

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ

**KOCAELİ İLİNDEKİ SICAK HAVA DALGALARININ SIKLIĞININ VE SICAK
HAVA DALGALARININ ÖLÜMLERLE OLAN İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

ARŞ. GÖR. DR. CEM TURAN

HALK SAĞLIĞI ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ

2026

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ

**KOCAELİ İLİNDEKİ SICAK HAVA DALGALARININ SIKLIĞININ VE SICAK
HAVA DALGALARININ ÖLÜMLERLE OLAN İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

ARŞ. GÖR. DR. CEM TURAN

HALK SAĞLIĞI ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI:
PROF. DR. ÇİĞDEM ÇAĞLAYAN

ETİK KURUL ONAYININ EVRAK TARİHİ VE SAYISI: 17.10.2024-E.668655

2026

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam sürecinde bana emeği geçen, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Çiğdem Çağlayan’a,

Uzmanlık eğitimimde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Doç. Dr. Melike Yavuz ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Alp Aker’e,

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum değerli asistan arkadaşlarıma,

Beni bugünlere getiren, eğitimimin her aşamasında yanımda olan annem, babam ve abime

Teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	v
TABLolar DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Çevre-Sağlık İlişkisi	3
2.2 İklim Değişikliği	5
2.2.1 İklim Değişikliğinin Nedenleri	6
2.2.2 İklim Değişikliğinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri	7
2.2.3 İklim Değişikliğinin Ekosistem Üzerindeki Etkileri	9
2.2.4 İklim Değişikliği Konusundaki Uluslararası Anlaşmalar	10
2.3 Sıcak Hava Dalgaları	14
2.3.1 Sıcak Hava Dalgaları Tanımları	14
2.3.2 Kentsel Isı Adası	18
2.3.3 Sıcak Hava Dalgalarının Sağlık Etkileri	19
2.3.4 Sıcak Hava Dalgaları ve Kırılgan Gruplar	20
2.3.5 Küresel Isınma Trendleri ve Sıcak Hava Dalgalarının Sıklığı	21
2.3.6 Sıcaklık Artışının Mortalite ve Morbidite Üzerine Etkileri	23
2.3.7 Sıcaklık-Sağlık Eylem Planları	25
3. GEREÇ VE YÖNTEM	30
3.1 Araştırmanın Türü	30
3.2 Araştırma Alanı	30
3.3 Meteorolojik Veriler	31
3.4 Ölüm ve Nüfus Verileri	31
3.5 Araştırma İçin Gerekli İzinler	32

3.6 Sıcak Hava Dalgalarının Tanımlanması	32
3.7 İstatistiksel Analiz	34
4. BULGULAR	36
4.1 Kocaeli İli 1991-2024 Yılları Yıllık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları ve Trendleri ile İlgili Bulgular	36
4.2 Kocaeli İli 1991-2024 Yılları Aylık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları ve Trendleri ile İlgili Bulgular	39
4.3 Kocaeli İli 1991-2024 Yılları Yıllık Maksimum Sıcaklık Standart Sapmaları ve Trendleri ile İlgili Bulgular	40
4.4 Kocaeli İli Geleceğe Yönelik Maksimum Sıcaklık Projeksiyonları	41
4.5 Kocaeli İli 1991-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgaları Sıklığı ve Trendleri ile İlgili Bulgular	42
4.6 Kocaeli İli Uzatılmış Yaz Dönemi 2023-2024 Dönemi Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Ölümün Tanımlayıcı Bulguları	46
4.7 Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarının Mortaliteye Etkileri.....	48
4.8 Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Alt Gruplardaki Sıcak Hava Dalgalarına Bağlı Atfedilen Ölüm Sayısı Bulguları	49
4.9 Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarına Atfedilen Ölüm Sayılarının Sıcak Hava Dalgalarına Göre İncelenmesi	50
4.10 İzmit İlçesi 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarının Mortaliteye Etkileri	55
4.11 İzmit İlçesi 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarının Nedene Özel Mortaliteye Etkileri	56
5. TARTIŞMA	58
5.1 Yıllık Ortalama Maksimum Sıcaklık Trendlerinin Değerlendirilmesi	58
5.2 Aylık Ortalama Maksimum Sıcaklık Trendlerinin ve Yıllık Standart Sapma Trendinin Değerlendirilmesi	62
5.3 Geleceğe Yönelik Maksimum Sıcaklık Artışı Projeksiyonları Bulgularının Değerlendirilmesi	63
5.4 Sıcak Hava Dalgalarının Sıklığı ve Trendleri Bulgularının Değerlendirilmesi	65
5.5 Sıcak Hava Dalgalarının Mortalite Üzerine Etkisi ile İlgili Bulguların Değerlendirilmesi	66
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	72

7. ÖZET	75
8. ABSTRACT	77
9. EKLER	79
Ek 1: Etik Kurul İzni	79
Ek 2: İl Sağlık Müdürlüğü İzni	81
10. KAYNAKLAR	82



KISALTMALAR

CDC: Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezleri (United States Centers for Disease Control and Prevention)

COP: Taraflar Konferansı (Conference of the Parties)

DSÖ: Dünya Sağlık Örgütü (WHO-World Health Organization)

EEA: Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency)

EHF: Aşırı Sıcak Faktörü (Excess Heat Factor)

EHI: Aşırı Sıcak Göstergesi (Excess Heat Index)

EPA: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency)

HHAP: Sıcak-Sağlık Eylem Planı (Heat-Health Action Plan)

IPCC: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)

MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

NASA: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (United States National Aeronautics and Space Administration)

NOAA: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (United States National Oceanic and Atmospheric Administration)

TÜBA: Türkiye Bilimler Akademisi

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

UNEP: Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme)

UNFCCC: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change)

WMO: Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization)

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1: Kocaeli İlindeki Aylık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları Trendleri.....	40
Tablo 2: Kocaeli İli Yıllık Sıcak Hava Dalgası İçeren Gün ile Sıcak Hava Dalgası Sayıları ve Trendleri.....	43
Tablo 3: 1991-2020 Yılları Haziran-Eylül Dönemi Günlük Ortalama Sıcaklıkların 95. Persentil Değerleri.....	46
Tablo 4: Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Sıcaklıkların ve Ölümünün Tanımlayıcı Özellikleri (Haziran-Eylül)	47
Tablo 5: Kocaeli İlindeki Sıcak Hava Dalgalarının Mortalite Üzerindeki Etkisi: İl Geneli İçin Alt Grup Analizleri (2023-2024)	49
Tablo 6: Kocaeli İlinde Alt Gruplara Göre Sıcak Hava Dalgalarına Bağlı Atfedilen Ölüm Sayıları (2023-2024)	50
Tablo 7: Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarının Tanımlayıcı Özellikleri (Haziran-Eylül)	51
Tablo 8: İzmit İlçesindeki Sıcak Hava Dalgalarının Mortalite Üzerindeki Etkisi: İlçe Geneli İçin Alt Grup Analizleri (2023-2024)	56
Tablo 9: İzmit İlçesindeki Sıcak Hava Dalgalarının Mortalite Üzerindeki Etkisi: İlçe Geneli İçin Nedene Özel Mortalite Analizleri (2023-2024)	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kocaeli İlindeki 1991-2024 Yılları Yıllık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları.....	37
Şekil 2. Kocaeli İlindeki Yıllık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları Trendi (1991-2024) ...	38
Şekil 3. Joinpoint Regresyon Analizine Göre Kocaeli İlindeki Yıllık Ortalama Maksimum Sıcaklık Trendi (1991-2024)	39
Şekil 4. Kocaeli İlindeki Yıllık Maksimum Sıcaklık Standart Sapmaları Trendi (1991-2024)	41
Şekil 5. Kocaeli İlindeki 1991-2024 Dönemi Yıllık Maksimum Sıcaklık Trendi ve Gelecek Projeksiyonu (2025-2075)	42
Şekil 6. Kocaeli İlindeki Yıllık Sıcak Hava Dalgası Sayısı Trendi (1991-2024)	45
Şekil 7. Kocaeli İlindeki Yıllık Sıcak Hava Dalgası İçeren Gün Sayısı Trendi (1991-2024).....	45
Şekil 8. Kocaeli İli 2023 Yılı Birinci Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri	52
Şekil 9. Kocaeli İli 2023 Yılı İkinci Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri	52
Şekil 10. Kocaeli İli 2024 Yılı Birinci Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri	53
Şekil 11. Kocaeli İli 2024 Yılı İkinci Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri	54
Şekil 12. Kocaeli İli 2024 Yılı Üçüncü Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri	54
Şekil 13. Kocaeli İli 2024 Yılı Dördüncü Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri	55

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Sanayi Devrimi'nden bu yana insan faaliyetleri, özellikle fosil yakıtların yakılması, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırmıştır. Bu durum, gezegenin enerji dengesini bozarak küresel ısınma olarak bilinen, yerküre yüzey sıcaklıklarında uzun vadeli bir artışa yol açmıştır. Bu küresel ısınma, sadece ortalama sıcaklıklardaki bir artıştan ibaret değildir; aynı zamanda iklimin tüm bileşenlerinde yaygın ve hızlı değişikliklere neden olmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ne göre, iklim değişikliği şimdiden Dünya'nın her bölgesini farklı şekillerde etkilemektedir ve yaşanan değişiklikler ısınmanın artması ile daha da artacaktır. Bu değişiklikler arasında aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddetindeki artışlar özellikle endişe vericidir.¹

Sıcak hava dalgaları, genellikle bir bölgenin normal iklimsel beklentilerine göre alışılmadık derecede sıcak olan ve birkaç günden haftalara kadar sürebilen uzun süreli aşırı sıcak hava dönemleri olarak tanımlanır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), sıcak hava dalgalarını, insan vücudunun fizyolojik sınırlarını zorlayabilecek ve olumsuz sağlık sonuçlarına yol açabilecek hava koşulları olarak nitelendirmektedir.² IPCC Altıncı Değerlendirme Raporu, küresel ısınmanın bir sonucu olarak sıcak hava dalgalarının daha sık ve daha yoğun hale geldiğini doğrulamaktadır.³

Aşırı sıcaklar, insan sağlığı üzerinde doğrudan ve dolaylı birçok etkiye sahiptir. İnsan vücudu, iç sıcaklığını dar bir aralıkta tutmak için termoregülasyon mekanizmalarına güvenir. Ancak, ortam sıcaklığı ve nem oranı belirli bir eşiği aştığında, vücudun ısıyı atma kapasitesi zorlanır. Bu durum, sıcak bitkinliği ve potansiyel olarak ölümcül olan sıcak çarpması gibi durumlara yol açabilir. DSÖ'ye göre, sıcak stresi, hava koşullarına bağlı ölümlerin önde gelen nedenidir ve kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, ruh sağlığı sorunları ve astım gibi altta yatan hastalıkları şiddetlendirebilir. Ayrıca, sıcaklar akut böbrek hasarına neden olabilir, kaza riskini artırabilir ve bazı bulaşıcı hastalıkların yayılmasını kolaylaştırabilir. Özellikle yaşlılar, çocuklar, kronik hastalığı olanlar ve açık havada çalışanlar gibi hassas gruplar, sıcaklığın olumsuz etkilerine karşı daha savunmasızdır.²

Çok sayıda epidemiyolojik çalışma, yüksek sıcaklıklar ve sıcak hava dalgaları ile mortalite oranlarındaki artışlar arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Son yıllarda yaşanan aşırı sıcak olaylar, bu ilişkinin ciddiyetini çarpıcı bir şekilde gözler önüne sermiştir. Örneğin, 2003 yazında Avrupa'yı vuran sıcak hava dalgası 70.000'den fazla

ölüme neden olurken, 2010 yılında Rusya Federasyonu'nda 44 gün süren bir sıcak hava dalgası 56.000 fazla ölüme yol açmıştır.²

Akdeniz havzası, iklim değişikliğine karşı en savunmasız bölgelerden biri olarak kabul edilmektedir ve küresel ortalamadan %20 daha hızlı ısınmaktadır.⁴ Türkiye'nin bu bölgede yer alması iklim değişikliğinin ve aşırı sıcakların etkilerine karşı daha açık olmasına neden olmaktadır.

Belirli bir ildeki yıllara göre sıcaklık eğilimlerinin ve sıcak hava dalgalarının sağlık etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi, yerel düzeyde halk sağlığı stratejileri ve uyum planları geliştirmek için kritik öneme sahiptir. Bu çalışmanın amacı, Kocaeli ilinde maksimum sıcaklık trendlerini ve sıcak hava dalgalarının mortalite üzerindeki etkilerini değerlendirmek, risk altındaki popülasyonları belirlemek ve erken uyarı sistemleri için eşik değerler oluşturulmasına katkıda bulunmaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Çevre-Sağlık İlişkisi

Çevre, bir organizmanın yaşamını sürdürdüğü ve kalıtsal faktörler dışında kalan tüm dış koşullar ve etkiler bütünüdür.⁵ Sağlık ise DSÖ tarafından yalnızca hastalık veya sakatlığın olmayışı değil, bedensel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali olarak tanımlanmaktadır. Çevre ve sağlık, insan yaşamının temelini oluşturan ve birbirinden ayrılamaz iki kavramdır ve aralarındaki çok yönlü ilişki, halk sağlığının ana odak noktalarından birini oluşturur. DSÖ'ye göre, küresel hastalık yükünün yaklaşık dörtte biri önlenabilir çevresel faktörlerden kaynaklanmaktadır, bu da sağlıklı bir çevrenin hastalıkları önlemedeki kritik rolünü göstermektedir.⁶

Kentleşme, sanayileşme, nüfus artışı gibi süreçler, çevre üzerinde yüksek bir baskı oluşturarak hava, su ve toprak kirliliği ile iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı gibi ciddi tehditlere yol açmıştır. Bu tehditler, insan sağlığını hem doğrudan hem de dolaylı yollardan etkileyerek yeni ve karmaşık halk sağlığı sorunlarını beraberinde getirmektedir.

Sağlığı etkileyen faktörler geniş bir yelpazede yer alır ve bunlar arasında çevresel belirleyiciler önemli bir yer tutar. Çevre, üç ana bileşenden oluşur: fizikojeokimyasal çevre (hava, su, toprak, iklim, radyasyon), biyolojik çevre (mikroorganizmalar, vektörler, bitki ve hayvanlar) ve sosyokültürel çevre (ekonomik durum, eğitim, kültür, sosyal yapı).⁵ Bu bileşenlerin her biri, insan sağlığını farklı mekanizmalar aracılığıyla etkileyebilir. İklim koşullarının solunum sistemi hastalıklarının artmasına yol açması veya ortamda bulunan vektörlerin hastalıkların yayılımını kolaylaştırması gibi hastalıkların oluşmasına zemin hazırlayabilir. Kirli içme suyu tüketimi sonucu ishal hastalıklarının ortaya çıkması veya yüksek düzeyde hava kirliliğine maruz kalma sonucu akut solunum yolu enfeksiyonlarının gelişmesi gibi doğrudan hastalık nedeni olabilir. Yetersiz sanitasyon koşulları gibi faktörler ile bulaşıcı hastalıkların toplumda hızla yayılmasını kolaylaştırabilir. Astım hastalığı olan birinin yüksek seviyede hava kirliliği olan bir ortamda yaşaması sonucu hastalığının seyrinin ağırlaşması örneğinde olduğu gibi bazı hastalıkların gidişini ve sonucunu etkileyebilir.⁵ Ayrıca kötü çevre koşullarının sağlık üzerindeki etkileri, gıda üretimi, göç, ekonomik istikrarsızlık ve sosyal eşitsizlikler üzerindeki etkiler yoluyla yalnızca doğrudan değil dolaylı olarak da ortaya çıkmaktadır.⁶

Çevresel etkilenimin; görünür sonucunun gecikerek ortaya çıkması, nedenin çok etmenli olması, etkinin özgül olmaması ve etkilenime karşı duyarlılık farklılıklarının bulunması olarak dört temel özelliği bulunmaktadır. Bu özellikler, çevresel sağlık sorunlarının tespiti, nedensellik ilişkisinin kurulmasını ve koruyucu stratejilerinin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır.⁵

Temel çevresel risk faktörleri arasında hava kirliliği, önemli bir yer tutar. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, hava kirliliği her yıl milyonlarca insanın erken ölümüne neden olmaktadır.⁶ Hava kirliliği dış ortam ve iç ortam hava kirliliği olmak üzere iki ana kategoride incelenir. Dış ortam hava kirliliği, başlıca ulaşım, sanayi, enerji üretimi ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan partikül madde (PM2.5, PM10), azot oksitler (NOx), kükürt dioksit (SO2), ozon (O3) ve karbon monoksit (CO) gibi kirleticilerin atmosferde birikmesiyle oluşur. Özellikle PM2.5 gibi ince partikül maddeler, solunum yolu ile akciğerlere derinlemesine nüfuz ederek ve hatta kan dolaşımına karışarak kardiyovasküler hastalıklar, solunum yolu hastalıkları, akciğer kanseri ve erken ölümlere neden olur. İç ortam hava kirliliği ise ısıtma ve pişirme amacıyla kömür gibi katı yakıtların kullanılmasının yanı sıra yetersiz havalandırma, deterjan ya da boya gibi ev kimyasalları, sigara dumanı, radon gazı, formaldehit, asbest salınımı gibi faktörler nedeniyle meydana gelmektedir. Kadınlar ve çocuklar, evde daha fazla zaman geçirdikleri için iç ortam hava kirliliğine daha fazla maruz kalırlar. Kronik iç ortam hava kirliliği maruziyeti, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), akciğer kanseri ve çocuklarda pnömoni gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açar.⁵

Önemli bir çevresel faktör de su kirliliğidir. Güvenli içme suyu ve yeterli sanitasyona erişim, temel insan haklarından biridir ve halk sağlığının temel taşlarından birini oluşturur. Ancak, dünya nüfusunun önemli bir kısmı hala güvenli içme suyundan ve temel sanitasyon hizmetlerinden yoksundur. Kirli su ve yetersiz sanitasyon, ishal, kolera, dizanteri, hepatit A ve tifo gibi su kaynaklı hastalıkların yayılmasına neden olur. Özellikle çocuklar, yaşlılar ve bağışıklık sistemi zayıf bireyler su kaynaklı hastalıklara karşı daha hassastır.⁵

21. yüzyılın en büyük küresel sağlık tehdidi olarak kabul edilen iklim değişikliği de insan sağlığını çok sayıda doğrudan ve dolaylı yol ile etkileyen önemli bir çevresel risk faktörüdür. Küresel ısınma, aşırı hava olaylarının (sıcak dalgaları, seller, kasırgalar, kuraklıklar) sıklığını ve şiddetini artırmaktadır. Sıcak dalgaları, özellikle yaşlılar, kronik

hastaları olanlar ve sosyoekonomik olarak dezavantajlı gruplar arasında ısı çarpması, kalp krizi ve felç gibi nedenlerle ölümlerde artışa yol açar.²

2.2 İklim Değişikliği

İklim değişikliği, günümüz dünyasının karşı karşıya olduğu en karmaşık ve çok boyutlu sorunlardan biridir. Yalnızca bir çevre sorunu olmanın çok ötesinde, ekonomik, sosyal ve en önemlisi insani boyutları olan küresel bir krizdir. Farklı kuruluşlar, iklim değişikliğini kendi misyon ve odak alanları doğrultusunda tanımlamaktadır. Bu tanımlar, kavramın çok yönlü doğasını anlamak için önemli bir çerçeve sunar.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçevesi Sözleşmesi (UNFCCC), uluslararası iklim politikalarının temelini oluşturan hukuki bir metindir. Bu nedenle tanımı, özellikle insan kaynaklı faktörlere odaklanır. UNFCCC'ye göre iklim değişikliği, karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlemlenen doğal iklim değişkenliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik anlamına gelir.” Bu tanım, politik ve yasal bir bağlamda, iklim değişikliğini doğal iklim değişkenliğinden ayırarak, sorumluluğun insan faaliyetlerine atfedilmesini sağlar.⁷

IPCC, iklim değişikliği ile ilgili bilimsel değerlendirmeler yapan bir kuruluştur. Tanımı, bilimsel bir perspektifi yansıtır ve daha kapsayıcıdır. IPCC'ye göre iklim değişikliğinin tanımı “İklimin durumunda, ortalamasındaki ve/veya değişkenliğindeki değişikliklerle (örneğin, istatistiksel testler kullanılarak) tespit edilebilen ve on yıllar veya daha uzun bir süre devam eden bir değişiktir. İklim değişikliği, doğal iç süreçlerden veya güneş döngülerinin modülasyonları, volkanik patlamalar gibi dış zorlamalardan ve atmosferin bileşimindeki veya arazi kullanımındaki kalıcı antropojenik (insan kaynaklı) değişikliklerden kaynaklanabilir.” IPCC tanımında iklim değişikliği hem doğal hem de insan kaynaklı olduğuna vurgu yapılır.⁸

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), hava, iklim ve su konularında uluslararası otoritedir ve tanımı IPCC ile büyük ölçüde örtüşmektedir. WMO'ya göre iklim değişikliği “İklimin durumunda, ortalamasındaki ve/veya değişkenliğindeki değişikliklerle tanımlanabilen ve tipik olarak on yıllar veya daha uzun süre devam eden değişiklikleri

tanımlamak için kullanılan bir terimdir.” WMO, IPCC gibi, iklim değışikliğinin hem doğal süreçlerden hem de insan faaliyetlerinden kaynaklanabileceğini ekler.⁹

DSÖ ise iklim değışikliğini doğrudan bir tanım yapmak yerine, insan sağlığı üzerindeki etkileri üzerinden ele alır. “İklim değışikliği, insan yaşamını ve sağlığını çeşitli yollarla etkilemektedir. İyi sağlığın temel bileşenlerini (temiz hava, güvenli içme suyu, besleyici gıda kaynakları ve güvenli barınak) tehdit etmekte ve küresel sağlıkta on yıllardır kaydedilen ilerlemeyi baltalama potansiyeline sahiptir.” şeklinde belirtir. DSÖ, kendi yayınlarında genellikle UNFCCC’nin insan kaynaklı iklim değışikliği tanımına atıfta bulunur ve konuyu bir halk sağlığı krizi olarak çerçeveler.¹⁰

2.2.1 İklim Değışikliğini Nedenleri

Bilimsel kanıtlar, son iki yüzyıldaki küresel ısınmanın neredeyse tamamının insan faaliyetlerinden kaynaklandığını göstermektedir.¹¹ IPCC Altıncı Değerlendirme Raporuna göre insan faaliyetleri, esas olarak sera gazı emisyonları yoluyla, küresel ısınmaya neden olmaktadır.¹² Küresel yüzey sıcaklığı, 1850-1900 dönemine kıyasla 1,1°C artış göstermiştir ve bu artışın sorumlusu insan kaynaklı sera gazı emisyonlarıdır. Bu gazlar, Dünya’nın ısınımasını atmosferde tutarak doğal sera etkisini tehlikeli bir şekilde arttırmakta ve gezegenin ortalama sıcaklığının yükselmesine yol açmaktadır.¹²

Sera gazı emisyonları Dünya’ya yayıldığına, güneşin ısınımasını hapsetmektedir. Bu mekanizma, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artmasıyla güçlenmekte ve gezegenin enerji dengesini bozmaktadır. IPCC verilerine göre, 1970’lerden bu yana atmosfere giren enerji, çıkan enerjiden daha fazladır ve bu fazla enerji okyanus, kara, buz ve atmosfer tarafından emilmektedir.¹²

Karbondioksit (CO₂), atmosferdeki konsantrasyonundaki insan kaynaklı artış nedeniyle iklim değışikliğini en büyük itici gücüdür ve iklim değışikliğini yaklaşık %66’sını oluşturmaktadır.¹³ Ancak iklim değışikliğini nedeni sadece CO₂ değildir. Metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O) gibi diğer sera gazları da iklim değışikliğini neden olmaktadır.

Başlıca antropojenik neden ise fosil yakıt kullanımıdır. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların enerji üretimi (elektrik), ulaşım (arabalar, uçaklar, gemiler) ve endüstriyel süreçlerde yakılması, atmosfere büyük miktarda karbondioksit (CO₂)

salınımına neden olan en büyük faktördür. Küresel sera gazı emisyonlarının %75'inden fazlası bu yolla oluşmaktadır.¹¹

Ormansızlaşma ve arazi kullanım değişiklikleri de önemli bir antropojenik kaynaklı iklim değişikliği nedenidir. Ormanlar, atmosferdeki karbondioksiti emerek önemli bir karbon yutağı görevi görür. Tarım arazisi açmak, yerleşim yerleri kurmak veya kereste elde etmek için ağaçların kesilmesi veya yakılması, depoladıkları karbonun atmosfere salınmasına ve bu doğal denge mekanizmasının zayıflamasına yol açar.¹⁴

Tarımsal faaliyetler, güçlü bir sera gazı olan metan (CH₄) emisyonlarının önemli bir kaynağıdır. Ayrıca, azotlu gübrelerin yaygın kullanımı da bir diğer etkili sera gazı olan diazot monoksit (N₂O) salınımına yol açar.¹⁴

2.2.2 İklim Değişikliğinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

İklim değişikliğinin sağlık üzerindeki yükü endişe verici boyutlardadır. Güncel araştırmalar, dünya nüfusunun yaklaşık yarısına denk gelen 3.6 milyar insanın, iklim değişikliğine karşı oldukça hassas bölgelerde yaşadığını göstermektedir.² Bu durum, özellikle zayıf sağlık altyapısına sahip gelişmekte olan ülkeleri orantısız bir şekilde etkilemektedir.

Dünya Sağlık Örgütü, geleceğe yönelik projeksiyonlarında, iklim değişikliğinin mevcut seyrinin devam etmesi halinde 2030 ile 2050 yılları arasında yetersiz beslenme, sıtma, ishal ve sıcak stresi gibi nedenlerle yılda yaklaşık 250.000 ek ölüme neden olacağını öngörmektedir.² Bu sayı iklim değişikliğinin tüm sağlık etkilerini kapsamamaktadır. Sağlığa yönelik bu doğrudan tehditlerin ekonomik maliyetinin ise (tarım ve su gibi sektörler hariç) 2030 yılına kadar yılda 2 ila 4 milyar ABD doları arasında olacağı tahmin edilmektedir.² Bu maliyetler, sağlık sistemleri üzerinde ek bir baskı oluşturarak evrensel sağlık güvencesi hedeflerine ulaşmayı zorlaştırmaktadır.

İklim değişikliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri, doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki ana kategoride incelenebilir. Doğrudan etkiler, sıcaklık artışı ve ekstrem hava olayları gibi iklimsel değişikliklerin doğrudan bir sonucu olarak ortaya çıkarken; dolaylı etkiler, ekosistemlerdeki ve sosyal sistemlerdeki bozulmalar yoluyla kendini göstermektedir.

Küresel sıcaklıklardaki artış, sıcak hava dalgalarının sıklığını, süresini ve yoğunluğunu artırmaktadır. Bu durum, özellikle yaşlılar, çocuklar ve kronik hastalığı olanlar gibi hassas gruplar için ciddi sağlık riskleri oluşturmaktadır. 2025 Lancet Countdown Raporu'na göre, sıcaklığa bağlı ölüm oranları 1990'lardan bu yana %23 artmış ve yıllık ortalama 546.000 ölüme ulaşmıştır.¹⁵ Türkiye'de de son yıllarda ortalama sıcaklıkların normallerin üzerinde seyrettiği ve sıcak gün sayısının arttığı gözlemlenmektedir. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA)'nin raporuna göre, 2019 yılı Türkiye'de 1971'den bu yana ölçülen en sıcak dördüncü yıl olmuştur.¹⁶ Aşırı sıcaklar, sıcak çarpması, dehidrasyon, kalp ve solunum yolu hastalıklarının alevlenmesi gibi durumlara yol açarak ölüm oranlarını artırmaktadır.¹⁷

İklim değişikliği, sel, fırtına, kuraklık ve orman yangınları gibi ekstrem hava olaylarının şiddetini ve sıklığını artırmaktadır. Bu olaylar, doğrudan fiziksel yaralanmalara ve ölümlere neden olmanın yanı sıra, altyapıya zarar vererek sağlık hizmetlerine erişimi de kesintiye uğratabilmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) raporunda, iklim değişikliğine bağlı olarak bu tür doğal afetlerin etki alanlarının ve olumsuz sonuçlarının artacağı öngörülmektedir.¹⁷ Ayrıca, bu olayların neden olduğu yerinden edilme ve travmalar, ciddi ruh sağlığı sorunlarına da zemin hazırlamaktadır.¹⁶

İklimdeki değişiklikler, hastalık taşıyıcısı olan vektörlerin (sivrisinek, kene vb.) coğrafi dağılımını ve üreme mevsimlerini değiştirmektedir. DSÖ, sıcaklık ve yağış rejimlerindeki değişimlerin sıtma, dang humması, Zika virüsü ve Lyme hastalığı gibi vektör kaynaklı hastalıkların yayılmasını kolaylaştırdığını belirtmektedir.² MGM raporunda, iklim değişikliğinin dolaylı olarak kuş gribinden sarıhummaya kadar birçok hastalığın yayılmasını tetikleyebileceği ifade edilmektedir.¹⁷

Bununla birlikte, su kaynaklarının kirlenmesi ve sıcaklık artışları, kolera gibi su ve gıda kaynaklı hastalıkların salgın riskini de artırmaktadır. Özellikle yetersiz altyapıya sahip bölgelerde, aşırı yağışlar ve seller içme suyu kaynaklarını kirleterek salgınlara neden olabilmektedir.¹⁷

Kuraklık, sel ve sıcaklık artışları gibi iklimsel faktörler, tarımsal üretimi olumsuz etkileyerek gıda güvenliğini tehdit etmektedir. 2025 Lancet Countdown Raporu, 2023 yılında kuraklık ve sıcak dalgaları nedeniyle 124 milyon insanın orta veya şiddetli gıda güvensizliği ile karşı karşıya kaldığını ortaya koymuştur.¹⁵ Tarımsal verimdeki düşüş, gıda

fiyatlarında artışa ve özellikle yoksul topluluklarda yetersiz beslenmeye yol açarak halk sağlığını ciddi şekilde etkilemektedir.

İklim değişikliğine neden olan fosil yakıtların kullanımı, aynı zamanda hava kirliliğinin de ana kaynağıdır. Artan sıcaklıklar, yer seviyesi ozon gibi zararlı kirleticilerin oluşumunu tetikleyebilir. Orman yangınlarının artması da atmosfere büyük miktarda partikül madde salınmasına neden olur. Bu kirleticiler, astım, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve diğer solunum yolu hastalıklarını tetikleyerek veya alevlendirerek insan sağlığını olumsuz etkilemektedir.¹⁷

İklim değişikliğinin ruh sağlığı üzerindeki etkileri giderek daha fazla kabul görmektedir. Ekstrem hava olaylarının neden olduğu travmalar, ev ve geçim kaynaklarının kaybı, geleceğe yönelik belirsizlik ve “eko-anksiyete” olarak adlandırılan iklim krizine bağlı endişe hali, anksiyete bozuklukları, depresyon ve travma sonrası stres bozukluğu gibi durumlara yol açabilmektedir.¹⁶

2.2.3 İklim Değişikliğinin Ekosistem Üzerindeki Etkileri

Ekosistemler, insan sağlığı ve refahı için temel olan temiz hava, su, gıda ve ilaç gibi gereksinimleri sunmaktadır. İklim değişikliği, bu dengeleri bozarak hem ekosistemleri tehdit etmektedir.

