



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

İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi Projesi

Sanayi Sektörlerinin İklim Değişikliğine Uyum Kapasitesinin Arttırılması için Politika Önerileri

Ekim, 2025



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİşİKLİğİ BAKANLIğI



Çevre ve İklim Eylemi
Seçkin Operasyonel Programı



İKLİM DEĞİşİKLİğİ
BAşKANLIğI



İSTANBUL
SANAYİ ODASI



TÜBİTAK

PROJE EKİBİ



**İSTANBUL
SANAYİ ODASI**

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. Recep PARTAL
Dr. Volkan PELİTLİ
Gizem SOĞUKPINAR

Burçin DEĞİRMENCİOĞLU
Erbil BÜYÜKBAY
Özge GÜVEN
Özlem ERCAN
Hüseyin TANRIVERDİ

*TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
İklim ve Yaşam Bilimleri Başkan Yardımcılığı*

İstanbul Sanayi Odası

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.

Yazışma Adresi:

P.K. 21 41470 Gebze KOCAELİ

Tel: 0 262 677 20 00 Faks: 0 262 641 23 09

WEB Adresi: www.mam.tubitak.gov.tr



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 3 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	3
TABLO LİSTESİ	5
ŞEKİL LİSTESİ	7
KISALTMALAR LİSTESİ	9
1. GİRİŞ	11
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İMALAT SANAYİ ÜZERİNDEKİ GENEL ETKİLERİ	13
2.1. Fiziksel Riskler	13
2.1.1 Kuraklık ve Su Stresi	15
2.1.2 Sıcaklık Artışı	18
2.1.3 Aşırı Yağış ve Sel	22
2.1.4 Orman Yangını	23
2.2. Geçiş Riskleri	24
2.2.1 Politika ve Yasal Riskler	25
2.2.2 Teknolojik Riskler	28
2.2.3 Pazar Riskleri	28
2.2.4 İtibar Riskleri	29
3. GENEL DEĞERLENDİRME	31
KAYNAKÇA	35



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 4 / 37

Güncelleştirme Sayısı: 01

TASLAK





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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 5 / 37

Güncelleştirme Sayısı: 01

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: İmalat sanayiinin iklim değişikliğine uyum kapasitesini arttırmaya yönelik önlem önerileri, paydaşlar ve tahmini vade 32

TASLAK



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



Çevre ve İklim Eylemi
Seçer Operasyonel Programı



İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ
BAŞKANLIĞI



CLIMATECH
INDUSTRY 4



İSTANBUL
SANAYİ ODASI



TÜBİTAK



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 6 / 37

Güncelleştirme Sayısı: 01

TASLAK





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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 7 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1:	İstanbul'da yaşanan aşırı hava olayları	14
Şekil 2.2:	Marmara Bölgesi'nde yıllık toplam yağış miktarı ve kurak gün sayısı değişimi (1990-2024) ...	17
Şekil 2.3:	Marmara Bölgesi'nde SPEI kuraklık indisi değişimi (1990-2024).....	18
Şekil 2.4:	Marmara Bölgesi'nde yıllık sıcaklık değişimi (1990-2024).....	20
Şekil 2.5:	Marmara Bölgesi'nde ısıtma ve soğutma ihtiyacı değişimi (1990-2024).....	20
Şekil 2.6:	İstanbul'da SSP3-7.0 senaryosuna göre uzun dönemli CMIP6 sıcaklık tahminleri (1990-2100)	21
Şekil 2.7:	Marmara Bölgesi'nde yağış indislerinin değişimi (1990-2024)	22
Şekil 2.8:	İstanbul'da SSP3-7.0 senaryosuna göre uzun dönemli CMIP6 toplam yağış verileri (1990-2100)	23
Şekil 2.9:	Marmara Bölgesi için yangın hava indeksi değişimi	24



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 8 / 37

Güncelleştirme Sayısı: 01

TASLAK





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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 9 / 37

Güncelleştirme Sayısı: 01

KISALTMALAR LİSTESİ

IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli - Intergovernmental Panel on Climate Change
İSO	İstanbul Sanayi Odası
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
TÜBİTAK MAM	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu - Marmara Araştırma Merkezi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



Çevre ve İlim Eylemi
İşbirlik Operasyonel Programı



İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ
BAŞKANLIĞI



CLIMATECH
INDUSTRY 4



İSTANBUL
SANAYİ ODASI



TÜBİTAK
MAM



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 10 / 37

Güncelleştirme Sayısı: 01

TASLAK





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 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, Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB), İklim Değişikliği Başkanlığı 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 ve giyim eşyaları ile orman, kağıt ürünleri, mobilya ve basım sanayilerinde faaliyet gösteren 10 tesiste temiz üretim etütlerini de kapsayan detaylı 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 yetkilileri, finans ve kurumsal sürdürülebilirlik konusunda uzman kişiler tarafından gerçekleştirilen Mini MBA programı; 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 düzenlenmesi planlanmış olup, 21-29 Mayıs 2025 tarihleri arasında fiziki olarak düzenlenen çalıştaylarda toplam 90 katılımcının sektörde gerçekleşebilecek fiziksel ve geçiş risklerine ilişkin görüş ve değerlendirmeleri alınmıştır.

Proje çalışmaları kapsamında hazırlanan bu gıda ürünleri üretimi sanayiinde oluşabilecek fiziksel ve geçiş riskleri hakkında bilgi vermekte ve alt sektörlerde iklim değişikliğine uyum kapasitesinin artırılmasına yönelik olarak hayata geçirilebilecek uyum önlemlerini özetlemektedir. Taslak olarak yayınlanan bu raporun proje çalışmalarının tamamlanmasını müteakip güncel hali ile tüm paydaşlar ile paylaşılması hedeflenmektedir.



