

Şehir Merkezindeki Hava Kirliliği Faktörlerinin AHP Yöntemiyle Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği

Salih Onaran^{1,*}, Yeter Uslu², Sefer Aygün²

¹İstanbul Medipol Üniversitesi, SHMYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, 34820, İstanbul.

²İstanbul Medipol Üniversitesi, SBF, Sağlık Yönetimi Bölümü, 34820, İstanbul.

Özet

Hava kirliliği, atmosferdeki zararlı maddelerin yoğunluğunun artmasıyla ekolojik sisteme, insan sağlığına ve doğal yaşama zarar veren bir çevresel tehdit olarak tanımlanır. Sanayileşme, şehirleşme ve hızlı nüfus artışı gibi faktörler ise hava kirliliğini artırarak çevreye ve halk sağlığına ciddi zararlar vermektedir. Bu çalışma ile Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine neden olan sorunların belirlenerek, öncelikli stratejik çözüm önerileri sunmak amaçlanmıştır. Araştırmaya dahil edilen risk kategorileri detaylı literatür taraması yapılarak seçilmiştir. Seçilen kategoriler, alanlarında en az beş yıllık mesleki deneyime sahip beş uzman tarafından değerlendirilmiştir. Uzman görüşlerinden elde edilen veriler, çok kriterli karar verme yaklaşımlarından biri olan AHP yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, risklerin önem ağırlıklarını sırasıyla Sanayi Faaliyetleri, Isınma Kaynaklı Kirlilik, Coğrafi Yapı, Plansız Kentsel Gelişim, Motorlu Araçlar ve Atık Yönetimi olarak ortaya koymuştur. İlk iki risk kategorisinin, toplam ağırlığın yaklaşık yarısını oluşturduğu belirlenmiştir. Bu bulgu doğrultusunda, sağlıklı şehir planlaması süreçlerinde Sanayi Faaliyetleri ve Isınma Kaynaklı Kirlilik risklerine karşı önlem almak ya da ortadan kaldırmak için faaliyetlerde bulunulması önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler

Hava kirliliği, Çevre Yönetimi, Sağlıklı Şehir Planlaması, AHP.

Evaluation of Air Pollution Factors in the City Center with AHP Method: The Case of Karabük

Abstract

Air pollution is defined as an environmental threat that harms the ecological system, human health and natural life by increasing the concentration of harmful substances in the atmosphere. Factors such as industrialization, urbanization and rapid population growth increase air pollution and cause serious damage to the environment and public health. This study aims to identify the problems that cause air pollution in Karabük city center and to offer priority strategic solution suggestions. The risk categories included in the study were selected by conducting a detailed literature review. The selected categories were evaluated by five experts with at least five years of professional experience in their fields. Data obtained from expert opinions were analyzed using the AHP method, one of the multi-criteria decision-making approaches. The analysis results revealed the importance weights of the risks as Industrial Activities, Heating Pollution, Geographical Structure, Unplanned Urban Development, Motor Vehicles and Waste Management, respectively. It was determined that the first two risk categories constituted approximately half of the total weight. In light of this finding, it is recommended that measures be taken to mitigate or eliminate the risks associated with Industrial Activities and Heating-Related Pollution during healthy urban planning processes.

Keywords

Air Pollution, Environmental Management, Healthy Urban Planning, AHP.

1. Giriş

Günümüzde hızla artmakta olan sanayileşme ve şehirleşme ile hava kirliliğinde artış meydana gelmektedir. Bu durumlara bağlı olarak toplum sağlığına ve çevreye verilen zarar giderek artmaktadır. Hava kirliliği dünya genelinde milyonlarca insanın yaşam kalitesini etkilemekte olup önemli bir çevresel tehdit oluşturmaktadır (Swain, 2024).

Hava kirliliği, havadaki zararlı maddelerin sağlık açısından tehlike oluşturacak seviyelerde bulunması olarak tanımlanmaktadır (Hassoun vd., 2019). Farklı bir kaynakta ise hava kirliliği, atmosferdeki bazı maddelerin belirli bir yoğunluğu aştığında ekolojik sisteme, insan varlığının ve gelişiminin normal koşullarına zarar veren bir etken olarak ifade edilmektedir (Bai vd., 2018). İnsanların yapmış oldukları üretim ve tüketim faaliyetlerine bağlı olarak atmosfere salınan atıklar hava kirliliğini arttırmakta doğal yaşamı tehdit etmekte ve halk sağlığına zarar vermektedir. Hızlı nüfus artışı ise

hava kirliliğinin diğer önemli bir sebebi olup çeşitli çevre zararlarına ve ciddi sağlık problemlerine yol açmaktadır (Manisalidis vd., 2020).

Atmosfere salınan karbon monoksit, azot oksitler, kükürt dioksit ve partikül maddeler gibi çok çeşitli toksik bileşenler, hava kalitesini bozarak çevre sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu kirleticilerin atmosferdeki etkileşimleri, sadece solunum yolu hastalıklarını tetiklemekle kalmayıp, aynı zamanda asit yağmurları gibi ekolojik dengeleri altüst eden ikincil çevresel felaketlere de zemin hazırlamaktadır (Adamopoulos vd., 2025). Bunun sonucunda su ve toprak kalitesi düşmekte bitkilerin gelişimi olumsuz etkilenmekte tarım ürünlerindeki verimi düşmektedir. Bu maddeler ekosistemin dengesini sarsarak besin zincirini bozar ve hayvanların da yaşam alanlarını tahrip eder. Kısaca hava kirliliği; çevreye, tarıma, bitki örtüsüne ve insan sağlığına yani bölgede yaşayan tüm canlılara zarar vermektedir (Manono vd., 2025). İlgili sonuçların yanı sıra Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine bağlı olarak vatandaşların solunum yolu hastalıkları (astım, bronşit), kanser hastalıkları ve kalp hastalıkları gibi çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenler başta olmak üzere Karabük ilindeki hava kirliliğine yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır (Can & Özsoy, 2023).

Bu çalışma ile Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine neden olan sorunların belirlenerek bu sorunlara yönelik stratejik çözüm önerileri sunmak, bölgedeki çevre ve toplum sağlığını korumak, yaşam kalitesini arttırmak ve Karabük'te sağlığa zarar verici herhangi bir hava kirliliği etmeninin olmadığı sağlıklı şehir haline getirmek amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümü literatür taramasından oluşmaktadır. Üçüncü bölüm metodoloji ile ilgilidir. Analiz sonuçları dördüncü bölümde belirtilmiştir. Son bölümde tartışma, sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2. Literatür Taraması

2.1. Hava Kirliliği, Kirleticiler

Hava kirliliği, atmosferdeki kirletici gaz ve maddelerin belirli bir seviyeyi aşması sonucu canlılara zarar veren bir çevre sorunudur. Doğrudan ve dolaylı olarak dünya üzerinde yaşayan canlıları olumsuz olarak etkilemekte olup küresel bir çevre felaketi olarak tanımlanmaktadır (Edo vd., 2024). Hava kirliliğine neden olan temel faktörler; bölgelerin coğrafi yapısına bağlı olarak hava sirkülasyonunun kısıtlı olması, sanayi faaliyetleri sonucunda atmosfere zararlı gazların salınımı, şehrin nüfus yoğunluğuna bağlı olarak başta ısınma amaçlı kullanılan fosil yakıtların tüketimi, trafikte ulaşım amaçlı kullanılan motorlu araçların yoğun olarak tercih edilmesidir (Fernández vd., 2021). Ayrıca hızlı ve plansız kentleşme ile altyapının yetersizliği, hava koşulları, orman yangınları, geri dönüşüm uygulamalarının ve atık yönetiminin yanlış veya yetersiz uygulanması ile sürdürülebilirliğin sağlıklı olarak sağlanamaması, iklim özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Sun vd., 2021; Li vd., 2017).

Hava kirliliğindeki başlıca kirleticiler ise, araç egzozları ve sanayi tesisleri gibi kaynaklardan meydana gelen partikül maddeler, özellikle kömür ve petrol kükürtlü yakıtların kullanılması sonucunda ortaya çıkan kükürt dioksittir. Ayrıca araç egzozları ve termik santraller gibi yüksek sıcaklıktaki yanmaların sonucu azot oksitler, yanma işlemlerinin yetersiz kalması sonucunda karbon monoksitin birikmesi, boya ve vernik gibi sanayi faaliyetleri ürünlerinde bulunan uçucu organik bileşikler, kurşun ve civa gibi ağır metaller, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre tüketimine bağlı olan amonyak gazı gibi kirleticiler çevresel dengenin bozulmasına, halk sağlığının olumsuz olarak etkilenmesine ve doğaya zarar vermesine neden olmaktadır (Ren vd., 2017).

