

Niğde kenti ve çevresinde peyzaj özelliklerine dayalı hava kalitesi potansiyelinin değerlendirilmesi

Assessment of air quality potential based on landscape characteristics in Nigde city and its surroundings

Nuriye Ebru YILDIZ¹, Hatice ALP², Ahmet Alper TOPALOĞLU^{3*}

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Peyzaj Planlama ve Tasarımı Anabilim Dalı, Niğde

²İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

³Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Hatay

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1459599

Sorumlu yazar / Corresponding author

Ahmet Alper TOPALOĞLU

e-mail: ahmetalper@gmail.com

Geliş tarihi / Received

27.03.2024

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

21.06.2024

Kabul Tarihi / Accepted

21.06.2024

Elektronik erişim / Online available

15.10.2024

Anahtar kelimeler:

Hava kirliliği

Kent planlama

Mekânsal planlama

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

Keywords:

Air pollution

Urban planning

Spatial planning

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Özet

Bu çalışmada, Niğde kenti ve çevresini kapsayan mikro havza sınırı için hava kalitesi potansiyelinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Yöntem kapsamında, hava kalitesi potansiyelini etkileyecek antropojenik etkiler (nüfus yoğunluğu ve arazi örtüsü), meteorolojik etkiler (rüzgâr, yağış ve sıcaklık) ve çevresel etkiler (karbon depolama ve yüzey sıcaklığı) olmak üzere üç başlıkta mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir. Çok kriterli karar verme tekniklerinden analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılarak uzman görüşleri alınmış ve her bir alt parametre için ağırlık dereceleri elde edilmiştir. Bu parametreler ağırlık düzeyleri dikkate alınarak örtmeler yöntemi ile çakıştırılmış ve hava kalitesi potansiyelinin mekânsal dağılımı haritalandırılmıştır. Sonuçlar, çalışma alanının yaklaşık %66'sında (Yaklaşık 51.000 ha) hava kalitesi potansiyelinin yüksek ve çok yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışma alanının yaklaşık %10'unu (yaklaşık 6.000 ha) kapsayan Merkez ve Bor ilçesi ile diğer küçük ölçekli yerleşimlerde ise, nüfus yoğunluğu ve yapılaşmanın etkisiyle hava kalitesinin çok düşük ve düşük olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın özgün yönü antropojenik, meteorolojik ve çevresel parametreleri içeren bütünlük bir değerlendirme olmasıdır. Bu çalışma, hava kalitesi potansiyelinin belirlenmesine yönelik gelecekteki benzer çalışmalara örnek teşkil edilebilir.

Abstract

This study aims to assess the air quality potential for the micro-basin boundary covering the city of Niğde and its surroundings. In this context, spatial analyses were carried out under three headings: anthropogenic impacts (population density and land use), meteorological impacts (wind, precipitation, and temperature), and environmental impacts (carbon storage and surface temperature) that will affect air quality. Expert evaluations were obtained, and weight levels were calculated for each sub-parameter through the analytical hierarchy process (AHP). The parameters were overlaid by considering the weight levels and the spatial distribution of the air quality potential was mapped. The results show that the air quality potential is high and very high in approximately 66% of the study area (approximately 51.000 ha). In the center and Bor district and other small-scale settlements covering about 10% of the study area (about 6.000 ha), it was determined that the air quality is very low and low due to the effect of population density and construction. The unique aspect of the study is that it is an integrated assessment including anthropogenic, meteorological, and environmental parameters. This study can set an example for future similar studies to determine the air quality potential.

GİRİŞ

19.yy'dan sonra dünya nüfusu kayda değer bir artış göstermekle kalmamış, aynı zamanda bu nüfus kentlerde yoğunlaşmıştır. Karbon bazlı yakıtların kullanımı, endüstriyel faaliyetler, içten yanmalı motorlu ulaşım ve lojistik araçları başta olmak üzere kirletici kaynakları kentlerde yoğunlaşmışlardır (Fenger 1999). Kükürt dioksit, azot oksitler, amonyak, uçucu organik bileşikler, troposferik ozon, birincil partikül madde ve ince partikül madde gibi kirleticiler bakımından kentler hava kirliliği kaynağı olarak görülmüşlerdir ve bu kirlilik 1952 "Londra