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 13 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İMALAT SANAYİ ÜZERİNDEKİ GENEL ETKİLERİ

İklim değişikliği, küresel ölçekte ekonomileri doğrudan etkileyen en kritik faktörlerden biri haline gelmiştir. İmalat sanayi, yüksek 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, azalan su kaynakları, aşırı hava olayları gibi fiziksel riskler, üretim süreçlerinde kesintilere, altyapı hasarlarına ve maliyet artışlarına yol açabilmektedir. Öte yandan, 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 olduğunu vurgulamaktadır. İmalat sanayinin dayandığı küresel ölçekli tedarik zincirlerinde oluşabilecek fiziksel etkiler, yalnızca yerel üretimi değil, sınır ötesi ticareti ve sanayileri de etkileyerek ekonomik zararları artırabilmektedir. 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 B. M., 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 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 ciddi etkiler doğurabileceği görülmektedir (Stacy, B., 2023). Dolayısıyla, imalat sanayinde iklim değişikliğinin yaratacağı risklerin sistematik olarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. İmalat sanayinde 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 faaliyet gösteren şirketler, coğrafi konumlarına ve tedarik zincirlerinin yapısına bağlı olarak iklim değişikliğinden kaynaklanan çeşitli fiziksel risklere maruz kalmaktadır. Bu riskler fırtınalar, seller, dolu,



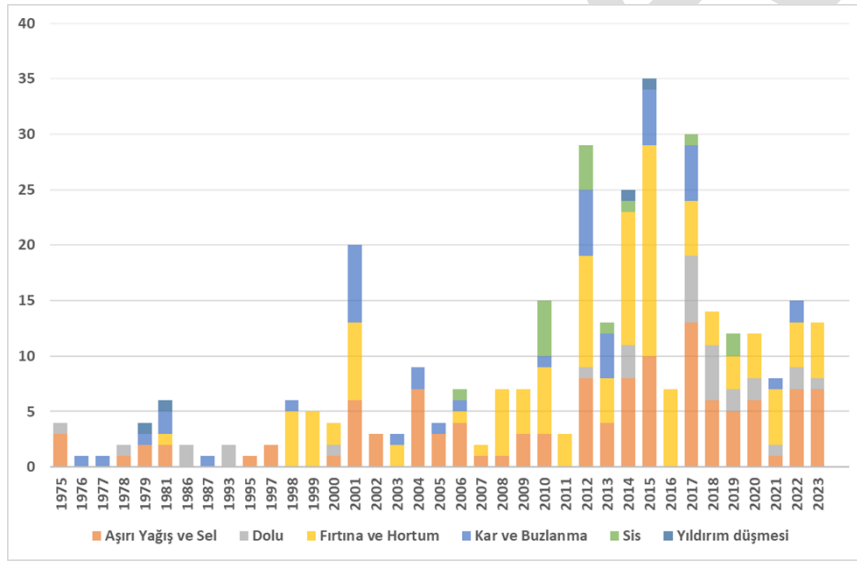


Bu Proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından ortaklaşa finanse edilmektedir.

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 14 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

sıcaklık artışı, heyelan, kuraklık ve su kıtlığı, orman yangınlarını kapsamaktadır. Fiziksel riskler, akut ve kronik olarak ikiye ayrılmaktadır. Sel, fırtına, orman yangını ve sıcak hava dalgaları gibi ani gelişen olaylar sebebiyle oluşabilecek riskler akut riskler grubundadır. Bu tür olaylar sanayi tesislerinde üretim kesintilerine, altyapı hasarına, enerji arzında aksamaya ve lojistik zincirinde bozulmalara yol açabilir. Etkilerinin uzun vadede görüldüğü grupta yer alan kronik riskler arasında ise ortalama sıcaklık, yağış gibi parametrelerin uzun vadeli değişimi, deniz seviyesinin yükselmesi, kuraklık ve ekosistemlerin bozulması gibi riskler yer almaktadır. Bu etkiler tesislerde soğutma ve iklimlendirme maliyetlerinin artmasına, su ve hammadde temininde zorluklara ve çalışan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. İlerleyen bölümlerde sanayi tesisleri açısından öne çıkan fiziksel risk grupları özelinde değerlendirmelere yer verilmiştir.

Aşırı hava olaylarının değişimine dair genel bir bakış açısı sunmak adına İstanbul'da son 50 yıl içerisinde meydana gelen aşırı hava olayları incelenmiş olup Şekil 2.1'de yer verilen grafik, şehrin iklim değişikliğine bağlı meteorolojik değişimlerini açıkça ortaya koymaktadır. Bölgede son yıllarda aşırı hava olaylarının sayısında dikkat çekici bir artış gözlemlenmektedir. Bu durum, küresel ısınmanın yerel etkilerini gözler önüne sermektedir. Bu dönem içerisinde 334 önemli hava olayı kayıt altına alınmıştır. Fırtına ve hortum, 124 olayla ili etkileyen en önemli meteorolojik hadisedir. Aşırı yağış ve sel ise bölgeyi en çok etkileyen ikinci önemli hava olayı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.1: İstanbul'da yaşanan aşırı hava olayları

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 şehiriçi ulaşım aksamıştır.

2.1.1 Kuraklık ve Su Stresi

Sanayi sektörlerinde yapılan üretimler genellikle su kullanımını içermektedir. Su hammadde olarak (ör. gıda ve içecek sektörleri), soğutma suyu olarak (ör. demir-çelik, yarı iletken üretimi, cam sanayi) ve yıkama durulama (ör. 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 Birliğindeki üye devletler 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.

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 dolar seviyesine yükseldiğini ortaya koymuştur. Kuraklık, bölgede tarıma bağımlı süt ve et ürünleri üretimi yapan gıda tesislerinde 3,5 milyar dolara 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 oluştuğu 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



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 16 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

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).