Dünya genelinde hava kirliliği ve kirleticilerin bölgesel ve kapalı alan etkilerini değerlendirmek, aynı zamanda karar verme süreçlerini optimize etmek amacıyla Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve bulanık AHP gibi çok kriterli karar verme yöntemleri giderek daha fazla kullanılmaktadır. İspanya'nın Barcelona kentindeki eğitim binalarında iç mekan hava kalitesini ve termal konforu artırmak amacıyla farklı havalandırma sistemleri AHP yöntemi kullanılarak çok kriterli bir yaklaşımla değerlendirilmiş; hava kalitesi yönetimi için sürdürülebilir ve maliyet etkin çözümler önceliklendirilmiştir (López-Carreño vd., 2024). Benzer şekilde, Hindistan'ın madencilik ve sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu bir kentsel bölgesinde uçucu organik bileşiklerin kaynak dağılımı, reaktif özellikleri ve ikincil dönüşümleri bulanık AHP yöntemi ile incelenmiş; halk sağlığı ve hava kalitesi yönetimi açısından öncelikli kirleticiler tespit edilmiştir (Malik vd., 2024).

Küresel ölçekte hava kirliliği sorunlarının tespiti, kaynaklarının belirlenmesi ve etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla yürütülen güncel araştırmalarda kapsamlı uluslararası modeller ve veri bilimi yaklaşımları ön plana çıkmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları son yıllarda hava kalitesinin tahmin edilmesi, kirletici eğilimlerinin belirlenmesi ve kirlilik yükünün coğrafi tespiti konularında oldukça etkili sonuçlar vermektedir (Houdou vd., 2024). Bunun yanı sıra, uluslararası havacılık gibi spesifik ve büyük ölçekli emisyon kaynaklarının küresel hava kalitesi üzerindeki sınır aşan etkilerini tespit etmek için yüksek çözünürlüklü atmosferik modelleme çalışmaları yapılmaktadır (Eastham vd., 2024). Hava kirliliğinin küresel boyutta yarattığı sağlık risklerini tespit etmek amacıyla da Dünya Sağlık Örgütü'nün güncel veri araçları kullanılarak bölgesel kirlilik etkileri haritalandırılmakta (Amini vd., 2024) ve partikül madde (PM2.5 ve PM10) gibi başlıca kirleticilere uzun süreli maruziyetin sonuçlarını inceleyen kapsamlı meta-analizler aracılığıyla küresel kirlilik bilançosu net bir şekilde ortaya konmaktadır (Orellano vd., 2024). Bu küresel bulguları destekler nitelikteki diğer güncel çalışmalar da hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki yıkıcı etkilerini doğrulamaktadır. Örneğin, PM2.5 gibi ince partikül maddelere uzun süreli maruz kalmanın kardiyovasküler hastalıklar nedeniyle hastaneye yatış oranını ciddi oranda artırdığı geniş çaplı kohort çalışmalarıyla kanıtlanmıştır (Wei vd., 2024). Benzer şekilde, Küresel Hastalık Yüklü verilerini

kullanan sistematik analizler, hava kirliliğinin kardiyovasküler hastalıklara bağlı küresel ölüm oranlarındaki temel çevresel risk faktörü olduğunu ve bu yükün gelecekte de artma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır (Mao vd., 2024). Ayrıca, solunum yolu hastalıkları üzerine yapılan güncel meta-analizler de hava kirliliğinin hem çocuklarda hem de yetişkinlerde solunum yolu rahatsızlıkları ve acil servis başvuruları ile doğrudan bir ilişkisi olduğunu göstermektedir (Su vd., 2024).

Uluslararası literatürdeki bu yaklaşımlara paralel olarak, Türkiye özelinde yürütülen güncel çalışmalarda da hava kirliliği tahmini ve modellemesi üzerine makine öğrenmesi ve hibrit yöntemler başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. İstanbul'un geçmiş hava kalitesi verileriyle eğitilen makine öğrenmesi sistemleri incelendiğinde, karar ağaçlarına dayalı (ağaç tabanlı) modellerin, gelecekteki kirlilik seviyelerini tahmin etmede en yüksek başarıyı gösterdiği tespit edilmiştir. (Metin, 2025). Marmara Bölgesi gibi yoğun sanayi faaliyetlerinin olduğu kalabalık alanlarda, insan sağlığını tehdit eden ozon gibi gazların seviyelerini önceden tahmin edebilmek büyük önem taşır. Bu amaçla hem mevcut kirlilik verilerini hem de hava durumu koşullarını birlikte analiz eden yapay zeka sistemleri kullanılarak, bölgenin hava kalitesini korumaya yönelik karar alma süreçlerine büyük fayda sağlanmaktadır (Çelik vd., 2025).

Türkiye'deki bölgesel hava kalitesi dinamiklerini inceleyen çalışmalara bakıldığında, coğrafi ve meteorolojik koşulların endüstriyel faaliyetlerle birleştiği alanlar dikkat çekmektedir. Özellikle Karabük ilinde topografik yapıya bağlı olarak gelişen meteorolojik parametreler kirliliğin şiddetini doğrudan etkilemektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 2024) verilerine göre, il genelinde ortalama rüzgar hızları kış aylarında oldukça düşük seviyelerde (ortalama 1.0-1.5 m/sn) seyrederek kirlleticilerin dağılımını engellemektedir. Ayrıca bölgede kış mevsiminde %60-70 sıklıkla görülen sıcaklık inversiyonu, özellikle vadi tabanında soğuk ve kirliliğin hapsolmesine neden olmaktadır. Yaz aylarında ise ortalama 23-25°C'ye ulaşan sıcaklıklar ve artan güneş radyasyonu, sanayi emisyonlarıyla birleşerek ikincil kirlleticilerin oluşumuna zemin hazırlamaktadır (ÇŞİB, 2024a; MGM, 2024).

Bölgedeki meteorolojik ve topografik dezavantajlara, ağır sanayi tesislerinin yoğunluğu da eklenmektedir. Bu durum, hava kalitesi ölçümlerinin değerlendirilmesinde farklı bir perspektifi zorunlu kılmaktadır. Örneğin, istasyon verilerini geleneksel yöntemlerin ötesine geçerek inceleyen detaylı çalışmalar bulunmaktadır. Bu araştırmalar, Karabük gibi kompleks yapıdaki sanayi kentlerinde kirlilik profillerinin oldukça karmaşık olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışmalar, yerel dinamiklerin kirlilik ölçümlerine doğrudan yansımaları net bir şekilde ortaya koymuştur (Can & Özsoy, 2023). Buna ek olarak, Türkiye genelinde hava kirliliği ve sağlık etkilerini il bazında inceleyen güncel ve kapsamlı bilimsel raporlar bulunmaktadır. Bu raporlar, meteorolojik dezavantajlar ve sanayi emisyonları nedeniyle Karabük'teki partikül madde seviyelerinin ulusal ve uluslararası sınırları ciddi şekilde aştığını tespit etmiştir. Ortaya çıkan bu tablo, kenti halk sağlığı açısından öncelikli risk bölgelerinden biri konumuna getirmektedir (THHP, 2024).

2.2. Temiz Hava Çalışmalarındaki Engeller

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda hava kirliliğinin önlenmesi için yapılan temiz hava çalışmalarına çeşitli engelleyici unsurlar tespit edilmiştir. İlk olarak finansal yetersizlikler dikkat çekmekte olup özellikle gelişmekte olan ülkeler temiz hava teknolojisi ve çözümlerine gerekli finansmanı sağlamakta zorlanmaktadır. Diğer önemli bir engel eğitim yetersizliğinden dolayı temel çevre bilincinin halk ve kamuoyunda oluşturulamamasıdır. Gerekli olan politikaların ve yönetimsel yapıların uzun vadeli olarak uygulanamaması, politika istikrarının sağlanamaması da engel olarak karşımıza çıkmaktadır (Hyland & Donnelly, 2015). Temiz hava çalışmaları kapsamında uygulanacak olan kuralların büyük sanayi kuruluşlarının maliyetlerini arttırabilir, kazançları üzerinde olumsuz etkileri olduğu için çıkar çatışması yaşanabilmektedir. Bu olaylara zemin hazırlayan durumun ise yasal uygulamaların ve düzenlemelerin yapılmaması, gerekli denetimlerin yeterli olarak yapılmadığını ortaya çıkarmaktadır. Hava kirliliği sınır tanımayan bir problem olduğu için özellikle komşu ülkeler arasındaki küresel iş birliğinin yetersiz olması da temiz hava çalışmalarına engel olabilmektedir (Barnes vd., 2014).