büyük dumanı" ile doruğa ulaşmıştır (Fowler ve ark. 2020). Hava kirliliğinin insan sağlığına zararları milattan önceki yıllarda bile bilinmekteydi ancak epidemiyolojik kanıtların birikmesi ve konunun önem kazanması 2000'li yılları bulmuştur (Fowler ve ark. 2020). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve Avrupa Çevre Ajansı güncel raporlarında kentsel alanlarda yaşayan insanların en az %80'inin belirlenen eşik değerleri ve kılavuzları aşan miktarlarda hava kirliliğine maruz kaldığını ve bu yüzden yılda yaklaşık 400.000 erken ölüm gerçekleştiğini belirtmişlerdir (Ćurić ve ark. 2022). Hava kirliliği sadece insan sağlığı için değil, aynı zamanda çevre için de ciddi bir tehdit

oluşturmaktadır. Kirlilik sonucu meydana gelen asit yağmurları hem toprağı hem de suyu etkileyerek ormanlara ve bitkilere zarar vermektedir. Bununla birlikte, yaban hayvanları da yüksek kirlilik seviyelerine maruz kaldıklarında sağlıklarını ve üreme kapasitelerini kaybetmektedirler. Sonuçta ekosistemlerin tolere edebileceğı belirli bir kirlilik yoğunluğu bulunmaktadır ve bu eşik aşıldığında tahribat kaçınılmaz hale gelmektedir (Manisalidis ve ark. 2020).

Hâkim rüzgârlar ile hava kirliliğinin atmosferde uzak mesafelere taşınabiliyor olması konuya uluslararası bir önem kazandırmıştır. 1979 yılında imzalanan Uzun Menzilli Sınır Aşan Hava kirliliğı Sözleşmesi (Convention on Long Range Transboundary Air Pollution) hava kirliliğini konu alan uluslararası nitelikteki ilk sözleşme olmuştur (Orhan 2017). Bu sözleşmeyi takip eden Birleşmiş Milletler Çevre Meclisi (United Nations Environment Assembly), Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (UN Sustainable Development Goals) ve DSÖ Küresel Hava Kalitesi Yönergesi (World Health Organisation Global Air Quality Guidelines) gibi uluslararası çabalar küresel hava kalitesini düzenlemeyi hedeflemişlerdir (Velasco ve Jarosinska 2022).

Birincil kirletici emisyonları 1990'lardan bugüne kadar gelişmiş ülkelerde kayda değer bir azalış göstermiştir, ancak gelişmekte olan ülkelerde artış devam etmektedir (Fowler ve ark. 2020). Türkiye'de ise kirletici madde konsantrasyonlarının DSÖ ve Avrupa Birliğı (AB) normlarını aştığı bilinmektedir (Health and Environment Alliance 2015, Büke ve Köne 2016), ancak değişim eğilimlerine bakıldığında genel olarak hava kalitesinin zaman içinde birçok bölgede iyileştiğı (Şişman 2019) ve en azından Türkiye genelinde kirliliğın artmadığı raporlanmıştır (Kalıpçı ve Başer 2019). Bununla birlikte 2019 yılından sonra COVID-19 salgını sebebiyle alınan tedbirler bireylerin karbon ayak izini küçültmüş (Uzunali ve Yazıcı 2023) ve hava kalitesinde kısmi bir iyileşme görülmüştür (Efe 2022, Yıkıcı ve Ünal 2022).

Kent içinde hava kalitesini belirleyen çeşitli etmenler bulunmaktadır. Bunlar temelde doğrudan havayı kirleten kaynaklar, bölgesel olarak kirliliğı düzenleyen meteorolojik etkiler, partiküller için filtre görevi gören ve