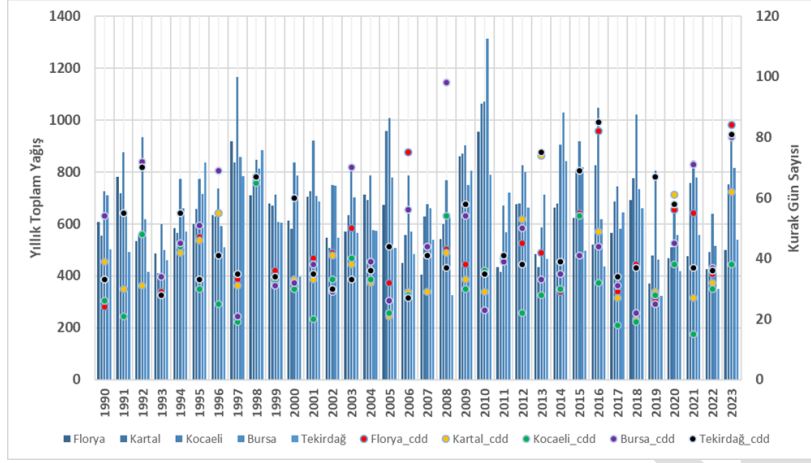
Marmara Bölgesi'nde kuraklığa ilişkin bir değerlendirme yapabilmek adına bölgede bulunan 5 meteorolojik istasyonun verileri irdelenmiştir. Kocaeli'ye düşen yıllık ortalama toplam yağış miktarı 826 mm ile diğer 4 istasyona oranla belirgin şekilde yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2.2). Bölgedeki ortalama en düşük yağış miktarı ise 570 mm ile Tekirdağ'a düşmektedir. Bir yıl içerisinde en fazla yağış ise 1314 mm ile Bursa'ya düşmüştür. Ayrıca bölgedeki isyasyonlarda 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'da ortalama kurak dönem süresinin yaklaşık 47 gün olduğunu ortaya koymaktadır. Bir yıl içerisinde en uzun süre yağışsız kalan bölge 98 gün ile Bursa'dır. Kocaeli diğer bölgelere daha ıslak dönemler geçirmektedir.

Dünya İklim Araştırma Programı'nın (WCRP) Bağlantılı Modelleme Çalışma Grubu (ESMO-Earth System Modelling and Observations' WGCM-Working Group on Coupled Modelling), Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı'nın (IGBP) Dünya Sisteminin Analizi, Entegrasyonu ve Modellenmesi (AIMES) projesinin de katkılarıyla, Eylül 2008'de 20 iklim modelleme grubunun katıldığı bir toplantıda, yeni bir dizi koordineli iklim modeli deneyini teşvik etme kararı almıştır. Bu deneyler, Birleştirilmiş Modeller Karşılaştırma Projesi'nin (CMIP5) beşinci aşamasını oluşturmaktadır (Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012). 20'den fazla modelleme grubu 50'den fazla model kullanarak CMIP5 simülasyonlarını gerçekleştirmiştir. CMIP5 model deneylerine ait iklim projeksiyonları IPCC 5. İlerleme Raporu analizlerinde değerlendirilmiş olup bazı demet projeksiyon (ensemble model simulations) sonuçları değerlendirilerek bölgedeki kurak gün sayıları hesaplanmıştır. CMIP5 projeksiyonları sonucu elde edilen sonuçlara göre de bu değerlerin 2100 yılına kadar 10-30 gün daha artması beklenmektedir. Bölgenin yıllar içerisinde yağış almadığını veya çok az yağış aldığını günlerin daha sık yaşayacağı öngörülmüştür. Nitekim, bazı ekstrem yıllarda ise kurak sürenin 100 günleri aşabileceği model sonuçları ile görülmüştür.



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 17 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01



Şekil 2.2: Marmara Bölgesi'nde yıllık toplam yağış miktarı ve kurak gün sayısı değişimi (1990-2024)

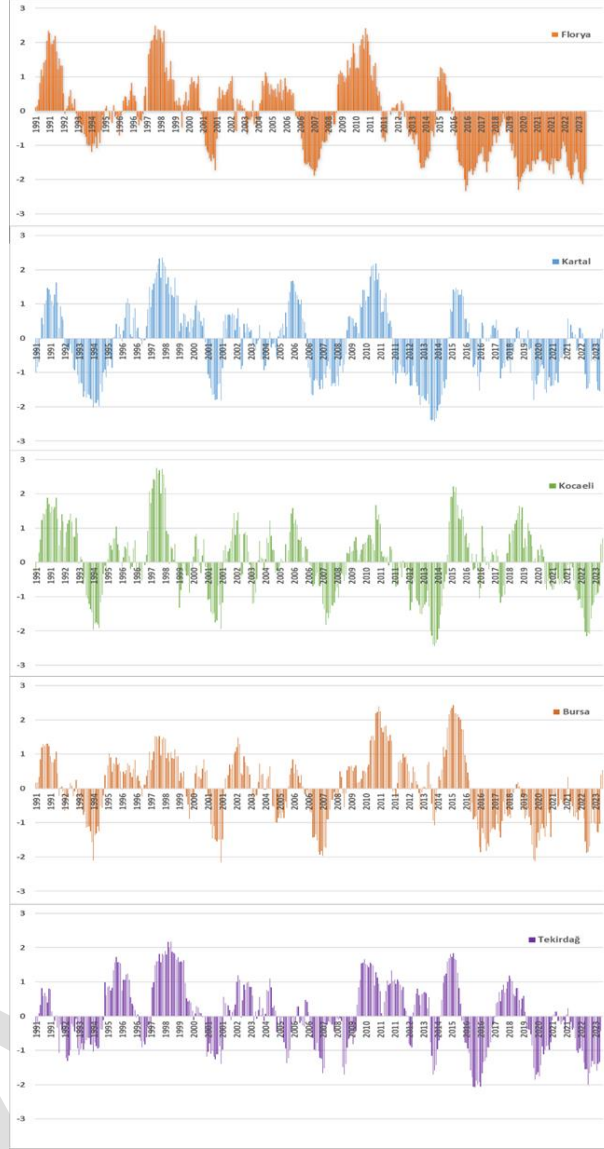
Standartlaştırılmış Yağış - Evapotranspirasyon İndisi (the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index-SPEI) iklimsel su dengesine (Yağış-Evapotranspirasyon) dayandığından kurak dönemlerin tanımlanmasında önerilmektedir (Vicente-Serrano vd., 2010). SPEI indisi değerleri sınıflandırması 2,00 ve üzeri (aşırı nemli), 1,50 – 1,99 (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 hesaplanmıştır. SPEI kuraklık indisi zaman dizisi grafikleri, bir bölgenin iklim koşulları açısından hangi evreye (örneğin, yarı kurak, kurak, yarı-nemli veya nemli) girdiği konusunda değerli bilgiler sunmakta olup; Marmara Bölgesi'nde yer alan istasyonlar için hazırlanmış SPEI değerleri Şekil 2.3'te verilmiştir. Bu grafiklerin analizi, istasyonların nemli ve kurak dönemlerindeki değişimleri değerlendirmek için kritik öneme sahiptir. SPEI değerinin 12 aylık değerlendirmelerine göre, Florya ve Bursa'da hafif-orta kurak olarak tanımlanmaktadır. Bölgedeki tüm istasyonların son 5 yıl içerisinde kurak bir süreç geçirmektedir.