3. Yöntem

3.1. Araştırma Sahasının Genel Özellikleri

Karabük ili, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'ne bağlı Batı Karadeniz Bölümü'nde yer almaktadır. Karabük Demir Çelik Fabrikaları'nın (Kardemir) temeli 3 Nisan 1937'de atılmış olup 6 Haziran 1939'da aktif hale gelmiştir. Bu gelişmelere bağlı olarak nüfus yoğunluğu artış göstermiştir. 6 Haziran 1995 yılında Eflani, Eskipazar, Ovacık, Yenice ve Safranbolu ilçelerinin bir araya getirilmesiyle Türkiye'nin 78. ili ünvanını almıştır. Genellikle engebeli bir araziye sahip olup çevresi dağlarla çevrilidir. İlin yüzölçümünün %60 ı ormanlarla kaplıdır. Oransal olarak %68,8'lik orman alanı ile Türkiye'nin en zengin orman alanlarına sahip olup doğa yürüyüşü, kampçılık vb. faaliyetleri yapılmaktadır. Ekonomisi sanayiye dayanmakta olup Kardemir büyük rol oynamaktadır. Safranbolu'nun tarihi mirası ise şehrin diğer bir gelir kaynağıdır. Kırsal kesimlerde ise tarım, hayvancılık ve ormancılık yaygındır. 2007 yılında kurulan Karabük Üniversitesi, Karabük'e ekonomik ve sosyal açıdan önemli katkılar sunmaktadır (Gökmen & Ege, 2020; Çed & Çevre Hizmetleri Şube Müdürlüğü, 2024).

Çalışma Karabük il merkezindeki hava kirliliğine sebep olan sorunların belirlenmesi ve bu sorunların önceliklendirilmesi çerçevesinde tasarlanmıştır. Sorun kategorileri bu çerçevede oluşturulmuş olup 5 uzman görüşü alınarak analiz edilmiştir.

3.2. Risk Kategorileri ve Uzman Seçimi

Araştırma tasarımının bir parçası olarak, konuya ilişkin mevcut literatür ayrıntılı biçimde incelenmiş; bu inceleme sonucunda ortaya konan sorun alanları sistematik biçimde tanımlanarak analize dâhil edilmiştir. Değerlendirmeye dahil edilen sorunların açıklaması ve referansları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Mevcut literatürde yer alan benzer araştırmalar, değerlendirme sürecine katılacak uzmanların en az beş yıllık mesleki deneyime sahip olması yönünde bir ölçüt benimsendiğini göstermektedir. (Uslu vd., 2024). Ayrıca en az 3-6 uzmana değerlendirme yaptırılması gerektiğini söylemektedir (Çalık, 2022; Uslu vd., 2023).

Tablo 1: Hava Kirliliğine Sebep Olan Kriterler

Kategoriler	Açıklamalar	Kaynaklar
Plansız Kentsel Gelişim	Hızlı ve plansız kentleşme ile ortaya çıkan altyapı yetersizliği (Karabük’te nüfus artışına paralel olarak artan yapılaşma, kirlilikteki artış trendini tetiklemektedir)	Rahaman vd., 2023; Neria-Hernández, Mugica-Álvarez vd., 2023; Singh vd., 2020; BAKKA, 2012.
Coğrafi Yapı	Şehrin dağlarla çevrili olması bir bölgede yer almasından kaynaklı hava sirkülasyonunun kısıtlı olması (Karabük’ün çanak yapısı, kirleticilerin atmosferik taşınım kapasitesini %40’a varan oranlarda kısıtlamaktadır)	Yang vd., 2020; Feng vd., 2020; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİB], 2020b.
Motorlu Araçlar	Motorlu araç sayısının artmasıyla beraber egzoz gazlarının havaya salınımı (Karabük’teki araç sayısının 70.000 sınırını aşması ve mevcut yol ağının dar vadi tabanında sıkışması)	B. Wang vd., 2022; Su, 2022; Li, 2020; ÇŞİB, 2024a.
Isınma Kaynaklı Kirlilik	Özellikle kış aylarında ısınma amacıyla kullanılan fosil yakıtların kullanımı (Kış sezonunda Karabük’te kükürtdioksit ve PM10 seviyeleri, yaz aylarına oranla 3 ila 4 kat artış göstermektedir)	Maciejczyk vd., 2021; Kotcher vd., 2019; Perera, 2017; ÇŞİB, 2024b.
Atık Yönetimi	Geri dönüşüm uygulamalarının ve atık yönetiminin yanlış veya yetersiz uygulanması (Karabük’te geri kazanım oranları %10-15 seviyelerindedir)	Gómez-Sanabria vd., 2022; Kanhai vd., 2021; Farzadkia vd., 2021; ÇŞİB, 2024a.
Sanayi Faaliyetleri	Sanayi tesislerinin atmosfere zararlı gazlar salması (Karabük Demir Çelik Fabrikası başta olmak üzere bölgedeki sanayi tesisleri, PM10 emisyonlarındaki %50-60’lık baskın payı)	Hannun & Razzaq, 2022; Munsif vd., 2021; Stolecka & Rusin, 2021; ÇŞİB, 2020a.

Araştırmada belirlenen kriterlerin AHP yöntemiyle değerlendirilebilmesi amacıyla, farklı disiplinlerden beş uzmanın görüşlerine başvurulmuştur. Uzman seçiminde, ilgili alanlarda en az 5 ile 10 yıl arasında mesleki tecrübeye sahip olma koşulu temel alınmıştır. Katılımcı uzmanlar arasında Çevre Mühendisi, Meteoroloji Uzmanı, Halk Sağlığı Uzmanı, Endüstri Mühendisi ve Şehir ve Bölge Planlama Uzmanı yer almaktadır. Uzmanlara yönelik tanımlayıcı bilgilere Tablo 2’de ayrıntılı biçimde yer verilmiştir.

Tablo 2: Uzman Bilgileri

	Meslek	Deneyim Süresi	Eğitim seviyesi
Uzman 1	Çevre Mühendisi	8	Yüksek Lisans
Uzman 2	Endüstri Mühendisi	7	Yüksek Lisans
Uzman 3	Meteoroloji Uzmanı	6	Lisans
Uzman 4	Halk Sağlığı Uzmanı	9	Doktora
Uzman 5	Şehir Bölge Planlama Uzmanı	8	Lisans

3.3. Veri Toplama Araçları

Araştırmada kullanılan veriler, literatür incelemeleri doğrultusunda geliştirilen sorunlara ilişkin olarak, farklı uzmanlık alanları ve akademik unvanlara sahip uzmanlardan alınan değerlendirmeler sonucunda elde edilmiştir. Uzmanların araştırmayı nesnel ve doğru biçimde değerlendirebilmelerini sağlamak amacıyla, değerlendirme araçları ile değerlendirme sürecine ilişkin ayrıntılı bilgilendirme araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir.

3.4. Araştırmanın Sınırlılıkları

Çalışma Karabük il merkezine ait veriler doğrultusunda yapılmış olup ilçelerine ait hava kirliliği durumunu kapsamamaktadır. Çalışmanın Karabük il merkezi ile sınırlandırılma nedeni; ilçelerin (Safranbolu, Eskipazar, Yenice, Eflani ve Ovacık) il merkezindeki ağır sanayi yükü, dar vadi topoğrafyası ve yüksek araç yoğunluğu gibi kirliliği tetikleyen koşullara sahip olmamasıdır. İlçelerin tarım-orman odaklı ekonomik yapısı ve açık arazi formları, il merkezindeki kompleks kirlilik dinamikleriyle uyumadığından; modelin tutarlılığını korumak ve yüksek riskli bölgeye odaklanmak amacıyla bu alanlar kapsam dışı bırakılmıştır.

Çalışmada görüşlerine başvurulmuş çok disiplinli uzman grubunun (çevre, meteoroloji, halk sağlığı, endüstri ve şehir bölge planlama) sayıca sınırlı kalması iki temel nedene dayanmaktadır. Birincisi; kullanılan AHP yönteminin doğası gereği istatistiksel bir büyük örneklem (nicelik) değil, konuya derinlemesine hakim uzmanların tutarlı yargıları (nitelik) esas alınmaktadır. İkincisi ve en önemlisi ise Karabük ilinin ölçeğidir. Karabük gibi görece küçük ve kendine has kompleks kirlilik dinamikleri (ağır sanayi, çanak topoğrafya) olan bir şehirde; hem ilgili disiplinlerde akademik/teknik yetkinliğe sahip hem de kentin yerel hava kirliliği geçmişini ve mekânsal zorluklarını sahada bizzat deneyimlemiş uzman havuzu oldukça dardır. Bu nedenle çalışmada, rastgele ve çok sayıda katılımcı yerine, şehrin spesifik dinamiklerini en doğru okuyabilen kilit karar vericilerden oluşan odak bir grupta ilerlenmesi tercih edilmiştir.