karbonu depolayarak atmosferden uzaklaştıran kentsel yeşil alanlar olarak ele alınabilirler. Bu bağlamda hava kalitesi kent peyzajının özelliğine göre değişkenlik göstermektedir. Peyzaj özelliğı ise, bitki örtüsü veya arazi kullanımı gibi bir peyzajı oluşturan doğal ve kültürel unsurların niteliğidir (Zhang ve ark. 2021). Enerji tüketimi, iklimlendirme, üretim ve ulaşım gibi faaliyetler kirliliğı doğrudan veya dolaylı olarak etkilediğı için nüfus yoğunluğu hava kalitesi adına önemli bir etmendir. Kentlerde nüfus yoğunluğu arttıkça kirleticiler de artmaktadır (Borck ve Schrauth 2021). Nüfus yoğunluğu dışındaki önemli bir diğer antropojenik etmen ise arazi örtüsüdür. Geçirimsiz yüzeyler, yapı yoğunluğu, ulaşım ağları ve su yüzeyleri gibi farklı arazi örtülerinde hava kalitesi bölgesel olarak değişkenlik gösterecektir ve kent merkezine yaklaştıkça hava kalitesi düşecektir (Vadrevu ve ark. 2017). Karbon depolama kapasitesi veya yeşil alanların varlığı ise hava kalitesini iyileştirecektir. Yeşil alanlar hem karbon depolama hem de filtreleme kabiliyetleri ile kentin hava kalitesine önemli katkı sağlamaktadırlar. Özellikle kent ağaçları düşük maliyetlerle en etkili kirletici giderme görevini üstlenmektedirler (Jayasooriya ve ark. 2017). Yeşil altyapı sistemleri, kirletici kaynakların ortadan kaldırılması ve uzaklaştırılması önlemlerinden sonra en etkili kentsel hava kalitesi iyileştirme mekanizması olarak kabul edilmektedirler (Hewitt 2020). Bununla birlikte kentsel yeşil alanların, insanları motorlu taşıt kullanmak yerine yürümeye teşvik etmesi, yapılarda iklimlendirmeye yardımcı olarak klima kullanımını azaltması ve kentsel ısı adası etkisini en aza indirmesi gibi dolaylı faydaları da vardır. Kentsel alanlarda sıcaklık çevredeki kırsal bölgelere göre daha fazla olma eğilimindedir. Burada sıcaklık, yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığı olmak üzere iki kategoride ele alınmaktadır. Yüzey sıcaklığı, ortam sıcaklığından farklı olarak arazi örtüsünden ve yüzey materyallerinin albedosundan etkilenmektedir ve kent iklimini değiştiren önemli çevresel bir etmen olarak değerlendirilmektedir (Fuladlu ve Altan 2021). Sıcaklık ile partikül madde arasındaki ilişki zayıf olarak görülse de kentsel alanda özellikle de hava kirliliğı bulunan bölgelerde yüzey ozonu ve sıcaklık arasında gözlemlenen korelasyon, sıcaklığın hava kalitesi açısından zararlı bir etkisi olduğuna işaret etmektedir (Jacob ve Winner 2009). Sıcaklıkla birlikte yağış, rüzgâr hızı ve yönü gibi diğer meteorolojik etmenler

de hava kalitesi üzerinde etkilidir. Yağmur ve kar yağışı, partikülleri ve çözünmüş gaz halindeki kirleticileri havadan yere taşıdığı için hava kalitesini geçici olarak iyileştirmektedir (Jacob ve Winner 2009, Tian ve ark. 2021). Rüzgâr ise havalandırma sağlayarak kirleticileri uzaklaştırmada etkili olmaktadır. Bu etkide kentin formu da önemlidir, vadiler ve ulaşım aksları kent içinde havalandırma koridoru görevi görmektedir (Yassin 2013).

Literatürde hava kalitesinin tespit edilmesine ilişkin çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur. Örneğin, Achillas ve ark. (2011), kentsel hava kirliliği yönetiminde çevresel, ekonomik ve sosyal tercihleri birleştiren bir yöntem geliştirmişler ve farklı disiplinlerden paydaşlardan elde edilen uzman görüşlerini değerlendirmişlerdir. Pisoni ve ark. (2009), PM10'u (Çapı 10 µm'den daha küçük olan partikül madde kirleticisi) kontrol etmek için farklı parametreleri içeren formül uygulamış ve kentsel alanlardaki hava kirliliği ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Gassmann ve Mazzeo (2000), hava kirliliği üzerinde rüzgâr ve karışım ısı gibi iki atmosferik parametrenin etkilerini incelemiştir. Hosseiniebalam ve Ghaffarpasand (2014), rüzgâr hızı, nispi nem, hava sıcaklığı, atmosferik basınç ve güneş ışığı saatleri gibi meteorolojik parametrelerin kükürt dioksit konsantrasyonu üzerindeki etkisini incelemiştir (Karimi ve ark. 2016). Bu çalışmalara ek olarak Habibi ve ark. (2017), Jhonson ve Saylor (2018), Li ve ark. (2019), Zhou ve ark. (2020) yaptıkları çalışmalarda hava kalitesini, trafik ve nüfus yoğunluğu, arazi kullanımı, kirletici kaynakları ve meteorolojik parametreleri doğrultusunda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama (UA) teknikleri ile haritalamışlardır. Hava kirliliğinin tahmin edildiği bu çalışmalarda, daha çok meteorolojik ve sosyo-ekonomik parametreler irdelenmiş; nüfus yoğunluğu, arazi örtüsü ile yeşil alan varlığına bağlı karbon depolama ve kentin mikroklimatik sıcaklığı hakkında bilgi veren yüzey sıcaklığı gibi antropojenik ve çevresel parametreler dikkate alınmamıştır. Karimi ve ark. (2016) tarafından yapılan