Türkiye Kuraklık Projeksiyonları Raporu (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.



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 18 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01



Şekil 2.3: Marmara Bölgesi'nde SPEI kuraklık indisi değişimi (1990-2024)

2.1.2 Sıcaklık Artışı

İklim değişikliği sonucunda yükselen küresel sıcaklıklar, değişen 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 ile %3,1 oranında artabileceğini ortaya koymaktadır (UNEP, 2023).



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 19 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

Çin Halk Cumhuriyeti yaşanan yüksek sıcaklıklardan ötürü endüstriyel üretkenlikte sekteye uğrayan ülkelere birisidir. Öyle ki bir üretim tesisinde sadece bir günlük yaşanan 32°C üzerindeki sıcaklık tesise 10.00 ABD dolardan fazla maliyet sebep olmuştur (NBER, 2017).

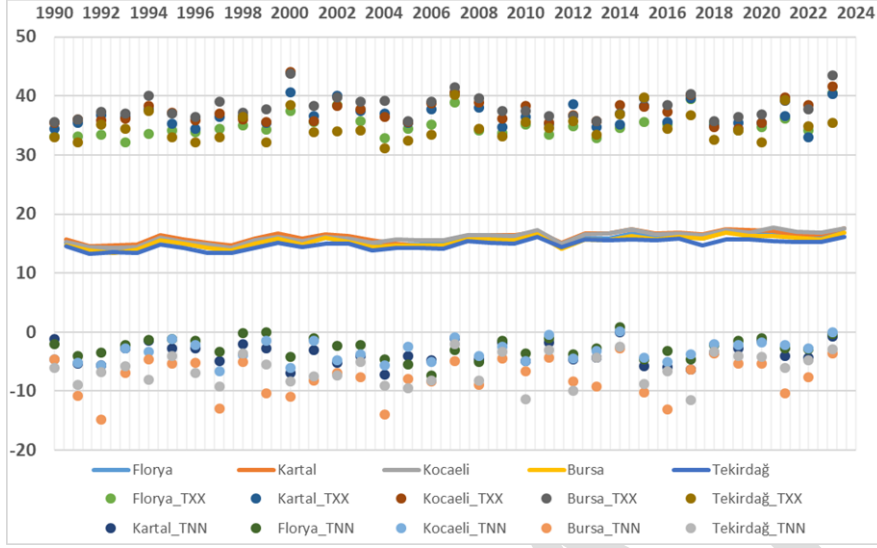
Marmara Bölgesi içerisinde yer alan ve bölgeyi en iyi temsil edecek uzun dönemli ölçüm geçmişine sahip Florya, Kartal, Kocaeli, Bursa ve Tekirdağ istasyonlarında sıcaklık verileri incelenmiş olup; hem ortalama sıcaklıklar hem de ekstrem değerlerde önemli gözlemler ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.4). Ortalama 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 kaydetmektedir. 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 uç parametrenin artışı trendi içerisinde olduğu görülmektedir.

Soğutma gün dereceleri, 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 hesaplanır. Resmi olarak belirlenmiş bir eşik sıcaklık olmamakla birlikte MGM 22°C olarak almaktadır. Bölgedeki en yüksek soğutma ihtiyacı Kartal'da hesaplanmış olup; ortalama 339 °C gün'dür. 30 yılı aşkın süredeki değerler incelendiğinde tüm bölgelerde soğutma ihtiyacı 2 katına çıkmıştır. Bölgedeki en düşük soğutma ihtiyacı ise Tekirdağ'dadır. Isıtma gün dereceleri, 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 1642 °C gün ile Bursa'da, en düşük ise 1319 °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 2.5).

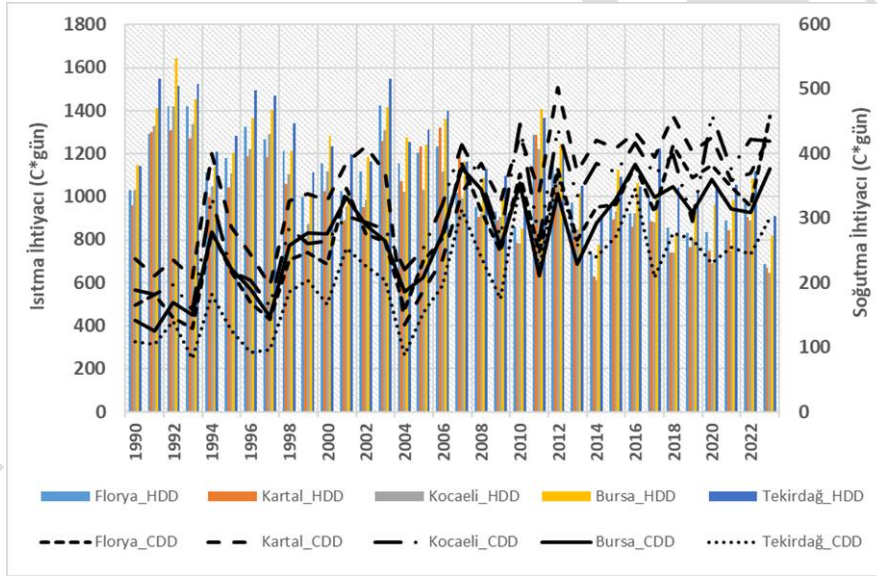


Bu Proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından ortaklaşa finanse edilmektedir.