Sadece AHP yöntemi ile değerlendirildiği için karar kriterleri ve ağırlıklandırmalarda öznellik içerme riski taşımaktadır. Bu üç durum çalışmanın önemli bir kısıtını oluşturmaktadır.

3.5. Verilerin Analizi

Araştırmada verilerin analiz sürecinde, ilgili literatürde yer alan önceki çalışmalar temel alınarak belirlenen altı sorun kategorisini değerlendirmek üzere alanında yetkin uzmanlardan yararlanılmıştır. Uzman değerlendirmeleri, her bir kriterin diğer kriterlere göre görece önem düzeyini ortaya koymaktadır. Uzman görüşlerinden elde edilen veriler, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi aracılığıyla analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, AHP yöntemine ve analiz sürecine ilişkin genel bilgilere aşağıda yer verilmiştir.

3.5.1. AHP

Çok kriterli karar verme yaklaşımlarından AHP, Saaty tarafından geliştirilen ve çok ölçütlü karar verme sorunlarında kriterlerin tanımlanması ile önceliklerinin belirlenmesinde yaygın biçimde kullanılan temel yöntemlerden biri olarak literatürde yer almaktadır (Saaty, 1980; Saaty, 1986).

AHP yöntemi kullanılarak kriter önceliklerinin belirlenmesi sürecinde, konuya ilişkin belirli ölçütleri karşılayan uzmanların görüşlerine başvurulur. Uzmanlardan sağlanan geri bildirimler, AHP yöntemi ile sistematik biçimde çözümlenerek veriye dönüştürülür. Bu analiz sonucunda önceden saptanmış kriterler, önem derecelerine göre hiyerarşik olarak sıralanmaktadır. Böylelikle hangi kriterlerin öncelikli olduğu ve hangilerine daha fazla dikkat edilmesi gerektiği bilimsel olarak ortaya konmaktadır.

Yöntemin uygulama aşamaları 6 adımdan oluşmaktadır (Dağdeviren & Eren, 2001):

Adım 1: Karar vericinin hedefi doğrultusunda ilgili kriterlerin ve alt kriterlerin tanımlanarak hiyerarşik yapının yapılandırılması süreci

Adım 2: Her bir kriter temelinde alternatiflerin, ayrıca kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılmasına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Bu karşılaştırmalarda Tablo 4'te sunulan Önem Derecesi Ölçeği kullanılmıştır

İkili karar matrisi aşağıdaki gibidir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 3: İlişki matrislerinin normalleştirilmesinin gerçekleştirilmesi

Matristeki her değer, kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilir.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Birden fazla uzmandan elde edilen ikili karşılaştırma matrisi değerlerinin tek bir matriste birleştirilmesi amacıyla geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda her bir kriter karşılaştırmasına ait değerler uzman sayısı kadar çarpılarak n'inci dereceden kökü alınmıştır. Bu işlem sonucunda elde edilen değerler kullanılarak entegre ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.

Adım 4: Kriterlere ait önem ağırlıkları ile alternatiflerin bu kriterlere ilişkin ağırlıklarının çarpılması yoluyla alternatiflerin toplam öncelik değerlerinin hesaplanması süreci

Her bir satırın toplamı normalize edilmiş matris üzerinde hesaplanarak, matrisin boyutuna bölünür ve ortalama değer bulunur. Bu değerler, ilgili ölçütlerin önem derecelerini gösterir ve öncelik vektörünün oluşturulmasında kullanılır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n a'_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

eşitliği kullanılır ve bunun sonucunda ölçütlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilir.

Adım 5: Tutarlılık analizinin gerçekleştirilmesi

Tutarlılık oranı, CI katsayısı ile ifade edilir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (5)$$

$$AxW = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & \dots & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$d_i = \frac{x_i}{w_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (8)$$

Adım 6: Tutarlılık oranının hesaplanması

Hesaplama kullanılan RI değerleri, Tablo 3'te ifade edilir.

Tablo 3: RI Değeri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

CI ve RI değerleri hesaplandıktan sonra tutarlılık oranı hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

CR değerinin 0.10'dan küçük olması durumunda tutarlı olduğu söylenebilir.

Adım 7: Alternatiflerin genel puanlarının elde edilmesi

Tablo 4: Önem Derecesi Ölçeği

Önem Derecesi	Tanımı
1	Eşit önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Kesin önemli

4. Bulgular

Kriterler; Plansız Kentsel Gelişim (K1), Coğrafi Yapı (K2), Motorlu Araçlar (K3), Isınma Kaynaklı Kirlilik (K4), Atık Yönetimi (K5), Sanayi Faaliyetleri (K6) şeklinde numaralandırılmıştır.

Analiz sonucunda, AHP yönteminin güvenilirliğini gösteren Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio, CR) değeri 0,073 olarak hesaplanmıştır. Bu oranın 0,10'un altında olması, değerlendirmelerin tutarlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, elde edilen sonuçlar analizin güvenilirliğini desteklemekte ve çalışmanın metodolojik açıdan geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma kapsamında alınan uzman görüşlerinden bir tanesi Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5: Uzman Değerlendirmesi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	1	3	9	1/5	1/7
K2	1	1	5	7	7	1/9
K3	1/3	1/5	1	5	1/7	1/9
K4	1/9	1/7	5	1	3	1
K5	1/5	1/7	7	1/3	1	1/9
K6	7	9	9	1	9	1

AHP yönteminin gereklilikleri doğrultusunda uzman görüşleri entegrasyon matrisi kullanılarak birleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6: Entegre Matris

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	1,312	1,401	0,644	1,403	0,316
K2	0,762	1	1,476	0,844	3,438	0,803
K3	0,714	0,678	1	1,38	1,635	0,408
K4	1,552	1,185	1,38	1	3,374	2,371
K5	0,374	0,291	0,612	0,296	1	0,181
K6	3,16	1,246	2,45	0,422	5,515	1
Toplam	7,562	5,711	8,318	4,586	16,37	5,08

Verilerin karşılaştırılabilirliğini sağlamak amacıyla öncelikle normalize edilmiş bir matris oluşturulmuştur. Ardından, kriterlerin nihai ağırlıklarının belirlenebilmesi için ağırlıklandırılmış normalize matris hazırlanmış ve sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7: Ağırlıklandırılmış Normalize Matris

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	0,136	0,22	0,19	0,158	0,078	0,082
K2	0,104	0,168	0,2	0,207	0,192	0,208
K3	0,097	0,114	0,136	0,338	0,091	0,106
K4	0,212	0,199	0,187	0,245	0,189	0,615
K5	0,051	0,049	0,083	0,073	0,056	0,047
K6	0,431	0,209	0,332	0,103	0,308	0,259

Ağırlıklandırılmış normalize matris temelinde hesaplanan normalleştirilmiş ağırlıklar ile risklerin sıralaması Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8: Kriterlerin Normalize Ağırlıkları ve Sıralamaları

Kriter Türü	Normalize Ağırlık	Sıralama
K1	0,1365	4
K2	0,1676	3
K3	0,1357	5
K4	0,2449	2
K5	0,0559	6
K6	0,2594	1

Tablo 8'e göre Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine sebep olan kriterlerin en önemlisi %25,94 normalize ağırlık puanı ile "Sanayi Faaliyetleri" tespit edilmiştir. İkinci önemli kriter %24,49 normalize ağırlık puanı ile "Isınma Kaynaklı Kirlilik" olurken üçüncü sırada ise %16,76 normalize ağırlık puanı ile "Coğrafi Yapı" kriteri yer almaktadır. "Plansız Kentsel Gelişim" kriteri ise %13,65 normalize ağırlık puanı ile dördüncü sırada yer alırken "Motorlu Araçlar" kriteri %13,57 normalize ağırlık puanı ile beşinci sırada yer almaktadır. "Atık Yönetimi" kriteri ise %0,55 normalize ağırlık puanı ile en az önemli kriter olarak bulunmuştur.

