
İklim risklerinin şirket içi yönetim yapılarında (risk komiteleri, sürdürülebilirlik kurulları vb.) kurumsallaştırılması	Özel sektör	Kısa

Önlem Önerileri

Paydaşlar

Vade

Genel Öneriler

Ticari ormancılık faaliyetlerinin teşvik edilmesi ve izlenebilirlik sistemlerinin entegrasyonu (FSC vb.)	Kamu, Özel sektör	Orta-Uzun
Orman yangınları, tahribat gibi ekosistem risklerinin önlenmesi	Kamu	Kısa-Orta
Tedarik zincirinde karbon ayak izi yüksek ürünlerin azaltılması, satın alma politikalarının sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirilmesi	Özel sektör	Orta
Gıda kaybı/israfın azaltılması için farkındalık ve iletişim faaliyetleri	Kamu, Özel sektör	Kısa-Orta
İklim uyumlu ürünlerin tasarımı (ısıya dayanıklı kumaşlar, outdoor tekstil, iklim uyumlu tarım ürünleri vb.)	Ar-Ge	Uzun
OSB ölçeğinde ortak altyapı yatırımlarının (atıksu arıtma, yenilenebilir enerji santrali, biyokütle/biyogaz santrali vb.) kümelenme yaklaşımıyla hayata geçirilmesi	Kamu, Özel sektör, Finans	Orta-Uzun
Çalışanların iklim riskleri ile bağlantılı olarak acil durum eylem planları ve İSG açısından düzenli olarak eğitilmesi ve tatbikatların iklim senaryoları ile güncellenmesi	Özel sektör	Kısa-Orta

Sanayi tesislerinde düşük karbonlu üretim ve temiz teknolojilerin benimsenmesi de iklim dirençliliğinin temel bileşeni olarak görülmektedir. Enerji verimliliğini artıran uygulamalar, üretim süreçlerinin dijitalleşmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve çalışanların iklim riskleri konusunda düzenli eğitimi, üretimin hem dirençli hem de sürdürülebilir hale gelmesini desteklemektedir. Bunun yanında, iklim değişikliğinin fiziksel etkilerine karşı altyapının güçlendirilmesi gerekmektedir. Drenaj ve arıtma sistemlerinin iyileştirilmesi, kritik ekipmanların aşırı hava olaylarına karşı korunması ve düzenli risk analizlerinin yapılması gibi önlemler, tesislerin kısa vadede öngörülemeyen iklim tehlikeleri altında kesintisiz çalışmasına imkan sağlayacaktır.

Tesis bazlı risk analizleri, aşırı sıcaklıkların kompresör ve iklimlendirme sistemleri üzerindeki mekanik yükü artırdığını, şiddetli yağışların ise depolama alanları ve lojistik hatlarda fiziksel hasarlara yol açtığını kanıtlamaktadır. Bu nedenle, tesis bazlı risk yönetiminde ‘iklim duyarlı bakım-onarım’ ve ‘altyapı modernizasyonu’ süreçlerinin standart operasyon prosedürlerine dahil edilmesi elzem olarak değerlendirilmektedir.

Son olarak, sanayi sektörlerinde iklim dirençliliğinin artırılması için politika, finansman ve işbirliği mekanizmalarının güçlendirilmesi önem arz etmektedir. Özellikle uluslararası mevzuat uyumunun artırılması, işletmeler için finansal teşviklerin ve uygun sigorta modellerinin geliştirilmesi, ayrıca yeni teknolojilerin