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 20 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01



Şekil 2.4: Marmara Bölgesi'nde yıllık sıcaklık değişimi (1990-2024)



Şekil 2.5: Marmara Bölgesi'nde ısıtma ve soğutma ihtiyacı değişimi (1990-2024)

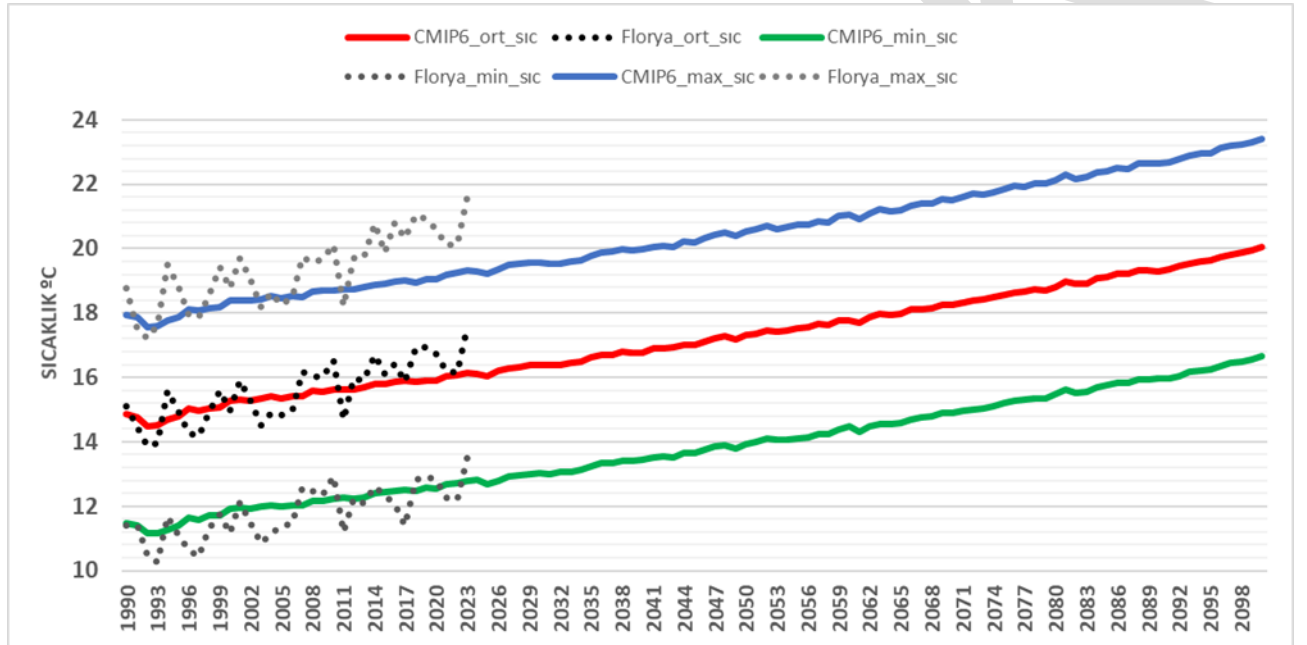
Bölgedeki değişen iklim koşullarını analiz edebilmek için CMIP6 projesi kapsamında üretilen simülasyon verilerinden faydalanılmıştır. CMIP6 verileri, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 6. Değerlendirme Raporu'nun temelini oluşturan kapsamlı ve detaylı bir veri setidir. Bu veriler, iklim bilimcilerin ve politika yapıcıların küresel ısınma ve iklim değişikliği konularında daha isabetli kararlar almasını sağlayan kritik bilgiler içermektedir. Veriler, CMIP6 projesine katkıda bulunan dünyanın önde gelen iklim araştırma merkezleri ve bilimsel kurumlar tarafından titizlikle üretilmekte ve düzenli olarak güncellenmektedir. Gelecekteki iklimi koşullarını tahmin etmek için, iklim değişikliğini etkileyecek ekonomik, sosyal ve fiziksel değişiklikler hakkında varsayımların yapılması gerekir. Bu nedenle, projeksiyonlar belli senaryo kabulleri



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 21 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

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 ilk sayısı varsayılan ortak sosyo-ekonomik 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. Şekil 2.6'da verilen iklim simülasyonları, IPCC 6. Değerlendirme Raporunda (IPCC, 2022) yer verilen ve CMIP6 projesinde kullanılan tüm modellerin SSP senaryolarından SSP3-7.0 senaryolarına ait ortalama sonuçlarından alınmıştır.



Şekil 2.6: İstanbul'da SSP3-7.0 senaryosuna göre uzun dönemli CMIP6 sıcaklık tahminleri (1990-2100)

Bölgedeki yıllık ortalama sıcaklıkların değişimi incelendiğinde 0,0471 °C/yıl bir artış hızı olduğu belirlenmiş olup; 2100 yılı sonuna gelindiğinde sıcaklıklarda yaklaşık 5 °C'lik bir artışın olacağı öngörülmektedir. 10 °C'nin üstünde olan bölgedeki en düşük ortalama sıcaklıklar ise 2100 yılında 16 °C lere ulaşacağı tahmin edilmektedir. En yüksek sıcaklıkların ise artış hızının ortalama sıcaklık değerlerinden daha yüksek olduğu ve bölgede ortalama maksimum sıcaklık seviyelerinin 24 °C'lere ulaşacağı hesaplanmıştır. Gözlem verilerinin ise maksimum sıcaklıklar da tahminlerin daha da üstünde seyrettiği Şekil 2.6'da görülmektedir

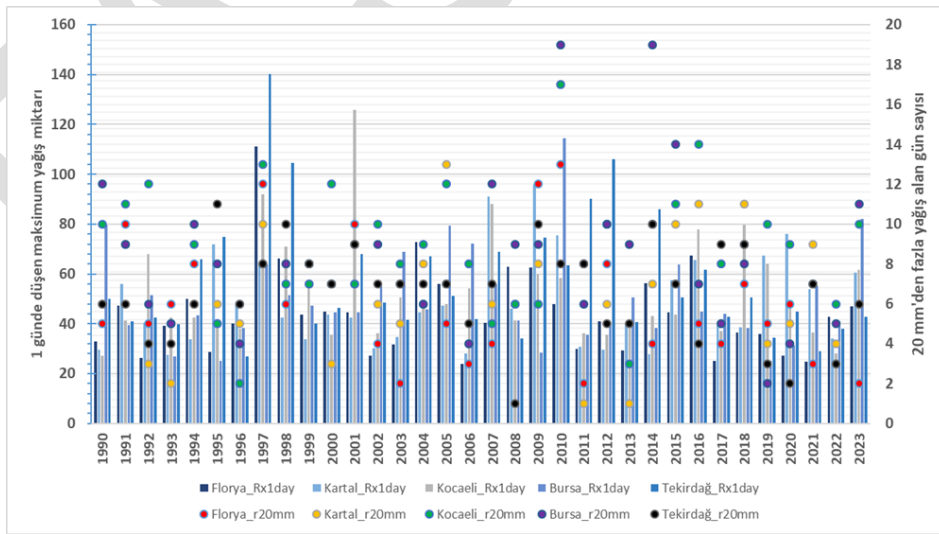
2.1.3 Aşırı Yağış ve Sel

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 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).