5. Tartışma

Analiz sonuçlarına göre Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine sebep olan sorunların en önemlisinin "Sanayi Faaliyetleri" olduğu sonucuna varılmıştır. Türkiye'nin önemli demir çelik fabrikalarından birinin bölgede büyük bir sanayi faaliyeti yürütmesinin yanı sıra şehirdeki sanayi tesislerinin atmosfere zararlı gazlar salması da önemli unsurlar arasındadır. [Rahman vd. \(2021\)](#) dünyanın en büyük sanayi faaliyetlerine sahip 20 ülkesi üzerinde yapmış oldukları araştırmada "Sanayi Faaliyetleri" sorunlarına bağlı olarak endüstriyel kirliliğin insan ve çevre sağlığı için zararlı bir faktör olduğunu tespit etmiştir. Karabük özelinde bu durum, Karabük İli 2023 Yılı Çevre Durum Raporu'nda da vurgulandığı üzere, ağır sanayi tesislerinin emisyon profilleriyle paralellik göstermektedir. Şehirdeki sanayi tesisleri, 'Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği' çerçevesinde sıkı bir çevre izin ve lisans sürecine tabidir. Ancak tesislerin kapasite artışları, emisyonların vadi tabanındaki yerleşim alanları üzerindeki kümülatif etkisi yerel çevre politikalarının en kritik gündem maddesini oluşturmaya devam etmektedir ([ÇŞİB, 2024a](#)). [Manisalidis vd. \(2020\)](#) hava kirliliğinin çevresel ve sağlık üzerindeki etkileri üzerine yapmış oldukları çalışmada endüstriyel tesislerden ve enerji santrallerinden çıkan gaz emisyonlarının çevreye olan etkilerinin yanı sıra insan sağlığına da olumsuz etkileri olduğunu saptamıştır. [Long vd. \(2021\)](#) endüstriyel faaliyetlerin sağlık riski üzerindeki etkisine yönelik çalışmada ağır metallerin insan vücuduna solunum yoluyla girebileceğini ve kanser riski taşıdığı sonucuna varmıştır. [Cabral-Pinto vd. \(2020\)](#) sanayi faaliyetlerinin gerçekleştiği bir alanın çevresinde tarımsal faaliyetler kapsamında üretilen ürünlerin tüketiminin insan sağlığına etkileri araştırmasında, özellikle yüzeye yakın olarak üretilen tarım ürünlerinin tüketimine bağlı olarak sağlık riskleri oluştuğunu önde gelen risklerden birinin ise kanser riski olduğunu vurgulamıştır.

Çalışmanın sonuçlarına göre; Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine sebep olan sorunlardan ikinci önemli kriterin "Isınma Kaynaklı Kirlilik" olduğu tespit edilmiştir. Şehirde özellikle kış aylarında ısınma amaçlı olarak kömür kullanımı sonucu çevreye ciddi miktarda karbon monoksit, partikül madde salınımı olmaktadır. Şehirde biriken kirliliğin hava ve insan sağlığı açısından oldukça risklidir. Yerel yönetimlerin doğalgaz dönüşüm teşviklerine rağmen, İl Mahalli Çevre Kurulu kararlarıyla denetlenen yakıt kullanımında, özellikle dar gelirli bölgelerde kömür tüketiminin devam ettiği görülmektedir. Karabük Çevre Durum Raporu verileri de ısınma dönemlerinde partikül madde (PM10) değerlerinin sınır değerleri aşmasını, sosyal yardım amaçlı dağıtılan yakıtların kalitesi ve düşük yanma verimliliği ile ilişkilendirmektedir ([ÇŞİB, 2024a](#)). [Hendryx vd. \(2020\)](#) kömür tüketiminin sağlık üzerindeki etkileri üzerine yapmış oldukları çalışmada kömür kullanımının halk sağlığına ve çevreye olumsuz etkileri olduğunu saptamıştır. Halk sağlığına etkisi olarak kanser, kardiyovasküler hastalıklar, solunum yolu hastalığı, böbrek hastalığı gibi hastalıkların olduğunu belirtmiştir. [Finkelman vd. \(2021\)](#) kömürün gelecekteki çevresel ve sağlık etkileri ile ilgili araştırmada kömürün en tehlikeli kullanımının çok az veya hiç havalandırma olmadan yakıldığı ortamlar olduğunu ifade etmiştir. Dünya çapında yaygın olan ısınmak ve yemek pişirmek amaçlı kullanılan kömürün; zihinsel hastalıkların, solunum yolu sorunlarının, akciğer (KOA) hastalığının tetikleyicisi olabileceğini de vurgulamıştır. [Gasparotto vd. \(2021\)](#) kömürün enerji kaynağı olarak kullanımı ve insan sağlığına etkileri üzerine yaptıkları çalışmada, kömür tüketimi sonrası ortaya çıkan kükürt, azot gibi tehlikeli maddelerin sürekli olarak solunmasının insan sağlığına birçok olumsuz etkisi olduğunu tespit etmiştir. İlgili hastalıkların; solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler hastalıklar, bağışıklık sistemi, üreme sistemi hastalıkları olup halk sağlığının korunması için uygun çevre koruma önlemlerinin alınması gerektiğini belirtmiştir.

Çalışmaya göre, Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine sebep olan sorunlardan üçüncü önemli sorun "Coğrafi Yapı" olarak belirlenmiştir. Karabük şehrinin dağlarla çevrili bir bölgede yer almasından kaynaklı olarak hava sirkülasyonunun kısıtlı olması özellikle kış aylarında şehirde hava kirliliğinin oluşmasına sebep olmaktadır. [Liang vd. \(2019\)](#) hava kirliliğinin dağılımı ile ilgili yaptıkları çalışmada, bölgenin coğrafi yapısının da hava kirliliğine sebep olan faktörlerden biri olduğu sonucu varmıştır. [Singh vd. \(2022\)](#) hava kirliliğinin çevreye ve sağlığa etkilerine yönelik yaptıkları araştırmada, hava kirliliğini tetikleyen unsurlar arasında bölgenin coğrafi yapısına bağlı olarak hava

sirkülasyonunun yetersiz olmasının da yer aldığını belirtmiş olup çevre ve halk sağlığı üzerinde olumsuz etkilerini de ön plana çıkarmıştır. Karabük'ün topoğrafik yapısı, yerel meteorolojik raporlarda da belirtildiği üzere, özellikle kış aylarında 'sıcaklık inversiyonu' sıklığını artırarak kirleticilerin dağılmasını fiziksel olarak engellemektedir. Bu durum, bölge için hazırlanan Temiz Hava Eylem Planları'nda mekânsal planlamanın kirlilikle mücadeledeki stratejik önemini kanıtlamaktadır.

“Plansız Kentsel Gelişim” kriteri ise Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine sebep olan sorunlardan dördüncüsü olarak belirlenmiştir. Hızlı ve plansız kentleşme ile ortaya çıkan altyapı yetersizliği bu durumun ortaya çıkma sebeplerinden biridir. [Rashed \(2023\)](#) kentsel gelişimin çevreye etkileri üzerine yapmış olduğu çalışmada, plansız kentleşmenin hava kirliliğine neden olan kriterlerden olduğunu tespit etmiştir. Bu duruma çözüm önerisi olarak sürdürülebilir kentleşmenin çevre ve insan sağlığı için oldukça önemli olduğunu vurgulamıştır. [F. Wang vd. \(2022\)](#) kentsel oluşumun hava kirliliği üzerine etkisini araştırmak için yaptıkları çalışmada; şehir yöneticilerinin bölgenin imar planlamasından itibaren altyapıya oldukça önem vermesi gerektiğini ifade etmiştir. Aksi takdirde hızlı kentleşmeye bağlı olarak hava kirliliğini kontrol etmenin oldukça zor olacağını belirtmiştir.

“Motorlu Araçlar” kriteri ise beşinci önemli faktör olarak ön plana çıkmaktadır. Şehirlerde motorlu araç sayısının artmasıyla beraber egzoz gazlarının havaya salınımı hava kirliliğine neden olmaktadır. [Shafie vd. \(2020\)](#) motorlu araçların yakıt tüketimi sonucunda egzoz emisyonlarına bağlı olarak atmosfere karbon dioksit gibi zararlı gazların salınımı hava kirliliğine neden olduğunu, şehirdeki hava kalitesinin düştüğünü ve bu durumun insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler bırakarak solunum yolu hastalıklarını tetiklediğini vurgulamıştır. [Bej vd. \(2023\)](#) ise araç egzoz emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliği ile ilgili araştırmada araç egzoz emisyonunun hava kirliliğine oldukça etkisi olduğunu ve aşırı derecede sağlık riski taşıdığını ifade etmiştir.