uygulanmasına yönelik sanayi-üniversite işbirliği mekanizmalarının desteklenmesi, sanayi sektörleri genelinde bilgi paylaşımını ve ortak çözüm geliştirme kapasitesini artıracak önlemler olarak ön plana çıkmaktadır. Tüm bu alanlarda atılacak koordineli adımlar ile imalat sanayinin iklim değişikliğinin etkilerine karşı dirençli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşması yolunda önemli ilerleme kaydedileceği değerlendirilmektedir. Bu raporda sunulan analizler, imalat sanayi genelinde iklim değişikliğinin oluşturduğu riskleri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmekte ve ilgili risk alanlarına yönelik uyum önlemlerini sistematik biçimde ortaya koymaktadır. Çalışmanın kapsamı ve proje uygulayıcılarının rolü gereği, önlemlerin uygulama zaman çizelgeleri ve performans göstergeleri gibi unsurlarla detaylandırılması öngörülmemiştir. Bununla birlikte, raporda ortaya konulan bulgular ve öneriler, politika yapıcılara, düzenleyici kurumlara ve sektörel paydaşlara yol gösterici bir çerçeve sunmayı ve sektörün uyum kapasitesini güçlendirmeye yönelik stratejik adımların şekillendirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Raporda tespit edilen yüksek riskli alanlar ve geçmişte deneyimlenen üretim duruşları, iklim uyumunun sadece çevresel bir sorumluluk değil, aynı zamanda finansal bir risk yönetimi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Gelecek dönemde sanayi sektörlerinde iklim değişikliğine uyum kapasitesinin artırılması amacıyla, bu çalışmadan elde edilen bulgular temel alınarak sanayi sektörlerinin ihtiyaçlarına göre şekillendirilecek kapsamlı uygulama yol haritalarının, ilgili paydaşların katılımı ve kamu

KAYNAKÇA

- AON. (2023). Weather, Climate and Catastrophe Insight. AON.
- BMİDÇS. (1992). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. Rio de Janeiro.
- Bureau of Labor Statistics. (2025, 11 23). U.S. Department of Labor, The Economics Daily, Weather contributed to 100 workplace fatalities in 2023. U.S. Department of Labor, The Economics Daily, Weather contributed to 100 workplace fatalities in 2023: <https://www.bls.gov/opub/ted/2025/weather-contributed-to-100-workplace-fatalities-in-2023.htm> adresinden alındı
- Climate Central. (2025, 11 23). Coastal Risk Screening Tool. Coastal Risk Screening Tool: https://coastal.climatecentral.org/map/14/29.7979/40.752/?theme=water_level&map_type=water_level_above_mhbw&basemap=roadmap&contiguous=true&elevation_model=best_available&refresh=true&water_level=0.7&water_unit=m adresinden alındı
- CRED. (2025, 11 21). 2024 Disasters in Numbers. 2024 Disasters in Numbers: https://files.emdat.be/reports/2024_EM-DAT_report.pdf adresinden alındı
- ÇŞİDB_a. (2025). İklim Değişikliği. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://iklim.csb.gov.tr/> adresinden alındı
- ÇŞİDB_b. (2025). Endüstriyel Emisyonların Yönetimi Yönetmeliği. Resmi Gazete, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2025/01/20250114-1.htm> adresinden alındı
- DB. (2024). Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM). T.C. Dışişleri Bakanlığı Avrupa Birliği Başkanlığı: <https://www.ab.gov.tr/53747.html> adresinden alındı
- DB. (2025). Paris Anlaşması. T.C. Dışişleri Bakanlığı: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> adresinden alındı
- De Sario, M., de'Donato, F. K., Bonafede, M., Marinaccio, A., Levi, M., Ariani, F., . . . Michelozzi, P. (2023). Occupational heat stress, heat-related effects and the related social and economic loss: a scoping literature review. *Frontiers in Public Health*.
- EC_a. (2025). Delivering the European Green Deal. European Commission: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en adresinden alındı
- EC_b. (2025). 'Fit for 55': Council adopts key pieces of legislation delivering on 2030 climate targets. European Council (Council of the EU): <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/04/25/fit-for-55-council-adopts-key-pieces-of-legislation-delivering-on-2030-climate-targets/> adresinden alındı
- Economist Impact. (2025, 11 23). Climate change's disruptive impact on global supply chains and the urgent call for resilience. Climate change's disruptive impact on global supply chains and the urgent call for resilience: https://impact.economist.com/projects/trade-in-transition/climate_change/ adresinden alındı
- EEA. (2024). Water abstraction by source and economic sector in Europe. European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/water-abstraction-by-source-and> adresinden alındı
- EPA. (2025). Climate Risks and Opportunities Defined. EPA United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/climateleadership/climate-risks-and-opportunities-defined#:~:text=Transition%20risks%20are%20those%20associated,and%20transition%20to%20renewable%20energy.> adresinden alındı