Bölgede 1 günde düşen maksimum yağış miktarı incenlendiğinde ortalama 51 mm olup; ortalama en yüksek yağmurun düştüğü istasyon 57 mm ile Tekirdağ'dır. 1 gün içerisinde en fazla yağış 1997 yılında 140 mm ile Tekirdağ'a düşmüştür. Marmara bölgesinde 20 mm'den fazla yağışın düştüğü gün sayısında aşırı yağış ve sel riski odağında incelemeye alınmış olup; ortalama 7 gündür. Yılda ortalama en fazla 20mm den fazla yağışın yaşandığı bölge Kocaeli olup; ortalama yılda 9 gündür. Bursa'da 2010 yılındaki 19 günde 20mm den fazla yağış düşmüştür. Bölgedeki yağış indislerine ait sonuçlar Şekil 2.7'de verilmiştir.

CMIP6 projesinde kullanılan tüm modellerin SSP senaryolarından SSP3-7.0 senaryolarına ait ortalama yağmur sonuçlarının kullanılarak bölge için üretilen uzun dönemli yağış değişimi grafiği Şekil 2.8'de verilmiştir. Yapılan trend analizine göre yıllık toplam yağış miktarının bölgede düşüşte olduğu belirlenmiştir. Ortalama yıllık yağış miktarında yaklaşık 80 mm'lik bir kaybın yaşanacağı tahmin edilmektedir. Gözlem verileri ile tahmin verileri karşılaştırıldığında, düşen yağış miktarının son yıllarda tahminlerin altında seyrettiği görülmektedir. Gelecek dönemler için beklenen bu azalışın, öngörülenden daha fazla olabileceği tahmin edilmektedir.

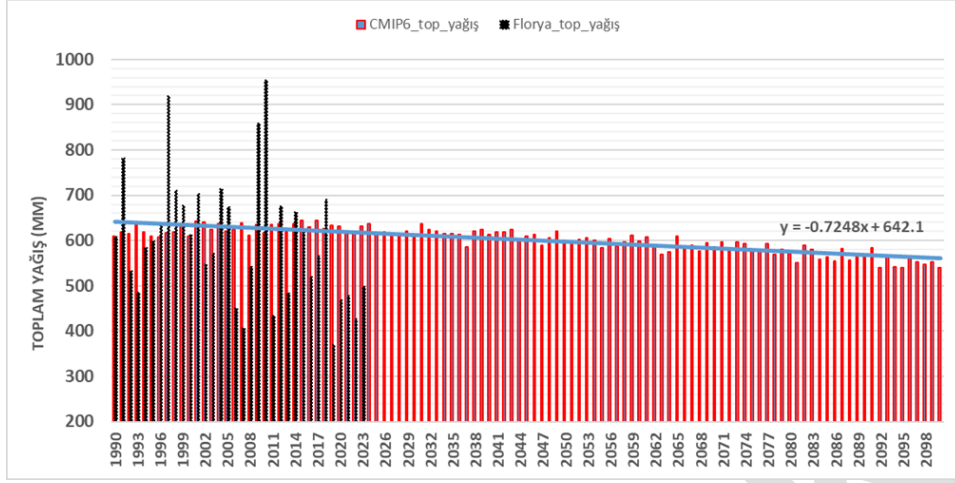


Şekil 2.7: Marmara Bölgesi'nde yağış indislerinin değişimi (1990-2024)



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 23 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01



Şekil 2.8: İstanbul'da SSP3-7.0 senaryosuna göre uzun dönemli CMIP6 toplam yağış verileri (1990-2100)

2.1.4 Orman Yangını

İklim değişikliği sonucunda küresel olarak artışta olan sıcaklıklar orman yangınlarının sıklığını arttırmaktadır. 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 ABD doları zarara ve 42,7 milyar dolar ekonomik aksamaya sebep olmuştur (Garman, 2019).

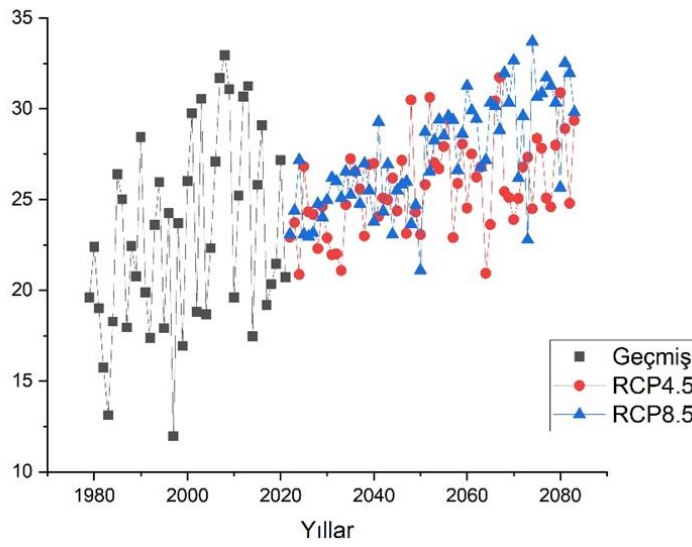
Yangın Hava İndeksi (FWI), ormancılık, yerel planlama ve afet risk yönetiminde kullanılan, kuraklık tehlikesi kategorisine ait bir göstergedir. Yüksek endeks değerleri, orman yangını riskinin arttığını gösterir. Kanada Ormancılık Servisi tarafından geliştirilen bu indeks, sıcaklık, yağış, bağıl nem ve rüzgar 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, aşırı: >=50.0.



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 24 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

Marmara bölgesinde 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 2.9'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, $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ mekansal çözünürlükte olup, CMIP projesi kapsamında çalıştırılan RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının ortalamalarını içermektedir. Tahmin sonuçları incelendiğinde bölgedeki orman yangını riski mevcut durumun üstünde olacağı ve bu riskin yıllar içerisinde de artacağı beklenmektedir.