Çalışmadaki faktörler arasından “Atık Yönetimi” en az önemli kriter olarak belirlenmiştir. Geri dönüşüm uygulamalarının ve atık yönetiminin yanlış veya yetersiz uygulanması hava kirliliğini tetiklemektedir. [Salman vd. \(2023\)](#) akıllı şehir konseptinde çevresel faktörler üzerine yapmış oldukları çalışmada, atık yönetiminin akılcı yöntemlerle yapılması gerektiğini aksi takdirde hava kirliliği gibi sorunlara neden olabileceğini vurgulamıştır. [Siddiqua vd. \(2022\)](#) atıkların düzensiz depolanması ve açık araziye dökülmesi ile ilişkili olarak oluşan çevre kirliliği ve sağlığa etkileri üzerine araştırma yapmıştır. Araştırma sonuçlarına göre atık yönetimi ve depolama alanı yönetiminin uygun şekilde yapılmaması durumunda oluşan çevre kirliliğine bağlı olarak atıklarda bulunan zararlı maddelerin sızması sonucu yer altı suyu kirliliği olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca zararlı partiküller nedeniyle hava kirliliği, atıkların birikmesiyle koku kirliliği meydana gelebileceğini ifade etmiştir. Havanın ve yer altı sularının kirlenmesiyle bölgede yaşayan insanlarda kanser hastalıkları başta olmak üzere çevreye olumsuz etkileri olabileceğini belirtmiştir.

6. Sonuç ve Öneriler

Her geçen gün çevrenin ve toplumun sağlıklı ve mutlu bir şekilde yaşayabileceği, sağlığa zarar verici herhangi bir etmenin olmadığı şehirlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine neden olan sorunlar belirlenmiştir. Kentte önemli bir demir çelik fabrikasının faaliyet göstermesi ayrıca çok sayıda sanayi tesisinin bulunmasından dolayı hava kirliliğine neden olan en önemli sorun “Sanayi Faaliyetleridir”. “Isınma Kaynaklı Hava Kirliliği” en önemli ikinci sorun olarak belirlenmiştir. Özellikle kış aylarında düşük kaliteli kömür kullanımı başta olmak üzere farklı fosil yakıtlarının da kullanımı bu sorunda etkilidir. Üçüncü unsur ise Karabük'ün “Coğrafi Yapısıdır”. Şehrin dağlarla çevrili olmasına bağlı olarak hava sirkülasyonunun yetersiz olması hava kirliliğine neden olmaktadır. “Plansız Kentsel Gelişim” dördüncü sorun olarak tespit edilmiştir. Hızlı ve plansız kentleşme sonucunda altyapı yetersizliği başta olmak üzere bazı problemler ortaya çıkmakta olup hava kirliliğine neden olmakta ve çevre sorunlarını tetiklemektedir. Şehir içindeki trafik yoğunluğuna ve eski araçların yaygın kullanımına bağlı olarak hava kirliliğine neden olan diğer bir unsur “Motorlu Araçlardır”. En az önemli faktör ise “Atık Yönetimi” olarak tespit edilmiştir. Atık yönetiminin ve geri dönüşüm uygulamalarının doğru uygulanmaması hava kirliliğine neden olmaktadır.

Belirtilen faktörler hava kirliliğine dolayısıyla çevre sağlığına, tarıma, doğada yaşayan canlılara ve doğrudan insan sağlığına zarar vermektedir. Karbon monoksit, azot oksit, kükürt dioksit ve partikül maddeler başta olmak üzere atmosfere salınan zararlı gazlar çevre sağlığını bozarak atmosferde asit yağmurlarına neden olur. Bu durum su ve toprak kalitesini düşürmekte bitkilerin gelişimini olumsuz etkilemektedir. Bu maddeler ekosistemi bozarak hayvanların yaşam alanlarını tahrip eder, besin zincirine zarar verir. Ayrıca baş ağrısı ve yorgunluk, solunum yolu hastalıkları, akciğer hastalıkları, kardiyovasküler hastalıklar, akciğer kanseri gibi insan sağlığını etkileyen sağlık problemlerine yol açar. Çocuklar, yaşlılar ve kronik rahatsızlığı olan bireyler için daha fazla tehdit oluşturur.

Hava kirliliğine neden olan ilk iki sırada yer alan risklerden ‘Sanayi Faaliyetleri’ ve ‘Isınma Kaynaklı Kirlilik’, toplam risk ağırlığının yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Bundan dolayı sağlıklı bir şehir planlaması açısından söz konusu iki kritere yönelik risklerin azaltılması veya ortadan kaldırılmasına yönelik Karabük Valiliği koordinasyonunda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü ile Karabük Belediyesi tarafından stratejik müdahalelerin geliştirilmesi önerilmektedir. Özellikle Kardemir ana tesisleri ile şehir yerleşimi arasında mekânsal bir tampon bölge (yeşil kuşak) oluşturulmalıdır. Sanayi emisyonlarının azaltılması için sanayi tesislerinde elektrostatik ve torba filtre gibi yüksek verimli filtreleme teknolojilerinin yanı sıra modern gaz artma sistemleri kullanılmalı ve enerji verimliliğini artırmak için enerji yönetim sistemleri uygulanmalıdır. Bu süreçler ÇŞİB tarafından 7/24 sürekli emisyon ölçüm sistemleri (SEÖS) ile

denetlenmelidir. Kömür gibi yüksek emisyonlu fosil yakıtların yerine doğal gaz ve yenilenebilir enerjiye geçiş; Karabük Belediyesi ve Sosyal Yardımlaşma Vakfı aracılığıyla, özellikle topoğrafyanın doğal gaz altyapısını zorlaştırdığı yüksek mahallelerde hibe ve teşviklerle desteklenmelidir. Sanayi tesisleri düzenli olarak denetlenmeli, mevzuata uymayanlara yaptırımlar uygulanmalı; çevreye duyarlı üretim yöntemlerini benimseyen firmalar ise devlet teşvikleriyle desteklenmelidir. Doğalgaz altyapısının genişletilmesi ve maliyetin erişilebilir hale getirilmesiyle birlikte güneş panelleri, jeotermal enerji ve ısı pompaları gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Sunulan çözüm önerilerinin uygulanabilirlik düzeyi; teknik, yasal ve ekonomik açılarından yüksek bir potansiyele sahiptir. Sanayi odaklı müdahaleler kapsamında filtreleme ve SEÖS kurulumu, mevcut Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği uyarınca yasal bir zorunluluk teşkil etmektedir. Özellikle Kardemir gibi kurumsal kapasitesi yüksek yapıların çevre yatırımları için Avrupa Birliği Yeşil Mutabakat fonları ve sürdürülebilir finansman araçlarına erişim sağlayabilmesi, bu önerilerin ekonomik uygulanabilirliğini desteklemektedir. Isınma odaklı stratejilerde ise Karabük il merkezindeki doğalgaz altyapısının %90'ın üzerinde bir erişilebilirliğe sahip olması teknik engelleri ortadan kaldırmaktadır. Sosyal yardımlar kapsamında sağlanan kömür desteğinin doğalgaz fatura desteğine dönüştürülmesi modeli ise ek bütçe gerektirmeyen, yalnızca yönetsel bir kaynak kaydırmasıyla hayata geçirilebilecek yüksek uygulanabilirliğe sahip bir yaklaşımdır. Daha az yakıt tüketimi için devlet destekli programlarla binaların yalıtım projeleri için İl Özel İdaresi destekli yerel programlar hayata geçirilmeli ve enerji verimliliği artırılmalıdır. Düşük kaliteli kömürün yasaklanması ve düzenli kalite denetimlerinin yanı sıra, doğru yakıt kullanımı ve enerji tasarrufu konularında halkın bilinçlendirilmesi için eğitim programları düzenlenmelidir.