- Esha, Z., Damania, R., Engle, N. (2023). Droughts and Deficits: Summary Evidence of the Global Impact on Economic Growth. World Bank.
- ESRB. (2024). Climate-related risks and accounting. European Systemic Risk Board, European System of Financial Supervision.
- ETKB. (2025). Kyoto Protokolü. Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı: <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-kyoto-protokolu> adresinden alındı
- Gallo, F., Lepousez, V. (2020). Assessing physical climate risks for financial decision makers: common methodologies, challenges and case studies. Carbone 4. ClimINVEST project report.
- Garman, N. (2019). How the California Wildfires Affected Supply Chains. Thomas for Industry: <https://www.thomasnet.com/insights/how-the-california-wildfires-affected-supply-chains/> adresinden alındı
- GIZ. (2024). Climate Expert. Sector Project Sustainable Economic Policy – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ): <https://www.climate-expert.org/en/home> adresinden alındı
- İDB. (2024). Türkiye Cumhuriyeti Güncellenmiş Birinci Ulusal Katkı Beyanı. İklim Değişikliği Başkanlığı. adresinden alındı
- İDB_a. (2025). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. 2025 tarihinde İklim Değişikliği Başkanlığı: <https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33> adresinden alındı
- İDB_b. (2025). Paris Anlaşması. İklim Değişikliği Başkanlığı: <https://iklim.gov.tr/paris-anlasmasi-i-34> adresinden alındı
- İDB_c. (2025). Türkiye'nin Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejisi. İklim Değişikliği Başkanlığı: <https://iklim.gov.tr/db/turkce/dokumanlar/turkiyenin--8230-3143-20250210095501.pdf> adresinden alındı
- ILO. (2019). Working on a WARMER planet. Geneva: International Labour Office.
- ILO. (2024, 11 23). Heat at work: Implications for safety and health. Geneva: International Labour Organization. Heat at work: Implications for safety and health: https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-07/ILO_OSH_Heatstress-R16.pdf adresinden alındı
- ILO. (2025, 11 22). The employment impact change of climate adaptation. The employment impact change of climate adaptation: www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_emp/documents/publication/wcms_645572.pdf adresinden alındı
- IPCC. (2020). The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross Working Group discussions. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers–Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC_a. (2022). The second part of the Sixth Assessment Report, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- IPCC_b. (2022). The evidence is clear: the time for action is now. We can halve emissions by 2030. Intergovernmental Panel on Climate Change: <https://www.ipcc.ch/2022/04/04/ipcc-ar6-wgiii-pressrelease/> adresinden alındı
- IRIS. (2020). Improve Resilience of Industry Sector. Life project.
- Joseph, R. (2022). Rethinking wastewater: Chennai's journey towards water security. World Bank Blogs: <https://blogs.worldbank.org/en/water/rethinking-wastewater-chennais-journey-towards-water-security> adresinden alındı
- Kahraman, A., Kendon, E. J., Fowler, H. J., & Short, C. J. (2025). Future changes in severe hail across Europe, including regional emergence of warm-type thunderstorms. Nature Communications.
- Kyllmann, C. (2023). Low water levels in Rhine river threat to German economic recovery – analysts. Clean Energy Wire: <https://www.cleanenergywire.org/news/low-water-levels-rhine-river-threat-german-economic-recovery-analysts> adresinden alındı
- Maes, M. J., Gonzales-Hishinuma, A., Haščić, I., Hoffmann, C., Banquet, A., Veneri, P., . . . Quadrelli, R. (2022). Monitor–