Şekil 2.9: Marmara Bölgesi için yangın hava indeksi değişimi

2.2. Geçiş Riskleri

İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında yapılan, kuruluşların sera gazı emisyonlarını azaltmak ve yenilenebilir enerjiye geçiş yapmak için sanayilerde değişim hızını yöneterek uyum sağlaması adına uygulanan faaliyetler geçiş riskleri olarak adlandırılmaktadır. Uygulanması gereken politikalar, yasal düzenlemeler, teknolojik yenilikler ve pazar değişimleri gibi pek çok eylem bu riskleri şekillendirmektedir. Sanayi sektörleri yüksek emisyonlu faaliyet barındırdığı için karbon salınımını azaltmak oldukça zorlayıcı olabilmektedir. Hızla ilerleyen net sıfır emisyon hedefleri, imalat sanayiinde bulunan firmalar için önemli politika ve teknolojik zorlukları gündeme getirecektir.

Geçiş risklerinin ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri, tüm paydaşlar için her yönden incelenip dikkatle değerlendirilmelidir. İş gücü, finansman kaynakları ve yerel halk gibi unsurlar, sürdürülebilir bir geçişin başarısı için kritik faktörlerdir (UNEP, 2023) (EPA, 2025).

2.2.1 Politika ve Yasal Riskler

Politika ve yasal riskler, uyum sağlama gerekliliğinin aciliyetiyle öne çıkmaktadır.. Politika eylemleri genellikle sınırlayıcı ve uyum teşvik edici olmak üzere iki ayrı kategori altında değerlendirilmektedir. Sınırlayıcı politikalar, iklim değişikliğine sebep olan olumsuz eylemleri kısıtlamayı hedeflerken; uyum teşvik edici politika eylemleri, iklim değişikliğine karşı uyum sürecini desteklemeyi amaçlamaktadır. Özellikle su verimliliği, atık yönetimi ve gıda güvenliği ile ilgili mevzuatların takibi, ulusal ve uluslararası düzenlemelere hızlı uyum sağlanması ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi bu alandaki temel öncelikler arasında yer almaktadır. Avrupa Birliği mevzuatlarına uyum ve karbon ayak izi raporlaması gibi yükümlülükler sektörü doğrudan etkilemektedir.

2.2.1.1 Uluslararası Mevzuat Kaynaklı Riskler

Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal), Paris İklim Anlaşmasının 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 (The Green Deal Industrial Plan) ise, yeşil teknolojilerin üretimini arttırmayı, temiz enerji pazarına yönelik yatırımları teşvik etmeyi, sıfır emisyon hedefi doğrultusunda sanayilerde rekabetçiliğin sağlanmasına yönelik politikaların artırılması ve iklim nötrlüğüne 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 (Örneğin;yeşil dönüşüm yatırımlarının artması ile birlikte, yeterli ve sürdürülebilir finansman kaynaklarına erişimin kolaylaştırılması)
3. Becerilerin geliştirilmesi (Örneğin;iş gücünün temiz teknolojiler ve yeşil geçişin gerektirdiği becerilerle donatılması)
4. Dayanıklı tedarik zincirleri için açık ve adil ticaret (Örneğin;Güvenilir tedarik mekanizmalarının sağlanarak uluslararası rekabetin adil şekilde yürütülmesinin güvence altına alınması) (EC, 2025; TB, 2025)

Fit-for-55 (55'e uyum)

Temmuz 2021 tarihinde, Yeşil Mutabakatın "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, enerji verimliliği, hafif araçlara yönelik yeni emisyon performans standartları, arazi kullanımı kaynaklı sera gazı emisyonları, alternatif enerji altyapıları, 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,



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 26 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

- AB ETS havacılık kurallarını revize eden AB Direktifi
- Sosyal İklim Fonu kurulmasına ilişkin AB Tüzüğü
- Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'nı kuran AB Tüzüğü (EC , 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 (SKDM)

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 ilk aşamada çimento, demir-çelik, alüminyum, gübre ve elektrik sektörlerine yönelik ürünlerin tabi olduğu karbon bedelini eşitlemeyi hedeflemektedir (DB, 2024)

2.2.1.2 Ulusal Mevzuat Kaynaklı Riskler

Türkiye, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı en hassas bölgelerden biri olan Akdeniz Havzası'nda yer almaktadır. Bu durum, Türkiye'yi iklim değişikliğinden doğrudan etkilenecek olan bir ülke haline getirmektedir. İklim değişikliği ile mücadele kapsamında Türkiye, iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında ulusal ve uluslararası düzeyde ciddi adımlar atmaktadır.

BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi-BMİDÇS (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 (İDB_a, 2025).

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 (İDB_a, 2025).

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.

Kyoto Protokolü (2009)

BMİDÇS 3. Taraflar Konferansı'nda (COP3) kabul edilen Kyoto Protokolü, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında atılacak adımları belirlemek ve BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin yükünü taraflar arasında adış şekilde paylaşmak 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, 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 BMİDÇS 21. Taraflar Konferansında (COP21) kabul edilen Paris Anlaşması, ilk kez 2020 sonrası dönem için küresel ölçekte tüm ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltmayı ve iklim değişikliği tehlikesine karşı direnç kapasitelerini güçlendirilmeyi taahhüt ettiği bir anlaşmadır.. Paris Anlaşması'nın BMİDÇS'ye kıyasla en belirgin farkı, taraf olan tüm paydaş ülkelerin katkılarına dayanan bir sistemi baz alarak oluşturulmuş olmasıdır. Anlaşma, insan kaynaklı 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 (bottom-up) bir yaklaşım kazandırmaktadır. Taraf ülkelerin her beş yılda bir yeni veya güncellenmiş NDC'lerini sunmaları gerekmektedir (İDB_b, 2025).

Türkiye 2016 yılında Paris Anlaşması'nı imzalamış olup, 7 Ekim 2021 tarihinde meclis onayından geçirmiştir. 26.Taraflar Konferansı'nda (COP 26) Paris Anlaşması'na ek olarak kabul edilen Glasgow İklim Mutabakatı kapsamında Türkiye, birinci revize Ulusal Katkı Beyanı'nı (NDC) Nisan 2023 tarihinde sunmuştur. 2012 yılının referans yılı olarak kabul edildiği bu bildirimde, Türkiye 2030 yılına kadar referans senaryoda belirttiği %21'lik azaltım hedefini %41'e yükselterek yaklaşık 500 milyon ton emisyon azaltımı yapacağını açıklamıştır (DB, 2025).