Sıcaklık artışları, yağış rejimlerindeki değişiklikler ve ekstrem hava olayları, türlerin yaşam alanlarını daraltmakta veya yok etmektedir. Birçok tür, değişen iklim koşullarına uyum sağlayamamakta veya daha uygun alanlara göç etmek zorunda kalmaktadır. Bu durum, türlerin neslinin tükenme riskini artırarak biyoçeşitlilik kaybına yol açmaktadır. DSÖ’ye göre, biyoçeşitlilik kaybı, zoonotik hastalıkların ortaya çıkma riskini artırmaktadır. Çünkü doğal habitatların bozulması, insanlarla yaban hayatı arasındaki teması artırarak patojenlerin yayılması için uygun bir ortam yaratmaktadır.¹⁸

İklim değişikliği sonucunda buzulların erimesi, yağış rejimlerinin değişmesi ve kuraklığın artması, tatlı su kaynaklarının miktarını ve kalitesini olumsuz etkilemektedir. TÜBA’nın projeksiyonlarına göre, Türkiye’nin su potansiyelinde kötümser senaryoda %40-45’e varan azalmalar yaşanabileceği öngörülmektedir.¹⁶

Tozlayıcıların (arılar gibi) popülasyonlarındaki azalma, toprak verimliliğindeki düşüş ve balık stoklarındaki değişimler, gıda üretimini doğrudan etkilemektedir. DSÖ, arı

popölasyonlarındaki düşüşün tek başına küresel gıda güvenliğini tehdit ettiğini vurgulamaktadır.¹⁸

Ormanlar ve okyanuslar gibi doğal karbon yutakları, atmosferdeki CO₂'yi emerek iklimi düzenlemede kritik bir rol oynamaktadır. Ancak ormansızlaşma, okyanusların asitlenmesi ve artan orman yangınları, bu yutakların kapasitesini azaltarak iklim değişikliğini daha da hızlandırmaktadır.¹⁸

2.2.4 İklim Değişikliği Konusundaki Uluslararası Anlaşmalar

İklim değişikliğinin etkilerinin büyüklüğü ve aciliyeti, uluslararası toplumun ortak ve kararlı adımlar atmasını zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, UNFCCC ve onun altında şekillenen Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması gibi uluslararası anlaşmalar, iklim değişikliğıyle mücadelenin temelini oluşturmaktadır. Başlangıçta ağırlıklı olarak çevresel ve ekonomik boyutlara odaklanan bu anlaşmalar, zamanla halk sağlığı endişelerini de giderek daha fazla gündemlerine almaya başlamıştır. Özellikle Paris Anlaşması, iklim eylemlerinin uygulanmasında “sağlık hakkının” dikkate alınması gerektiğini belirterek bu alanda önemli bir dönüm noktası teşkil etmiştir.¹⁹

Uluslararası iklim değişikliğı rejiminin temelleri 1980'lerin sonlarında atılmıştır. Bilim dünyasında artan endişelere yanıt olarak, WMO ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), 1988 yılında IPCC'yi kurmuştur.²⁰ IPCC'nin temel görevi, iklim değişikliğinin bilimi, etkileri ve potansiyel müdahale stratejileri hakkındaki mevcut bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgilerin kapsamlı ve objektif bir değerlendirmesini yapmaktır.

IPCC'nin 1990 yılında yayınladığı Birinci Değerlendirme Raporu (FAR), iklim değişikliğinin küresel sonuçları olan ciddi bir sorun olduğunu ve uluslararası işbirliği gerektirdiğini vurgulayarak bir dönüm noktası olmuştur.²⁰ Bu rapor, 1992'de Rio Dünya Zirvesi'nde imzaya açılan UNFCCC'nin oluşturulmasında belirleyici bir rol oynamıştır.^{20,21} UNFCCC, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarını, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan müdahalesini önleyecek bir seviyede stabilize etmeyi amaçlayan ana uluslararası anlaşmadır. Sözleşme 1994 yılında yürürlüğe girmiştir.²¹ 1995 yılında Berlin'de düzenlenen ilk Taraflar Konferansı (COP 1), UNFCCC'nin hedeflerini hayata geçirmek için somut adımların atılacağı bir sürecin başlangıcı olmuştur. Bu zirvede,

gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltma taahhütlerinin yetersiz olduğu kabul edilmiş ve daha güçlü, yasal olarak bağlayıcı hedefler içeren bir protokol üzerinde müzakerelere başlanması kararlaştırılmıştır. Bu karar, Kyoto Protokolü'ne giden yolu açmıştır.²¹ IPCC'nin 1995 yılında yayınladığı İkinci Değerlendirme Raporu (SAR), iklim değişikliğinde insan etkisini vurgulaması ve Kyoto Protokolü'ne giden süreçte bu protokolün hazırlanmasında bilimsel materyal sağlaması açısından önemlidir.^{20,21}

Berlin'de başlayan müzakere süreci, 1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenen COP 3'te Kyoto Protokolü'nün kabul edilmesiyle sonuçlanmıştır. UNFCCC'nin somut adımlarını belirlemek amacıyla 1997'de kabul edilen ve 2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü, sanayileşmiş ülkeler (Ek-I ülkeleri) için bağlayıcı emisyon azaltım hedefleri belirleyen ilk uluslararası anlaşmadır.²² Protokol, iki taahhüt dönemi (2008-2012 ve 2013-2020) boyunca bu ülkelerin sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine göre belirli oranlarda azaltmasını öngörmüştür. Kyoto Protokolü, sağlık konusunu doğrudan bir odak noktası olarak ele almamıştır. Ancak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine uyumu kolaylaştırmak ve bu amaçla teknoloji transferini teşvik etmek gibi maddeler içermiştir. En önemli katkılarından biri, gelişmekte olan ülkelerdeki adaptasyon projelerini finanse etmek üzere kurulan Adaptasyon Fonu'dur. Bu fon aracılığıyla desteklenen projeler, su kaynakları yönetimi, gıda güvenliği ve afet risk azaltımı gibi alanlarda halk sağlığını dolaylı olarak korumaya yönelik önemli adımlar atılmasına olanak tanımıştır.²²

Bu dönemde IPCC, politika yapıcılara kritik bilgiler sunmaya devam etmiştir. 2001 yılında yayınlanan Üçüncü Değerlendirme Raporu (TAR), iklim değişikliğinin gözlemlenen etkilerine ve adaptasyon ihtiyacına daha fazla odaklanmıştır. Bu rapor, 2001 yılında COP 7'de Kyoto Protokolü'nün uygulama kurallarının belirlendiği Marakeş Anlaşmaları'na bilimsel zemin sağlamıştır. 2007 yılında yayınlanan Dördüncü Değerlendirme Raporunda (AR4) insan kaynaklı iklim değişikliğinin "kesin" olduğu sonucuna varılmış ve ısınmayı 2°C ile sınırlama hedefinin önemi vurgulanmıştır. 2013-2014 yıllarında yayınlanan Beşinci Değerlendirme Raporunda (AR5) ise Paris Anlaşması'na giden yolda kritik bir bilimsel temel sağlamıştır. İklim sistemi üzerindeki insan etkisinin "açık" olduğunu ve son dönemdeki iklim değişikliklerinin son bin yılda eşi benzeri görülmemiş olduğunu belirtmiştir.²³

2015 yılında COP21’de kabul edilen Paris Anlaşması, iklim değişikliğiyle mücadelede yeni bir dönemi başlatmıştır. Kyoto Protokolü’nün aksine, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerin katkılarını içeren evrensel bir çerçeve sunmaktadır. Anlaşmanın temel hedefi, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere göre “2°C’nin oldukça altında” tutmak ve artışı 1.5°C ile sınırlama çabalarını sürdürmektir.¹⁹

Paris Anlaşması’nın en yenilikçi yönlerinden biri, halk sağlığını iklim politikalarının merkezine daha belirgin bir şekilde yerleştirmesidir. Anlaşmanın giriş bölümünde, Tarafların iklim değişikliğiyle mücadele ederken “sağlık hakkı” da dahil olmak üzere insan haklarına saygı göstermeleri, bu hakları desteklemeleri ve dikkate almaları gerektiği açıkça belirtilmiştir.¹⁹ Bu ifade, sağlık ve iklim değişikliği arasındaki bağlantıyı yasal bir zeminde tanıyarak, ülkelerin Ulusal Katkı Beyanları (NDC’ler) gibi ulusal planlarında sağlıkla ilgili hususları göz önünde bulundurmaları için güçlü bir dayanak oluşturmuştur. Bu sayede, iklim eylemlerinin sadece emisyon azaltımı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda hava kalitesinin iyileştirilmesi, aktif ulaşımın teşvik edilmesi ve sürdürülebilir gıda sistemlerinin desteklenmesi gibi önemli sağlık ortak faydaları yaratma potansiyeli de uluslararası düzeyde kabul görmüştür.

Paris Anlaşması’nın hedeflerine ulaşmaya yönelik atılacak adımlar, sadece iklim değişikliğini yavaşlatmakla kalmayıp, aynı zamanda önemli halk sağlığı kazanımları da sunmaktadır. Bu “sağlık ortak faydaları”, iklim politikalarının toplumsal kabulünü artırmada ve eylemi hızlandırmada kilit bir rol oynamaktadır. The Lancet Planetary Health dergisinde yayımlanan bir modelleme çalışması, bu faydaları somut verilerle ortaya koymaktadır. Ian Hamilton ve meslektaşları tarafından yürütülen bu kapsamlı çalışma, Paris Anlaşması kapsamındaki Ulusal Katkı Beyanlarının (NDC) 2040 yılına kadar dokuz temsili ülkede (Brezilya, Çin, Almanya, Hindistan, Endonezya, Nijerya, Güney Afrika, İngiltere ve ABD) yaratacağı sağlık etkilerini modellemiştir.²⁴ Çalışmada, enerji, gıda, tarım ve ulaşım sektörleri analiz edilerek, hava kirliliği, diyet ve fiziksel aktiviteye bağlı ölüm oranları incelenmiştir. Araştırmacılar, mevcut politikaların devam ettiği senaryoyu, Paris Anlaşması hedefleriyle uyumlu “sürdürülebilir yollar senaryosu” ile karşılaştırmıştır. Bulgular, iklim hedeflerine yönelik kararlı adımların ne denli büyük sağlık kazanımları sağlayabileceğini göstermektedir. Sürdürülebilir yollar senaryosunun uygulanması durumunda, 2040 yılına kadar bu dokuz ülkede hava kirliliğine bağlı ölümlerde yıllık 1.18 milyon azalma, diyetle ilişkili ölümlerde yıllık 5.86 milyon azalma ve fiziksel

hareketsizliğe bağlı ölümlerde ise yıllık 1.15 milyon azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır.²⁴ Bu, sadece dokuz ülkede yılda toplamda yaklaşık 8 milyon önlenebilir ölüm anlamına gelmektedir. Çalışma ayrıca, sağlığın tüm iklim politikalarının merkezine alındığı bir senaryonun, bu kazanımları daha da artırarak yılda yaklaşık 2 milyon ek hayat kurtarabileceğini ortaya koymuştur. Bu sağlık kazanımları, farklı sektörlerdeki emisyon azaltım stratejilerinin bir sonucudur. Bu bulgular, Paris Anlaşması'nın sadece bir çevre anlaşması olmadığını, aynı zamanda küresel ölçekte en etkili halk sağlığı müdahalelerinden biri olma potansiyeli taşıdığını açıkça göstermektedir.²⁴

Paris Anlaşması'nın talebi üzerine 2018 yılında IPCC tarafından yayınlanan 1,5°C Küresel Isınma Özel Raporu (SR15) raporu, 1,5°C ve 2°C ısınma arasındaki farkları net bir şekilde ortaya koymuş ve 1,5°C hedefini ulaşılabilir tutmak için emisyonların 2030'a kadar yaklaşık %45 oranında azaltılması ve 2050 civarında net sıfıra ulaşması gerektiğini göstermiştir.²⁵

IPCC'nin en son ve en kapsamlı değerlendirmesi olan Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6), 2021-2023 yılları arasında yayınlanan bir dizi rapordan oluşmaktadır. Mart 2023'te yayınlanan Sentez Raporu, iklim krizinin ciddiyetini ve aciliyetini bir kez daha gözler önüne sermiştir.¹² AR6'nın temel bulguları, insan kaynaklı 1,1°C'lik küresel ısınmanın şimdiden dünyanın her bölgesinde tehlikeli ve yaygın hava olaylarına neden olduğunu doğrulamaktadır. Rapor, mevcut politikalarla dünyanın bu yüzyılın sonuna kadar yaklaşık 2,8°C'lik bir ısınma yolunda olduğunu ve 1,5°C hedefini canlı tutmak için acil ve sürekli sera gazı emisyonu azaltımına ihtiyaç duyulduğunu belirtmektedir.²⁶

Kasım 2021'de Glasgow'da düzenlenen COP26'da, sağlık konusunun iklim gündeminin merkezine taşınması açısından bir dönüm noktası olmuştur. İngiltere'nin COP Başkanlığı, DSÖ ve diğer ortakların liderliğinde ilk kez kapsamlı bir COP Sağlık Programı başlatılmıştır.²⁷ Bu program, ülkeleri iklime dirençli sağlık sistemleri geliştirmek ve sürdürülebilir ve düşük karbonlu sağlık sistemleri oluşturmak alanında iki temel alanda somut taahhütlerde bulunmaya davet etmiştir.

İklime dirençli sağlık sistemleri geliştirme taahhüdü, ülkelerin iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki risklerini değerlendirmelerini, bu analizlere dayanarak ulusal sağlık adaptasyon planları hazırlamalarını ve bu planları hayata geçirmek için Yeşil İklim Fonu gibi uluslararası finansman kaynaklarına erişim sağlamalarını içermektedir.²⁷

Sürdürülebilir ve düşük karbonlu sağlık sistemleri oluşturma taahhüdü ise ülkelerin sağlık sektörünün sera gazı emisyonlarını ölçmelerini, bir eylem planı hazırlamalarını ve nihayetinde (ideal olarak 2050'ye kadar) net sıfır emisyonlu bir sağlık sistemine ulaşmak için bir hedef tarihi belirlemelerini teşvik etmektedir.²⁷

Bugüne kadar 80'den fazla ülke, bu taahhütlerden en az birini benimsemiştir.²⁷ Bu taahhütlerin eyleme dönüştürülmesini desteklemek amacıyla DSÖ, İklim ve Sağlık Konusunda Dönüştürücü Eylem İttifakı (ATACH) mekanizmasını kurmuştur. ATACH, ülkeler arasında bilgi ve en iyi uygulama paylaşımını kolaylaştıran, teknik destek sağlayan ve küresel ilerlemeyi izleyen bir platform olarak hizmet vermektedir.²⁷

2.3 Sıcak Hava Dalgaları

İklim değişikliği sonucu oluşan küresel ısınma, sadece ortalama sıcaklıkların yükselmesiyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda sıcak hava dalgaları gibi aşırı hava olaylarının sıklığını, süresini ve şiddetini de artırmaktadır. İklim değişikliğinin en somut ve tehlikeli sonuçlarından biri olarak kabul edilen sıcak hava dalgaları, yalnızca çevresel ve ekonomik sistemler üzerinde değil, aynı zamanda insan sağlığı üzerinde de yıkıcı etkilere sahip olan önemli bir halk sağlığı tehdididir. DSÖ, sıcak hava dalgalarını en tehlikeli doğal afetler arasında sınıflandırmakta, ancak sebep olduğu ölümlerin ve yıkımın her zaman anında belirgin olmaması nedeniyle yeterli ilgiyi görmediğini vurgulamaktadır.²⁸

Son yıllarda dünya genelinde sıcak hava dalgalarının sıklığı, süresi ve yoğunluğunda belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Bu artış, insan sağlığı üzerinde doğrudan ve dolaylı yollarla ciddi baskılar oluşturmakta, mevcut sağlık sistemlerini zorlamakta ve özellikle hassas nüfus grupları için ölümcül riskler taşımaktadır. 2000-2019 yılları arasında her yıl yaklaşık 489.000 ölümün sıcakla ilişkilendirildiği tahmin edilmektedir.²⁹ DSÖ, 2000-2004 ile 2017-2021 yılları arasında 65 yaş üstü bireylerde sıcaklığa bağlı ölüm oranının yaklaşık %85 arttığını rapor etmiştir.²⁹

2.3.1 Sıcak Hava Dalgaları Tanımları

Sıcak hava dalgası için evrensel olarak kabul edilmiş tek bir tanım bulunmamaktadır. Tanımlar, bir bölgenin coğrafi konumu, iklimsel özellikleri, kullanılan

meteorolojik parametrelere ve nüfusun sıcaklığa adaptasyon seviyesine göre farklılık göstermektedir ve bu durum epidemiyolojik çalışmaların karşılaştırılmasını ve uluslararası düzeyde standart müdahale protokollerinin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır.³⁰ Ancak genel olarak, bir bölgede mevsim normallerinin üzerinde seyreden ve belirli bir süre devam eden aşırı sıcak hava koşullarını ifade eder.

Önde gelen uluslararası kuruluşlar, sıcak hava dalgalarını kendi operasyonel ihtiyaçları doğrultusunda tanımlamaktadır. Bu tanımlar, genellikle yerel meteoroloji servisleri için bir çerçeve niteliği taşır. WMO'nun tanımına göre sıcak hava dalgası günlük maksimum sıcaklığın, ortalama maksimum sıcaklığı en az 5°C (9°F) aşarak art arda beş veya daha fazla gün sürmesidir.³¹ WMO ayrıca, vücudun geceleri serinleyerek toparlanma fırsatı bulamadığı yüksek gece sıcaklıklarının önemini de vurgulamaktadır.³² Dünya Sağlık Örgütü'ne göre belirli bir bölgede, olağandışı sıcak gün ve gecelerin birikmesiyle oluşan yerel aşırı ısı dönemine sıcak hava dalgası denilmektedir.²⁹ DSÖ, tanımını daha çok halk sağlığı etkileri üzerine odaklamaktadır. Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğüne göre ise yüksek nem ile birlikte sıcaklığın uzun bir periyot devam etmesi genel anlamda kullanılırken daha spesifik bir standart olarak Türkiye için en yüksek sıcaklık ortalamalarının 10°C veya daha üzerinde aşırı nemle birlikte uzun bir periyotta devam etmesi durumu sıcak hava dalgası tanımı olarak belirtilmiştir.³³

Bu tanımlardaki temel farklılık, eşik değerlerin (mutlak sıcaklık veya istatistiksel bir persentil) ve olayın süresinin (2 günden 5 güne kadar) değişkenlik göstermesidir. Yakın zamanda yapılan bir sistematik derleme, 2018-2022 yılları arasında yayınlanan 54 makalede 21 farklı sıcak hava dalgası tanım kombinasyonunun kullanıldığını ortaya koymuştur.³⁴ Bu tanımların çeşitliliğine rağmen, belirli ortak unsurlar öne çıkmaktadır. Bunlar süre, sıcaklık eşiği ve bazen de nem gibi ek meteorolojik faktörlerdir.

Sıcak hava dalgası tanımlarının temelini oluşturan sıcaklık eşikleri mutlak eşikler ve rölatif eşikler olmak üzere iki ana kategoride incelenmektedir.³⁵ Bu iki yaklaşım arasındaki temel fark, eşiğin coğrafi konuma ve yerel iklim koşullarına göre sabit mi yoksa değişken mi olduğudur. Mutlak eşikler, coğrafi konumdan bağımsız olarak önceden belirlenmiş sabit sıcaklık değerleridir. Bu yöntemin avantajı basitliği ve kolay uygulanabilirliği iken, en büyük dezavantajı bölgesel iklim farklılıklarını ve halkın yerel iklim koşullarına adaptasyonunu göz ardı etmesidir.³⁶ Rölatif eşikler, belirli bir konumun uzun dönemli iklim verilerine dayanan istatistiksel değerlerdir. En yaygın kullanılan

yöntem, belirli bir takvim günü için hesaplanan sıcaklık dağılımının persentil (yüzdelik dilim) değerleridir. Örneğin, bir günün maksimum sıcaklığının, o takvim günü için uzun yıllar ortalamasının 90. veya 95. persentil değerini aşması bir eşik olarak kabul edilebilir.³⁵ Bu yaklaşım, bir olayın o bölge için ne kadar “anormal” olduğunu daha iyi yansıtır ve bölgesel iklim adaptasyonunu hesaba katar. Barriopedro ve ark.³⁷ 2023’teki bir çalışmada sıcak hava dalgalarını “belirli bir zaman ve yerde beklenen koşullara göre anormal derecede sıcak havanın uzun süre devam etmesi” olarak tanımlayarak rölatif yaklaşımın önemini vurgulamaktadır. Fransa’daki sıcak hava dalgası uyarı sistemi de, Paris gibi şehirler için 99. persentil sıcaklık değerlerini (minimum 21°C, maksimum 34°C) kullanarak hem rölatif hem de mutlak eşikleri bir arada değerlendiren hibrit bir model sunmaktadır.³⁸ You ve ark.³⁹ tarafından 2017 yılında Çin üzerinde yapılan bir çalışma, rölatif ve mutlak eşiklere dayalı tanımların zıt trendler gösterebildiğini ve aralarındaki korelasyonun zayıf olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, bir bölgedeki sıcak hava dalgası trendlerini analiz ederken tanım seçiminin ne kadar kritik olduğunu göstermektedir.

Bir sıcak hava olayının “dalga” olarak nitelendirilebilmesi için eşik değerlerin aşıldığı günlerin ardışık olması gerekir. Literatürde bu süre için farklı kriterler kullanılmaktadır. En yaygın kabul gören minimum süre iki veya üç ardışık gündür. Robinson³⁶, en az 48 saatlik (2 gün) bir süreyi temel alırken, Perkins ve Alexander⁴⁰ tarafından 2013 yılında geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan CTX90pct metodolojisi gibi birçok modern tanım en az üç ardışık gün kriterini benimsemektedir. Daha güncel literatürde, üç ardışık gün kriterinin yaygın bir standart olarak benimsendiği görülmektedir. Bunting ve ark.⁴¹ 2024 yılında ABD’deki farklı uzman gruplarıyla yaptığı kapsamlı bir anket çalışması, katılımcıların büyük çoğunluğunun bir sıcak hava dalgasının en az 3 gün sürmesi gerektiği konusunda hemfikir olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, İngiltere Met Office gibi ulusal meteoroloji servisleri de operasyonel tanımlarında üç günlük süreyi temel almaktadır.⁴² Bununla birlikte, sağlık odaklı çalışmalarda iki ardışık gün kriteri de minimum eşik olarak kabul görmeye devam etmektedir.⁴³ WMO ise daha uzun bir periyot önererek, sıcaklıkların art arda beş günden fazla normalin 5°C üzerinde seyretmesini bir tanım olarak sunmaktadır.³¹

Sıcaklığın insan vücudu üzerindeki etkisi, havadaki nem oranıyla doğrudan ilişkilidir. Yüksek nem, terin buharlaşmasını yavaşlatarak vücudun soğuma kapasitesini azaltır ve hissedilen sıcaklığı artırır. Özellikle gece sıcaklıklarının yüksek kalması ve

nemin etkisiyle vücudun dinlenme ve toparlanma fırsatı bulamaması, sıcak hava dalgalarının sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini artıran kritik bir faktördür.³⁶ Bu nedenle, modern sıcak hava dalgası tanımları genellikle sadece hava sıcaklığını değil, nemi de içeren biyometeorolojik indeksleri kullanır. Isı İndeksi (Heat Index, HI) bağıl nem ile hava sıcaklığını birleştirerek insan tarafından hissedilen sıcaklığı tahmin eder.³⁶ Görünür Sıcaklık (Apparent Temperature, AT) sıcaklık, nem ve rüzgarın insan vücudu üzerindeki birleşik etkisini ölçer.³⁵ Islak-Hazne Küre Sıcaklığı (Wet-Bulb Globe Temperature, WBGT) ise sadece sıcaklık ve nemi değil, aynı zamanda rüzgar hızı ve güneş radyasyonunu da hesaba katarak insan vücudunun maruz kaldığı termal stresi daha bütüncül bir şekilde ölçen kapsamlı bir indekstir.^{44,45} Evrensel termal iklim indeksi (UTCI) de WBGT'ye benzer şekilde, insan termal konforunu modelleyen kapsamlı bir indekstir.⁴⁶ Brimicombe ve ark.⁴⁵ WBGT'yi "insan vücudu üzerindeki ısı etkisini ölçmek için uluslararası bir standart" olarak tanımlamakta ve küresel ölçekte, ERA5 gibi modern yeniden analiz veri setleri kullanılarak hesaplanabilmesi için yeni ve doğru yöntemler geliştirmektedir. Spangler ve ark.⁴⁷ ise ABD için 2000-2020 dönemini kapsayan WBGT ve UTCI veri setleri oluşturarak bu metriklerin epidemiyolojik araştırmalardaki kullanımını kolaylaştırmıştır. Türkiye'de ise Yılmaz ve ark.⁴⁸ 2013-2017 döneminde İstanbul'un 39 ilçesinde yaz aylarında içerisinde AT, HI, WBGT ve UTCI da olan altı farklı termal indeksi bölgesel özellikler ve meteorolojik parametrelerle ilişkilendirerek analiz edip termal stres seviyelerini haritalandırmıştır.

Sıcak hava dalgalarının tanımlanmasında geliştirilen çok sayıda metrik arasında, Aşırı Sıcak Faktörünün (Excess Heat Factor, EHF) ise özellikle insan sağlığı üzerindeki etkileri ve aklimatizasyon (iklime uyum) sürecini dikkate alan yaklaşımıyla önemli bir yeri vardır. İlk olarak Avustralya Meteoroloji Bürosu'ndan Nairn ve Fawcett tarafından geliştirilen bu metodoloji, sıcak hava dalgalarının yoğunluğunu ve şiddetini sınıflandırmak için standart bir çerçeve sunar. EHF, temel olarak bir sıcaklık olayının hem uzun dönemli iklim normallerine hem de kısa dönemli (yakın geçmişteki) sıcaklık koşullarına göre ne kadar anormal olduğunu ölçen bir indekstir.⁴⁹ EHF, geliştirildiği Avustralya'da ulusal sıcak hava dalgası tahmin ve uyarı sisteminin temelini oluşturmuş ve uluslararası alanda da kabul görmüştür. Oliveira ve ark.⁵⁰ EHF metodolojisini Avrupa'daki kentsel alanlar için uygulamış ve metodun özellikle orta enlem iklimlerinde insan sağlığı çıktılarına doğru bir şekilde öngördüğünü doğrulamıştır. Diğer birçok persentil bazlı yöntemin aksine, EHF'nin

kısa dönemli iklime uyumu dikkate alması, onu sağlık etkilerini modellemede daha üstün kılar. WBGT gibi daha karmaşık biyometeorolojik indekslerin gerektirdiği nem, rüzgar ve radyasyon verilerine ihtiyaç duymadan, yalnızca günlük maksimum ve minimum sıcaklık verileriyle hesaplanabilir. Nem faktörü, minimum sıcaklıklar üzerinden dolaylı olarak (implisit) hesaba katılır.⁴⁹ Bununla birlikte, Becker ve ark.⁵¹ gibi bazı çalışmalar, sıcak hava dalgalarının kapsamlı bir değerlendirmesi için EHF, WBGT gibi birden fazla indeksin birlikte kullanılmasını önermektedir, çünkü her bir indeks olayın farklı bir yönünü vurgulamaktadır.

2.3.2 Kentsel Isı Adası

Kentsel ısı adası (KIA), bir kentsel alanın veya metropoliten alanın, çevresindeki kırsal alanlara göre önemli ölçüde daha sıcak olması durumunu ifade eden bir kavramdır.⁵² Bu sıcaklık farkı, özellikle geceleri daha belirgin hale gelmekte ve aşırı sıcak hava dalgaları sırasında daha da artabilmektedir. Örneğin, Londra gibi büyük bir metropolün merkezindeki ortalama hava sıcaklığı, çevresindeki kırsal alanlardan 4°C daha yüksek olabilirken, bu fark ekstrem hava olayları sırasında 10°C'ye kadar çıkabilmektedir.⁵³ Benzer şekilde, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA), kentsel alanlardaki gündüz sıcaklıklarının çevre bölgelere göre 0.5-4°C, gece sıcaklıklarının ise 1-3°C daha yüksek olabildiğini rapor etmektedir.⁵²

Kentsel ısı adasının oluşumunun arkasında yatan temel mekanizmalar, kentsel çevrenin fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Şehirlerde yaygın olarak kullanılan beton, asfalt, tuğla ve metal gibi yapı malzemeleri, güneş radyasyonunu yüksek oranda emer ve depolar. Bu malzemeler, gün boyunca depoladıkları ısıyı gece yavaş yavaş atmosfere geri salarak, gece sıcaklıklarının kırsal alanlara göre daha yüksek kalmasına neden olur.⁵³ Bitki örtüsü, evapotranspirasyon (terleme ve buharlaşma) yoluyla çevresini serinletir. Su kütleleri ise buharlaşma yoluyla benzer bir soğutma etkisi yaratır. Şehirlerdeki yoğun yapılaşma, parklar, ormanlar, göller gibi doğal peyzajların azalmasına yol açarak bu doğal soğutma mekanizmalarını ortadan kaldırır.^{52,53} Yüksek binaların oluşturduğu dar sokaklar, “kentsel kanyonlar” olarak adlandırılır. Bu kanyonlar, hem güneş ışınlarının yüzeyler arasında çoklu yansımalar yaparak daha fazla emilmesine neden olur hem de rüzgar akışını engelleyerek ısıнын dağılmasını zorlaştırır.⁵³ Ulaşım araçları,

endüstriyel tesisler, klimalar ve binalardaki diğer tüm insan faaliyetleri, atmosfere önemli miktarda atık ısı salar. Bu ısı, özellikle yoğun nüfuslu ve aktivitenin yüksek olduğu şehir merkezlerinde KIA etkisini daha da şiddetlendirir.⁵³

Kentsel ısı adalarının halk sağlığı üzerindeki etkileri, doğrudan ısıya maruz kalmanın fizyolojik sonuçlarından, hava kalitesinin bozulması gibi dolaylı etkilere kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. DSÖ, ısı stresini hava koşullarına bağlı ölümlerin önde gelen nedeni olarak tanımlamakta ve bu durumun özellikle kentsel alanlarda giderek artan bir tehdit olduğunu vurgulamaktadır.²⁹ Aşırı sıcaklar, insan vücudunun termoregülasyon (vücut ısınısını dengeleme) kapasitesini zorlayarak ciddi sağlık sorunlarına yol açar. KIA etkisi, bu durumu daha da kötüleştirerek hem ölüm (mortalite) hem de hastalık (morbidity) oranlarında artışa neden olur.