- ing exposure to climate-related hazards:Indicator methodology and key results. OECD Environment Working Papers.
- Medellín-Azuara, J., Escrivá-Bou, A., Rodríguez-Flores, J.M., Cole, S.A, Abatzoglou, J.T., Viers, J.H., Santos, N., Sumner, D.A. (2022). Economic Impacts of the 2020–2022 Drought on California Agriculture. Water Systems Management Lab. University of California.
- MGM. (2021). Türkiye Kuraklık Projeksiyonları. Ankara. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/kitaplar/kuraklikprojeksiyon.pdf> adresinden alındı
- Moody's. (2021). Critical industries have substantial exposure to physical climate risks. https://assets.website-files.com/5df9172583d7eec04960799a/618872a58d35f2643cbcaef2_BX9770_ESG_Critical%20industries%20have%20substantial%20exposure_7Nov2021.pdf adresinden alındı
- Motta, C., Naumann, G., Gomez, D., Formetta, G., Feyen, L. (2025). Assessing the economic impact of droughts in Europe in a changing climate: A multi-sectoral analysis at regional scale. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, s. 59, 102296.
- NASA_a. (2025). US National Aeronautics and Space Administration. Global Climate Change- Vital Signs of the Planet: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/> ve <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> adresinden alındı
- NASA_b. (2025, 11 20). US National Aeronautics and Space Administration. Sea Level Projection Tool: https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?lat=42&lon=%2029&data_layer=scenario adresinden alındı
- NBER. (2017). Temperature Effects on Productivity and Factor Reallocation. National Bureau of Economic Research: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w23991/w23991.pdf adresinden alındı
- NDC. (2025). Republic of Türkiye The Second Nationally Determined Contribution (NDC 3.0). Türkiye Cumhuriyeti.
- OECD. (2024). The Climate Action Monitor 2024. The Climate Action Monitor 2024: https://www.oecd.org/en/publications/the-climate-action-monitor-2024_787786f6-en.html adresinden alındı
- OECD_a. (2025, 11 20). OECD Work on Climate Adaptation. OECD Work on Climate Adaptation: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-issues/climate-adaption-and-resilience/brochure-OECD-work-on-climate-adaptation.pdf> adresinden alındı
- OECD_b. (2025). Fast tracking Net Zero by Building Climate and Economic Resilience. OECD: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/05/fast-tracking-net-zero-by-building-climate-and-economic-resilience_ac75431f/f2c22c96-en.pdf adresinden alındı
- OGM. (2025, 11 21). Resmi İstatistikler. Resmi İstatistikler: <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> adresinden alındı
- O'Neill, B. M. (2022). 2022: Key Risks Across Sectors and Regions. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, New York, NY, USA. pp. 2411–2538, doi:10.1017/9781009325844.025: Cambridge University Press.
- O'Neill, B.C; Kriegler, E.; Ebi, K.L.; Kemp-Benedict, E.; Riahi, K.; Rothman, D.S.; vanRuijven, B.J.; van Vuuren, D.P.; Birkmann, J.; Kok, K.; Levy, M.; Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 169–180.
- Romps, D. M., Seeley, J. T., Vollaro, D., & Molinar, J. (2014). Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science*, 851–854.
- Scholze, N., Riach, N., Glaser, R., Gruner, S., Bohnert, G., & Martin, B. (2023). Climate change impacts and adaptation efforts in different economic sectors of the Trinational Metropolitan Region Upper Rhine. *Climate Risk Management*, 100576.