Türkiye'nin 2030 yılı için sany sektörüne yönelik ana azaltım politikaları şu şekildedir:

- Endüstriyel tesislerde biyoyakıt, atıktan türetilmiş yakıt (RDF), alternatif yakıt ve hammaddelerin kullanımını artırmak,
- Endüstriyel ürünlerin karbon ayak izlerini azaltılmak ve sanayi sektöründe yenilenebilir enerji kullanımı ile kaynak ve enerji verimliliğini arttırmak,
- Sürdürülebilir ve doğal soğutma teknolojilerinin yanı sıra yenilikçi finansman çözümleri ve enerji verimliliği daha yüksek soğutma gazlarını kapsayan Soğutma Ulusal Eylem Planı hazırlamak (hazırlanıyor),
- Ülkenin ekonomisi açısından kritik önem taşıyan ve karbon emisyonu yüksek olan demir-çelik, alüminyum, çimento, kimyasal, plastik ve gübre sektörlerine yönelik Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası çalışmaları yapmak,
- Temiz ve yeşil endüstriyel üretimin göstergesi olarak, "Mevcut En İyi Teknikleri" kullanan endüstriyel tesislerin belgelendirilmesine öncelik vererek "Sanayide Yeşil Dönüşüm"ü desteklemek (İDB, 2024)



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 28 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

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 hazırlanmıştır. 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 alakalı sektörel planları da kapsamaktadır. Stratejide, azaltım bölümünde 7 sektörde 35 plan yer alırken, uyum bölümünde 11 sektör için 38 plan bulunmaktadır. toplamda, 18 sektör ve 4 yatay kesen alanı kapsayan strateji, 89 farklı plan ve politika içermektedir.

2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi Kapsamında Sanayi Sektörü Stratejileri

Sera gazı emisyonlarının azaltılması hedefinde, fosil yakıtların yenilenebilir temiz enerjiler ile dönüşümü kritik bir rol oynamaktadır. Düşük karbonlu enerjiye geçişle enerji sektöründe kullanılmakta olan bazı kritik minarallere olan talep artacak ve bu minarellerin sürdürülebilirliği iletedariki önemli bir konu haline gelecektir. Belirlenen stratejiler ile Türkiye'nin 2053 yılı net sıfır emisyon hedefine ulaşması hedeflenmektedir. Sanayi sektörü için belirlenen stratejiler aşağıda belirtilmiştir:

- Enerji Verimliliği Potansiyelinin En Üst Seviyede Değerlendirilmesi
- Sanayide Yenilenebilir Enerji Kullanımının Artırılması
- Ürün Bazında Karbon Ayak İzinin Düşürülmesi
- Hidrojen Teknolojilerinin Kullanımı
- Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama (KYKD)
- Sürdürülebilirlik Raporlamalarının Yaygınlaştırılması
- Ozon Tabakasını İncelten Maddeler ile Florlu Sera Gazları'nın Azaltımı (İDB_c, 2025)

2.2.2 Teknolojik Riskler

Sanayi sektöründe 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 alternatiflerin 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, 2025).

2.2.3 Pazar Riskleri

Pazar riskleri, sanayi sektörü için en yüksek olasılık ve aciliyet düzeyine sahip risk gruplarından biridir. 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



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 29 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

veremeyen işletmeler pazardan dışlanma riskiyle karşı karşıya kalabilmektedir. Dolayısıyla firmaların tedarik planlamalarını yeniden yapılandırmaları, kaynak verimliliğine dayalı stratejiler geliştirmeleri ve sürdürülebilir ürün geliştirme kapasitelerini artırmaları kritik önem taşımaktadır.

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.



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 30 / 37

Güncelleştirme Sayısı: 01

TASLAK



3. GENEL DEĞERLENDİRME

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. 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. Uyum sürecinde proaktif davranan firmalar, bu riskleri yönetmekle kalmayıp aynı zamanda sürdürülebilirlik temelli dönüşüm sürecinde rekabet avantajı elde edebilecektir. 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. Bu noktada ortaya konan çözüm önerileri açısından öne çıkan önlem önerileri aşağıda sıralanmıştır:

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 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: İmalat sanayiinin iklim değişikliğine uyum kapasitesini arttırmaya yönelik önlem önerileri, paydaşlar ve tahmini vade

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
Su Verimliliği ve Kaynak Yönetimi		
Su verimliliği yatırımları (geri kazanım, ileri arıtma, su tüketimi izleme sistemleri, yağmur suyu hasadı)	Özel sektör	Orta



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 33 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

Önem Önerileri	Paydaşlar	Vade
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
Düşük Karbonlu Üretim ve Temiz Teknolojiler		
Enerji verimli teknolojilerin seçilmesi (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
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, 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
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
İklime uyumlu ürünlerin tasarımı (ısıya dayanıklı kumaşlar, outdoor tekstil, iklime dayanıklı tarım ürünleri vb.)	Ar-Ge	Uzun



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 34 / 37

Güncelleştirme Sayısı: 01

TASLAK





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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 35 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

KAYNAKÇA

- 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
- EC. (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
- EC. (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
- 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



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 36 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

- 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
- IPCC. (2022). *The second part of the Sixth Assessment Report, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.
- 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
- 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
- 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.
- 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
- OECD. (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
- 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.



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

Proje Adı: İklim Değişikliğine Karşı Hassas Sanayi Sektörlerinin Adaptasyon Kapasitesinin Risk Değerlendirmesi Yoluyla Geliştirilmesi
Sayfa/Toplam Sayfa: 37 / 37
Güncelleştirme Sayısı: 01

- O'Neill, B., Kriegler, E., Ebi, K., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D., . . . Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 169-180.
- 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.worldbank.org/en/opendata/rebuilding-economies-after-covid-19-will-countries-recover> adresinden alındı
- 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. (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
- 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.
- 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).
- World Bank. (2010). *HEAT - Hands-on Energy Adaptation Toolkit*. Energy Sector Management Assistance Program.