Epidemiyolojik çalışmalar, sıcak hava dalgaları sırasında ve sonrasında ölüm oranlarında belirgin artışlar olduğunu göstermektedir. 2003 yılında Avrupa'yı vuran sıcak hava dalgası, yaklaşık 70.000 ek ölüme neden olmuştur.⁵³ Yakın tarihli bir modelleme çalışması, 2018 yazı boyunca Londra'daki yüksek sıcaklıklara bağlı 785 ölümün yarısının (yaklaşık 399 ölüm) doğrudan kentsel ısı adası etkisine atfedilebileceğini ortaya koymuştur.⁵⁴ DSÖ verilerine göre, 65 yaş üstü bireylerde ısıya bağlı mortalite, 2000-2004 ile 2017-2021 dönemleri arasında yaklaşık %85 oranında artmıştır.²⁹

KIA'nın etkileri sadece doğrudan fizyolojik sonuçlarla sınırlı değildir. Hava kalitesinin bozulması, bulaşıcı hastalıkların yayılımı için uygun ortam yaratması ve mental sağlık üzerindeki olumsuz etkileri de önemli dolaylı sonuçlardır. Ayrıca, ısıya bağlı artan mortalite ve morbidite, sağlık sistemleri üzerinde ciddi bir ekonomik yük oluşturmaktadır. Londra'da yapılan çalışma, 2018 yazındaki KIA kaynaklı ölümlerin sosyal maliyetinin, kullanılan hesaplama yöntemine bağlı olarak 453 milyon ila 987 milyon Sterlin arasında olduğunu tahmin etmektedir.⁵⁴

2.3.3 Sıcak Hava Dalgalarının Sağlık Etkileri

Aşırı sığağa maruz kalmak, insan vücudunun termoregülasyon (vücut ısınısını düzenleme) kapasitesini aşarak birçok sağlık sorununa yol açar. Bu etkiler, ani gelişen ve doğrudan sıcaklığa bağlı durumlardan, mevcut hastalıkları kötüleştiren dolaylı etkilere kadar çeşitlilik gösterir.⁵⁵

Sıcak dalgalarının doğrudan sağlık etkileri, vücudun aşırı ısıya maruz kalmasıyla ortaya çıkar. Doğrudan sağlık etkileri arasında; sıcak çarpması, ısı krampları, ısı yorgunluğu, ısı senkopu, rabdomiyoliz gibi hastalıklar bulunurken bu etkilerin yanı sıra sıcak dalgaları kalp-dolaşım sistemi, böbrekler, sinir sistemi ve solunum sistemi üzerinde de ciddi baskı oluşturarak mevcut kronik hastalıkları alevlendirebilir.⁵⁵

Sıcak hava dalgalarının etkileri fizyolojik bozukluklarla sınırlı değildir. Toplumun işleyişini ve bireylerin yaşam kalitesini de dolaylı yollardan etkiler. Sağlık hizmetleri üzerindeki yük artışı, acil servis başvuruları ve hastaneye yatış oranlarında belirgin bir artışa neden olur. Enerji talebindeki artış elektrik kesintilerine, su kaynaklarında azalmaya ve ulaşım ağlarında aksamalara yol açabilir. Özellikle açık havada ve fiziksel güç gerektiren işlerde çalışanlarda dikkat dağınıklığı ve yorgunluğa bağlı iş kazaları artar, genel iş verimliliği düşer. Yüksek sıcaklıklar, yer seviyesi ozon gibi zararlı hava kirleticilerinin oluşumunu tetikleyerek solunum yolu hastalıklarını kötüleştirebilir. Ayrıca tarımsal üretimin düşmesi ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi gıda ve su güvenliği riskleri de ortaya çıkabilir.^{29,55,56}

2.3.4 Sıcak Hava Dalgaları ve Kırılgan Gruplar

Sıcak dalgaları herkesi etkileyebilmekle birlikte, bazı gruplar fizyolojik ve sosyo-ekonomik faktörler nedeniyle daha yüksek risk altındadır. Bu grupların belirlenmesi, halk sağlığı müdahalelerinin hedeflenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Kırılganlık; duyarlılık, maruziyet ve uyum kapasitesi olmak üzere üç ana bileşenin bir fonksiyonu olarak değerlendirilir.^{55,56}

Bebekler, küçük çocuklar, gebeler, yaşlılar ve belirli kronik hastalıklara sahip olanlar sıcağa diğerlerinden daha duyarlıdır.⁵⁵ Yaşlılarda vücudun ısıyı düzenleme yeteneği azalır ve kronik hastalıklar daha yaygındır. Bebekler ve küçük çocuklar vücut yüzey alanlarının ağırlıklarına oranla daha büyük olması ve termoregülasyon sistemlerinin tam olarak gelişmemiş olması nedeniyle risk altındadırlar. Kalp, akciğer, böbrek ve diyabet gibi kronik rahatsızlıkları olan kişiler, sıcak stresine karşı daha savunmasızdır. Gebeler vücutlarındaki fizyolojik değişiklikler nedeniyle ısıya karşı daha duyarlıdırlar.⁵⁷

Açık havada uzun saatler boyunca çalışarak veya egzersiz yaparak zaman geçirenler, evsizler veya yalıtımsız ya da klimasız binalarda yaşayan insanların yüksek sıcaklıklara maruziyeti diğer insanlardan daha yüksektir.⁵⁵

Düşük gelir nedeniyle yetersiz barınma koşulları, klima gibi soğutma sistemlerine erişimin olmaması, sağlık hizmetine ulaşamayan veya bir sıcak hava dalgası sırasında yer değiştiremeyen kişiler, evsizler ve açık hava işleri olan kişilerin diğer insanlara göre sıcağa karşı uyum kapasitesi daha düşüktür.⁵⁵

Ayrıca bu faktörlerin yanı sıra cinsiyetin de sıcak hava dalgalarının sağlık etkilerinde bir risk faktörü olduğuna dair araştırmalar bulunmaktadır. Sıcağa duyarlılığı fizyolojik olarak erkeklere göre daha az olan kadınlarda sıcak hava dalgalarına bağlı ölüm riski daha fazla artar. Çocuk ve yaşlı bakımı sorumlulukları veya evden çıkmalarına izin verilmemesi gibi nedenler ile evde kapalı kalan kadınların sıcak dalgalarında iyi havalandırılmayan ve soğutulmayan iç ortamlarda daha fazla bulunmak zorunda olmaları ve hareketliliklerinin sınırlı olması gibi kültürel faktörler de kadınların daha fazla etkilenmesine neden olabilir. Yüksek sıcaklıklarda güneşin altında ve ağır işlerde çalışmak zorunda olan işçilerin genellikle erkek olması da cinsiyete özgü sıcağa bağlı bir başka risk olarak kabul edilebilir.³⁰

2.3.5 Küresel Isınma Trendleri ve Sıcak Hava Dalgalarının Sıklığı

Sanayi devriminden bu yana insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazları, gezegenin ortalama sıcaklığında benzeri görülmemiş bir artışa neden olmuştur. Bilimsel veriler, küresel sıcaklıkların endişe verici bir hızla arttığını doğrulamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından yapılan analizlere göre, 2024 yılı, kayıtların tutulmaya başlandığı 1880'den bu yana en sıcak yıl olarak kayıtlara geçmiştir.⁵⁸ 2024'teki küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 1951-1980 dönemi ortalamasından 1,28°C daha sıcak olarak ölçülmüştür. Bu artış, sanayi öncesi dönem (1850-1900) ortalamasına göre ise 1,47°C'ye ulaşmaktadır.⁵⁸ Son on yılın tamamı, kayıtlardaki en sıcak on yıl olarak tarihe geçmiştir. Ayrıca 1850 yılından itibaren on yıllık ortalama sıcaklık artışı 0,06°C'dir. Bu veriler, gezegenimizin sistematik ve hızlanan bir ısınma trendi içinde olduğunu açıkça göstermektedir.⁵⁸

Copernicus verileri, küresel sıcaklıkların sanayi öncesi döneme (1850-1900) göre önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Son beş yıllık (2020-2024) ortalama, kayıtlardaki en yüksek sıcaklık dönemini temsil etmektedir ve 2024 yılı tek başına en sıcak yıl olarak kaydedilmiştir.⁵⁹

Avrupa, iklim değişikliğinden orantısız bir şekilde etkilenmektedir. Kıta, küresel ortalamanın yaklaşık iki katı bir hızla ısınmaktadır ve bu da onu WMO bölgeleri arasında en hızlı ısınan bölge yapmaktadır.⁶⁰ 1850-1900 döneminden bu yana Avrupa'daki sıcaklık artışı yaklaşık +2,4°C olarak ölçülmüştür. Bu artış, küresel ortalama olan 1,3-1,4°C'nin oldukça üzerindedir.^{59,60}

Copernicus İklim Değişikliği Servisi verilerine göre Ocak 2025 kayıtlara geçen en sıcak Ocak ayıdır. Ocak 2025'te küresel ortalama yüzey hava sıcaklığı 13,23°C olarak ölçülmüştür. Bu değer 1991-2020 ortalamasının 0,79°C üzerinde iken sanayi öncesi seviyenin ise 1,75°C üzerindedir.⁶¹

Türkiye, Akdeniz Havzası'nda yer alması sebebiyle küresel iklim değişikliğinin etkilerine karşı en hassas bölgelerden birinde bulunmaktadır. Yapılan bilimsel çalışmalar, ülkede belirgin bir ısınma trendi olduğunu ortaya koymaktadır. Scientific Reports dergisinde 2024 yılında yayımlanan bir araştırmaya göre, Türkiye'de sıcaklık trendi 1970'lerin sonlarına kadar bir azalma eğilimi gösterirken, 1980'den sonra küresel ısınmanın etkisiyle sürekli bir artış dönemine girmiştir. Bu çalışmada, 1980-2022 periyodu için Türkiye'nin ortalama ısınma hızı on yılda 0.52°C olarak hesaplanmıştır.⁶² Bu oran, küresel ortalama ısınma hızının oldukça üzerindedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 2024 Yılı İklim Değerlendirmesi Raporu, Türkiye'deki ısınma trendinin son yıllarda ne denli hızlandığını çarpıcı bir şekilde ortaya koymaktadır. 2024 yılı, son 54 yılın en sıcak yılı olarak kayıtlara geçmiştir.⁶³ 2024 yılı, sadece yıllık ortalama değil, aynı zamanda mevsimsel ve aylık bazda da rekorlar kırmıştır. Yılın kış ve yaz mevsimleri son 54 yılın en sıcak mevsimleri olarak kaydedilmiştir. Ayrıca Ocak, Nisan, Haziran ve Temmuz aylarında da aylık sıcaklık rekorları kırılmıştır. MGM raporuna göre, Türkiye ortalama sıcaklıklarında 2007 yılından bu yana (2011 yılı hariç) pozitif sıcaklık farkları mevcuttur.⁶³

Bilimsel veriler, sıcak hava dalgalarının küresel ölçekte daha sık ve daha şiddetli hale geldiğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. EPA tarafından yayımlanan verilere göre, ABD'deki büyük şehirlerde sıcak hava dalgalarının sıklığı 1960'larda yılda ortalama 2

iken, 2010'lar ve 2020'lerde bu rakam yılda ortalama 6'ya yükselmiştir.⁶⁴ Bu, son 60 yılda üç katlık bir artışa işaret etmektedir.

Türkiye'de yapılan çalışmalar da benzer bir eğilimi doğrulamaktadır. 2025 yılında yayımlanan bir araştırmada, Mann-Kendall trend analizi kullanılarak Türkiye'deki istasyon verileri incelenmiş ve son 45 yılda (1980-2024) yıllık sıcak dalga sayılarında istatistiksel olarak anlamlı bir artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir.⁶⁵

2.3.6 Sıcaklık Artışının Mortalite ve Morbidite Üzerine Etkileri

Sıcak hava dalgaları, insan sağlığı üzerindeki en ölümcül aşırı hava olayıdır. Dünya Sağlık Örgütü, 2000-2019 yılları arasında dünya genelinde her yıl yaklaşık 489,000 ölümün doğrudan ısıya bağlı nedenlerle gerçekleştiğini ve bu ölümlerin %45'inin Asya'da, %36'sının ise Avrupa'da meydana geldiğini bildirmektedir.²⁹ Özellikle şiddetli ve uzun süren sıcak hava dalgaları, mortalite oranlarında dramatik artışlara neden olabilmektedir. 2003 yazında Avrupa'yı vuran sıcak hava dalgası, yaklaşık 70,000 kişinin hayatını kaybetmesine yol açmıştır. 2010 yılında Rusya Federasyonu'nda 44 gün süren sıcak hava dalgası ise 56,000'den fazla ek ölüme neden olmuştur.²⁹ Daha yakın bir tarihte, 2022 yazı boyunca Avrupa'da tahminen 61.672 kişinin ısıya bağlı nedenlerle hayatını kaybettiği hesaplanmıştır.²⁹

The Lancet Countdown 2025 raporuna göre, 1990'lardan bu yana küresel olarak ısıya bağlı ölüm oranı %23 artmış ve yıllık ortalama 546,000 ölüm seviyesine ulaşmıştır.¹⁵ Sadece 2024 yılında ortalama bir kişi, normalde iklim değişikliği olmasaydı meydana gelmeyecek olacak 16 sıcak dalgası gününe maruz kalmıştır. Bu durum, bebekler ve yaşlılar için kişi başına 20 günü aşan sıcak dalgası günü anlamına gelmektedir ki bu, son yirmi yılda dört katlık bir artışı temsil etmektedir.¹⁵

2025 yılında yayımlanan kapsamlı bir çalışma, sadece 2023 yılındaki küresel sıcak hava dalgalarının 178.486 aşırı ölüme neden olduğunu tahmin etmiştir. Bu rakam, milyon kişi başına 23 ölüme denk gelmektedir. Çalışmanın en çarpıcı bulgularından biri, bu ölümlerin %54,29'unun doğrudan insan kaynaklı iklim değişikliğine atfedilebilir olmasıdır. Bu oran, iklim değişikliğiyle mücadele ve adaptasyon stratejilerinin ne denli acil olduğunu göstermektedir.⁶⁶

Türkiye, Akdeniz havzasında yer alması nedeniyle iklim değişikliğinin ve sıcak hava dalgalarının olumsuz etkilerine karşı oldukça kırılgandır. Bu konuda yapılan bilimsel çalışmalar, özellikle büyük metropollerde riskin arttığını göstermektedir. İstanbul özelinde yapılan araştırmalar, durumun ciddiyetini ortaya koymaktadır. 2013-2017 yılları arasında İstanbul'daki sıcak hava dalgalarının ölümler üzerindeki etkisini inceleyen Can ve ark.⁶⁷ tarafından yapılan araştırmaya göre, bu dönemde toplam 14 gün süren üç büyük sıcak hava dalgası, 3'er günlük gecikme periyodu da dahil edildiğinde toplam 23 günde 419 fazladan ölüme neden olmuştur. 2022 yılında yayınlanan Çulpan ve ark.⁶⁸ tarafından yapılan başka bir çalışmaya göre ise İstanbul'da 2004-2017 yılları arasında gözlenen otuz sıcak hava dalgasının toplam 4281 fazladan ölüme neden olduğu bulunmuştur.

Sıcak hava dalgaları, ölüm oranlarının yanı sıra hastalık oranlarını ve sağlık sistemi üzerindeki yükü de önemli ölçüde artırmaktadır. The Lancet Planetary Health dergisinde yayımlanan ve Portekiz'de 19 yıllık veriyi (2000-2018) inceleyen bir çalışma, sıcak hava dalgaları sırasında günlük hastane yatışlarında genel olarak %18.9'luk istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğunu ortaya koymuştur.⁶⁹ Çalışma, tüm yaş gruplarının etkilendiğini, ancak en yüksek artışın %21.7 ile 18 yaş altı çocuklarda görüldüğünü göstermiştir. İçerisinde dolaşım ve solunum hastalıklarının da olduğu 25 ana hastalık kategorisinin tamamında artışlar gözlemlenmiştir. Bu veriler, sıcak hava dalgalarının güneş çarpması, ısı yorgunluğu gibi sadece doğrudan ısıya bağlı hastalıkları tetiklemediğini, aynı zamanda kalp, solunum, böbrek, ruhsal hastalıklar gibi mevcut kronik rahatsızlıkları alevlendirerek geniş bir yelpazede morbiditeye neden olduğunu göstermektedir.⁶⁹

Sıcak hava dalgaları sırasında acil servis başvurularında belirgin bir artış gözlenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezleri (CDC) tarafından yapılan bir araştırma, 2023 yılının sıcak mevsim aylarında (Mayıs-Eylül) sıcağa bağlı hastalıklara ilişkin acil servis başvurularının önceki yıllara göre önemli ölçüde arttığını ortaya koymuştur. Özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında bu artış daha da belirginleşmiş, erkekler ve 18-64 yaş arası yetişkinler en çok etkilenen gruplar olmuştur.⁷⁰

Sun ve arkadaşları tarafından yapılan kapsamlı bir çalışma, aşırı sıcak günlerin tüm nedenlere bağlı hastalıklar, sıcağa bağlı hastalıklar, böbrek hastalıkları ve zihinsel bozukluklar için acil servis ziyaret riskini artırdığını bulmuştur. Bu çalışmaya göre, aşırı sıcak günler tüm nedenlere bağlı acil servis başvuru riskini %7,8 arttırırken, sıcağa bağlı

hastalıklar için %66,3, böbrek hastalıkları için %30,4 ve zihinsel bozukluklar için %7,9 daha yüksek acil servis başvuru göreceli risk ile ilişkilendirilmiştir.⁷¹

2012-2024 arasındaki çalışmalar ile yapılan sistematik bir derleme, sıcak dalgalarının ortopedik travma ve kronik hastalıkların alevlenmesi gibi çeşitli sağlık koşulları için acil servis başvurularını tutarlı bir şekilde artırdığını doğrulamaktadır.⁷²

65 yaş ve üzeri bireyler arasında 2016-2019 yılları verilerinin incelendiği Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışmada sıcağa bağlı acil servis ziyaretlerinde %10, sıcağa bağlı hastaneye yatışlarında %7 ve sıcağa bağlı ölümlerde %4 artış gözlenmiştir. Doğrudan sıcak çarpması sonucunda ise acil servis başvurularında 5 kat (%500), hastaneye yatışlarda 6 kattan fazla (%636) artış bulunmuştur.⁷³

2.3.7 Sıcaklık-Sağlık Eylem Planları

2023 yazında Avrupa'da yaklaşık 70.000 ölüme yol açtığı tahmin edilen benzeri görülmemiş olan bir sıcak hava dalgası meydana gelmiştir. Fransa bu felaketten en çok etkilenen ülkeler arasında yer almış ve bu ülkede yaklaşık 14.800 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu deneyim, Fransa'yı sıcak dalgalarına karşı proaktif ve yapılandırılmış bir yanıt mekanizması oluşturmaya itmiş ve 2004 yılında Plan National Canicule'nin (Ulusal Sıcak Hava Dalgası Planı) doğuşuna zemin hazırlamıştır. Bu plan, çok katmanlı, çok düzeyli ve çok bileşenli bir müdahale sistemidir ve her yıl 1 Haziran-15 Eylül tarihleri arasında aktif hale getirilmektedir.⁷⁴

Fransa'daki Ulusal Sıcak Hava Dalgası Planı toplumsal risk farkındalığını artırmak, ortak sorumluluk anlayışını yaygınlaştırmak ve dayanışma temelli hazırlık süreçlerini kurumsallaştırmayı amaçlamaktadır. Meteorolojik uyarı seviyeleri (yeşil, sarı, turuncu, kırmızı) ile halkın ve kurumların riskin ciddiyetine göre önlem almasını sağlayarak uyarı sistemleri oluşturmak, farklı bakanlıklar ve kurumlar arasında net bir görev dağılımı ve eşgüdüm sağlamak ve belediyeler aracılığıyla risk altındaki bireyleri (yaşlılar, yalnız yaşayanlar, kronik hastalar) tespit etmek, serin alanlar oluşturmak ve sosyal destek hizmetleri gibi yerel düzeyde uygulamaları sunmak bu planın temel unsurları arasındadır.⁷⁴

Planın uygulanmaya başlamasından bu yana yapılan çalışmalar, halk sağlığı müdahalelerinin sıcak dalgaları sırasındaki morbidite ve mortaliteyi azaltmada olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. 2004 yılında planın hayata geçirilmesinin ardından 2006

yılında yaşanan sıcak dalgasında, 2003 yılına kıyasla önemli ölçüde daha az ölüm rapor edilmiştir.^{75,76} Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi (UNDRR) tarafından 2025 yılında yayınlanan bir inceleme, Fransa'nın 2004'ten bu yana ciddi sıcak dalgaları sırasında aşırı mortalite gözlemlemediğini ve bu başarının erken uyarı sistemleri, sektörler arası işbirliği ve güçlü yönetişime bağlı olduğunu belirtmektedir. Halkın %75'inin sıcaklık riskleri hakkında iyi bilgilendirilmiş olması da planın iletişim stratejilerinin başarısını göstermektedir.⁷⁷

2023 yazı sadece Fransa için değil tüm Avrupa geneli için bir dönüm noktası olmuştur. Bu felaket Avrupa'daki halk sağlığı sistemlerinin aşırı sıcaklıklara karşı ne denli hazırlıksız olduğunu ve toplumların ne kadar savunmasız olduğunu acı bir şekilde ortaya koymuştur. Bu trajik olay, sıcak dalgalarının halk sağlığı üzerindeki etkilerini sistematik olarak ele alma ve kanıta dayalı önleme stratejileri geliştirme ihtiyacını doğurmuştur ve bu ihtiyaca yanıt olarak, DSÖ Avrupa Bölge Ofisi koordinasyonunda ve Avrupa Komisyonu Sağlık ve Tüketiciler Genel Müdürlüğü ortak finansmanıyla EuroHEAT (Improving public health responses to extreme weather/heat-waves) projesi başlatılmıştır.⁷⁸

Projenin temel amacı, aşırı hava olaylarına ve özellikle sıcak dalgalarına karşı halk sağlığı yanıtlarını iyileştirmektir. Bu genel amaç doğrultusunda, proje birkaç spesifik hedef belirlemiştir. Avrupa şehirlerinde sıcaklığın ve sıcak dalgalarının insan sağlığı, özellikle de mortalite (ölüm oranları) üzerindeki etkisini bilimsel yöntemlerle ölçerek sağlık etkilerinin sayısal olarak göstermesi, sağlık sistemlerinin aşırı sıcaklıklara karşı hazırlığını ve sağlığı korumaya yönelik müdahale kapasitelerini artırmak için etkili seçenekler ve stratejiler belirleyerek hazırlık ve yanıt seçeneklerinin belirlenmesi ve üye ülkelerin kendi ulusal ve yerel koşullarına uygun, etkili sıcak-sağlık eylem planları geliştirmelerine ve uygulamalarına olanak tanıyacak bir çerçeve ve rehberlik sunarak kanıta dayalı rehberlik geliştirmek bu hedefler arasında sayılabilir.⁷⁸ Proje, yedi Avrupa bilimsel kurumundan temsilcileri bir araya getirmiş ve 14 ülkeden 19 uzmanın yanı sıra Avrupa Komisyonu'ndan temsilcilerin de yer aldığı bir danışma komitesi tarafından desteklenmiştir. Bu çok disiplinli ve çok uluslu yapı, projenin bulgularının bilimsel sağlamlığını ve politik uygulanabilirliğini güvence altına almıştır.⁷⁸

EuroHEAT projesinin en önemli bilimsel çıktılarından biri, 9 Avrupa şehrinde (Atina, Barselona, Budapeşte, Londra, Milano, Münih, Paris, Roma ve Valensiya) sıcak dalgalarının mortalite üzerindeki etkisini standart bir metodoloji kullanarak karşılaştıran

çalışmadır.⁷⁹ Bu çalışma, sıcak dalgalarının halk sağlığı üzerindeki etkisine dair önemli ve nicel veriler sunmuştur. Çalışmaya göre sıcak dalgalarının etkisi şehirler arasında önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Genel olarak, Akdeniz şehirlerinde (ortalama +%21,8 artış) etki, Kuzey-Kıta şehirlerine (ortalama +%12,4 artış) göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, Akdeniz iklimindeki daha yüksek baz sıcaklıkları ve sıcak dalgalarının sıklığı ile ilişkilendirilmiştir.⁷⁹ Sıcak hava dalgalarının süresi ve yoğunluğu, mortalite üzerindeki etkiyi önemli ölçüde artırmıştır. Uzun süren ve meteorolojik olarak yoğun geçen sıcak dalgalarında mortalite artışının üç kata kadar daha fazla olabildiği gözlemlenmiştir.⁷⁹ Çalışmanın bulgularına göre sıcak dalgalarından en çok etkilenen savunmasız gruplar; yaşlılar (özellikle 75-84 yaş arası kadınlar), kronik solunum ve kardiyovasküler rahatsızlıkları olanlar ve sosyal olarak izole yaşayan bireyler olarak belirlenmiştir.⁷⁹

EuroHEAT projesinin bilimsel bulguları, somut bir halk sağlığı aracına dönüştürülmüştür ve 2008 yılında DSÖ tarafından Sıcak-Sağlık Eylem Planları (HHAP) Rehberi yayınlanmıştır. Bu rehber ülkelerin sıcak dalgalarının sağlık risklerini yönetmek için kapsamlı ve koordineli stratejiler geliştirmesi için bir yol haritası sunmuştur.⁸⁰

Rehber, etkili bir HHAP'ın sahip olması gereken sekiz temel unsuru tanımlamıştır. Bu rehberdeki sekiz temel unsura göre planın koordinasyonundan ve uygulanmasından sorumlu ulusal veya yerel düzeyde bir ana kurumun (genellikle Halk Sağlığı Kurumu veya Sağlık Bakanlığı) net bir şekilde tanımlanması gereklidir. Meteorolojik verileri (sıcaklık, nem vb.) ve sağlık eşiklerini birleştiren, sıcak hava dalgalarını önceden tahmin ederek ilgili kurumları ve halkı zamanında uyaran erken uyarı sistemleri kurulmalıdır. Sıcak hava dalgaları sırasında ve öncesinde halka, sağlık profesyonellerine ve hassas gruplara yönelik korunma önlemleri hakkında açık, anlaşılır ve zamanında bilgi akışı sağlanmalıdır. Binalarda (evler, hastaneler, bakım evleri) aşırı ısınmayı önlemeye yönelik stratejiler (gölgeleme, yalıtım, havalandırma, yeşil çatılar) uygulanmalıdır. Yaşlılar, kronik hastalar, çocuklar gibi risk altındaki gruplar belirlenmeli ve onlara yönelik özel takip, bilgilendirme ve destek hizmetleri sunulmalıdır. Hastanelerin, acil servislerin ve sosyal hizmet kurumlarının artan hasta yüküne karşı hazırlıklı olmaları sağlanmalıdır. Şehirlerde "kentsel ısı adası" etkisini azaltmaya yönelik yeşil alanlar artırılmalı, serin malzemelerin kullanılması gibi uzun vadeli stratejiler geliştirilmelidir. Planın etkinliğini ve müdahalelerin sonuçlarını değerlendirmek için gerçek zamanlı surveyans (morbidity ve mortalite verilerinin izlenmesi) ve periyodik değerlendirmeler yapılmalıdır.⁸⁰⁻⁸²

Avrupa Çevre Ajansı'nın (EEA) 2024 tarihli raporuna göre incelenen 38 ülkenin (EEA-38 ülkeleri) 21'inde ulusal, bölgesel veya yerel düzeyde bir sıcaklık-sağlık eylem planı bulunmaktadır.⁸³ Bu planların etkinliğine dair kanıtlar ise giderek artmaktadır. Örneğin, İtalya'da ulusal bir sıcaklık planının uygulamaya konulmasının ardından aşırı sıcaklıkların mortalite üzerindeki etkisinin azaldığı gösterilmiştir.⁸⁴ Benzer şekilde, Almanya'nın ulusal sıcaklık-sağlık eylem planının da sıcaklığa bağlı sağlık sonuçlarını iyileştirdiği rapor edilmiştir.⁸⁵ Ancak önemli zorluklar ve eksiklikler devam etmektedir. 2022 yazında Avrupa'da yaşanan rekor ölümler, mevcut planların etkinliğinin sınırlı olabildiğini düşündürmektedir. Bu durum, planların sürekli olarak gözden geçirilmesi, güncellenmesi ve özellikle en kırılgan gruplara ulaşmada daha etkili hale getirilmesi gerektiğini göstermektedir.⁸³

İklim değişikliğiyle mücadele konusunda 2021 yılında Paris Anlaşması'nı onaylayan ve 2053 yılı için Net Sıfır Emisyon hedefini açıklayan Türkiye, bu doğrultuda ulusal politikalarını güncellemektedir. Nisan 2023'te Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekretaryası'na sunulan Güncellenmiş Ulusal Katkı Beyanı (NDC) ile 2015'te %21 olarak belirlenen emisyon azaltım hedefi, 2030 yılına kadar %41'e yükseltilmiştir. Bu hedeflere ulaşmak amacıyla İklim Değişikliği Başkanlığı koordinasyonunda İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030) ile İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030) hazırlanmıştır. İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030) katılımcı ve kapsayıcı bir bakış açısı ile sektörlere ilişkin sera gazı azaltım politikalarını ortaya koymaktadır. NDC'nin hedeflerine ulaşmak için belirlenmiş, doğrudan sera gazı emisyon azaltımına yönelik temel strateji ve eylemler ile sorumlu ve ilgili kuruluşlara bir yol haritası sunmaktadır ve 49 strateji ve 260 eylemden oluşmaktadır. İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030) ise, Türkiye'nin iklim değişikliğine uyum konusundaki yol haritasını çizmektedir ve toplamda aralarında halk sağlığının da bulunduğu 12 sektörü kapsayan 40 stratejik hedef ve 129 eylemden oluşmaktadır.^{86,87}

Türkiye Halk Sağlığı Kurumu (şimdiki adı ile Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü) tarafından iklim değişikliğinin olumsuz sağlık etkilerinin tespit edilip gerekli önlemlerin alınması için 2015 yılında İklim Değişikliğinin Sağlık Üzerine Olumsuz Etkilerinin Azaltılması Ulusal Programı ve Eylem Planı hazırlanmıştır. Bu eylem planı sıcak hava dalgalarının sıcak sağlık üzerine olumsuz etkisinin azaltılması için stratejileri de içermekle

birlikte ulusal ve yerel düzeydeki farklılıklar nedeniyle yeterince kapsamlı değildir. Türkiye'nin sıcak hava dalgalarına yönelik özel, kapsamlı bir Ulusal Sıcak-Sağlık Eylem Planı henüz mevcut değildir ve bu durum Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadele ve uyum politikaları çerçevesinde ulusal düzeyde bütüncül bir sıcak-sağlık eylem planının gerekliliğine işaret etmektedir.⁸⁸



3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Araştırmanın Türü

Çalışma ekolojik tipte bir zaman serisi araştırmasıdır.