- Smithers, R.J., Gardner, A., Dworak, T. (2023). Assessing climate change risks and vulnerabilities (climate risk assessment). A DIY Manual. Version 1. EU Mission on Adaptation to Climate Change.
- Stacy, B. (2023). Rebuilding economies after COVID-19: Will countries recover? World Bank Blogs: <https://blogs.world-bank.org/en/opendata/rebuilding-economies-after-covid-19-will-countries-recover> adresinden alındı
- Swiss Re Institute. (2021). The economics of climate change: no action not an option. Zurich: Swiss Re Management Ltd.
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J, Meehl, G.A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. Bulletin of the American Meteorological Society, s. 485-498, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.
- TB_a. (2025). Yeşil Mutabakat Sanayi Planı. T.C. Ticaret Bakanlığı: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-dongusel-ve-surdurulebilir-sanayi-politikalari/yesil-mutabakat-sanayi-planı> adresinden alındı
- TB_b. (2025). AB Ormansızlaşmanın Önlenmesi Mevzuatı. T.C. Ticaret Bakanlığı: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-dongusel-ve-surdurulebilir-sanayi-politikalari/ab-ormansizlasmanin-onlenmesi-mevzuati> adresinden alındı
- TB_c. (2025). Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (GÜS). T.C. Ticaret Bakanlığı: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-dongusel-ve-surdurulebilir-sanayi-politikalari/genisletilmis-uretici-sorumlulugu-gus-tekstil> adresinden alındı
- TB_d. (2025). AB Ambalaj ve Ambalaj Atığı Mevzuatı. Ticaret Bakanlığı: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-dongusel-ve-surdurulebilir-sanayi-politikalari/ab-ambalaj-ve-ambalaj-atigi-mevzuati> adresinden alındı
- TB_e. (2025). Sürdürülebilir Ürünler İçin Eko-Tasarım Tüzüğü – ESPR. T.C. Ticaret Bakanlığı: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-dongusel-ve-surdurulebilir-sanayi-politikalari/surdurulebilir-urunler-icin-eko-tasarim-tuzugu-espr> adresinden alındı
- TB_f. (2025). Kurumsal Sürdürülebilirlik Özen Yükümlülüğü. T.C. Ticaret Bakanlığı: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-dongusel-ve-surdurulebilir-sanayi-politikalari/kurumsal-surdurulebilirlik-ozen-yukumlulugu> adresinden alındı
- TGİP. (2025). Türkiye Yeşil Sanayi Projesi. <https://tgip.sanayi.gov.tr/> adresinden alındı
- TOB. (2023). MARMARA HAVZASI TAŞKIN YÖNETİM PLANI. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı.
- TÜBİTAK. (2022). Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası. TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı: <https://tubitak.gov.tr/tr/kurumsal/politikalar/yesil-buyume-teknoloji-yol-haritasi> adresinden alındı
- UNCTAD. (2024). Suez and Panama Canal disruptions threaten global trade and development. UN Trade and Development: <https://unctad.org/news/suez-and-panama-canal-disruptions-threaten-global-trade-and-development> adresinden alındı
- UNEP. (2023). Sectoral Risk Briefings: Insights for Financial Institutions – Climate Risks in the Industrial Sector. UN Environment Programme Finance Initiative.
- UNEP. (2024). Climate Risks in the Transportation Sector. Geneva: United Nations Environment Programme Finance Initiative.
- UNFCCC. (2015). Paris Agreement. United Nations.
- UNFCCC. (2025). 2025 NDC Synthesis Report. United Nations Framework Convention on Climate Change: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/2025-ndc-synthesis-report#Just-transition> adresinden alındı

- Waidelich, P., Batibeniz, F., Rising, J., Kikstra, J.S., Seneviratne, S.I. (2024). Climate damage projections beyond annual temperature. *Nature Climate Change*, s. 14, 592-599.
- WEF. (2025). The Global Risks Report 2025. ISBN: 978-2-940631-30-8: World Economic Forum.
- West, J.M., Brereton, D. (2013). Climate Change Adaptation in Industry and Business: A Framework for Best Practice in Financial Risk Assessment, Governance and Disclosure. Australia National Climate Change Adaptation Research Facility (NCCARF).
- WMO_a. (2025). WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55°C above pre-industrial level. World Meteorological Organization: https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level?utm_source=chatgpt.com adresinden alındı
- WMO_b. (2025, 11 15). Heatwave. World Meteorological Organization: <https://wmo.int/topics/heatwave> adresinden alındı
- World Bank. (2010). HEAT – Hands-on Energy Adaptation Toolkit . Energy Sector Management Assistance Program.



İSTANBUL
SANAYİ ODASI

www.iso.org.tr



[ist_sanayiodasi](#)



[istanbulsanayiodasi](#)



[istanbulsanayiodasi](#)



[istanbulsanayiodasi](#)



[istanbulsanayiodasi](#)