Hava kirliliğine neden olan diğer dört kriterin sırasıyla “Coğrafi Yapı, Plansız Kentsel Gelişim, Motorlu Araçlar, Atık Yönetimi” olduğu tespit edilmiştir. Sanayi bölgelerine yakın olan alanlarda ağaçlandırma yapılarak rüzgar koridorları oluşturularak hava akışı sağlanıp kirleticiler dağıtılabilir. Ağaçlar ve bitkiler havadaki partikül maddeleri tutma özelliğine sahip olduğu için şehirdeki yeşil alanlar artırılarak doğal filtreleme sağlanabilir. Karabük’ün dar vadi yapısında kirliliği dağıtmak amacıyla, Araç ve Soğanlı çayları boyunca uzanan doğal hava koridorları üzerinde yapılaşma baskısı durdurulmalıdır. Belediye İmar Müdürlüğü tarafından revize edilecek imar planları ile vadi tabanında rüzgar akışını dikeyde kesen yüksek katlı binalara (duvar etkisi) izin verilmemelidir. Yeni yapılacak binaların enerji verimliliğinin yüksek olması ve çevre dostu malzemeler kullanılması doğrultusunda yeşil bina sertifikasyonuna sahip projeler desteklenmelidir. Şehir içi toplu taşıma altyapısının güçlendirilmesi gerekmektedir. Toplu taşıma kullanımını teşvik etmek amaçlı Karabük Belediyesi bileti fiyatlarını uygun hale getirilebilir. Eski model araçların hava kirliliğine etkisi fazla olduğu için eski araç sahipleri için devlet destekli hurda teşvik programları başta olmak üzere araç yenileme programları uygulanabilir. Ulaşım planlaması kapsamında şehre bisiklet yolları ve bisiklet park alanları yapılarak şehirde bisiklet kullanımına teşvik edilmelidir. Elektrikli araç kullanımını artırmak için devlet destekli vergi indirimli elektrikli araç kampanyaları düzenlenebilir. Son olarak, Karabük Katı Atık Bertaraf ve Düzenli Depolama Tesisi bünyesinde entegre atık yönetim sistemleri modernizasyonu tamamlanmalı, düzenli depolama sahalarından kaynaklanan metan ve koku emisyonları enerji geri kazanım üniteleri ile kontrol altına alınmalıdır.

Karabük şehir merkezindeki hava kirliliğine neden olan sorunlar belirlenmiş olup bu sorunların şehirde yaşayan vatandaşların sağlık sorunlarına etkisini en aza indirmek, çevreyi ve bölgedeki canlıların sağlığını korumak, yaşam kalitesini arttırmak amacıyla hava kirliliğine neden olan sorunların stratejik çözüm önerileri sunulmuştur. Önerilerin uygulanması durumunda Karabük’te çevre ve insan sağlığına zarar verici herhangi bir hava kirliliği etmeninin olmadığı, yüksek yaşam kalitesine sahip bir kent olacağı öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Adamopoulos, I., Syrou, N., & Vito, D. (2025). Climate change risks and impacts on public health correlated with air pollution-African dust in South Europe. *Medical Sciences Forum*, 33(1), Article 1.
- Amini, H., Yousefian, F., Faridi, S., Andersen, Z. J., Calas, E., Castro, A., Cervantes-Martínez, K., Cole-Hunter, T., Corso, M., Dragic, N., Evangelopoulos, D., Gapp, C., Hassanvand, M. S., Kim, I., Le Tertre, A., Medina, S., Miller, B., Montero, S., Requena, W. J., ... Mudu, P. (2024). Two decades of air pollution health risk assessment: Insights from the use of WHO's AirQ and AirQ+ tools. *Public Health Reviews*, 45, Article 1606969. <https://doi.org/10.3389/phrs.2024.1606969>
- Bai, L., Wang, J., Ma, X., & Lu, H. (2018). Air pollution forecasts: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), Article 780.
- Barnes, J. H., Hayes, E. T., Chatterton, T. J., & Longhurst, J. W. (2014). Air quality action planning: Why do barriers to remediation in local air quality management remain? *Journal of Environmental Planning and Management*, 57(5), 660–681.
- Bej, D., & Chattaraj, N. (2023). Air pollution from vehicle-tailpipe emissions and diagnostic approaches through cyber-physical platform: A review. *Microprocessors and Microsystems*, 98, Article 104805.
- Cabral-Pinto, M. M., Inácio, M., Neves, O., Almeida, A. A., Pinto, E., Oliveiros, B., & Ferreira da Silva, E. A. (2020). Human health risk assessment due to agricultural activities and crop consumption in the surroundings of an industrial area. *Exposure and Health*, 12, 629–640.
- Can, A., & Özsoy, H. (2023). A different perspective on air pollution measurements. *Politeknik Dergisi*, 26(1), 329–344.
- Çalık, A. (2022). Bulanık AHP-bulanık ARAS yöntemlerine dayalı dayanıklı tedarikçi seçimi. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 275–296.
- Çelik, G., Sülün, Ş., Keçeci, S., & Ergenekon, P. (2025). Ozon konsantrasyonunun Marmara Bölgesi istasyonlarındaki hava kirliliği ve meteorolojik ölçümler kullanılarak makine öğrenmesi modelleriyle tahmini. *Şura Akademi*, 9, 9–23.

- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİB]. (2020a). *Karabük ili hava kalitesi bülteni ve ölçüm verileri*. Sürekli İzleme Merkezi.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİB]. (2020b). *Karabük ili temiz hava eylem planı (2020-2024)*. Karabük Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİB]. (2024a). *Karabük ili 2023 yılı çevre durum raporu*. Karabük Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/karabuk-icdr_2023-20240718152156.pdf
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİB]. (2024b). *Karabük ili hava kalitesi bülteni ve ölçüm verileri*. Sürekli İzleme Merkezi.
- Dağdeviren, M., & Eren, T. (2001). Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1), 41–52.
- Eastham, S. D., Chossière, G. P., Speth, R. L., Jacob, D. J., & Barrett, S. R. (2024). Global impacts of aviation on air quality evaluated at high resolution. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 24(4), 2687–2703.
- Edo, G. I., Itoje-Akpokiniovo, L. O., Obasohan, P., Ikpekor, V. O., Samuel, P. O., Jikah, A. N., Nosu, L. C., Ekokotu, H. A., Ugbune, U., Oghoro, E. E. A., Emakpor, O. L., Ainyanbhor, I. E., Mohammed, W. A.-S., Akpogheli, P. O., Owhero, J. O., & Agbo, J. J. (2024). Impact of environmental pollution from human activities on water, air quality and climate change. *Ecological Frontiers*, 44(5), 874–889. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2024.02.014>
- Farzadkia, M., Mahvi, A. H., Norouzian Baghani, A., Sorooshian, A., Delikhoon, M., Sheikhi, R., & Ashournejad, Q. (2021). Municipal solid waste recycling: Impacts on energy savings and air pollution. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71(6), 737–753.
- Feng, T., Du, H., Lin, Z., & Zuo, J. (2020). Spatial spillover effects of environmental regulations on air pollution: Evidence from urban agglomerations in China. *Journal of Environmental Management*, 272, Article 110998.
- Fernández, M. E., Gentili, J. O., & Campo, A. M. (2021). Air pollutants in an intermediate city: Variability and interactions with weather and anthropogenic elements in Bahía Blanca, Argentina. *Environmental Processes*, 8(1), 349–375.
- Finkelman, R. B., Wolfe, A., & Hendryx, M. S. (2021). The future environmental and health impacts of coal. *Energy Geoscience*, 2(2), 99–112.
- Gasparotto, J., & Martinello, K. D. B. (2021). Coal as an energy source and its impacts on human health. *Energy Geoscience*, 2(2), 113–120.
- Gómez-Sanabria, A., Kieseewetter, G., Klimont, Z., Schoepp, W., & Haberl, H. (2022). Potential for future reductions of global GHG and air pollutants from circular waste management systems. *Nature Communications*, 13(1), Article 106.
- Gökmen, Ö., & Ege, İ. (2020). Karabük ilindeki rekreasyon alanlarının coğrafi dağılışı. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 10(3), 521–537.
- Hannun, R. M., & Razzaq, A. H. A. (2022). Air pollution resulted from coal, oil and gas firing in thermal power plants and treatment: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1002(1), Article 012008.
- Hassoun, Y., James, C., & Bernstein, D. I. (2019). The effects of air pollution on the development of atopic disease. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 57(3), 403–414.
- Hendryx, M., Zullig, K. J., & Luo, J. (2020). Impacts of coal use on health. *Annual Review of Public Health*, 41(1), 397–415.
- Houdou, A., El Badisy, I., Khomsi, K., Abdala, S. A., Abdulla, F., Najmi, H., Obtel, M., Belyamani, L., Ibrahim, A., & Khalis, M. (2024). Interpretable machine learning approaches for forecasting and predicting air pollution: A systematic review. *Aerosol and Air Quality Research*, 24(1), Article 230151.
- Hyland, J., & Donnelly, P. (2015). Air pollution and health: The views of policymakers, planners, public and private sector on barriers and incentives for change. *Journal of Transport & Health*, 2(2), 120–126.
- Kalkınma Bakanlığı & Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı. (2012). *Karabük, Zonguldak, Bartın illeri çevresel durum değerlendirmesi*. <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/karabuk-zonguldak-bartın-cevresel-durum-degerlendirmesi.pdf>
- Kanhai, G., Fobil, J. N., Nartey, B. A., Spadaro, J. V., & Mudu, P. (2021). Urban municipal solid waste management: Modeling air pollution scenarios and health impacts in the case of Accra, Ghana. *Waste Management*, 123, 15–22.
- Kotcher, J., Maibach, E., & Choi, W. T. (2019). Fossil fuels are harming our brains: Identifying key messages about the health effects of air pollution from fossil fuels. *BMC Public Health*, 19(1), Article 1079. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7373-1>
- Li, S., Feng, K., & Li, M. (2017). Identifying the main contributors of air pollution in Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 163, 359–365.
- Li, W. W. (2020). Air pollution, air quality, vehicle emissions, and environmental regulations. In H. Khreis, M. J. Nieuwenhuijsen, J. Zietsman, & T. L. Ramani (Eds.), *Traffic-related air pollution* (pp. 23–49). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818122-5.00002-8>
- Liang, D., Wang, Y. Q., Wang, Y. J., & Ma, C. (2019). National air pollution distribution in China and related geographic, gaseous pollutant, and socio-economic factors. *Environmental Pollution*, 250, 998–1009.
- Long, Z., Huang, Y., Zhang, W., Shi, Z., Yu, D., Chen, Y., Liu, C., & Wang, R. (2021). Effect of different industrial activities on soil heavy metal pollution, ecological risk, and health risk. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(1), Article 20.
- Lopez-Carreno, R. D., Pujadas, P., & Pardo-Bosch, F. (2024). Optimizing ventilation systems in Barcelona schools: An AHP-based assessment for improved indoor air quality and comfort. *Applied Sciences*, 14(23), Article 11138.
- Maciejczyk, P., Chen, L. C., & Thurston, G. (2021). The role of fossil fuel combustion metals in PM2.5 air pollution health associations. *Atmosphere*, 12(9), Article 1086.
- Malik, N., Singh, V., Kumar, K., & Elumalai, S. P. (2024). VOC source apportionment, reactivity, secondary transformations, and their prioritization using fuzzy-AHP method in a coal-mining city in India. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(17), 25406–25423.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in Public Health*, 8, Article 14.
- Manono, B. O., Sadiq, F. K., Sadiq, A. A., Matsika, T. A., & Tanko, F. (2025). Impacts of air quality on global crop yields and food security: An integrative review and future outlook. *Air*, 3(3), Article 24.