3.2 Araştırma Alanı

Çalışma Marmara Bölgesi'nin Çatalca-Kocaeli Bölümü'nde bulunan doğu ve güneydoğusunda Sakarya ili, güneyinde Bursa ili, batısında Yalova ili ile birlikte İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve İstanbul ili kuzeyinde ise Karadeniz ile çevrili olan Kocaeli ilinde gerçekleştirildi. Kocaeli ili 29°22'-30°21' doğu boylamı, 40 D 31 '- 41°13' kuzey enlemi arasında yer alır. İl merkezi İzmit'in doğusundan geçen 30° doğu boylamı Türkiye saati için esas kabul edilir. Kocaeli ilinin yüzölçümü 3.505 km²'dir. Asya ile Avrupa'yı birleştiren önemli bir yol kavşağı üzerinde bulunmaktadır.⁸⁹

Kocaeli ilinin 2024 itibariyle nüfusu 2.130.006 olup km² başına 623 kişi düşmektedir ve nüfus yoğunluğu açısından Türkiye'de 2.sıradadır. Türkiye'nin en kalabalık 10.ilidir. On iki ilçesi olan Kocaeli'nin nüfusu en yüksek olan ilçesi 411.800 ile Gebze iken en yüksek nüfuslu ikinci ilçesi ise 380.831 ile İzmit'tir. En düşük nüfuslu ilçesi ise 53.394 ile Kandıra'dır.⁹⁰

Kocaeli iklimi, Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasında bir geçiş oluşturmaktadır ve Kocaeli'nin Karadeniz'e bakan kıyıları ile İzmit Körfezi'ne bakan kıyıların iklimi arasında bazı farklılıklar göze çarpar. Yazın körfez kıyılarına göre Karadeniz kıyıları daha serin geçmektedir. İl merkezinde yazlar sıcak ve az yağışlı, kışlar yağışlı, zaman zaman karlı ve soğuk geçer. İl merkezinde en yüksek sıcaklık 44,1°C (13 Temmuz 2000), en düşük sıcaklık ise -18°C (9 Şubat 1929) olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 14,9°C olan Kocaeli ilinde aylık sıcaklık ortalaması en yüksek olan ay 24,0°C ile Ağustos iken en düşük olan ay ise 6,2°C ile Ocak ayıdır. Yıllık toplam yağış miktarı ortalaması 814,0 mm olan Kocaeli ilinde yıllık ortalama yağışlı gün sayısı ise 133,2 gündür.⁹¹

3.3 Meteorolojik Veriler

Kocaeli iline ait 1991-2024 yılları arası günlük maksimum ve minimum sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü 1.Bölge Müdürlüğü Kocaeli Meteoroloji İstasyonundan alınmıştır.

Günlük maksimum sıcaklık verileri ile 1991-2024 yıllarındaki yıllık ortalama maksimum sıcaklıkların değişimleri, trendleri incelenip geleceğe yönelik sıcaklık projeksiyonları yapılmıştır. Ayrıca bu verilerle aynı dönemdeki yıllık sıcak hava dalgalarının sayısı ile yıllık toplam sıcak hava dalgası içeren gün sayıları ve bunların trendleri de analiz edilmiştir.

Çalışmada günlük maksimum ve minimum sıcaklık verileri kullanılarak günlük ortalama sıcaklıklar hesaplanmıştır. Günlük ortalama sıcaklık verileri ile ise sıcak hava dalgaları ile mortalite hızları arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir.

3.4 Ölüm ve Nüfus Verileri

Kocaeli iline ait 2023 ve 2024 yılına ait ölüm verileri Sağlık Bakanlığı Ölüm Bildirim Sistemi'nden alınmıştır.

Çalışmaya tüm nedenlere bağlı ölümler, cinsiyete göre ölümler, yaş grubuna göre ölümler ve nedene özel ölümler dahil edilmiştir. Ölüm bilgileri cinsiyet erkek ve kadın olacak şekilde iki gruba ayrılırken, yaş grupları 0-14 yaş çocuk, 15-64 yaş erişkin, 65-74 yaş genç yaşlı, 75-84 yaş orta yaşlı, 85 yaş ve üstü ise ileri yaşlı yaş grubu olacak şekilde beş kategoriye ayrılmıştır.

Sıcak hava dalgaları ile ölüm nedenleri arasındaki ilişkiler ise il genelinde değil izinlerin verildiği İzmit ilçesi verilerine göre değerlendirilmiştir. ICD-10 kodlama sistemine göre belirlenmiş ölüm nedenleri bilgilerine göre nedene özel ölümler gruplandırılmıştır. Ölümler dolaşım sistemi hastalıklarına bağlı (I00-I99), solunum sistemi hastalıklarına bağlı (J00-J99) ve diğer hastalıklara bağlı ölümler (bu iki kategori dışında kalan kategoriler) olarak üç kategoriye ayrılmıştır. Ölü doğumlar ise çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

Mortalite hızlarını modelleyebilmek için gerekli olan 2023 ve 2024 yıllarına ait cinsiyet, yaş grubu ve ilçe düzeyinde nüfus verileri ise Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) resmi web sitesinden sağlanmıştır.

3.5 Araştırma İçin Gerekli İzinler

Kocaeli Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan 26.09.2024 tarihinde etik kurul izni alınmıştır (Ek 1).

Kocaeli İl Sağlık Müdürlüğü'nden 29.11.2024 tarihinde yazılı izin alınmıştır (Ek 2).

3.6 Sıcak Hava Dalgalarının Tanımlanması

Bu çalışmada sıcak hava dalgaları 1991-2024 yıllarındaki trendlerine ve 2023 ile 2024 yıllarındaki ölümlerle olan ilişkilerine göre iki farklı şekilde tanımlanmıştır.

Yıllara göre sıcak hava dalgalarının sıklığının ve eğiliminin belirlenmesinde 1991-2024 yılları arasındaki günlük maksimum sıcaklık verilerinin 95.persentil rölatif sıcaklık eşik değeri kullanılmış olup bu eşik değeri ardışık 5 gün boyunca geçen günler sıcak hava dalgası olarak kabul edilmiştir ve bu tanıma göre belirlenen yıllık sıcak hava dalgalarının sıklığının trendi analiz edilmiştir.

Sıcak hava dalgalarının ölümlere olan etkilerinin değerlendirilmesinde ise uzun yaz dönemi (Haziran-Eylül) incelenmiş olup EHF sıcak hava dalgalarının tanımlanmasında kullanılmıştır.

EHF, Avustralya Meteoroloji Bürosu'ndan Nairn ve Fawcett tarafından oluşturulup geliştirilen ve Dünya Meteoroloji Örgütü ile Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayınlanan Sıcak Hava Dalgası ve Sağlık Uyarı Sistemleri Oluşturma Rehberinde yer alan bir sıcak hava dalgası tanımlama metodudur. EHF, Aşırı Sıcak Göstergesi (Excess Heat Index, EHI) olarak isimlendirilen iki endeksten oluşmaktadır.⁹² EHIsig adı verilen endeks mevcut sıcaklıkların o bölgenin genel iklimine göre ne kadar anormal veya aşırı olduğunu ölçer. Ardışık üç günlük ortalama sıcaklığın hesaplanmasının ardından bu değerden o bölgenin tarihsel iklim verilerine dayanan 95.persentil sıcaklık değeri (T_{95}) çıkarılır. Eğer bulunan değer pozitifse incelenen üç günlük dönem o bölgenin iklimine göre alışılmadık derecede sıcak demektir. Bu sıcaklık artışının sıcak hava dalgası olarak tanımlanabilmesi için ise

ardışık 3 dönemin pozitif çıkması gerekir. EHF'yi oluşturan diğer endeks olan EHIaccl insan vücudunun ani sıcaklık artışlarına ne kadar uyum gösterebildiğini yani kısa süreli aklimatizasyonu ölçer. Bu endeks hesaplanırken ise ardışık üç günlük ortalama sıcaklık hesaplanıp ardından incelenen günden önceki 30 günün ortalama sıcaklık değeri çıkarılır. EHIsig, EHIaccl verilen 1-3 formüllerle hesaplanmaktadır:⁹²

$$EHIsig = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2}) / 3 - T_{95} \quad (1)$$

$$EHIaccl = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2}) / 3 - (T_{i-1} + \dots + T_{i-30}) / 30 \quad (2)$$

Son adım olarak ise bu iki indeks birbirleriyle özel bir çarpım kullanılarak birleştirilir ve EHF elde edilir.⁹²

$$EHF = EHIsig \times \max(1, EHIaccl) \quad (3)$$

Bu formül, EHIsig pozitif değilse EHF'nin de pozitif olmamasını sağlar. Yani sıcaklıklar uzun vadeli iklim normallerini aşmıyorsa bir sıcak hava dalgasından bahsedilemez. Eğer EHIaccl 1'den küçük veya negatifse EHF değeri doğrudan EHIsig değerine eşit olur ve bu durumda EHF sadece uzun vadeli sıcaklığa göre belirlenir. Fakat EHIaccl değeri 1'den büyükse yani son 30 güne göre belirgin sıcaklık artışı varsa bu değer EHIsig ile çarpılarak EHF'yi artırır ve bu durum ani sıcaklık artışının sıcak hava dalgasının hissedilen şiddetini arttırdığı anlamına gelir.

Çalışmada 1-3 numaralı formüllerde bulunan T_i değerleri ortalama sıcaklığı hesaplanan gündeki maksimum sıcaklığın ve takip eden gündeki minimum sıcaklığın ortalaması alınarak hesaplanmıştır. 1991-2020 döneminin sıcaklık değerleri tarihsel sıcaklık değerleri olarak belirlenmiş olup bu dönemin günlük ortalama sıcaklık verileri kullanılarak incelenen dönem olan Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için ayrı ayrı 95.persentil (T_{95}) değerleri hesaplanmıştır. Ardından 2023 ve 2024 yılları uzun yaz (Haziran-Eylül) dönemine ait günlük EHIsig, EHIaccl ve EHF değerleri yukarıda verilen 1-3 numaralı formüller ile hesaplanmıştır. EHF değerinin ardışık en az 3 gün boyunca pozitif olduğu günler ve ek olarak gecikme etkisini hesaba katmak amacıyla son pozitif günü takip eden 2 gün sıcak hava dalgası içeren günler olarak belirlenmiştir.

3.7 İstatistiksel Analiz

Kocaeli ilindeki 1991-2024 yılları günlük maksimum sıcaklık verilerinden analizlerde kullanılmak üzere yıllık ortalama maksimum ve yıllık standart sapma olmak üzere yıllık zaman serileri ve trendlerin mevsimsel dinamiğini incelemek amacıyla her bir takvim ayı için o aya ait aylık ortalama maksimum sıcaklık değerlerinden oluşan aylık zaman serileri oluşturulmuştur. Yıllık ve aylık serilerdeki trendlerin varlığı Mann-Kendall, büyüklükleri ise Sen's Slope trend analizleri ile belirlenmiştir. Trendin yapısındaki olası kırılmalar Joinpoint Regresyon Analizi ile değerlendirilmiştir. Maksimum sıcaklıkların yıl içindeki değişkenliğindeki yıllık değişimler ise yıllık standart sapma serisinin trendinin incelenmesiyle analiz edilmiştir. Sıcak hava dalgası tanımlanmasında ve sıcak hava dalgası içeren günlerin belirlenmesinde 1991-2024 yıllarındaki günlük maksimum sıcaklık verilerinin 95.persentil rölatif sıcaklık eşik değeri kullanılmıştır. Eşik değeri ardışık 5 gün boyunca geçen günler sıcak hava dalgası olarak kabul edilmiştir ve yıllık sıcak hava dalgalarının ve sıcak hava dalgası içeren günlerin sayısını içeren yıllık zaman serileri oluşturulmuştur. Bu serilerdeki trendlerin varlığı Mann-Kendall trend analizleri ile değerlendirilmiştir. Aynı yıllık trendin değişmeden devam edeceği varsayımı altında kısa, orta ve uzun vadeli olarak (2035, 2050 ve 2075 yılları) geleceğe yönelik projeksiyonlar Sen's Slope trend analizi yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir.

Kocaeli ilindeki 2023 ile 2024 yıllarında meydana gelen sıcak hava dalgalarının ölümlerle olan ilişkisinin incelenmesi amacıyla günlük bazda, her bir satır bir güne denk gelecek şekilde bir veri seti oluşturulmuştur. EHF metoduna göre iki kategorili (var/yok) olarak tanımlanan sıcak hava dalga durumu ana bağımsız değişkendir. Farklı alt gruplara ve ölüm nedenlerine göre sınıflandırılmış günlük ölüm sayıları ise bağımlı değişkenlerdir. Sıcak hava dalgalarının ölümlere olan etkilerinin değerlendirilmesinde verilerde aşırı dağılım gözlenmediğinden Poisson Regresyon Modelleri kullanılmıştır. Modellerde ölüm hızlarını analiz etmek için ilgili nüfusların doğal logaritmaları offset değişkenleri olarak kullanılmıştır. Zamansal trendler ve otokorelasyon, zamanın kübik polinom terimlerinin modellere dahil edilmesiyle kontrol edilmiştir. Ayrıca kategorik değişkenler olan haftanın günleri, resmi tatiller ve yıl değişkenleri de kontrol değişkenleri olarak modellere dahil edilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı çıkan sonuçlar için sıcağa atfedilen ölüm sayıları

(AN), $AN = ((RR-1) / RR) * N$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır.⁹³⁻⁹⁵ Burada RR Risk oranını ve N ise ilgili periyottaki ilgili grup için toplam ölüm sayısını göstermektedir. Ayrıca sıcak hava dalgalarının ölüm hızlarına olan etkilerinin alt gruplar arasında farklılaşıp farklılaşmadığını analiz edebilmek için veri seti geniş formattan uzun formata çevrilip etkileşim analizleri yapılmıştır.

Bu araştırmadaki bulgularda anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ kabul edilmiştir. Sonuçlarda %95 güven aralığı kullanılmıştır. İstatistiksel analizler SPSS v 30.0, Microsoft Office Excel ve Joinpoint Regression 5.4.0 Software programları kullanılarak yapılmıştır.

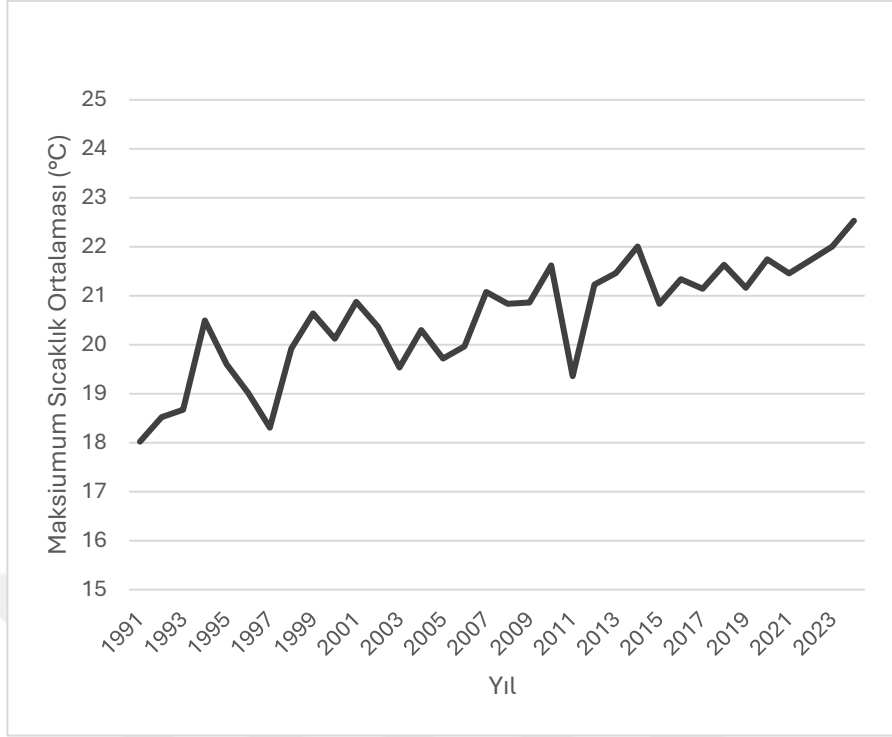


4. BULGULAR

Bu çalışmada Kocaeli ilinin 1991-2024 yıllarındaki yıllık maksimum sıcaklık trendleri analiz edilip bu trendlerin mevsimsel dinamiklerini incelemek amacıyla aylık maksimum sıcaklık trendleri incelenmiş, bu dönemdeki sıcak hava dalgaları belirlenip trendleri analiz edilmiş, geleceğe yönelik sıcaklık projeksiyonları oluşturulmuş, il ve ilçe düzeyinde 2023 ile 2024 yıllarında meydana gelen sıcak hava dalgalarının ölümlerle ilişkisi farklı alt grupları ve ilçe düzeyinde ölüm nedenlerini de kapsayacak şekilde değerlendirilmiştir.

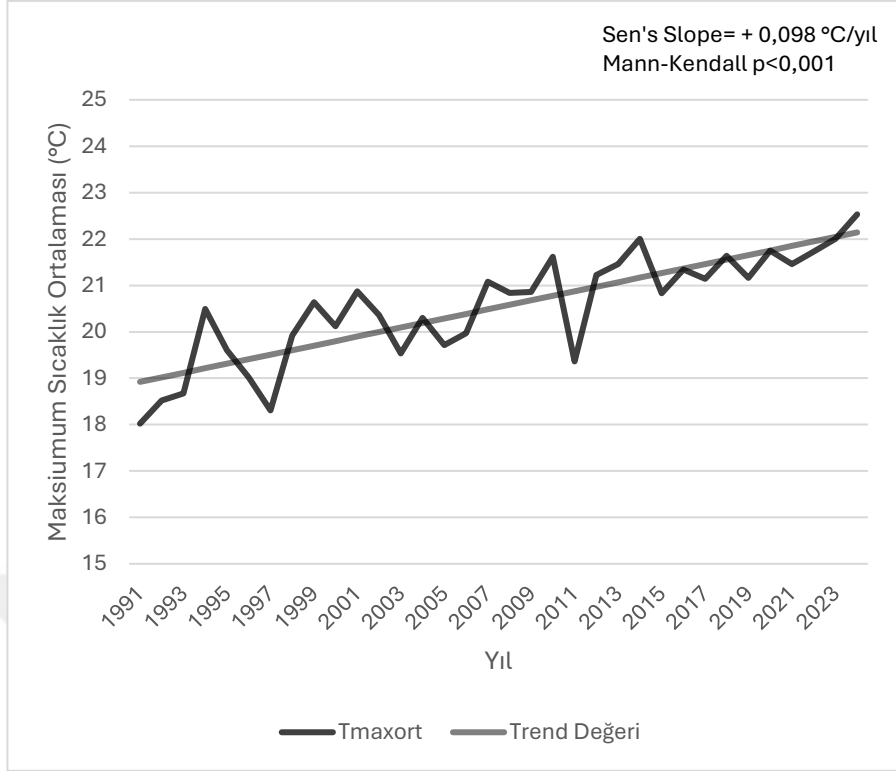
4.1 Kocaeli İli 1991-2024 Yılları Yıllık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları ve Trendleri ile İlgili Bulgular

Kocaeli ilinin maksimum sıcaklık verisi analizlerine göre 1991-2024 dönemindeki yıllık maksimum sıcaklık ortalamalarının (T_{maxort}) değişimi Şekil 1’de gösterilmiştir. 18,021 °C ve 22,531 °C arasında değişen maksimum sıcaklık ortalamalarının en düşük değerinin inceleme döneminin (1991-2024) ilk yılı olan 1991 yılında, en yüksek değerinin ise bu dönemin son yılı olan 2024 yılında gerçekleşmiş olması dikkat çekicidir.



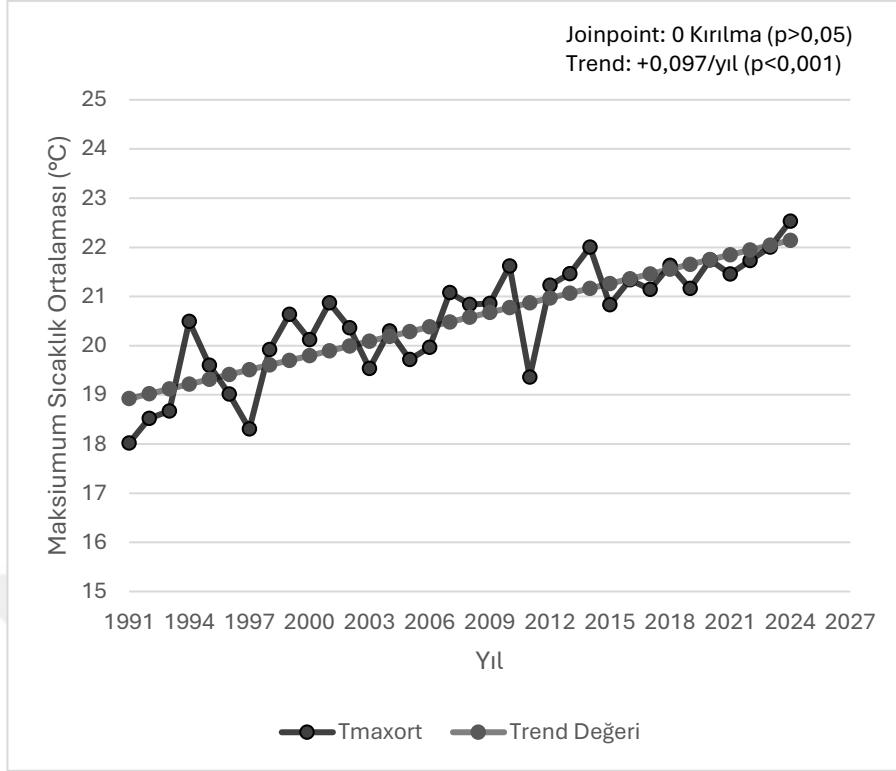
Şekil 1. Kocaeli İlindeki 1991-2024 Yılları Yıllık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları

Yapılan analizler 1991-2024 yıllarında Kocaeli ilindeki yıllık ortalama maksimum sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı bir artış trendi olduğunu ortaya çıkarmıştır ($p < 0,001$) ve trendin büyüklüğü yaklaşık $0,098^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Kocaeli İlindeki Yıllık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları Trendi (1991-2024)

Joinpoint Regresyon Analizi sonuçlarına göre incelenen dönemde trendin eğiminde istatistiksel olarak anlamlı bir yapısal kırılma tespit edilmemiştir. Şekil 3'teki dağılım grafiği bu dönemde tek bir trend segmentinin varlığını göstermektedir. Model seçim testleri, tek segmentli trendin (0 Joinpoint) çok segmentli modellere göre daha uygun olduğunu göstermiştir. (Permütasyon Testi, $p>0,05$) Bu bulgu 1991-2024 dönemi boyunca artmış ortalama maksimum sıcaklık trendinin hızında belirgin bir değişim olmadığını göstermektedir. Ayrıca parametrik bir test olan Joinpoint Regresyon Analizi sonucu bulunan artış trendinin büyüklüğü $+0,097^{\circ}\text{C/yıl}$ olarak hesaplanmıştır ve bu değer non-parametrik bir test olan Sen's Slope trendinin büyüklüğünün değeri ($+0,098^{\circ}\text{C/yıl}$) ile neredeyse aynıdır.



Şekil 3. Joinpoint Regresyon Analizine Göre Kocaeli İlindeki Yıllık Ortalama Maksimum Sıcaklık Trendi (1991-2024)

4.2 Kocaeli İli 1991-2024 Yılları Aylık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları ve Trendleri ile İlgili Bulgular

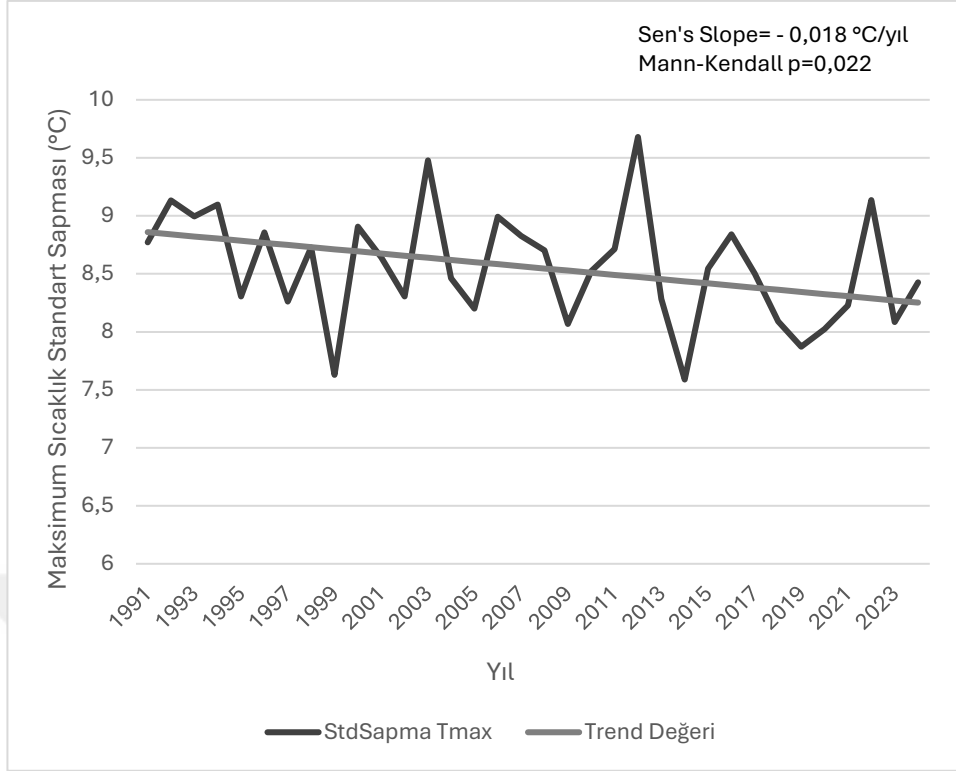
Aylık zaman serileri üzerinde yapılan trend analizleri sonucunda Nisan, Mayıs ve Ekim ayları haricindeki tüm aylarda istatistiksel olarak anlamlı bir trend varlığı bulunmuştur. En yüksek ısınma trendleri sırasıyla Aralık, Kasım ve Şubat ($+0,161^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$, $+0,137^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$, $+0,131^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$) aylarında görülürken Temmuz ve Ağustos gibi yaz aylarında sırasıyla $+0,089^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ ve $+0,110^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ ile daha düşük sıcaklık artış trendleri bulunmuştur (Tablo 1) Bu bulgu kış aylarındaki ısınmanın yaz aylarından daha yüksek olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Tablo 1: Kocaeli İlindeki Aylık Maksimum Sıcaklık Ortalamaları Trendleri

Ay	Mann-Kendall Trend Analizi p değeri	Sen's Slope Analizi Sonucuna Göre Yıllık Sıcaklık (°C) Değişimi
Ocak	0,047	+0,079
Şubat	0,002	+0,131
Mart	0,015	+0,110
Nisan	0,080	-
Mayıs	0,109	-
Haziran	0,006	+0,067
Temmuz	<0,001	+0,089
Ağustos	<0,001	+0,110
Eylül	<0,001	+0,108
Ekim	0,213	-
Kasım	0,001	+0,137
Aralık	0,001	+0,161

4.3 Kocaeli İli 1991-2024 Yılları Yıllık Maksimum Sıcaklık Standart Sapmaları ve Trendleri ile İlgili Bulgular

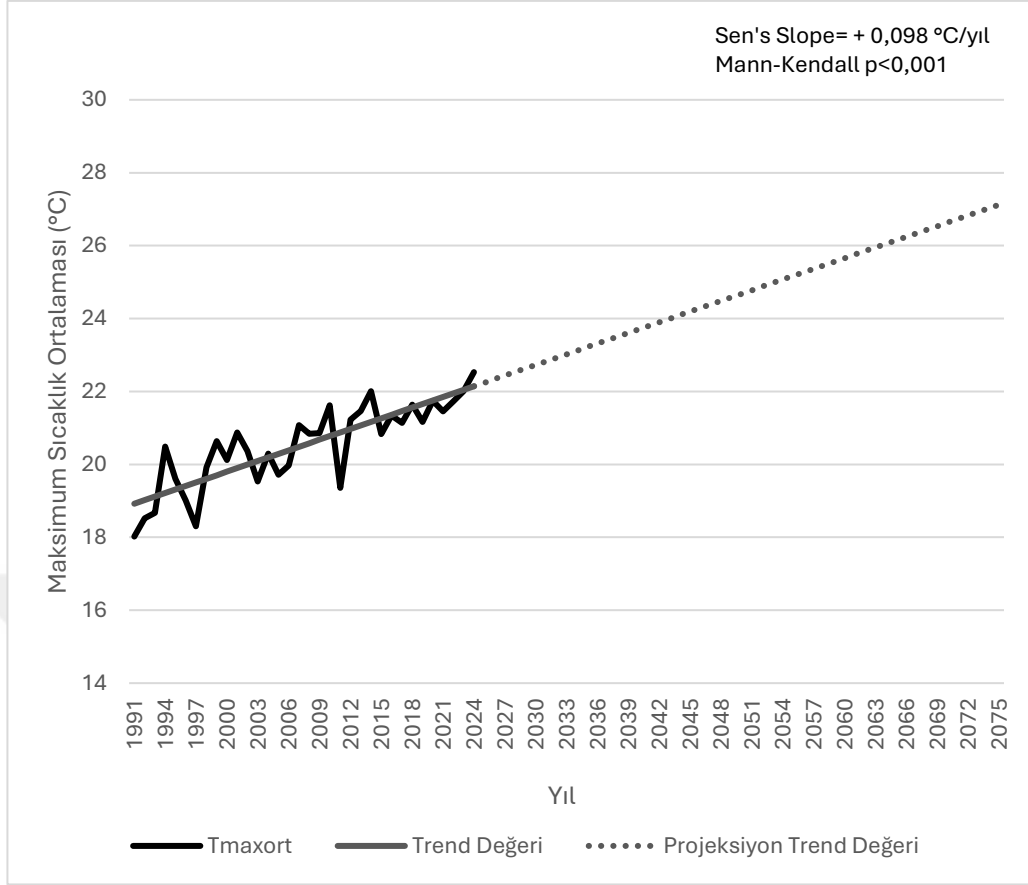
Yıllık standart sapma serisine uygulanan trend analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir trend tespit edilmiştir ($p=0,022$) ve trendin büyüklüğü $-0,018^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4) Bu bulgu yıl içindeki en soğuk ve en sıcak günler arasındaki makasın daraldığının, iklimin genel değişkenliğinin azaldığının göstergesidir ve aylık trend analizlerinin bulgusuyla uyumludur.



Şekil 4. Kocaeli İlindeki Yıllık Maksimum Sıcaklık Standart Sapmaları Trendi (1991-2024)

4.4 Kocaeli İli Geleceğe Yönelik Maksimum Sıcaklık Projeksiyonları

Yıllık ortalama maksimum sıcaklık serisi için hesaplanan Sen's Slope trend artış değerinin değişmeden gelecekte de devam edeceği varsayımı altında yapılan projeksiyonlar, 2024 yılındaki trend seviyesine göre ortalama maksimum sıcaklıklarda 2035 yılında yaklaşık 1,07°C'lik, 2050 yılında 2,54°C'lik, 2075 yılında ise 4,98°C'lik artış yaşanacağını öngörmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Kocaeli İlindeki 1991-2024 Dönemi Yıllık Maksimum Sıcaklık Trendi ve Gelecek Projeksiyonu (2025-2075)

4.5 Kocaeli İli 1991-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgaları Sıklığı ve Trendleri ile İlgili Bulgular

Kocaeli ilinde 1991-2024 dönemi günlük maksimum sıcaklıkların 95.persentil rölatif sıcaklık eşik değeri kullanılarak belirlenen yıllık sıcak hava dalgası içeren günlerin sayısı ile tarih aralıkları ve bu eşik değeri ardışık 5 gün boyunca geçen günler olarak tanımlanan yıllık sıcak hava dalgası sayısı gösterilmiştir (Tablo 2) Yıllık sıcak hava dalgası içeren gün sayısı serisine ve yıllık sıcak hava dalga sayısı serisine uygulanan analizler sonucunda istatistiksel olarak anlamlı ve artan trendler tespit edilmiştir ($p=0,002$, $p=0,004$) (Tablo 2, Şekil 6, Şekil 7).

Tablo 2: Kocaeli İli Yıllık Sıcak Hava Dalgası İçeren Gün ile Sıcak Hava Dalgası Sayıları ve Trendleri

Yıllar	Sıcak Hava Dalga Sayısı (n)	Sıcak Hava Dalgası İçeren Toplam Gün Sayısı (n)	Sıcak Hava Dalgası İçeren Günlerin Tarih Aralıkları
1991	0	0	-
1992	0	0	-
1993	0	0	-
1994	1	5	11-15 Ağustos 1994
1995	0	0	-
1996	0	0	-
1997	0	0	-
1998	1	7	31 Temmuz-6 Ağustos 1998
1999	0	0	-
2000	1	6	25-30 Temmuz 2000
2001	1	6	16-21 Temmuz 2001
2002	1	6	15-20 Temmuz 2002
2003	1	5	24-28 Ağustos 2003
2004	0	0	-
2005	0	0	-
2006	2	11	3-7 Ağustos 2006 17-22 Ağustos 2006
2007	2	14	23-28 Haziran 2007 19-26 Ağustos 2007
2008	1	6	15-20 Ağustos 2008
2009	0	0	-
2010	2	17	3-7 Ağustos 2010 9-20 Ağustos 2010
2011	2	13	16-21 Temmuz 2011 24-30 Temmuz 2011
2012	4	26	10-16 Temmuz 2012 24-30 Temmuz 2012 5-10 Ağustos 2012 22-27 Ağustos 2012
2013	0	0	-
2014	1	8	10-17 Ağustos 2014
2015	2	13	26 Temmuz-1 Ağustos 2015 12-17 Ağustos 2015
2016	2	13	13-17 Temmuz 2016 5-12 Ağustos 2016
2017	1	6	28 Haziran-3 Temmuz 2017
2018	1	5	31 Ağustos-4 Eylül 2018

n: Sayı

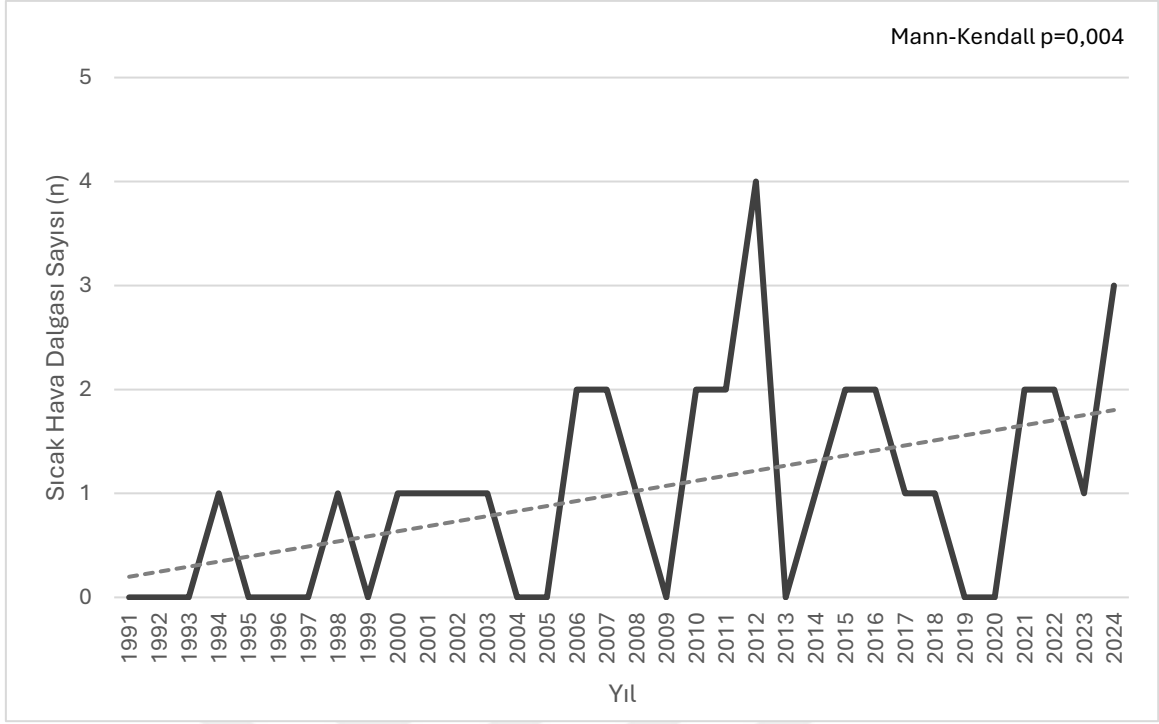
Tablo 2: Kocaeli İli Yıllık Sıcak Hava Dalgası İçeren Gün ile Sıcak Hava Dalgası Sayıları ve Trendleri (devamı)

Yıllar	Sıcak Hava Dalga Sayısı (n)	Sıcak Hava Dalgası İçeren Toplam Gün Sayısı (n)	Sıcak Hava Dalgası İçeren Günlerin Tarih Aralıkları
2019	0	0	-
2020	0	0	-
2021	2	17	15-20 Temmuz 2021 27 Temmuz-6 Ağustos 2021
2022	2	20	5-9 Ağustos 2022 16-30 Ağustos 2022
2023	1	7	2-8 Ağustos 2023
2024	3	22	10-14 Haziran 2024 15-25 Temmuz 2024 18-23 Ağustos 2024
			Mann-Kendall: *p=0,002 Mann-Kendall: **p=0,004

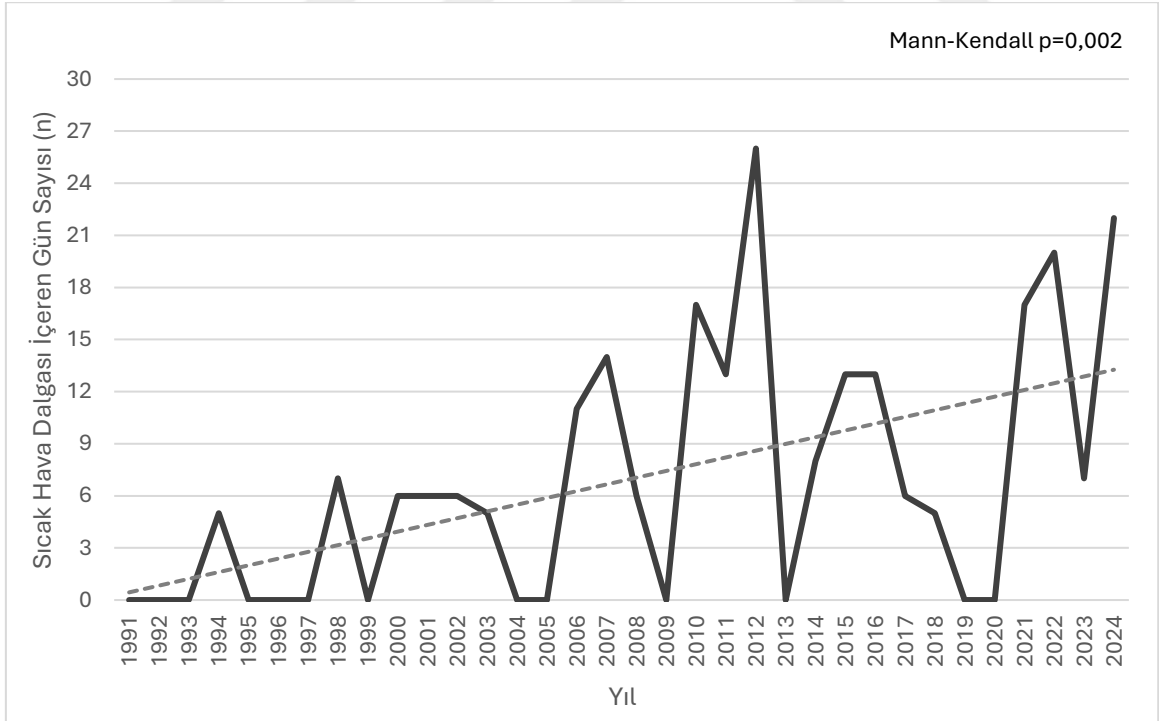
n: Sayı

*Yıllık Sıcak Hava Dalgası İçeren Toplam Gün Sayısı

**Yıllık Sıcak Hava Dalga Sayısı



Şekil 6. Kocaeli İlindeki Yıllık Sıcak Hava Dalgası Sayısı Trendi (1991-2024)



Şekil 7. Kocaeli İlindeki Yıllık Sıcak Hava Dalgası İçeren Gün Sayısı Trendi (1991-2024)

4.6 Kocaeli İli Uzatılmış Yaz Dönemi 2023-2024 Dönemi Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Ölümünün Tanımlayıcı Bulguları

Kocaeli ilinin tarihsel 1991-2020 yılları Haziran-Eylül dönemi günlük ortalama sıcaklıkları için 95. persentil değerleri hesaplanmış olup Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarına ait T₉₅ değerleri sırasıyla 27,00 °C, 28,72 °C, 29,09 °C ve 26,75 °C olarak bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3: 1991-2020 Yılları Haziran-Eylül Dönemi Günlük Ortalama Sıcaklıkların 95. Persentil Değerleri

	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
T ₉₅ (°C)	27,00	28,72	29,09	26,75

T₉₅: 1991-2020 Yılları Haziran-Eylül Dönemi Günlük Ortalama Sıcaklıkların 95. Persentili

Kocaeli ili uzatılmış yaz sezonu olan Haziran-Eylül dönemindeki 2023 ve 2024 yıllarının günlük ortalama sıcaklıkları sırasıyla 25,23 °C ve 26,58 °C olarak hesaplanmıştır.

EHF methoduna göre 2023 yılında 2 tane olmak üzere toplamda 12 gün, 2024 yılında ise 4 tane olmak üzere toplamda 29 gün süren sıcak hava dalgası tespit edilmiştir.

Kocaeli ilinde Haziran-Eylül dönemi günlük ortalama ölüm sayısı 2023 ve 2024 yıllarında sırasıyla 23,79 ve 27,41 iken ölüm hızları ise 1,13 ve 1,29 olarak bulunmuştur.

Cinsiyete göre günlük ortalama ölüm sayısı ise 2023 ve 2024 yıllarında sırasıyla erkeklerde 13,03 ve 14,86 iken kadınlarda ise 10,75 ve 12,55 olarak hesaplanmıştır.

Yaş gruplarına göre günlük ortalama ölüm sayıları ise 2023 ve 2024 yıllarında sırasıyla çocuk yaş grubunda (0-14 yaş) 0,59 ve 0,62, erişkin yaş grubunda (15-64 yaş) 6,30 ve 7,12, genç yaşlı yaş grubunda (65-74 yaş) 5,99 ve 6,55, orta yaşlı yaş grubunda (75-84 yaş) 6,05 ve 7,44, ileri yaşlı yaş grubunda ise (85+ yaş) 4,86 ve 5,67 olarak tespit

edilmiştir. İncelenen yıllardaki günlük ortalama ölüm sayıları ve ilgili ölüm hızları alt gruplar ile birlikte Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4: Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Sıcaklıkların ve Ölümelerin Tanımlayıcı Özellikleri (Haziran-Eylül)

Özellikler	2023 Yılı	2024 Yılı
Sıcak Hava Dalga Sayısı	2	4
Sıcak Hava Dalgası İçeren Toplam Gün Sayısı	12	29
Günlük Ortalama Sıcaklık (°C)	25,23	26,58
Nüfus	2 102 907	2 130 006
Günlük Ortalama Ölüm Sayısı (n) (Hızı X 100k)	23,79 (1,13)	27,41 (1,29)
Günlük Ortalama Cinsiyete Göre Ölüm Sayısı (n) (Hızı X 100k)		
Erkek	13,03 (1,23)	14,86 (1,38)
Kadın	10,75 (1,03)	12,55 (1,19)
Günlük Ortalama Yaş Grubuna Göre Ölüm Sayısı (n) (Hızı X 100k)		
Çocuk (0-14 Yaş)	0,59 (0,13)	0,62 (0,14)
Erişkin (15-64 Yaş)	6,30 (0,43)	7,12 (0,48)
Genç Yaşlı (65-74 Yaş)	5,99 (5,16)	6,55 (5,41)
Orta Yaşlı (75-84 Yaş)	6,05 (13,08)	7,44 (14,73)
İleri Yaşlı (85+ Yaş)	4,86 (42,13)	5,67 (46,96)

n: Sayı

X 100k: Yüz Binde

4.7 Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarının Mortaliteye Etkileri

Yapılan analizlere göre il genelinde sıcak hava dalgası olan günlerde, olmayan günlere göre tüm nedenlere bağlı mortalite riskinde %13,9'luk istatistiksel olarak anlamlı bir artış saptanmıştır ($p<0,001$) (Tablo 5).

Sıcak hava dalgasının mortalite riskinde erkeklerde %13,2'lik ($p=0,011$) kadınlarda ise %14,9'luk ($p=0,009$) istatistiksel olarak anlamlı bir artışa neden olduğu görülmüştür (Tablo 5). Cinsiyetler arasında sıcak hava dalgası sırasındaki mortalite risk artışı büyüklükleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı etkileşim analizi yapılarak incelenmiş bu risk artışının büyüklüğünün iki cinsiyet arasında anlamlı bir fark oluşturmadığı bulunmuştur ($p=0,620$).

İleri yaşlılarda (85+ yaş) sıcak hava dalgasına bağlı mortalite riskinde %21,8'lik ($p=0,011$) istatistiksel olarak anlamlı bir artış meydana gelmiştir. Çocuk (0-14 yaş) erişkin (15-64 yaş), genç yaşlı (65-74 yaş), orta yaşlı (75-84 yaş) gruplarda ise mortalite riskinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış tespit edilememiştir ($p=0,820$) (Tablo 5) Yapılan etkileşim analizi sıcak hava dalgasına bağlı mortalite riskinin yaş grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gösterdiğini ($p<0,001$) ve yaşla birlikte artıp risk merdiveni bulgusu oluşturduğunu göstermektedir. Yani genel olarak yaşla birlikte artan mortalite risk artışı sıcak hava dalgası sırasında da aynı eğilimde olup yaş arttıkça artmaktadır.

Tablo 5: Kocaeli İlindeki Sıcak Hava Dalgalarının Mortalite Üzerindeki Etkisi: İl Geneli İçin Alt Grup Analizleri (2023-2024)

Alt Grup	RR (%95 GA)	p değeri*
Tüm Popülasyon	1,139 (1,062-1,222)	<0,001
Cinsiyet		
Erkek	1,132 (1,029-1,245)	0,011
Kadın	1,149 (1,036-1,274)	0,009
Yaş Grubu		
0-14 (Çocuk)	1,247 (0,794-1,958)	0,338
15-64 (Erişkin)	1,141 (0,996-1,307)	0,058
65-74 (Genç Yaşlı)	1,076 (0,932-1,242)	0,317
75-84 (Orta Yaşlı)	1,128 (0,984-1,293)	0,083
85+ (İleri Yaşlı)	1,218 (1,045-1,419)	0,011

RR: Hızların Oranı

GA: Güven Aralığı

*: Poisson Regresyon Analizi

Referans: Sıcak hava dalgası yaşanmayan günler

4.8 Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Alt Gruplardaki Sıcak Hava Dalgalarına Bağlı Atfedilen Ölüm Sayısı Bulguları

Yapılan mortalite analizi sonuçlarından çıkan RR (hızların oranı) bulguları doğrultusunda il genelinde sıcak hava dalgalarına atfedilen toplam fazladan ölüm sayısı 145 olarak hesaplanmıştır. Bu fazladan ölümlerin 74'ünün erkeklerde 71'inin ise kadınlarda olduğu saptanmıştır (Tablo 6).

Yaş gruplarında anlamlı mortalite risk artışı sadece ileri yaşlı grupta olduğu için atfedilen ölümler sadece bu yaş grubu için hesaplanabilmektedir ve fazladan ölümlerin 45'inin bu yaş grubunda meydana geldiği tespit edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6: Kocaeli İlinde Alt Gruplara Göre Sıcak Hava Dalgalarına Bağlı Atfedilen Ölüm Sayıları (2023-2024)

Alt Grup	Sıcak Hava Dalgalarına Atfedilen Ölüm Sayısı
Tüm Popülasyon	145
Cinsiyet	
Erkek	74
Kadın	71
Yaş Grubu	
0-14 (Çocuk)	-
15-64 (Erişkin)	-
65-74 (Genç Yaşlı)	-
75-84 (Orta Yaşlı)	-
85+ (İleri Yaşlı)	45

4.9 Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarına Atfedilen Ölüm Sayılarının Sıcak Hava Dalgalarına Göre İncelenmesi

Kocaeli ilinde 2023-2024 Haziran-Eylül döneminde EHF'ye göre 2023 yılında 2 tane ve 2024 yılında 4 tane olmak üzere toplam 6 tane sıcak hava dalgası meydana geldiği görülmüştür. 2023 yılındaki sıcak hava dalgalarının birincisi 20-24 Temmuz 2023 tarihlerinde görülmüş olup 5 gün boyunca sürerken, ikincisi ise 2-8 Ağustos 2023 tarihlerinde ortaya çıkıp 7 gün boyunca devam etmiştir. 2024 yılındaki sıcak hava dalgalarının ise birincisi 1-6 Haziran 2024, ikincisi 9-15 Haziran 2024, üçüncüsü 15-25 Temmuz 2024 ve dördüncüsü ise 11-15 Eylül 2024 tarihlerinde meydana gelirken bu sıcak hava dalgaları sırasıyla 6, 7, 11 ve 5 gün sürmüştür. Bu bulgular Tablo 7'de sunulmuştur.

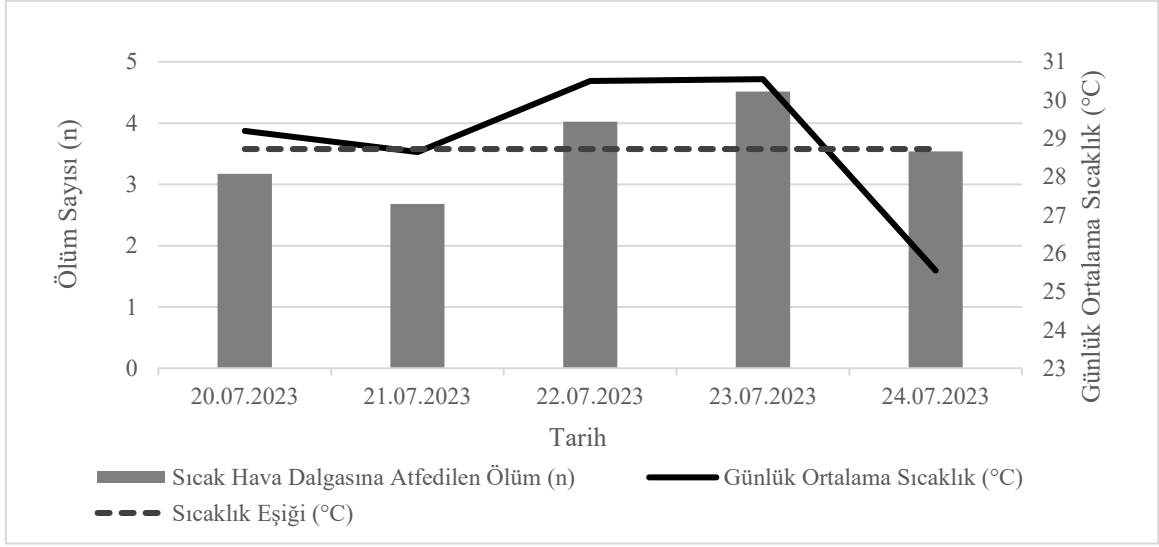
Tablo 7: Kocaeli İli 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarının Tanımlayıcı Özellikleri (Haziran-Eylül)

Sıcak Hava Dalgası	İçerdiği Toplam Gün Sayısı	Tarih Aralığı
2023		
Sıcak Hava Dalgası-1	5	20-24 Temmuz 2023
Sıcak Hava Dalgası-2	7	2-8 Ağustos 2023
2024		
Sıcak Hava Dalgası-1	6	1-6 Haziran 2024
Sıcak Hava Dalgası-2	7	9-15 Haziran 2024
Sıcak Hava Dalgası-3	11	15-25 Temmuz 2024
Sıcak Hava Dalgası-4	5	11-15 Eylül 2024

2023 ve 2024 yılları arasında sıcak hava dalgaları sırasındaki ölüm hızları büyüklükleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı etkileşim analizi yapılarak incelenmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0,523$). Bu durum iki yıl içerisindeki sıcak hava dalgaları sırasındaki mortalite risk artışlarının benzer olduğunu göstermektedir.

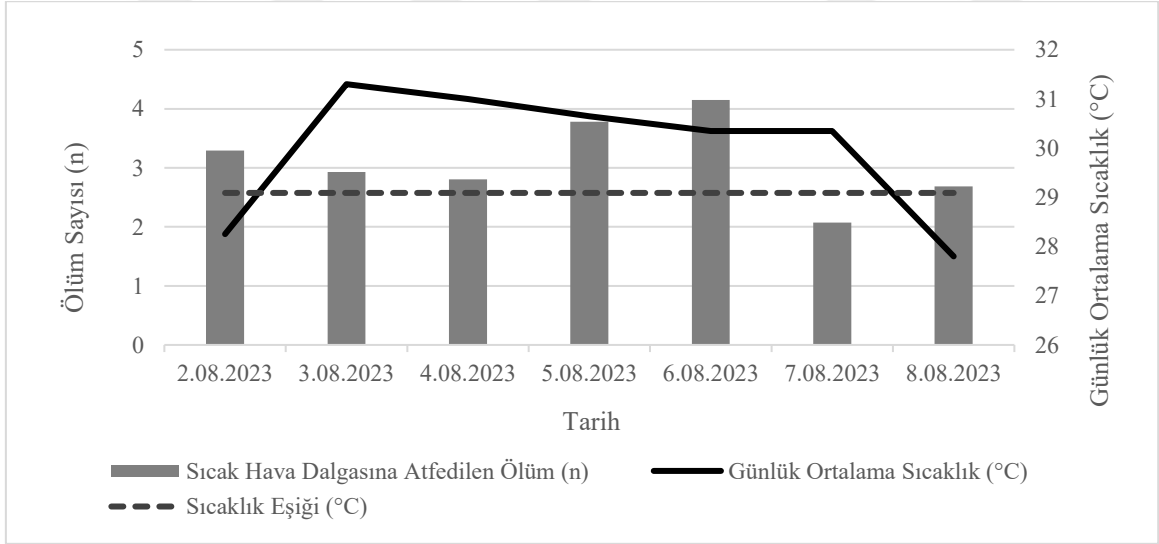
Kocaeli ilinde 2023 ve 2024 yılları süresince sıcak hava dalgasına bağlı olarak toplamda 145 atfedilen ölüm gerçekleşmiştir. Bu ölümlerin 40'ının 2023 yılında, 105'inin ise 2024 yılında gerçekleştiği hesaplanmıştır.

2023 yılındaki 40 sıcak hava dalgasına atfedilen ölümün 18'inin ilgili yılın birinci sıcak hava dalgasında, 22'sinin ise ikinci sıcak hava dalgasında meydana geldiği hesaplanmıştır. 2023 yılı birinci ve ikinci sıcak hava dalgaları sırasında günlük sıcağa atfedilen ölümler ve günlük ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Sıcaklık Eşiği (°C): 1991-2020 dönemine ait günlük ortalama sıcaklıkların 95.persentil değerini temsil etmektedir.

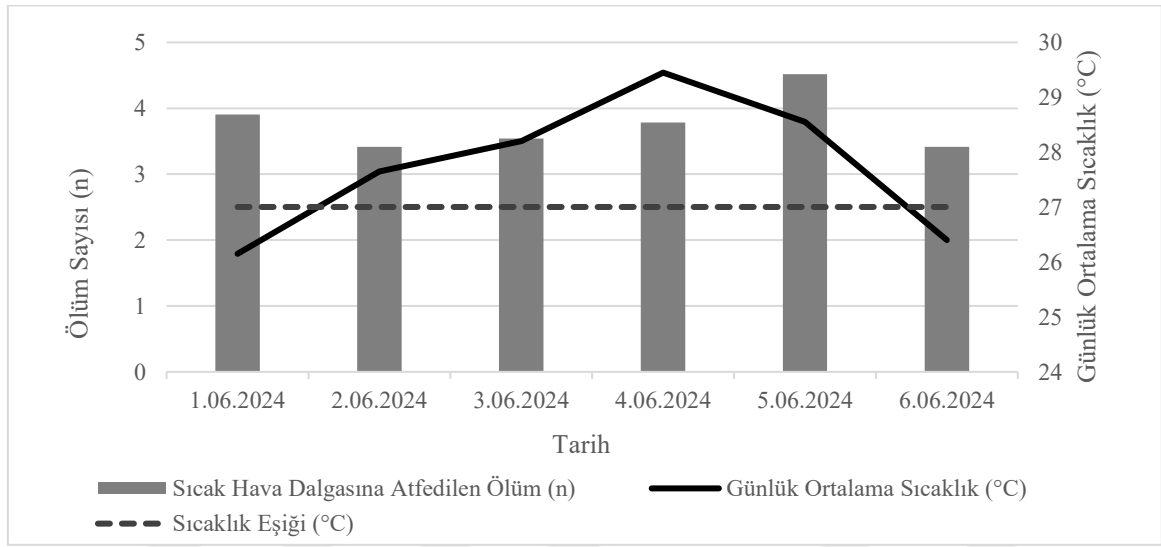
Şekil 8. Kocaeli İli 2023 Yılı Birinci Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri



Sıcaklık Eşiği (°C): 1991-2020 dönemine ait günlük ortalama sıcaklıkların 95.persentil değerini temsil etmektedir.

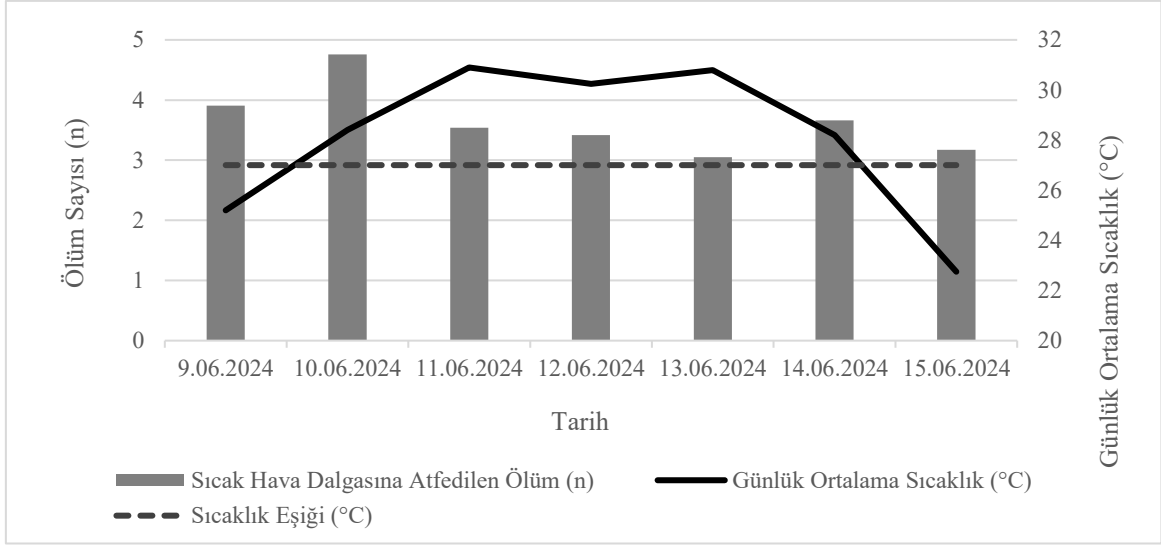
Şekil 9. Kocaeli İli 2023 Yılı İkinci Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri

2024 yılındaki 105 sıcak hava dalgasına atfedilen ölümün 22'sinin ilgili yılın birinci sıcak hava dalgasında, 25'inin ikinci sıcak hava dalgasında, 42'sinin üçüncü sıcak hava dalgasında ve 16'sının dördüncü sıcak hava dalgasında meydana geldiği hesaplanmıştır. 2024 yılı birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü sıcak hava dalgaları sırasında günlük atfedilen ölümler ve EHF değerleri sırasıyla Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te gösterilmiştir.



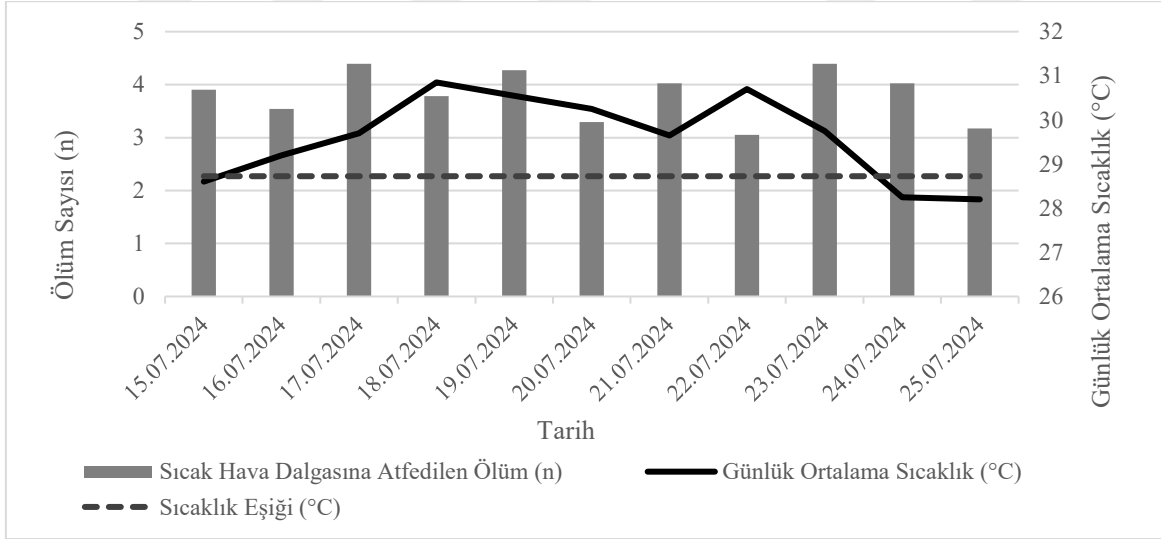
Sıcaklık Eşiği (°C): 1991-2020 dönemine ait günlük ortalama sıcaklıkların 95.persentil değerini temsil etmektedir.

Şekil 10. Kocaeli İli 2024 Yılı Birinci Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri



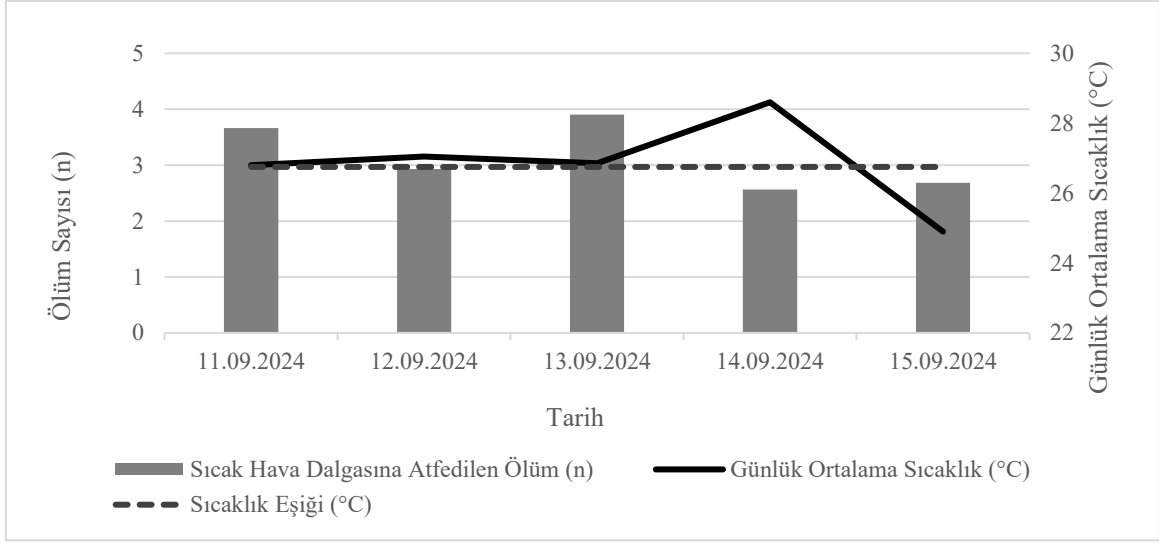
Sıcaklık Eşiği (°C): 1991-2020 dönemine ait günlük ortalama sıcaklıkların 95.persentil değerini temsil etmektedir.