- Mao, Q., Zhu, X., Zhang, X., & Kong, Y. (2024). Effect of air pollution on the global burden of cardiovascular diseases and forecasting future trends of the related metrics: A systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2021. *Frontiers in Medicine*, 11, Article 1472996.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM]. (2024). Resmi istatistikler: Karabük ili iklim verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>
- Metin, S. (2025). Hava kirliliği değerlerinin makine öğrenmesi ve hibrit yöntemler ile tahmini: İstanbul örneği. *Malatya Turgut Özal Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 6(2), 190–203.
- Munsif, R., Zubair, M., Aziz, A., & Zafar, M. N. (2021). Industrial air emission pollution: Potential sources and sustainable mitigation. In R. Viskup (Ed.), *Environmental emissions*. IntechOpen.
- Neria-Hernández, A., Mugica-Álvarez, V., Colín-Cruz, A., Sánchez-Meza, J. C., & Amaya-Chávez, A. (2023). *Air pollution in cities with unplanned urban growth, a case study of Toluca Valley: Trends and health impacts compared with Mexico City* [Preprint]. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3195216/v1>
- Orellano, P., Kasdagli, M. I., Velasco, R. P., & Samoli, E. (2024). Long-term exposure to particulate matter and mortality: An update of the WHO global air quality guidelines systematic review and meta-analysis. *International Journal of Public Health*, 69, Article 1607683.
- Perera, F. P. (2017). Multiple threats to child health from fossil fuel combustion: Impacts of air pollution and climate change. *Environmental Health Perspectives*, 125(2), 141–148.
- Rahaman, M. A., Kalam, A., & Al-Mamun, M. (2023). Unplanned urbanization and health risks of Dhaka City in Bangladesh: Uncovering the associations between urban environment and public health. *Frontiers in Public Health*, 11, Article 1269362.
- Rahman, M. M., Alam, K., & Velayutham, E. (2021). Is industrial pollution detrimental to public health? Evidence from the world's most industrialised countries. *BMC Public Health*, 21(1), Article 1175.
- Rashed, A. H. (2023). The impacts of unsustainable urbanization on the environment. In A. Almusaed & A. Almssad (Eds.), *Sustainable regional planning*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110089>
- Ren, L., Yang, W., & Bai, Z. (2017). Characteristics of major air pollutants in China. In G.-H. Dong (Ed.), *Ambient air pollution and health impact in China* (pp. 7–26). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5657-4_2
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32(7), 841–855. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.7.841>
- Salman, M. Y., & Hasar, H. (2023). Review on environmental aspects in smart city concept: Water, waste, air pollution and transportation smart applications using IoT techniques. *Sustainable Cities and Society*, 94, Article 104567.
- Shafie, S. H. M., & Mahmud, M. (2020). Urban air pollutant from motor vehicle emissions in Kuala Lumpur, Malaysia. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(12), 2793–2804.
- Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., & Al-Attia, W. A. K. (2022). An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39), 58514–58536.
- Singh, A., & Singh, K. K. (2022). An overview of the environmental and health consequences of air pollution. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 13(3), 231–237. <https://doi.org/10.5829/ijee.2022.13.03.03>
- Singh, N., Singh, S., & Mall, R. K. (2020). Urban ecology and human health: Implications of urban heat island, air pollution and climate change nexus. In P. Verma, P. Singh, R. Singh, & A. S. Raghubanshi (Eds.), *Urban ecology: Emerging patterns and social-ecological systems* (pp. 317–334). Elsevier.
- Stolecka, K., & Rusin, A. (2021). Potential hazards posed by biogas plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, Article 110225.
- Su, J. (2022). Research on the impact of automobile exhaust on air pollution. In *2022 International Conference on Urban Planning and Regional Economy (UPRE 2022)* (pp. 497–501). Atlantis Press.
- Su, J. G., Aslebagh, S., Shahriary, E., Barrett, M., & Balmes, J. R. (2024). Impacts from air pollution on respiratory disease outcomes: A meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 12, Article 1417450.
- Sun, J., Dang, Y., Zhu, X., Wang, J., & Shang, Z. (2021). A grey spatiotemporal incidence model with application to factors causing air pollution. *Science of the Total Environment*, 759, Article 143576.
- Swain, C. K. (2024). Environmental pollution indices: A review on concentration of heavy metals in air, water, and soil near industrialization and urbanisation. *Discover Environment*, 2(1), Article 5.
- Temiz Hava Hakkı Platformu. (2024). *Kara rapor 2024: Hava kirliliği ve sağlık etkileri*. <https://www.temizhavahakki.com/kara-rapor/>
- Uslu, Y., Sevim, B., Aygün, S., Onaran, S., & Gedikli, E. (2024). Türkiye’de sağlık işletmelerinde tıbbi cihaz tedarik sürecinde karşılaşılan risklerin AHP yöntemi ile belirlenmesi. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 10(1), 1–14.
- Uslu, Y., Şahin, K., Aygün, S., & Tuna, M. (2023). OECD ülkeleri ve Türkiye’nin sağlık harcamalarının TOPSIS yöntemi ile incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 12(2), 386–395.
- Wang, B., Wang, B., Lv, B., & Wang, R. (2022). Impact of motor vehicle exhaust on the air quality of an urban city. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(8), Article 220213.
- Wang, F., Dong, M., Ren, J., Luo, S., Zhao, H., & Liu, J. (2022). The impact of urban spatial structure on air pollution: Empirical evidence from China. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 5531–5550. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01670-z>
- Wei, Y., Feng, Y., Yazdi, M. D., Yin, K., Castro, E., Shtein, A., Qiu, X., Peralta, A. A., Coull, B. A., & Schwartz, J. D. (2024). Exposure-response associations between chronic exposure to fine particulate matter and risks of hospital admission for major cardiovascular diseases: Population based cohort study. *BMJ*, 384, Article e076939. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-076939>
- Yang, J., Shi, B., Shi, Y., Marvin, S., Zheng, Y., & Xia, G. (2020). Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form. *Sustainable Cities and Society*, 54, Article 101941.