Şekil 11. Kocaeli İli 2024 Yılı İkinci Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri



Sıcaklık Eşiği (°C): 1991-2020 dönemine ait günlük ortalama sıcaklıkların 95.persentil değerini temsil etmektedir.

Şekil 12. Kocaeli İli 2024 Yılı Üçüncü Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri



Sıcaklık Eşiği (°C): 1991-2020 dönemine ait günlük ortalama sıcaklıkların 95.persentil değerini temsil etmektedir.

Şekil 13. Kocaeli İli 2024 Yılı Dördüncü Sıcak Hava Dalgasındaki Günlük Sıcağa Atfedilen Ölüm Sayıları ve Günlük Ortalama Sıcaklık Değerleri

4.10 İzmit İlçesi 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarının Mortaliteye Etkileri

Yapılan analizlere göre ilçe genelinde sıcak hava dalgası olan günlerde, olmayan günlere göre tüm nedenlere bağlı mortalite riskinde istatistiksel olarak anlamlı bir bulgu saptanamamıştır ($p=0,059$) (Tablo 8).

Cinsiyete göre analizlerde de hem erkeklerde ($p=0,110$) hem kadınlarda ($p=0,302$) sıcak hava dalgalarına bağlı mortalite riskinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış tespit edilememiştir (Tablo 8).

Yaş gruplarına göre yapılan analizler sonucunda benzer şekilde hiçbir yaş grubunda sıcak hava dalgalarına bağlı mortalitede istatistiksel olarak anlamlı risk artışı bulunmamıştır (Tablo 8).

Tablo 8: İzmit İlçesindeki Sıcak Hava Dalgalarının Mortalite Üzerindeki Etkisi: İlçe Geneli İçin Alt Grup Analizleri (2023-2024)

Alt Grup	RR (%95 GA)	p değeri*
Tüm Popülasyon	1,111 (0,996-1,239)	0,059
Cinsiyet		
Erkek	1,124 (0,974-1,298)	0,110
Kadın	1,092 (0,924-1,292)	0,302
Yaş Grubu		
0-14 (Çocuk)	1,322 (0,775-2,255)	0,306
15-64 (Erişkin)	1,103 (0,907-1,342)	0,326
65-74 (Genç Yaşlı)	1,168 (0,942-1,449)	0,156
75-84 (Orta Yaşlı)	0,988 (0,787-1,240)	0,918
85+ (İleri Yaşlı)	1,192 (0,906-1,567)	0,209

RR: Hızların Oranı

GA: Güven Aralığı

*: Poisson Regresyon Analizi

Referans: Sıcak hava dalgası yaşanmayan günler

4.11 İzmit İlçesi 2023-2024 Yılları Sıcak Hava Dalgalarının Nedene Özel Mortaliteye Etkileri

Yapılan analizler sonucunda İzmit İlçesi genelinde sıcak hava dalgası olan günlerde, olmayan günlere göre tüm nedenlere bağlı mortalite riskinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış bulunamamıştır ($p=0,059$) (Tablo 9).

Nedene özel mortalite analizlerinde ise kardiyovasküler ($p=0,149$), solunum sistemi ($0,523$) ve diğer kategorisindeki ($0,250$) hastalık gruplarının tamamında sıcak hava dalgalarına bağlı mortalitede anlamlı risk artışı tespit edilememiştir (Tablo 9).

Tablo 9: İzmit İlçesindeki Sıcak Hava Dalgalarının Mortalite Üzerindeki Etkisi: İlçe Geneli İçin Nedene Özel Mortalite Analizleri (2023-2024)

Ölüm Nedeni Kategorileri	RR (%95 GA)	p değeri*
Tüm Nedenlere Bağlı Ölümler	1,111 (0,996-1,239)	0,059
Ölüm Nedeni Kategorisi		
Kardiyovasküler Hastalıklar	1,161 (0,948-1,423)	0,149
Solunum Sistemi Hastalıkları	1,092 (0,834-1,429)	0,523
Diğer Hastalıklar	1,090 (0,941-1,264)	0,250

RR: Hızların Oranı

GA: Güven Aralığı

*: Poisson Regresyon Analizi

Referans: Sıcak hava dalgası yaşanmayan günler

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada Kocaeli ilinde 1991-2024 yıllarında yıllık ortalama maksimum sıcaklık trendleri ile sıcak hava dalgalarının sıklığı ve trendleri incelenip geleceğe yönelik projeksiyonlar yapılmıştır ve 2023-2024 yıllarındaki sıcak hava dalgalarının ölümlere olan etkileri değerlendirilmiştir.

5.1 Yıllık Ortalama Maksimum Sıcaklık Trendlerinin Değerlendirilmesi

Çalışmada Kocaeli ili 34 yıllık (1991-2024) periyottaki yıllık ortalama maksimum sıcaklık serisine uygulanan Mann-Kendall testi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir artış trendi bulunmuştur ($p < 0,001$) ve bu artış trendinin büyüklüğü Sen's Slope ile $0,098^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Türkiye’de sıcaklık trendleri üzerine yapılan çalışmalar, ülkenin genel olarak bir ısınma trendi içinde olduğunu göstermekle birlikte, hesaplanan $+0,098^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ değerinin bu genel trendin üzerinde olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, Aşıkoğlu ve ark.⁹⁶ Türkiye’nin 81 ili için 1960-2022 dönemini kapsayan çalışmalarında, ülke genelindeki ortalama maksimum sıcaklık artışını $0,031^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ olarak bildirmiştir. Bu karşılaştırma, bizim bulgumuzun Türkiye ortalamasının üç katından daha yüksek bir ısınma hızına işaret ettiğini göstermektedir. Ayrıca yine aynı çalışmada Kocaeli ili için ortalama maksimum sıcaklık artışı ise $0,012^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ olarak bulunmuştur ve bizim çalışmamızdaki değer ile bu bulgu arasındaki fark, ülke genelindeki değer ile arasındaki farka göre daha da yüksektir.⁹⁶ Şevgin ve Öztürk⁶² 1950-2022 dönemini kapsayan çalışmalarında, Türkiye genelindeki sıcaklık trendinin 1970’lerin sonuna kadar düşüş gösterdiği, ardından 1980 sonrası sürekli bir artış eğilimine girdiği rapor edilmiştir. 1980-2022 arasında Türkiye’deki ortalama sıcaklık artışı on yılda $0,52^{\circ}\text{C}$ ($0,052^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$) olarak hesaplanmıştır.⁶²

Bu çalışmada bulunan değer, yalnızca Türkiye ortalamalarının değil, aynı zamanda küresel ve Avrupa geneli ısınma oranlarının da üzerindedir. NASA 1975 yılından günümüze her on yılda küresel ortalama sıcaklığın $0,15^{\circ}\text{C}$ ile $0,20^{\circ}\text{C}$ arasında arttığını raporlarken EPA ise 1979’dan bu yana küresel ortalama sıcaklık artış hızını on yılda $0,18^{\circ}\text{C}$ ila $0,28^{\circ}\text{C}$ arasında belirtmektedir.^{97,98} WMO verilerine göre 1991-2021 döneminde Avrupa kıtası genelinde her on yılda ortalama sıcaklığın $0,5^{\circ}\text{C}$ arttığı bildirilmiştir.⁹⁹

Bununla birlikte iklim değişikliğinin sıcak noktalarından (hotspots) biri olan Orta Doğu’da yapılan çalışmalarda bulgumuza benzer veya daha yüksek değerlere rastlanmıştır. Örneğin, Irak’ta yapılan bir çalışmada, bazı istasyonlarda maksimum sıcaklık artışının 0,101°C/yıl’a ulaştığı rapor edilmiştir.¹⁰⁰

Bu alışmada Kocaeli ilinin küresel ısınmanın en hızlı şekilde yaşandığı 1991-2024 döneminin analiz edilmesi, iklim değişikliğine hassas bir bölge olan bölgesel hotspot içinde bulunması, yoğun sanayileşme geçmişine bağlı olarak 1990 yıllarından itibaren aerosol maskelemesinin kalkmasıyla bir ısınma yaşaması ve kentsel ısı adası gibi güçlü etkilere maruz kalması elde edilen eğim değerinin yüksekliğini açıklayan önemli faktörlerdir.

Küresel ısınmanın 1970’lerin sonlarından itibaren belirgin bir şekilde hızlandığı bilinmektedir. EPA verileri, 1979’dan bu yana ısınma oranının, 20. yüzyıl başından itibaren hesaplanan uzun dönemli ortalamadan 2 ila 3 kat daha yüksek olduğunu göstermektedir.⁹⁸ Benzer şekilde NASA, küresel ısınmanın üçte ikisinin 1975’ten sonra gerçekleştiğini belirtmektedir.⁹⁷

20. yüzyılın başlarından 1940’lara kadar belirgin bir ısınma dönemi yaşanmıştır. Ancak, yaklaşık 1940’tan 1970’lere kadar olan dönemde küresel ortalama sıcaklıklardaki artış durmuş, hatta hafif bir soğuma eğilimi gözlemlenmiştir. Bu durağanlığın arkasındaki ana nedenin, İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde Kuzey Amerika ve Avrupa’daki hızlı sanayileşmeye bağlı olarak atmosfere salınan yüksek miktardaki antropojenik aerosoller olduğu gösterilmektedir. Özellikle sülfat aerosollerindeki bu artış, sera gazlarının neden olduğu ısınma etkisini geçici olarak dengelemiş ve küresel sıcaklık artışını maskelemiştir.^{101,102} 1970’ler ve 1980’lerden itibaren, asit yağmurları gibi çevresel ve sağlık sorunlarına yönelik endişeler, birçok gelişmiş ülkede hava kalitesini iyileştirmeye yönelik katı düzenlemelerin hayata geçirilmesini sağlamıştır. Bu düzenlemeler, özellikle kükürt dioksit (SO₂) emisyonlarında önemli düşüşlere yol açmıştır. Küresel SO₂ emisyonlarının 2000’lerin ortasından bu yana yaklaşık %40 oranında azaldığı rapor edilmektedir.¹⁰³

Bu olumlu çevresel gelişmenin beklenmedik bir sonucu, aerosollerin soğutucu “maskesinin” ortadan kalkmaya başlaması ve altta yatan sera gazı kaynaklı ısınmanın daha belirgin hale gelmesidir. Aerosol emisyonlarındaki azalmanın, son yirmi yıldaki küresel sıcaklık artışının yaklaşık dörtte birinden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. Sadece

Çin'in 2006-2017 yılları arasında SO₂ emisyonlarını %70'ten fazla azaltmasının küresel ısınmaya yaklaşık 0.06°C eklediği ve Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) 2020'de getirdiği gemi yakıtlarındaki kükürt sınırının tek başına gezegeni yaklaşık 0.04°C ısıttığı hesaplanmaktadır.¹⁰³ Copernicus, Avrupa'da 1990 yıllarından itibaren meydana gelen hızlı ısınmanın nedenlerinden birinin 1980'lerden itibaren hava kalitesi düzenlemeleriyle azalan aerosol salınımı olduğunu belirtmektedir.¹⁰⁴

Sülfat aerosollerinin küresel ısınmayı yavaşlatıcı etkisi, bu emisyonların tolere edilebileceği anlamına gelmemektedir. Aksine aerosollerin, özellikle de fosil yakıt yanmasından kaynaklananların, insan sağlığı ve çevre üzerindeki yıkıcı etkileri çok yüksektir. Bu nedenle küresel ölçekte aerosol emisyonlarının azaltılması halk sağlığı ve ekolojik açıdan bir zorunluluktur. Aerosol kirliliğinin en tehlikeli bileşeni, çapı 2.5 mikrometreden küçük olan ince partikül maddelerdir (PM2.5). Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, hava kirliliği her yıl yaklaşık 6,7 milyon erken ölümden sorumludur ve bu ölümlerin büyük bir kısmı PM2.5 maruziyetiyle ilişkilidir.¹⁰⁵ Sülfat aerosollerinin ana öncüsü olan kükürt dioksit (SO₂), atmosferde su ve diğer bileşiklerle reaksiyona girerek sülfürik asit oluşturur. Bu asit, yağmur, kar veya sis ile yeryüzüne indiğinde "asit yağmuru" olarak bilinen çevresel felakete yol açar. EPA'ya göre asit yağmurlarının göllerin ve akarsuların pH seviyesini düşürerek sucul ekosistemi bozması, topraktaki önemli minarelleri çözerek ağaçların beslenmesini engellemesi gibi ekosisteme büyük zararları vardır.¹⁰⁶

Tüm fosil yakıtlar eşit miktarda aerosol salınımına neden olmaz. Emisyon miktarı, yakıtın türüne ve içerdiği kükürt miktarına bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Kömür en yüksek kükürt içeriğine sahip ve en yüksek aerosol emisyon salınımına neden olan fosil yakıttır. Ham petrol de doğal olarak kükürt içerir ve SO₂ ile partikül madde emisyonuna neden olur. Fosil yakıtlar arasındaki doğal gazın ise kükürt içeriği son derece düşüktür. Bu nedenle, doğal gaz yakıldığında ortaya çıkan SO₂ emisyonları neredeyse ihmal edilebilir düzeydedir. ABD'de 1997-2012 yılları arasında kömürden doğal gaza geçişin, enerji sektöründen kaynaklanan SO₂ emisyonlarında %44'lük bir azalma sağladığı rapor edilmiştir.¹⁰⁷

Kocaeli, Türkiye'nin en önemli sanayi merkezlerinden biridir. Özellikle 1960 yıllarından itibaren Kocaeli ilinde sanayileşme yoğun şekilde artmıştır. 1990'lardan itibaren ise Türkiye'de ve Kocaeli'de doğalgaz kullanımının yaygınlaşması ve daha sıkı emisyon kontrol standartlarının getirilmesiyle birlikte atmosferdeki aerosol konsantrasyonu

azalmaya başlamıştır. Bu durum daha önce maskelenmiş olan birikimli sera gazı etkisinin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

1960-2022 yıllarını kapsayan Aşıkoğlu ve ark.⁹⁶ çalışması, bu yavaş ısınma veya soğuma dönemini de kapsadığı için, 1980 sonrası yaşanan hızlı ısınmanın etkisini azaltmakta ve sonuç olarak düşük bir ortalama trend değeri ortaya koymaktadır. Bu etki sanayi kenti olan Kocaeli ilinde daha da belirgin olduğu için Kocaeli ili maksimum sıcaklıklar için Aşıkoğlu ve arkadaşlarının çalışmasındaki $0,012^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ değeri ile bizim çalışmamızdaki $0,098^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ değeri arasındaki büyük fark bu mekanizma ile açıklanabilir. Bununla birlikte Şevgin ve Öztürk.⁶² çalışmasındaki Türkiye'deki ortalama sıcaklık trendindeki 1970'lerin sonuna kadar düşüş göstermesi bulgusu da yine bu sonuçlarla örtüşmektedir.

Kocaeli'de gözlemlenen yüksek ısınma oranı, sadece aerosol-sera gazı dinamiği ile değil, aynı zamanda birçok yerel ve bölgesel faktörün etkisiyle açıklanabilir. Kocaeli için bulunan $0,098^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ 'lık ısınma oranı, Şevgin ve Öztürk⁶² Türkiye geneli için 1980-2022 dönemi için hesapladığı $0,052^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ 'lık değerden yine de daha yüksektir. Bu önemli fark, Kocaeli'nin özel durumuyla açıklanabilir. Kocaeli'deki sanayileşmeden dolayı yoğun kentsel ısı adası etkisi bu durumun en önemli nedenlerinden biridir. Nitekim, kentsel alanların kırsal alanlara göre iki kat daha hızlı ısındığı bilinmektedir.¹⁰⁸ Bizim çalışmamızın 1991'den başlayıp 1980-1990 arasındaki daha yavaş ısınma dönemini dışarıda bırakarak, küresel ısınmanın en hızlı olduğu dönemi incelemiş olması Şevgin ve Öztürk⁶² çalışmasına göre trend değerinin daha yüksek çıkmasının bir başka nedeni olabilir. Ayrıca bizim çalışmamızda maksimum sıcaklıkların Şevgin ve Öztürk⁶² çalışmasında ise ortalama sıcaklıkların kullanılmış olması aradaki trend büyüklüğü farkını etkileyebilecek bir faktör olabilir.

Bu çalışmada, Mann-Kendall ve Sen's Slope analizlerine ek olarak, ısınma oranındaki olası yapısal değişiklikleri araştırmak amacıyla Joinpoint regresyon analizi de uygulanmıştır. Analiz sonucunda, incelenen 1991-2024 dönemi için yıllık maksimum sıcaklık serisinde istatistiksel olarak anlamlı bir kırılma noktası tespit edilmemiş (0-joinpoint modeli) ve bu sonuç, ısınma oranının dönem boyunca anlamlı bir hızlanma veya yavaşlama göstermeden, sabit bir eğimle devam ettiğini göstermektedir. Literatürde, daha uzun (örn. 100+ yıl) ve daha geniş ölçekli (küresel veya yarım küre) sıcaklık serilerini inceleyen çalışmalarda, iklim dinamiklerindeki değişimlere karşılık gelen bir veya daha

fazla kırılma noktası tespit edilebilmektedir. Örneğin, Werner ve ark.¹⁰⁹ küresel sıcaklık serilerinde parçalı regresyon modelleri kullanmış, ancak model seçim kriterlerine göre sadece bir kırılma noktası olan modellerin bile sıklıkla tercih edildiğini belirtmiştir. Bizim çalışmamız gibi daha kısa (34 yıl) ve yerel ölçekli bir analizde 0-joinpoint modeli bulmak, bu nedenle beklenen bir sonuçtur. Özellikle 1990 sonrası gibi küresel ısınmanın zaten hızlanmış olduğu bir dönemin incelenmesi, trendin yüksek ancak istikrarlı bir oranda devam etmesiyle sonuçlanabilir.

Aynı zamanda parametrik bir yöntem olan Joinpoint Regresyon Analizi sonucundan elde edilen eğim değeri 0,097°C/yıl olarak bulunmuştur. Bu değer aykırı değerlere karşı daha dayanıklı olan ve farklı bir hesaplama mantığına dayanan non-parametrik Sen's Slope analizi sonucunda 0,098°C/yıl olarak bulunan eğim değeriyle neredeyse aynıdır. Bu metodolojik tutarlılık bulgularımızın sağlamlığını güçlendirmektedir.

5.2 Aylık Ortalama Maksimum Sıcaklık Trendlerinin ve Yıllık Standart Sapma Trendinin Değerlendirilmesi

Aylık maksimum sıcaklık serilerine uygulanan Mann-Kendall ve Sen's Slope trend analizleri sonucunda kış aylarının yaz aylarından daha çok ısındığı sonucu bulunmuştur. Yıllık negatif maksimum sıcaklık standart sapma trend analizi sonucu da yıl içindeki mevsimler arasındaki sıcaklık makasının daraldığını göstermektedir ve aylık trend analizlerinin bulgusunu desteklemektedir.

Kış aylarında daha yüksek ısınma oranları gözlemlenen bir eğilimdir ve bununla ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'nın verilerine göre, 20. yüzyılın başından itibaren ABD'de kış sıcaklıkları, yaz sıcaklıklarının neredeyse iki katı hızla artmıştır (yüzyılda 2,0°F'ye karşılık 1,1°F).¹¹⁰ ABD'nin 245 bölgesinde yapılan bir çalışmada 1970 yılından itibaren bu bölgelerin %76'sında en fazla ısınan mevsimin kış olduğu bulunmuştur.¹¹¹

Kış aylarının ılımanlaşması, özellikle yaşlı ve kronik hastalığa sahip hassas gruplarda görülen soğuk kaynaklı kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıklarına bağlı ölümlerde bir azalmaya yol açabilir. Kış aylarındaki ölüm oranlarının diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğunu, dolayısıyla kışların ısınmasının bu yükü hafifletebileceğini öne süren çalışmalar vardır.¹¹² Buna karşın kış aylarının daha hızlı ısınması mevsimsellik

paternlerini değiştirerek vektör kaynaklı hastalıkların coğrafi dağılımını ve yaygınlığını etkileyebilir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre daha ılıman kışlar hastalık taşıyıcısı böceklerin yaşam alanlarını genişletmekte ve aktif dönemlerini uzatmaktadır.² Bununla birlikte uzayan büyüme mevsimi ve daha erken ilkbahar alerjen sezonunun uzamasına yol açmaktadır. Ziska ve arkadaşlarının Kuzey Yarımküre'de yaptığı retrospektif analiz sıcaklık artışının polen bolluğunu ve alerjen sezonunun süresini arttırdığını göstermiştir.¹¹³

Sera gazlarının günlük minimum sıcaklıkları günlük maksimum sıcaklıklara göre daha fazla arttırıcı özelliği vardır. Sera gazları, gece boyunca yeryüzünden uzaya kağan uzun dalga radyasyonu tutarak gece sıcaklıklarının daha fazla artmasına neden olur. Bu durum, günlük sıcaklık aralığını (DTR) daraltır ve genel sıcaklık değişkenliğini azaltır. NOAA'ya göre, 1900'den beri gece sıcaklıkları, gündüz sıcaklıklarından %28 daha yüksek bir oranda ısınmıştır.¹¹⁰ Kim ve ark.¹¹⁴ çalışmasındaki tropik gecelerin mortalite riskini %9-10 arttırması bulgusu gece sıcaklıklarının halk sağlığı açısından önemini vurgulamaktadır. Aynı çalışmada bu durumun mekanizması gece sıcaklığının belirli bir eşik değerin altına düşmemesi durumunda insanların serinleyemeyip gündüz sıcağından kurtulamayacağı ve böylece gecelerin yüksek sıcaklıkta olmasının vücuda ekstra bir yük getireceği şeklinde açıklanmıştır.¹¹⁴ çalışmamızda maksimum sıcaklık trendleri değerlendirilmiş olup minimum sıcaklık trendleri ise incelenmemiştir. Gelecek alışmalarda Kocaeli için minimum sıcaklık trendlerinin ve tropik gece sayısının analiz edilmesi bu potansiyel sağlık risklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

5.3 Geleceğe Yönelik Maksimum Sıcaklık Artışı Projeksiyonları Bulgularının Değerlendirilmesi

Çalışmamızda elde ettiğimiz projeksiyonlar Sen's Slope trend artış değerinin değişmeden gelecekte de devam edeceği varsayımı altında yapılmıştır ve 2024 yılındaki Sen's Slope trend seviyesine göre maksimum sıcaklıklarda 2035 yılında yaklaşık 1,07°C'lik, 2050 yılında 2,54°C'lik, 2075 yılında ise 4,98°C'lik artış yaşanacağını öngörmektedir. IPCC Altıncı Değerlendirme Raporu Etkileşimli Atlas verilerine göre 1995-2014 dönemi referans alındığında en yüksek emisyon senaryosu olan en kötümser senaryoya göre (SSP5-8,5) küresel ölçekte tahmin edilen maksimum sıcaklık artış projeksiyonları 2021-2040 dönemi için 0,8°C, 2041-2060 dönemi için 1,6°C, 2081-2100

dönemi için 3,8°C iken Akdeniz havzası ve MENA (Orta Doğu ve Kuzey Afrika) bölgesi için tahmin edilen maksimum sıcaklık artış projeksiyonları ise 2021-2040 dönemi için 1,0°C, 2041-2060 dönemi için 2,1°C, 2081-2100 dönemi için ise 4,8°C'dir.¹¹⁵

Çalışmamızda 2035 yılı için öngördüğümüz +1,07°C'lik artış IPCC kısa dönem projeksiyonlarında en kötümser senaryoya göre (SSP5-8,5) küresel ölçekte olan projeksiyonun üzerinde iken Akdeniz havzası ve MENA bölgesi projeksiyonuna ise oldukça yakındır. Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası ve MENA bölgesinin, iklim değişikliğine karşı en hassas "sıcak noktalar" (hotspots) arasında yer aldığı ve küresel ortalamadan 1,5 ila 2 kat daha hızlı ısındığına dair bulgular vardır.¹¹⁶ Nitekim, MENA bölgesinin küresel ısınma eşiklerine 20-30 yıl daha erken ulaşabileceği öngörülmektedir.¹¹⁷ Bu bağlamda, Kocaeli için hesaplanan kısa vadeli projeksiyon, bölgenin yüksek iklim hassasiyetini yansıtan bir bulgudur.

2050 yılı için öngördüğümüz +2,54°C'lik artış IPCC'nin orta vadeli dönem için en kötümser küresel senaryosunun (1,6°C) dahi yaklaşık 1,5 katı iken Akdeniz havzası ve MENA bölgesi için olan aynı dönem ve en kötümser senaryonun da (2,1°C) üzerindedir. Ancak bu değer, Kocaeli'nin kendine özgü dinamikleri çerçevesinde değerlendirilmelidir. 1990 sonrası dönemde aerosol maskeleyme etkisinin ortadan kalkmasıyla yaşanan telafi edici ısınma ve yoğun kentsel ısı adası etkisi, Kocaeli'nin yerel trendini üst seviyelere çıkarmıştır. Bu yüksek yerel trendin orta vadede bir miktar devam edeceği varsayıldığında, +2,54°C'lik değer, iklim politikalarının yetersiz kalması ve mevcut yerel dinamiklerin sürmesi durumunda ulaşılacak bir senaryo olarak yorumlanabilir. Yine de bu projeksiyonun, 26 yıllık bir ekstrapolasyona dayandığı ve önemli belirsizlikler içerdiği unutulmamalıdır.

2075 yılı için öngörülen +4,98°C'lik artış, IPCC'nin 2080-2100 dönemi için öngördüğü en kötümser küresel projeksiyonun (3,8°C) üzerindedir. Akdeniz ve MENA bölgesi 2080-2100 dönemi için yapılan en kötümser projeksiyonun (4,8°C) da üzerinde olduğu görülmüştür. Bu yapılan tahmin 51 yıllık çok uzun bir ekstrapolasyon dönemine dayandığı için yüksek derecede belirsizlikler içerir.

Sen's Slope trend analizine dayalı gelecek projeksiyonları, Kocaeli ilinin iklim değişikliğine karşı ne denli hassas olduğunu ve acil eylem gerekliliğini ortaya koymaktadır. İklim değişikliğiyle mücadelede hiçbir önlemin alınmadığı, emisyonların kontrolsüzce

arttığı ve yerel ısınma dinamiklerinin şiddetlenerek devam ettiği bir senaryonun potansiyel sonuçlarını göstermesi açısından önemlidir.

5.4 Sıcak Hava Dalgalarının Sıklığı ve Trendleri Bulgularının Değerlendirilmesi

Çalışmamızda, sıcak hava dalgaları, ardışık 5 gün veya daha uzun süre boyunca günlük maksimum sıcaklıkların (Tmax) 1991-2024 referans döneminin 95. persentilini aşması olarak tanımlanmıştır. Yıllık sıcak hava dalga sayısı ve yıllık sıcak hava dalgası içeren gün sayısı için Mann-Kendall trend analizi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, 1991-2024 döneminde Kocaeli’de hem yıllık sıcak hava dalga sayısında ($p=0,004$) hem de yıllık sıcak hava dalgası içeren gün sayısında ($p=0,002$) istatistiksel olarak anlamlı artış trendi tespit edilmiştir. Bu bulgular, Kocaeli’nin son 34 yılda daha sık ve daha uzun süreli sıcak hava dalgaları yaşadığını göstermektedir.

IPCC Altıncı Değerlendirme Raporu, insan kaynaklı iklim değişikliğinin 1950'lerden bu yana sıcak hava dalgalarının sıklığını ve yoğunluğunu artırdığını olarak ortaya koymaktadır.¹¹⁸ Perkins-Kirkpatrick ve ark.¹¹⁹ tarafından yapılan ve Berkeley Earth sıcaklık veri setini kullanan kapsamlı bir analiz, 1950'lerden bu yana sıcak hava dalgası sıklığı, süresi ve kümülatif ısısında küresel bir hızlanma olduğunu göstermiştir. Çalışmaya göre, trendlerdeki en hızlı ve istatistiksel olarak en anlamlı değişimin sıcak hava dalgası sıklığında olduğu gözlemlenmiştir. EPA tarafından tutulan iklim göstergeleri de bu eğilimi doğrulamaktadır. ABD’de 1960’larda yılda ortalama iki sıcak hava dalgası yaşanırken, bu sayı 2010’lar ve 2020’lerde yılda ortalama altıya yükselmiştir.⁶⁴ Wang ve ark.¹²⁰ tarafından yapılan bir başka çalışma, küresel sıcak hava dalgası riskinin son bir yüzyılda beş kat arttığını ve bu artışın büyük ölçüde insan kaynaklı iklim değişikliğinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Çalışma ayrıca, gelecekteki ısınma senaryoları altında bu riskin katlanarak artacağını öngörmektedir.

Sıcak hava dalgası trendleri bölgesel olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Bazı bölgeler, "sıcak noktalar" (hotspots) olarak adlandırılan ve ısınmanın küresel ortalamadan çok daha hızlı gerçekleştiği alanlar olarak öne çıkmaktadır. Akdeniz havzası ve Orta Doğu bu bölgelerden biridir ve bu bölgenin iklim değişikliğine karşı en hassas “sıcak noktalar” (hotspots) arasında yer aldığını gösteren çalışmalar mevcuttur. Fernandez-Garza ve ark. Akdeniz bölgesi ve Valencia’da 1979’dan beri sıcak hava dalgalarının arttığını ve gelecekte

bu artışın devam edeceğini öngörmüştür.¹²¹ Perkins-Kirkpatrick & Lewis en büyük trendlerin Orta Doğu, Afrika'nın bazı bölgeleri ve Güney Amerika'da görüldüğünü belirtmektedir.⁶⁴ Kocaeli'deki bulgularımız, bu bölgesel ve küresel eğilimler ile uyumludur.

Türkiye'de ise Erlat ve ark.¹²² 88 meteoroloji istasyonunu kapsayan kapsamlı çalışması, Türkiye'de 1950'den beri daha sık, daha uzun ve daha sıcak sıcak hava dalgalarının yaşandığını ve en büyük değişimlerin 1990'ların ortasından sonra Karadeniz ve Akdeniz kıyılarında meydana geldiğini rapor etmiştir. Bizim çalışmamızın 1991-2024 dönemini kapsaması, tam olarak bu hızlanma dönemine denk gelmektedir ve Kocaeli'nin Türkiye genelindeki bu trendin bir parçası olduğunu doğrulamaktadır. Tatlı ve ark.¹²³ 2025 yılında yayımlanan çalışmasında ise 1970-2022 dönemi Türkiye genelinde 277 meteoroloji istasyonundan alınan günlük maksimum sıcaklık verileri kullanılmış ve sıcak hava dalgalarının sıklığında zaman içinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğu ve yıllık ortalama sıcak hava dalgası sayısının 1970'lerde yaklaşık 5 iken, 2000'lerden itibaren ise 10'un üzerine çıktığını gösterilmiştir. Bu eğilim özellikle Marmara, Ege ve Karadeniz bölgelerinde belirgindir.

5.5 Sıcak Hava Dalgalarının Mortalite Üzerine Etkisi ile İlgili Bulguların Değerlendirilmesi

Bu çalışma, sanayileşmiş bir kent olan Kocaeli'de 2023 ve 2024 yıllarının yaz aylarında yaşanan sıcak hava dalgalarının tüm nedenlere bağlı mortaliteyi istatistiksel olarak anlamlı düzeyde, %13,9 oranında artırdığını ortaya koymuştur. Rölatif risk tahminlerinin ötesine geçerek, bu etkinin halk sağlığı yükünü somutlaştırmak amacıyla yapılan atfedilen ölüm hesaplamaları, incelenen iki yaz döneminde sıcak hava dalgalarına atfedilebilecek toplam 145 fazladan ölüm olduğunu göstermiştir. Bu, sıcak hava dalgalarının sadece istatistiksel bir risk faktörü olmadığını, aynı zamanda somut ve önlenebilir can kayıplarına yol açan bir halk sağlığı krizi olduğunu vurgulamaktadır. Yaş ve cinsiyete göre yapılan detaylı analizler, bu riskin ve yükün en belirgin şekilde 85 yaş üstü popülasyonda yoğunlaştığını ortaya koyarak, Türkiye'de bu alanda yapılan sınırlı sayıdaki araştırmaya hem metodolojik sağlamlık hem de kırılabilirlik dinamikleri açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

Bu çalışmanın metodolojik tasarımı, çevresel epidemiyoloji alanındaki güncel standartlarla uyumlu olarak, bulguların güvenilirliğini en üst düzeye çıkarmayı hedeflemiştir. Çalışmanın bu kısmında sıcak hava dalgalarının sıklık ve trend analizlerinden farklı olarak mortaliteye olan etkisinin ölçümünde sıcak hava dalgası tanımında EHF yöntemi kullanılmıştır ve bunun sebebi EHF'nin sağlık etkilerini ortaya koymadaki gücüdür. Nairn ve Fawcett tarafından geliştirilen EHF, sıcaklık anomalisini hem kısa vadeli (önceki 30 gün) hem de uzun vadeli (klimatolojik referans dönemi) sapmalara göre değerlendirerek, popülasyonun alışkın olmadığı ve fizyolojik olarak strese neden olabilecek ısıyı daha hassas bir şekilde tanımlar.⁴⁹ 1991-2020 gibi 30 yıllık standart bir periyodun referans alınması, bu tanımın iklimsel normlara dayalı olmasını sağlamıştır. Ayrıca, sıcak hava dalgasının bitiminden sonraki iki günün de analizlere dahil edilmesi, sıcaklığa maruziyetin sağlık etkilerinin gecikmeli olarak ortaya çıkabildiği epidemiyolojik bulgularla uyumludur ve etkinin tam olarak yakalanmasına olanak tanımıştır.^{49,124} Son yıllarda küresel ölçekte EHF yönteminin kullanıldığı çok sayıda çalışma yapılmıştır.^{50,69,125} Türkiye'de ise Çulpan ve ark.⁶⁸ tarafından İstanbul'da 2004-2017 döneminin incelendiği çalışmada sıcak hava dalgalarının tanımlanmasında EHF metodolojisi kullanılmıştır.

Sıcak hava dalgalarının mortalite üzerindeki etkisini modellemek için Poisson regresyon modeli tercih edilmiştir. Analizlerin en büyük zorluklarından biri olan zamanla değişen karıştırıcı faktörlerin kontrolü için zaman serisi verilerinde sıkça karşılaşılan otokorelasyon ve mevsimsellik gibi uzun dönemli trendlerin etkisini kontrol altına almak amacıyla, zaman için kübik polinom fonksiyon terimleri kullanılmıştır. Bu yöntem bu tür analizlerde yaygın olarak kabul gören esnek bir yaklaşımdır.¹²⁶ Bu esnek modelleme tekniği, sıcak hava dalgalarının akut etkisini, altta yatan zamansal paternlerden başarılı bir şekilde ayırtmamızı sağlamıştır. Ayrıca, mortalite verilerinde bilinen haftalık döngüleri (haftanın günü), resmi tatilleri ve yıllar arası olası temel farklılıkları kontrol etmek için yıl değişkenini kontrol değişkeni olarak modele dahil etmemiz, karıştırıcı etkileri en aza indirme çabamızın bir parçasıdır ve bu alandaki standart uygulamalarla örtüşmektedir.^{126,127} Nüfus dinamiklerindeki değişimleri hesaba katmak ve mutlak ölüm sayıları yerine mortalite hızlarını modellemek amacıyla nüfusun doğal logaritmasının offset değişkeni olarak kullanılması da çalışmamızın metodolojik gücünü artıran bir diğer önemli unsurdur.

Çalışmanın bir diğer metodolojik gücü, katmanlı analizlerin ötesine geçerek etkileşim analizlerini kullanmasıdır. Cinsiyet ve yaş gibi faktörlerin sıcak hava dalgalarının etkisini değiştirip değiştirmediğini (modifikasyon) test etmek için, veri seti geniş formattan uzun formata dönüştürülmüş ve sıcak hava dalgası ile bu değişkenler arasında etkileşim terimleri modele eklenmiştir. Bu yaklaşım ile, alt gruplardaki risk farklılıklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmiş olup sadece katmanlı analizlere dayanarak yapılabilecek yanıltıcı yorumların önüne geçilmesinin sağlanması hedeflenmiştir.¹²⁸

Son olarak, atfedilen ölüm sayısı, sadece istatistiksel olarak anlamlı risk artışı saptanan gruplar için $AN = (RR-1) / RR * N$ atfedilen oran formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama, relatif risk gibi göreceli ölçütlerin yanı sıra, halk sağlığı uygulayıcıları ve politika yapıcılar için daha anlaşılır ve eyleme dönük bir metrik olan mutlak etki büyüklüğünü ortaya koymaktadır.¹²⁹

Çalışmamızda elde edilen %13,9'luk genel mortalite artışı, küresel ve bölgesel bulgularla uyumludur. Bu risk artışı, İstanbul'da daha önce yapılan %6 ile %21 ve %7 ile %31 arasında değişen risk artışları raporlayan çalışmalar ile tutarlıdır.^{67,68} Bu bulgu Avrupa genelinde 854 şehirde yapılan kapsamlı bir çalışmada gözlemlenen risk artışları ile de uyumludur.¹³⁰ Ayrıca Akdeniz havzasındaki diğer şehirlerde gözlemlenen etkilerle de paralellik göstermektedir.¹³¹ Bununla birlikte çok ülkeli büyük çalışmalar da, sıcak hava dalgalarının tanımları ve yoğunluklarına bağlı olarak mortalite riskini tutarlı bir şekilde artırdığını göstermektedir.^{132,133} Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu, sıcak hava dalgalarının mortalite üzerindeki etkisinin iki yıl boyunca tutarlı olmasıdır. Bu tutarlılık, sıcak hava dalgası ve yıl değişkeni arasında yapılan etkileşim analizinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamasıyla tespit edilmiştir. Bu durum, gözlemlenen etkinin tekrarlayan ve öngörülebilir bir halk sağlığı tehdidi olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın en dikkat çekici bulgularından biri, cinsiyet ve yaşa göre kırılma dinamiklerinin ortaya konmasıdır. Katmanlı analizlerde kadınlarda gözlemlenen %14,9'luk risk artışı, erkeklerdeki %13,2'lik artıştan daha yüksek bulunmuştur. Fakat yapılan etkileşim analizi bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermiştir. Bu durum, atfedilen ölüm sayılarına da yansımış ve toplam 145 ölümün 74'ünün erkeklerde, 71'inin ise kadınlarda meydana gelmesiyle, yükün cinsiyetler arasında neredeyse eşit dağıldığı görülmüştür. İstanbul'da 2013-2017 döneminin incelendiği çalışmada tespit edilen dört

sıcak dalgasında kadınlarda iki dalgada ve daha yüksek risk artışları (%25 ve %29) gözlemlenirken, erkeklerde tek bir dalgada (%14) anlamlı bir artış saptanmıştır.⁶⁷ Cinsiyetin sıcak hava dalgasına bağlı ölümlere olan etkisinin incelendiği bir meta analiz çalışması kapsamındaki çalışmalar içerisinde ise kadınlar için raporlanan risk artışlarının daha yüksek olduğu çalışmalar daha fazla iken bazı çalışmalarda ise anlamlı fark bulunmamış ya da erkeklerde risk daha fazla bulunmuştur. Nitekim çalışmalar arasında %67 heterojenlik tespit edilmiştir.¹³⁴ Bu bulgular her ne kadar genel olarak kadınların sıcak hava dalgalarına bağlı ölümler için daha riskli olduğuna işaret etse de bu durumun bölgesel farklılıklar gibi çeşitli faktörlerle değişkenlik gösterebileceğini ve erkeklerin de risk altında olduğunu göstermektedir.

Yaşa göre yapılan etkileşim analizi, istatistiksel olarak anlamlı bir “risk merdiveni” paterni ortaya koymuştur. Mortalite riskinin yaşla birlikte sistematik olarak arttığı ve istatistiksel olarak anlamlı riskin 85 yaş ve üzeri grupta (%21,8 artış) yoğunlaştığı bulgusu, bu çalışmanın önemli sonuçlarından biridir. Bu durum, atfedilen ölüm yükünün dağılımında da kendini göstermektedir. Sıcağa bağlı toplam 145 ölümün 45’i, yani yaklaşık üçte biri, tek başına 85 yaş ve üzeri grupta meydana gelmiştir. Bu, sıcağa bağlı riskin yaşla birlikte katlanarak arttığını ve en yaşlı nüfusun bu tehdide karşı en savunmasız olduğunu göstermektedir. Bulgularımız, küresel literatürle de uyum içindedir. Gerek Dünya Sağlık Örgütü’nün 65 yaş üstü nüfustaki artan riske dikkat çeken raporları, gerekse de en yüksek riskin 85 yaş ve üzeri bireylerde yoğunlaştığını gösteren çalışmalar bizim bulgularımızı desteklemektedir.^{2,124,128} İstanbul’da 2013-2017 döneminin incelendiği çalışmada da benzer şekilde, anlamlı risk artışının sadece 75 yaş ve üzeri grupta gözlemlendiği, daha genç yaş gruplarında ise anlamlı bir etki saptanmadığı bulunmuştur.⁶⁷ Bu yaş grubundaki yüksek kırılabilirlik, azalan fizyolojik rezerv, kronik hastalıkların daha yaygın olması ve termoregülasyon kapasitesindeki düşüş gibi faktörlerle açıklanmaktadır.¹²⁸

Nedene özgü mortalite açısından, çalışmamızda ilçe düzeyinde yapılan analizlerde istatistiksel güç problemi nedeniyle anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Ancak, gözlemlenen risk tahminleri, güç probleminin varlığını somut bir şekilde ortaya koymaktadır. Kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölümlerde %16,1’lik bir risk artışı (RR: 1.161) tespit edilmiş olup, bu oran solunum sistemi ve diğer hastalık gruplarındaki artışlardan daha yüksektir, fakat örneklem büyüklüğünün yetersizliği nedeniyle istatistiksel anlamlılığa ulaşılamamıştır. 2013-2017 döneminde dört sıcak hava dalgasının tespit

edildiği İstanbul'da il düzeyinde yapılan analizlerde, sıcak hava dalgaları sırasında kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölümlerde iki sıcak hava dalgasında sırasıyla %17 ile %32 arasında anlamlı artışlar saptanmıştır.⁶⁷ Bizim çalışmamızda kardiyovasküler ölümlerdeki %16,1'lik artışın, İstanbul'da raporlanan %17-32 aralığının alt sınırına çok yakın olması ve diğer hastalık gruplarından yüksek olması, gerçek bir etkinin varlığına işaret etmektedir. Bu durum, sıcak hava dalgalarının özellikle kardiyovasküler sistem üzerinde bir yük oluşturduğu yönündeki literatürdeki çalışmaları desteklemektedir.^{135,136} Bu bulgular, bizim çalışmamızda güç problemi nedeniyle istatistiksel olarak tespit edilemeyen etkinin, klinik ve halk sağlığı açısından anlamlı olabileceğini göstermektedir.

5.6 Araştırmanın Kısıtlılıkları

Bu çalışmanın metodolojik gücüne rağmen bazı kısıtlılıkları da bulunmaktadır. Bu sınırlılıklardan biri tek istasyon verilerine dayanmasıdır. Bu çalışmada Kocaeli ilini temsil eden il düzeyinde referans istasyonu olan Kocaeli Meteoroloji İstasyonu'ndan (İzmit) alınan veriler kullanılmıştır. Bu yaklaşım, çevresel epidemiyoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılan standart bir uygulamadır ve yıllara göre trend analizlerinin yapılabilmesi ve EHF metodunun kullanılabilmesi için gereken tarihsel veri gereksinimini karşılayan tek veri kaynağıdır. Ancak, Kocaeli'nin coğrafi yapısı (sahil şeridi, sanayi bölgeleri, daha yüksek rakımlı kırsal alanlar) nedeniyle, il genelinde sıcaklık dağılımında mekansal değişkenlik olabilir. Bu durum, özellikle merkeze uzak ilçelerde yaşayan bireyler için maruziyetin yanlış sınıflandırılması riskini doğurur. Gelecek araştırmalarda, Kocaeli ilindeki farklı konumlardan (örneğin, sanayi, kent merkezi, kırsal) veri sağlayan birden fazla istasyonun analiz edilmesi, kentsel ısı adası etkisinin ve mekansal heterojenliğin daha detaylı anlaşılmasını sağlayacaktır.

Gelecek projeksiyonları, geçmiş trendin (Sen's Slope) gelecekte de lineer olarak devam edeceği varsayımına dayanmaktadır. Bu, özellikle uzun vadeli tahminler için önemli bir kısıtlılıktır. Projeksiyonlar, gelecekteki iklim politikaları, teknolojik değişimler veya doğrusal olmayan iklim geri bildirim mekanizmaları gibi faktörleri hesaba katmamaktadır. Bu nedenle, özellikle 2050 ve sonrası için yapılan tahminler yüksek bir belirsizlik içermektedir.

Çalışmada yıllara göre sıcaklık eğilimleri analizlerinde sadece maksimum sıcaklık (Tmax) trendleri hesaplanmıştır. Gelecek çalışmalarda, maksimum sıcaklık (Tmax) trendlerinin analizine ek olarak minimum sıcaklık (Tmin) trendlerinin de analiz edilmesi, özellikle gece ısınmasının ve günlük sıcaklık aralığındaki (DTR) değişimin tespit edilmesini sağlayacaktır ve gece sıcaklıklarının halk sağlığı etkilerinin yorumlanmasına olanak tanıyacaktır.

İl düzeyinde anlamlı bir etki bulunmasına rağmen, ilçe düzeyinde yapılan alt analizlerde (tüm nedenlere, yaşa, cinsiyete ve nedene özgü mortalite) istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Bu durum, literatürde sıkça karşılaşılabilen bir istatistiksel güç problemi olarak yorumlanmalıdır. İlçe gibi daha küçük coğrafi birimlerdeki nüfusun ve dolayısıyla günlük ölüm sayılarının az olması, gerçekte var olabilecek bir etkiyi tespit etme yeteneğini yani çalışmanın gücünü azaltmaktadır. Benzer şekilde, tüm nedenlere bağlı ölümlerin kardiyovasküler veya solunum sistemi gibi alt kategorilere ayrılması, her bir kategorideki olay sayısını daha da düşürerek güç problemini derinleştirmiştir. Bu istatistiksel olarak anlamsız olan bulgular, sıcak hava dalgalarının ilçe düzeyinde ve belirli hastalık gruplarında bir etkisi olmadığı anlamına gelmez. Daha ziyade bu etkinin mevcut örneklem büyüklüğü ile istatistiksel olarak kanıtlanamadığını yani Tip II hata riskini gösterir. Gelecekte yapılacak çalışmaların, daha uzun zaman dilimlerini kapsaması veya birden fazla ilçeyi birleştirerek analiz yapması, bu güç problemini aşmada faydalı olabilir.

Yaş ve cinsiyet dışında, sosyoekonomik durum (gelir seviyesi, eğitim durumu), yaşam koşulları (yeşil alanlara yakınlık, ev kalitesi), klima sahipliği ve hava kirliliği gibi bilinen diğer önemli kırılganlık faktörleri ve karıştırıcılar için yeterli veri bulunmadığından bu analizler yapılamamıştır.

Bu çalışma ekolojik bir epidemiyolojik çalışmadır ve bulgular popülasyon düzeyindedir. Örneğin %13,9'luk risk artışının her bir birey için geçerli olduğu şeklinde bir yorum yapılamaz. Bu tür çalışmalarda ekolojik yanılgı riski her zaman mevcuttur.

Son olarak çalışma sadece Kocaeli ili ile sınırlıdır. Bulguların, farklı iklimsel, demografik ve sosyoekonomik özelliklere sahip Türkiye'nin diğer bölgelerine genellenebilirliği sınırlı olabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Kocaeli ilinin 1991-2024 dönemindeki maksimum sıcaklık değişimleri kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Kocaeli ilinde tespit edilen ısınma hızının Türkiye geneli ortalamasından belirgin şekilde yüksek olması bölgenin iklim değişikliğinin etkilerine karşı savunmasız olduğunu göstermektedir. Gelecek projeksiyonları mevcut trendin devam etmesi durumunda önümüzdeki yıllarda önemli sıcaklık artışlarının kaçınılmaz olduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte Kocaeli’de 2023 ve 2024 yıllarındaki sıcak hava dalgalarının tüm nedenlere bağlı ölümleri istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttırdığı ve iki yılda toplamda 145 fazladan ölüme neden olduğu bulunmuştur. Bu ölüm yükünün yaklaşık üçte birinin 85 yaş ve üzeri nüfusta meydana geldiği gösterilmiştir. Bu bulgular Kocaeli ili için acil ve kapsamlı sıcak-sağlık eylem planlarının geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Bireyler, günün en sıcak saatlerinde dışarı çıkmaktan kaçınarak, gölgede kalarak ve yorucu aktivitelerden uzak durarak kendilerini sıcaktan korumalıdır. Ev ortamını serin tutmak için geceleri pencereleri açmak, gün içinde panjur veya perdeleri kapalı tutmak ve elektrikli cihazların kullanımını azaltmak yapılabilecekler arasındadır. Vücut ısısını dengede tutmak amacıyla bol su içmek, hafif giysiler tercih etmek ve düzenli olarak soğuk duş almak önemlidir.⁵⁵

Sağlık profesyonelleri, iklim değişikliğinin ve sıcak hava dalgalarının sağlık etkileri konusunda önemli roller üstlenebilirler. Bu rollere hastalarını bilgilendirme, toplum sağlığını koruma ve politika yapıcılarla iş birliği gibi faaliyetler örnek gösterilebilir.¹³⁷ Sağlık profesyonelleri, aile hekimlerinden acil servis çalışanlarına kadar tüm kademelerde, sıcak hava dalgalarının etkileri ve riskleri konusunda kapsamlı bir şekilde bilgilendirilmelidir. İl Sağlık Müdürlükleri, halk sağlığını korumak amacıyla yerel yönetimler ve meteoroloji gibi kurumlarla iş birliği içinde önleyici programlar ve müdahale planları geliştirmelidir. Ayrıca, medya aracılığıyla toplumu bilinçlendirmek ve sağlık surveyans sistemleri üzerinden toplanan verilerle stratejileri sürekli iyileştirmek esastır.⁵⁵

Karar vericiler, iklim değişikliğinin yol açtığı sıcak hava dalgalarına karşı, erken uyarı sistemleri ve halkı bilgilendirme gibi önlemleri içeren bir eylem planı oluşturmalıdır.

Bu kapsamda, Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği Sıcak-Sağlık Eylem Planı, ısıya bağlı sağlık risklerini önlemek ve kontrol altına almak için kritik bir yol haritası sunar. Plan, uzun vadeli şehir planlaması, sağlık sistemlerinin hazırlığı ve hassas gruplara özel bakım gibi temel unsurları içermelidir.⁵⁵

İklim değişikliğinin sağlık etkilerine karşı Türkiye için bir eylem planı öneren Uğurlu ve Çağlayan⁷⁴ Fransa'nın Ulusal Sıcak Hava Dalgası Planı modelinden esinlenerek, Türkiye'nin coğrafi ve sosyodemografik yapısına uygun, çok seviyeli ve kurumlar arası bir Sıcak Hava Dalgası Eylem Planı'nın hazırlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu plan, merkezi düzeyde Sağlık Bakanlığı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve AFAD koordinasyonunda; yerel düzeyde ise valilikler ve belediyeler öncülüğünde yürütülmelidir. Plan, farklı risk seviyelerine (uyarı, alarm vb.) göre devreye girecek standart operasyon prosedürlerini net bir şekilde tanımlamalıdır. Çalışma, meteorolojik erken uyarıların sağlık sistemine tam entegrasyonunu ve ilgili tüm kurumları içeren bir eşgüdüm ağı kurulmasını önermektedir. Bu yapı içinde, görev ve sorumluluklar net bir şekilde tanımlanmalı; yaşlılar ve hastalar gibi kırılgan gruplar sistematik olarak belirlenerek takip edilmelidir. Ayrıca, sıcaklığa bağlı sağlık etkilerini izlemek için ulusal bir surveyans sistemi kurulması ve kırılgan gruplara yönelik sosyal destek hizmetlerinin (evde ziyaret gibi) güçlendirilmesi tavsiye edilmektedir. Öneriler, aynı zamanda açık havada çalışanlar için koruyucu düzenlemeler getirilmesini, kamusal serinleme alanları gibi iklime duyarlı kentleşme politikalarının benimsenmesini ve sağlık sektörünün kendi karbon ayak izini azaltarak iklim mücadelesine katkıda bulunmasını içermektedir.⁷⁴

Çulpan ve ark.⁶⁸ tarafından yapılan bir çalışma, Türkiye'de yerel ve ulusal sıcak-sağlık eylem planlarına acil ihtiyaç olduğunu ve etkili eylem planları ile erken uyarı sistemleri geliştirebilmek için öncelikle yerel düzeyde standart bir sıcak hava dalgası tanımının yapılması ve mevcut etkilerin bilimsel olarak belirlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışmalarında, EHF metriğini kullanarak İstanbul için bir sıcak hava dalgası tanımı önermişlerdir.⁶⁸ Bu tür yerel ve bilimsel temelli tanımlar, genel sıcaklık uyarılarından daha etkili olan ve halk sağlığı müdahalelerini tetikleyen spesifik erken uyarı sistemlerinin temelini oluşturabilir. Bu araştırmada ise, Türkiye'de sıcak-sağlık eylem planı geliştirme çalışmalarına metodolojik bir katkı sunmak amacıyla, Çulpan ve arkadaşlarının İstanbul için önerdiği EHF yaklaşımı Kocaeli ili için uygulanmıştır. Çulpan ve arkadaşlarının çalışması, Türkiye'de yerel düzeyde standart sıcak hava dalgası tanımlarının

oluşturulması ve erken uyarı sistemleri geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.⁶⁸ Mevcut çalışma ise EHF metodolojisinin farklı Türkiye illerine uygulanabilirliğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, Kocaeli ili için sağlık odaklı sıcak hava dalgası eşiklerinin belirlenmesine ve bu eşiklere dayalı bir erken uyarı sisteminin tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Bu yaklaşımın Türkiye'nin diğer illerinde de sistematik olarak uygulanması, ulusal düzeyde kapsamlı bir Sıcak-Sağlık Eylem Planı'nın bilimsel temelini oluşturacak ve her ilin kendi iklim ve demografik özelliklerine göre özelleştirilmiş müdahale stratejileri geliştirilmesini mümkün kılacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma Kocaeli ilinde hızlı bir ısınmanın eğilimini varlığını ortaya koymuş ve gelecek yıllarda bu eğilimin devam etmesi durumunda bölgenin karşı karşıya kalacağı ciddi iklim risklerine dikkat çekmiştir. Sıcak hava dalgalarının mortaliteyi istatistiksel olarak anlamlı düzeyde arttırdığı ve özellikle 85 yaş üstü nüfusun bu etkilere karşı savunmasız olduğu tespit edilmiştir. Sıcak hava dalgalarının sadece meteorolojik bir olgu olmadığı aynı zamanda halk sağlığı için ciddi riskler yarattığı bu çalışmada gösterilmiştir. Elde edilen bulgular yerel yönetimlerin ve politika yapıcıların hem sıcak hava dalgalarına karşı erken uyarı sistemleri hem de kırılgan nüfusu korumaya yönelik acil sıcak-sağlık eylem planları geliştirmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

7. ÖZET

Kocaeli İlindeki Sıcak Hava Dalgalarının Sıklığının ve Sıcak Hava Dalgalarının Ölümle Olan İlişkisinin İncelenmesi

Giriş ve Amaç: İnsanlık için önemli küresel tehditlerden biri olan sıcak hava dalgaları çeşitli yollarla sağlığı etkilemektedir. Bu araştırmada Kocaeli ilindeki sıcak hava dalgalarının 1991-2024 yıllarındaki sıklığının ve eğiliminin belirlenmesi ve 2023 ile 2024 yıllarında meydana gelen sıcak hava dalgalarının Kocaeli ilindeki ölümlerle olan ilişkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmada, Kocaeli'nin 1991-2024 dönemine ait meteoroloji verileri ile 2023 ve 2024 yıllarına ait ölüm verileri kullanılmıştır. 1991-2024 dönemindeki yıllık ortalama maksimum sıcaklık trendleri analiz edilmiş olup ilgili dönemdeki sıcak hava dalgalarının sıklığı ve trendleri değerlendirilmiştir. 2023 ve 2024 yıllarındaki uzun yaz dönemindeki (Haziran-Eylül) tüm nedenlere, cinsiyete, yaşa bağlı mortalite hızları ile Aşırı Sıcak Faktörü kullanılarak tanımlanan sıcak hava dalgaları arasındaki ilişkiler incelenmiş olup sıcak hava dalgalarına bağlı fazladan ölümler hesaplanmıştır.

Bulgular: Kocaeli ilinde 1991-2024 dönemi yıllık ortalama maksimum sıcaklık değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.001$) ve $0.098^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ hızında artış trendi tespit edilmiştir. Yıllık sıcak hava dalga sayısında ($p=0,004$) istatistiksel olarak anlamlı artış trendi bulunmuştur. Kocaeli ilinde 2023 ve 2024 yıllarının uzun yaz döneminde yaşanan sıcak hava dalgalarının tüm nedenlere bağlı mortalite riskini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ($p<0,001$) ve %13,9 oranında artırdığını ortaya koymuş ve iki yılda toplam 145 sıcak hava dalgalarına atfedilen ölüm hesaplanmıştır. Riskin yaşa bağlı analizlerde 85 yaş üstü nüfusta yoğunlaştığı bulunmuştur.

Sonuç: Araştırma Kocaeli ilinde maksimum sıcaklıkların yükseliş trendinde olduğunu ve sıcak hava dalgalarının sıklığının arttığını ortaya koymuştur. Sıcak hava dalgalarının mortalite riskini arttırdığı görülmüş olup riskin kırılgan gruplarda en yüksek olduğu tespit

edilmiştir. Bu bulgular Kocaeli ili için acil sıcak-sağlık eylem planlarının gerekliliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak Hava Dalgası, Mortalite, İklim Değişikliği, Aşırı Sıcak Faktörü, Kocaeli



8. ABSTRACT

Analysis of the Frequency of Heat Waves in Kocaeli Province and the Relationship Between Heat Waves and Deaths

Introduction and Aim: Heatwaves, one of the significant global threats to humanity, affect health in various ways. This study aims to determine the frequency and trend of heatwaves in Kocaeli province between 1991 and 2024 and to evaluate the relationship between heatwaves occurring in 2023 and 2024 and deaths in Kocaeli province.

Materials and Methods: The study utilised meteorological data from Kocaeli for the period 1991–2024, along with mortality data for the years 2023 and 2024. Annual average maximum temperature trends for the 1991–2024 period were analysed, and the frequency and trends of heatwaves during the relevant period were evaluated. The relationships between mortality rates for all causes, gender, and age during the long summer period (June-September) in 2023 and 2024 and heatwaves defined using the Extreme Heat Factor were examined, and excess deaths attributable to heatwaves were calculated.

Results: In Kocaeli province, a statistically significant ($p<0.001$) increase trend of $0.098^{\circ}\text{C}/\text{year}$ was detected in the annual average maximum temperature values for the period 1991-2024. A statistically significant increase trend ($p=0.004$) was found in the annual number of heat waves. It was found that the heatwaves experienced during the long summer period in 2023 and 2024 in Kocaeli Province increased the mortality risk from all causes by a statistically significant level ($p<0.001$) and by 13.9%, and a total of 145 deaths attributed to heatwaves were calculated over the two years. Age-specific analyses revealed that the risk was concentrated among the population aged 85 and over.

Conclusion: The research has revealed that maximum temperatures in Kocaeli province are on an upward trend and that the frequency of heatwaves is increasing. It has been observed that heatwaves increase the risk of mortality, with the risk being highest among

vulnerable groups. These findings demonstrate the necessity of urgent heat-health action plans for Kocaeli province.

Keywords: Heat Wave, Mortality, Climate Change, Excess Heat Factor, Kocaeli



9. EKLER

Ek 1: Etik Kurul İzni

Evrak Tarih ve Sayısı: 17.10.2024-E.668655



T.C.
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi Dekanlığı
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik
Kurulu



Sayı : E-80418770-020-668655
Konu : 2024/402 Proje Numaralı Çalışma

Sayın Prof.Dr. Çiğdem ÇAĞLAYAN

GOKAEK-2024/15.21 Prof. Dr. Çiğdem Çağlayan sorumluluğunda yürütülmesi planlanan **2024/402** proje numaralı "KOCAELİ İLİNDEKİ SICAK HAVA DALGALARININ SIKLIĞININ VE SICAK HAVA DALGALARININ ÖLÜMLERLE OLAN İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı proje değerlendirilmiş, idari izinlerin alınması koşuluyla kabul, projenin yürütülmesi uygun bulunmuştur.

KARAR: İDARİ İZİNLERİN ALINMASI KOŞULUYLA KABUL, PROJENİN YÜRÜTÜLMESİ UYGUNDUR.

Projenizin yürütülmesi uygun bulunmuştur, çoklu imza formu ekte sunulmaktadır. Araştırmaya Etik Kurul onay tarihinden sonra en geç 90 gün içinde başlamanız, (i) Başlamadığınızda veya protokolde bildirdiğiniz hususlarda herhangi bir değişiklik yaptığınızda Değişiklik Bilgi Formu ile, (ii) Araştırmanızı onay aldığınız şekilde tamamladığınızda Sonuç Raporu ile Etik Kurul'a başvurmanız gerekmektedir.

Prof.Dr. Bülent KARA
Kurul Başkanı

EK :
Karar Formu

Mevcut Elektronik İmzalar

BÜLENT KARA (Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu - Kurul Başkanı) 17.10.2024 09:18

Belge Doğrulama Kodu :BSURU55F13

Belge Doğrulama Adresi :<https://turkiye.gov.tr/kocaeli-universitesi-ehys>

Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Kocaeli Üniversitesi Tıp

Bilgi için: Songül Gür

Fakültesi 41380 Umuttepe / KOCAELİ

Tel:90 262 303 70 04 Faks:90 262 303 70 03

E-Posta :tipdek@kocaeli.edu.tr Elektronik Ağ :<http://tip.kocaeli.edu.tr/>

Sekreter

Telefon No: 7302

Kep Adresi: kocaeliuniversitesi@hs01.kep.tr

Bu belge 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. Maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.



T.C.
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR
ETİK KURULU



Etik Kurul Bilgileri	Adı	Kocaeli Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu		
	Adres	Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu, 3. Kat, 41380 Umuttepe Yerleşkesi / KOCAELİ		
	Tel / Faks / E-posta	0262 303 74 50 - gokaetikkurul@kocaeli.edu.tr		
Başvuru Bilgileri	Araştırmacının Adı	KOCAELİ İLİNDEKİ SICAK HAVA DALGALARININ SIKLIĞININ VE SICAK HAVA DALGALARININ ÖLÜMLERLE OLAN İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ		
	Sorumlu Araştırmacı	Prof. Dr. Cüdem Çağlayan		
	Sorumlu Arş. Uzmanlığı	Halk Sağlığı Anabilim Dalı		
Karar ve Dayanak	Tarih : 26 Eylül 2024	Karar No: KÜ GOKAEK-2024/15.21	Proje No: 2024/402	
	Hasta Hakları Yönetmeliği (01.08.1998/23420); Biyoloji ve Tıbbın Uygulanması Bakımından İnsan Hakları ve İnsan Haysiyetinin Korunması Sözleşmesi; İnsan Hakları ve Biyotıp Sözleşmesinin Uygun Bulunduğuna Dair Kanun (09.12.2003/25311); Biyotıp Araştırmalarına İlişkin İnsan Hakları ve Biyotıp Sözleşmesine Ek Protokolün Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun (29.03.2011/27899); Dünya Tıp Birliği Helsinki Bildirgesi; İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu; Türk Tabipleri Birliği Hekimlik Meslek Etiği Kuralları; Türk Tabipleri Birliği Araştırma Etiği Bildirgesi ilgili maddelerine göre; yukarıda ismi geçmekte olan araştırmacının sorumluluğunda yapılan ve yukarıda bilgileri verilen araştırma başvuru dosyası ve ilgili belgeler, araştırmacının gerekçesi, amacı, yaklaşım ve yöntemleri, gönüllüler için beklenen yarar ve riskler dikkate alınarak değerlendirilmiş ve araştırmacının ilgili protokol doğrultusunda belirtilen merkezlerde yürütülmesi etik ve bilimsel açıdan, ☒ Uygun bulunmuştur. ☐ Uygun bulunmamıştır. ☐ Kapsam dışı olarak değerlendirilmiştir.			

ETİK KURUL ÜYELERİ					
Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Toplantıda Bulunma	İmza
Prof. Dr. Bülent KARA Başkan	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	Kocaeli Üni. Tıp Fakültesi	Erkek	Evet	
Doç. Dr. Aslıhan AKPINAR Raportör	Tıp Tarihi ve Etik	Kocaeli Üni. Tıp Fakültesi	Kadın	Evet	
Prof. Dr. Canan BAYDEMİR Üye	Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi	Kocaeli Üni. Tıp Fakültesi	Kadın	Evet	
Doç. Dr. Fatma Ceyla ERALDEMİR Üye	Tıbbi Biyokimya	Kocaeli Üni. Tıp Fakültesi	Kadın	Hayır	
Dr. Öğr. Üyesi Diğdem GÖVERTİ Üye	Ruh Sağlığı ve Hastalıkları	Kocaeli Üni. Tıp Fakültesi	Kadın	Evet	
Doç. Dr. Banu İSKENDER İZGİ Üye	Tıbbi Biyoloji	Kocaeli Üni. Tıp Fakültesi	Kadın	Evet	
Dr. Öğr. Üyesi Hadi Ufuk YÖRÜKOĞLU Üye	Anesteziyoloji ve Reanimasyon	Kocaeli Üni. Tıp Fakültesi	Erkek	Hayır	
Dr. Öğr. Üyesi Seda DUMAN ÖZTÜRK Üye	Tıbbi Patoloji	Kocaeli Üni. Tıp Fakültesi	Kadın	Evet	
Dr. Öğr. Üyesi Burcu KANAT ERTÜRK	Protetik Diş Tedavisi	Kocaeli Üni. Diş Hekimliği Fakültesi	Kadın	Evet	

Mevcut Elektronik İmzalar

BÜLENT KARA (Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu – Kurul Başkanı) 17.10.2024 09:18	Belge Kodu	Rev. Tarihi / No.su:	Sayfa
KÜ Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Onay Formu	Onay formu	01.02.2024/KOGOEK00.1	1/1

Bu belge 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. Maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Ek 2: İl Sağlık Müdürlüğü İzni



T.C.
KOCAELİ VALİLİĞİ
İl Sağlık Müdürlüğü



Sayı : E-65530689-799-260953584
Konu : Araştırma İzni- Cem TURAN

29.11.2024

DAĞITIM YERLERİNE

İlgi : 18.11.2024 tarihli yazı.

Kocaeli Üniversitesi, Dahili Tıp Bilimleri Bölümü Halk Sağlığı Anabilim Dalında görev yapan Arş. Gör. Dr. Cem TURAN' ın " Kocaeli İlindeki Sıcak Hava Dalgalarının Sıklığının ve Sıcak Hava Dalgalarının Ölümle Olan İlişkisi " konulu uzmanlık tez çalışması Müdürlüğümüz Klinik Araştırmalar Komisyonunda değerlendirilerek Müdürlüğümüz Halk Sağlığı Hizmetleri Başkanlığında ve İzmit İlçe Sağlık Müdürlüğünde yapılması uygun görülmüştür .

Gereğini arz ve rica ederim.

Dr. Şeref KASIMOĞLU
İl Sağlık Müdürü a.
Personel Hizmetleri Başkanı

Dağıtım:
Kocaeli Halk Sağlığı Hizmetleri Başkanlığı
İzmit İlçe Sağlık Müdürlüğüne

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge doğrulama kodu: AA43EE60-132C-4094-B77C-448C4C14F539

Belge doğrulama adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/saglik-bakanligi-ebys>

Körfez Mahallesi Ankara Karayolu Caddesi No:129 İzmit-KOCAELİ 41000
Telefon No:
e-Posta: İnternet Adresi: <https://www.saglik.gov.tr/>
Kep Adresi:

Bilgi için: Şehnaz TUFAN KALYONCU
Hemşire
Telefon No: 02623192014 - 1855



10. KAYNAKLAR

1. IPCC. Climate change widespread, rapid, and intensifying. Erişim tarihi: 25.10.2025. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>
2. World Health Organization. Climate change. Erişim tarihi 25.10.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
3. IPCC. Chapter 11: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. Erişim tarihi: 25.10.2025. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/>
4. UNEP MAP. Climate change in the Mediterranean. Erişim tarihi: 25.10.2025. Erişim adresi: <https://www.unep.org/unepmap/resources/factsheets/climate-change>
5. Güler, Ç. Çevre Sağlık İlişkisi. Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı. Erişim tarihi: 26.10.2025 Erişim adresi: https://halksagligi.hacettepe.edu.tr/sunumlar_ve_seminerler/cevresagligi/CEVRE_SA_GLIK_iliskisi.pdf
6. World Health Organization. Environmental health. Erişim tarihi: 26.10.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/health-topics/environmental-health>
7. UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. Erişim tarihi: 04.11.2025. Erişim adresi: <https://unfccc.int/process-and-meetings/united-nations-framework-convention-on-climate-change>
8. IPCC. Annex II: Glossary. Erişim tarihi: 04.11.2025. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/annex-ii/>
9. World Meteorological Organization. Climate change. Erişim tarihi: 04.11.2025. Erişim adresi: <https://wmo.int/topics/climate-change>
10. World Health Organization. Climate change. Erişim tarihi: 04.11.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/health-topics/climate-change>
11. United Nations. What Is Climate Change? Erişim tarihi: 27.10.2025. Erişim adresi: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>
12. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Erişim Tarihi: 27.10.2025. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
13. World Meteorological Organization. State of the Global Climate 2024. Erişim tarihi: 27.10.2025. Erişim adresi: <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024>

14. United Nations. Causes and Effects of Climate Change. Erişim tarihi: 27.10.2025. Erişim adresi: <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
15. World Health Organization. Climate inaction is claiming millions of lives every year, warns new Lancet Countdown report. Erişim tarihi: 29.10.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/news/item/29-10-2025-climate-inaction-is-claiming-millions-of-lives-every-year--warns-new-lancet-countdown-report>
16. Türkiye Bilimler Akademisi. Türkiye’de İklim Değişimi ve Halk Sağlığı Raporu. Erişim tarihi: 29.10.2025. Erişim adresi: <https://www.tuba.gov.tr/tr/yayinlar/suresiz-yayinlar/raporlar/turkiyede-iklim-degisimi-ve-halk-sagligi-raporu-1>
17. Çelik, S., Bacanlı, H., & Görgeç, H. Küresel İklim Değişikliği ve İnsan Sağlığına Etkileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. 2008
18. World Health Organization. Biodiversity Erişim tarihi: 04.11.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/biodiversity>
19. UNFCCC. The Paris Agreement. Erişim tarihi: 06.11.2025. Erişim adresi: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
20. IPCC. History. Erişim tarihi: 07.11.2025. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/about/history/>
21. UNFCCC. History of the Convention. Erişim tarihi: 06.11.2025. Erişim adresi: <https://unfccc.int/process/the-convention/history-of-the-convention>
22. UNFCCC. The Kyoto Protocol. Erişim tarihi: 07.11.2025. Erişim adresi: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol>
23. IPCC. Fifth Assessment Report. Erişim tarihi: 07.11.2025. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>
24. Hamilton I, Kennard H, McGushin A, Höglund-Isaksson L, Kieseewetter G, Lott M, vd. The public health implications of the Paris Agreement: a modelling study. Lancet Planet Health. 2021;5(2):e74-83.
25. IPCC. Global Warming of 1.5 °C Erişim tarihi: 07.11.2025. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
26. Boehm S, Schumer C. 10 Big Findings from the 2023 IPCC Report on Climate Change. Erişim tarihi: 07.11.2025. Erişim adresi: <https://www.wri.org/insights/2023-ipcc-ar6-synthesis-report-climate-change-findings>
27. World Health Organization. COP26 Health Programme Erişim tarihi: 07.11.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/initiatives/alliance-for-transformative-action-on-climate-and-health/cop26-health-programme>

28. World Health Organization. Heatwaves. Erişim tarihi: 09.11.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/health-topics/heatwaves>
29. World Health Organization. Heat and health. Erişim tarihi: 09.11.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>
30. şahin Ü. Sıcak Dalgaları: İklim Değişikliğiyle Artan Tehdit ve Sıcak-Sağlık Eylem Planları. İstanbul Politikalar Merkezi. 2019.
31. Britannica. Heat wave Temperature Extremes, Climate Change, Heat Domes, & Heat Stress. Erişim tarihi: 12.11.2025. Erişim adresi: <https://www.britannica.com/science/heat-wave-meteorology>
32. World Meteorological Organization. Heatwave Erişim tarihi: 12.11.2025. Erişim adresi: <https://wmo.int/topics/heatwave>
33. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Meteoroloji ve Sağlık. Erişim tarihi: 12.11.2025. Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/genel/saglik.aspx?s=113>
34. Nawaro J, Gianquintieri L, Pagliosa A, Sechi GM, Caiani EG. Heatwave Definition and Impact on Cardiovascular Health: A Systematic Review. *Public Health Rev.* 2023;44:1606266.
35. Smith TT, Zaitchik BF, Gohlke JM. Heat waves in the United States: definitions, patterns and trends. *Clim Change.* 2013;118(3-4):811-825.
36. Robinson, P. J. On the Definition of a Heat Wave. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 2001;40(4):762-775.
37. Barriopedro D, García-Herrera R, Ordóñez C, Miralles DG, Salcedo-Sanz S. Heat Waves: Physical Understanding and Scientific Challenges. *Rev Geophys.* 2023;61(2):e2022RG000780.
38. Pascal M, Wagner V, Le Tertre A, Laaidi K, Honoré C, Bénichou F, vd. Definition of temperature thresholds: the example of the French heat wave warning system. *Int J Biometeorol.* 2013;57(1):21-29.
39. You Q, Jiang Z, Kong L, Wu Z, Bao Y, Kang S, vd. A comparison of heat wave climatologies and trends in China based on multiple definitions. *Clim Dyn.* 2017;48(11):3975-3989.
40. Perkins SE, Alexander LV. On the Measurement of Heat Waves. 2013 Perkins, S. E., & Alexander, L. V. (2013). On the Measurement of Heat Waves. *J. Clim.* 26(13), 4500-4517.
41. Bunting EL, Tolmanov V, Keellings D. What is a heat wave: A survey and literature synthesis of heat wave definitions across the United States. *PLOS Clim.* 2024;3(9):e0000468.

42. Met Office. UK Climate Change in action. Erişim tarihi: 13.11.2025. Erişim adresi: <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/news-and-media/media-centre/weather-and-climate-news/2022/heatwave-threshold-changes>
43. Tillett T. Heat Effects Are Unique: Mortality Risk Depends on Heat Wave, Community Characteristics. *Environ Health Perspect.* 2011;119(2):A81.
44. Chen X, Li N, Liu J, Zhang Z, Liu Y. Global Heat Wave Hazard Considering Humidity Effects during the 21st Century. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(9):1513.
45. Brimicombe C, Lo CHB, Pappenberger F, Di Napoli C, Maciel P, Quintino T, vd. Wet Bulb Globe Temperature: Indicating Extreme Heat Risk on a Global Grid. *GeoHealth.* 2023;7(2):e2022GH000701.
46. Kapwata T, Gebreslasie MT, Wright CY. An analysis of past and future heatwaves based on a heat-associated mortality threshold: towards a heat health warning system. *Environ Health Glob Access Sci Source.* 2022;21(1):112.
47. Spangler KR, Liang S, Wellenius GA. Wet-Bulb Globe Temperature, Universal Thermal Climate Index, and Other Heat Metrics for US Counties, 2000–2020. *Sci Data.* 2022;9(1):326.
48. Yılmaz M, Kara Y, Toros H, İncecik S. Analysis of the summer thermal comfort indices in İstanbul. *Int J Biometeorol.* 2024;68(7):1327-1342.
49. Nairn JR, Fawcett RJB. The Excess Heat Factor: A Metric for Heatwave Intensity and Its Use in Classifying Heatwave Severity. *Int J Environ Res Public Health.* 2015;12(1):227-253.
50. Oliveira A, Lopes A, Soares A. Excess Heat Factor climatology, trends, and exposure across European Functional Urban Areas. *Weather Clim Extrem.* 2022;36:100455.
51. Becker FN, Fink AH, Bissolli P, Pinto JG. Towards a more comprehensive assessment of the intensity of historical European heat waves (1979–2019). *Atmospheric Sci Lett.* 2022;23(11):e1120.
52. US EPA O. Learn About Heat Island Effects. Erişim tarihi: 13.11.2025. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-island-effects>
53. Tong S, Prior J, McGregor G, Shi X, Kinney P. Urban heat: an increasing threat to global health. *BMJ.* 2021;375:n2467.
54. Simpson CH, Brousse O, Taylor T, Milojevic A, Grellier J, Taylor J, vd. The mortality and associated economic burden of London's summer urban heat island effect: a modelling study. *Lancet Planet Health.* 2025;9(3):e219-226.
55. Çağlayan Ç, Güner ME, Yavuz M, Gacal F, Beykan N, İlhan A. Sıcak Dalgaları ve Halk Sağlığı. Çevre, İklim ve Sağlık İçin İşbirliği Projesi; 2021.

56. Ünal SB, Yavuz CI. Sıcak Hava Dalgası Kırılganlığı: Kavram ve Ölçütler. Sürekli Tıp Eğitimi Derg. 2025;34(3):209-215.
57. CDC. People at Increased Risk for Heat-Related Illness. Erişim tarihi: 14.11.2025. Erişim adresi: <https://www.cdc.gov/extreme-heat/risk-factors/index.html>
58. NASA. Global Temperature - Earth Indicator. Erişim tarihi: 16.11.2025. Erişim adresi: <https://science.nasa.gov/earth/explore/earth-indicators/global-temperature>
59. Copernicus Climate Change Service. Temperature. Erişim tarihi: 16.11.2025. Erişim adresi: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/temperature>
60. Copernicus Climate Change Service. ESOTC 2024: Trends in climate indicators. Erişim tarihi: 16.11.2025. Erişim adresi: <https://climate.copernicus.eu/esotc/2024/trends-climate-indicators>
61. Copernicus Climate Change Service. Surface air temperature for January 2025. Erişim tarihi: 16.11.2025. Erişim adresi: <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-january-2025>
62. Şevgin F, Öztürk A. Variation of temperature increase rate in the Northern Hemisphere according to latitude, longitude and altitude: the Turkey example. Sci Rep. 2024;14(1):18207.
63. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. 2024 Yılı İklim Değerlendirmesi. Ankara: 2025 Erişim tarihi: 16.11.2025. Erişim Adresi: <https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2024-iklim-raporu.pdf>
64. US EPA O. Climate Change Indicators: Heat Waves Erişim tarihi: 16.11.2025. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heat-waves>
65. Özgün B, Gözet E, Yılmaz BA. İklim Değişikliğinin Sıcak Hava Dalgaları Üzerine Etkisi (Türkiye’de 1980-2024 Yılları Arasında Meydana Gelen Sıcak Hava Dalgası Olayları). Atmos Ve İklim Derg. 2025;2(1):13-27.
66. Hundessa S, Huang W, Xu R, Yang Z, Zhao Q, Gasparrini A, vd. Global excess deaths associated with heatwaves in 2023 and the contribution of human-induced climate change. Innov Camb Mass. 2025;6(10):101110.
67. Can G, Şahin Ü, Sayılı U, Dubé M, Kara B, Acar HC, vd. Excess Mortality in Istanbul during Extreme Heat Waves between 2013 and 2017. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(22):4348.
68. Çulpan HC, Şahin Ü, Can G. A Step to Develop Heat-Health Action Plan: Assessing Heat Waves’ Impacts on Mortality. Atmosphere. 2022;13(12):2126.
69. Alho AM, Oliveira AP, Viegas S, Nogueira P. Effect of heatwaves on daily hospital admissions in Portugal, 2000-18: an observational study. Lancet Planet Health. 2024;8(5):e318-326.

70. Vaidyanathan A, Gates A, Brown C, Prezzato E, Bernstein A. Heat-Related Emergency Department Visits - United States, May-September 2023. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2024;73(15):324-329.
71. Sun S, Weinberger KR, Nori-Sarma A, Spangler KR, Sun Y, Dominici F, vd. Ambient heat and risks of emergency department visits among adults in the United States: time stratified case crossover study. *BMJ.* 2021;375:e065653.
72. PoshtMashhadi A, Ijadi Maghsoodi A, Wood LC. The impact of extreme temperatures on emergency department visits: A systematic review of heatwaves, cold waves, and daily temperature variations. *Sci Total Environ.* 2025;970:178869.
73. Kim H, Yoo EH, Senders A, Sergi C, Dodge HH, Bell SA, vd. Heat Waves and Adverse Health Events Among Dually Eligible Individuals 65 Years and Older. *JAMA Health Forum.* 2024;5(11):e243884.
74. Uğurlu Ö, Çağlayan Ç. İklimle Dirençli Sağlık Sistemleri ve Türkiye İçin Sıcak Hava Dalgalarına Yönelik Bir Eylem Planı Önerisi. *Toplum ve Hekim.* 2025;40(3):218-229
75. Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le Tertre A, vd. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol.* 2008;37(2):309-317.
76. Bassil KL, Cole DC. Effectiveness of Public Health Interventions in Reducing Morbidity and Mortality during Heat Episodes: a Structured Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2010;7(3):991-1001.
77. UNDRR. Country heat policy review: France. Erişim tarihi: 18.11.2025. Erişim adresi: <https://www.undrr.org/resource/case-study/country-heat-policy-review-france>
78. World Health Organization Regional Office for Europe. Improving public health responses to extreme weather/heat-waves - EuroHEAT: summary for policy makers. Copenhagen; 2009. 6 p. Report No.: EUR/08/5086498.
79. D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de'Donato F, Menne B, Katsouyanni K, vd. The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health Glob Access Sci Source.* 2010;9:37.
80. World Health Organization. Planning heat-health action Erişim tarihi: 18.11.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/europe/activities/planning-heat-health-action>
81. Matthies F, Bickler G, Cardeñosa Marín N, Hales S, editors. Heat-health action plans: Guidance. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2008. p. 1-58.
82. Çebi E, Ocaktan M. Sıcak Dalgalarının Toplum Sağlığına Etkileri. *Afet Ve Risk Derg.* 2024;7(3):817-827.

83. European Environment Agency. The impacts of heat on health: surveillance and preparedness in Europe. Erişim tarihi: 18.11.2025. Erişim adresi: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/the-impacts-of-heat-on-health>
84. de'Donato F, Scortichini M, De Sario M, de Martino A, Michelozzi P. Temporal variation in the effect of heat and the role of the Italian heat prevention plan. Public Health. 2018;161:154-162.
85. Matzarakis A. The Heat Health Warning System of DWD—Concept and Lessons Learned. In: Perspectives on Atmospheric Sciences. Cham: Springer; 2017. p. 191-196.
86. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030). Erişim tarihi: 20.11.2025. Erişim adresi: <https://iklim.gov.tr/db/turkce/dokumanlar/iklim-degisikligi--8230-3122-20240327143639.pdf>
87. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030). Erişim tarihi: 20.11.2025. Erişim adresi: <https://iklim.gov.tr/db/turkce/dokumanlar/iklim-degisikligine--8230-3121-20240321164752.pdf>
88. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu. İklim Değişikliğinin Sağlık Üzerine Olumsuz Etkilerinin Azaltılması Ulusal Programı ve Eylem Planı. Ankara: 2015. Erişim tarihi: 20.11.2025. Erişim adresi: https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/cevre-sagligi-db/Dokumanlar/Sunumlar/Iklim_Degisikligi_Eylem_Plani.pdf
89. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi. Kocaeli Sosyoekonomik Yapı. Erişim tarihi: 02.11.2025. Erişim adresi: <https://www.kocaeli.bel.tr/sosyo-ekonomik-yapi.html>
90. Türkiye İstatistik Kurumu. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları 2024. Erişim tarihi: 02.11.2025. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuc-lari-2024-53783>
91. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Resmi İklim İstatistikleri. Erişim tarihi: 02.11.2025. Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KOCAELI>
92. World Health Organization. Heatwaves and health: guidance on warning-system development. Erişim tarihi: 03.11.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/publications/m/item/heatwaves-and-health--guidance-on-warning-system-development>
93. Levin ML. The occurrence of lung cancer in man. Acta - Unio Int Contra Cancrum. 1953;9(3):531-541.
94. Rockhill B, Newman B, Weinberg C. Use and misuse of population attributable fractions. Am J Public Health. 1998;88(1):15-19.

95. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, vd. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet Lond Engl*. 2015;386(9991):369-375.
96. Asikoglu OL, Alp H, Temel I, Kamali P. Examination of Long-Term Temperature Change in Türkiye: Comparative Evaluation of an Advanced Quartile-Based Approach and Traditional Trend Detection Methods. *Atmosphere*. 2025;16(11):1225.
97. NASA Earth Observatory; World of Change: Global Temperatures. Erişim tarihi: 23.11.2025. Erişim adresi: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures>
98. US EPA O. Climate Change Indicators: U.S. and Global Temperature. Erişim tarihi: 23.11.2025. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-us-and-global-temperature>
99. World Meteorological Organization. Temperatures in Europe increase more than twice global average. Erişim tarihi: 23.11.2025 Erişim adresi: <https://wmo.int/news/media-centre/temperatures-europe-increase-more-twice-global-average>
100. Salman SA, Shahid S, Ismail T, Chung ES, Al-Abadi AM. Long-term trends in Daily temperature extremes in Iraq. *Atmospheric Res*. 2017;198:97-107.
101. NASA Earth Observatory. Earth's Temperature Tracker. Erişim tarihi: 23.11.2025. Erişim adresi: https://earthobservatory.nasa.gov/features/GISSTemperature/giss_temperature4.php
102. Wild M. Global dimming and brightening: A review. *J Geophys Res Atmos*. 2009;114(D10):D00D16.
103. Hausfather Z. Explainer: How human-caused aerosols are 'masking' global warming. Carbon Brief. Erişim tarihi: 24.11.2025. Erişim adresi: <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-human-caused-aerosols-are-masking-global-warming/>
104. Copernicus Why are Europe and the Arctic heating up faster than the rest of the world? Copernicus. Erişim tarihi: 24.11.2025. Erişim adresi: <https://climate.copernicus.eu/why-are-europe-and-arctic-heating-faster-rest-world>
105. World Health Organization. Types of pollutants. Erişim tarihi: 24.11.2025. Erişim adresi: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
106. US EPA O. Effects of Acid Rain. Erişim tarihi: 24.11.2025. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/acidrain/effects-acid-rain>
107. de Gouw JA, Parrish DD, Frost GJ, Trainer M. Reduced emissions of CO₂, NO_x, and SO₂ from U.S. power plants owing to switch from coal to natural gas with combined cycle technology. *Earths Future*. 2014;2(2):75-82.

108. UNEP-UN Environment Programme. Urban Cooling and Extreme Heat. Erişim tarihi: 24.11.2025. Erişim adresi: <https://www.unep.org/topics/cities/cooling-and-heating-cities/urban-cooling-and-extreme-heat>
109. Werner R, Valev D, Danov D, Guineva V. Study of structural break points in global and hemispheric temperature series by piecewise regression. *Adv Space Res.* 2015;56(11):2323-2334.
110. NOAA. Climate change rule of thumb: cold “things” warming faster than warm things. Erişim tarihi: 26.11.2025. Erişim adresi: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond-data/climate-change-rule-thumb-cold-things-warming-faster-warm-things>
111. Climate Central. Fastest-Warming Seasons. Erişim tarihi: 26.11.2025. Erişim adresi: <https://www.climatecentral.org/climate-matters/fastest-warming-seasons-2025>
112. Kinney PL, Schwartz J, Pascal M, Petkova E, Tertre AL, Medina S, vd. Winter Season Mortality: Will Climate Warming Bring Benefits? *Environ Res Lett.* 2015;10(6):064016.
113. Ziska LH, Makra L, Harry SK, Bruffaerts N, Hendrickx M, Coates F, vd. Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *Lancet Planet Health.* 2019;3(3):e124-131.
114. Kim SE, Hashizume M, Armstrong B, Gasparrini A, Oka K, Hijioka Y, vd. Mortality Risk of Hot Nights: A Nationwide Population-Based Retrospective Study in Japan. *Environ Health Perspect.* 2023;131(5):057005.
115. IPCC. Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1. bs. Cambridge University Press; 2023 Erişim tarihi: 28.11.2025. Erişim adresi: <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009157896/type/book>
116. IPCC. Cross-Chapter Paper 4: Mediterranean Region. Erişim tarihi: 28.11.2025. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/ccp4/>
117. Malik A, Stenchikov G, Mostamandi S, Parajuli S, Lelieveld J, Zittis G, vd. Accelerated Historical and Future Warming in the Middle East and North Africa. *J Geophys Res Atmospheres.* 2024;129(22):e2024JD041625.
118. IPCC. Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. Geneva: 2021
119. Perkins-Kirkpatrick SE, Lewis SC. Increasing trends in regional heatwaves. *Nat Commun.* 2020;11(1):3357.

120. Wang C, Li Z, Chen Y, Li Y, Ouyang L, Zhu J, vd. Changes in Global Heatwave Risk and Its Drivers Over One Century. *Earths Future*. 2024;12(10):e2024EF004430.
121. Lelieveld J, Hadjinicolaou P, Kostopoulou E, Chenoweth J, El Maayar M, Giannakopoulos C, vd. Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Clim Change*. 2012;114(3-4):667-687.
122. Erlat E, Türkeş M, Aydın-Kandemir F. Observed changes and trends in heatwave characteristics in Turkey since 1950. *Theor Appl Climatol*. 2021;145(1):137-157.
123. Tatli H, Serkendiz H. Heatwave dynamics in Türkiye: a long-term spatiotemporal analysis of frequency, duration, and intensity (1970-2022). *Environ Monit Assess*. 2025;197(7):752.
124. Åström DO, Forsberg B, Rocklöv J. Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies. *Maturitas*. 2011;69(2):99-105.
125. Malcheva K, Bocheva L, Chervenkov H. Spatio-Temporal Variation of Extreme Heat Events in Southeastern Europe. *Atmosphere*. 2022;13(8):1186.
126. Bhaskaran K, Gasparrini A, Hajat S, Smeeth L, Armstrong B. Time series regression studies in environmental epidemiology. *Int J Epidemiol*. 2013;42(4):1187-1195.
127. Ishigami A, Hajat S, Kovats RS, Bisanti L, Rognoni M, Russo A, vd. An ecological time-series study of heat-related mortality in three European cities. *Environ Health Glob Access Sci Source*. 2008;7:5.
128. Benmarhnia T, Deguen S, Kaufman JS, Smargiassi A. Review Article: Vulnerability to Heat-related Mortality: A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression Analysis. *Epidemiol Camb Mass*. 2015;26(6):781-793.
129. Weinberger KR, Haykin L, Eliot MN, Schwartz JD, Gasparrini A, Wellenius GA. Projected temperature-related deaths in ten large U.S. metropolitan areas under different climate change scenarios. *Environ Int*. 2017;107:196-204.
130. Masselot P, Mistry M, Vanoli J, Schneider R, Iungman T, Garcia-Leon D, vd. Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe. *Lancet Planet Health*. 2023;7(4):e271-281.
131. Basagaña X, Sartini C, Barrera-Gómez J, Dadvand P, Cunillera J, Ostro B, vd. Heat waves and cause-specific mortality at all ages. *Epidemiol Camb Mass*. 2011;22(6):765-772.
132. Anderson GB, Bell ML. Heat waves in the United States: mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U.S. communities. *Environ Health Perspect*. 2011;119(2):210-218.
133. Guo Y, Gasparrini A, Li S, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M, vd. Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change

scenarios: A multicountry time series modelling study. PLoS Med. 2018;15(7):e1002629.

134. Pinho-Gomes A, McIntosh A, Woodward M. Sex differences in mortality associated with heatwaves: a systematic review and meta-analysis. Eur J Public Health. 2024;34(Suppl 3):ckae144.283.
135. Liu J, Varghese BM, Hansen A, Zhang Y, Driscoll T, Morgan G, vd. Heat exposure and cardiovascular health outcomes: a systematic review and meta-analysis. Lancet Planet Health. 2022;6(6):e484-495.
136. Cheng J, Xu Z, Bambrick H, Prescott V, Wang N, Zhang Y, vd. Cardiorespiratory effects of heatwaves: A systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. Environ Res. 2019;177:108610.
137. Güner ME, Çağlayan Ç. İklim Değişikliğini Anlamak: Sağlık Profesyonelleri için Genel Bir Bakış. Türkiye Klin Tıp Eğitimi 2025;10(1):1-6.