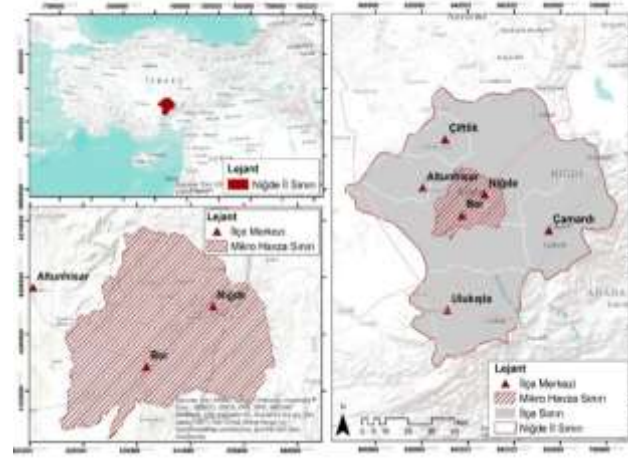
çalışmada ise, hava kirliliği üzerindeki antropojenik ve meteorolojik parametrelerin etkileri çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Ancak çalışma irdelendiğinde, yeşil alan varlığı ile ilişkili diğer parametrelerin yöntemde dâhil edilmediği görülmektedir.

Bu çalışmada, belirtilen çalışmalarda irdelenen antropojenik ve meteorolojik etkilerin yanı sıra, yeşil alan varlığı ile doğrudan ilişkili karbon depolama ve yüzey sıcaklığı parametreleri de yöntemde “çevresel etki” olarak dâhil edilmiştir. Çalışmanın amacı, Niğde kenti ve çevresini kapsayan mikro havza sınırı için hava kalitesi potansiyelinin belirlenmesidir. Çalışmanın özgün yönü antropojenik, meteorolojik ve çevresel parametreleri içeren bütünlük bir değerlendirme olmasıdır. Bununla birlikte Niğde’de hava kalitesi ölçüm istasyonları sayısının yetersiz olmasının yanı sıra, peyzaj özelliklerine dayalı hava kalitesinin değerlendirildiği bir araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışma, hava kalitesi potansiyelinin belirlenmesine yönelik gelecekteki çalışmalar için önemli bir adım olarak kabul edilmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmanın ana materyalini Niğde kenti ve çevresini kapsayan mikro havza sınırı oluşturmaktadır. Türkiye’nin İç Anadolu Bölgesi’nde yer alan Niğde, Aladağlar, Bolkar ile Melendiz dağları arasında, deniz seviyesinden yaklaşık 1.300 m yükseklikte ve Kayseri iliyle Akdeniz Bölgesini bağlayan ortalama 1.250 m yükseklikteki platoda konumlanmaktadır. Niğde ilinde, denize paralel uzanan dağların Akdeniz ılıman etkisi ile rüzgârın etkisini azaltması ve/veya yok etmesinin yanı sıra kuzeyden gelen soğuk rüzgârlara açık olması gibi nedenlerle karasal iklim görülmektedir (Kahveci ve Yıldız 2023). Niğde kenti ve çevresinin coğrafi konum haritası Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Niğde kenti ve çevresi coğrafi konum haritası

Çalışmada kullanılan veri setleri, kaynakları ve veri detayları Çizelge 1'de yer almaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama analizleri için ArcGIS 10.5

yazılımı kullanılmıştır ve kullanılan veri setlerinin projeksiyon sistemi "WGS_1984_UTM_Zone_36N" olarak ayarlanmıştır.

Çizelge 1. Veri setleri ve detayları

Veri setleri	Detay
Geometrik ve radyometrik düzeltilmiş uydu görüntüleri Kaynak: U.S. Geological Survey (USGS) (https://earthexplorer.usgs.gov/)	Veri tipi: Raster Uydu tipi: Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1 Çözünürlük: 30 m x 30 m Görüntü tarihi: 27/07/2022 Kullanım amacı: Yüzey sıcaklığı Veri tipi: Raster Uydu tipi: Sentinel-2 Çözünürlük: 16 m x 16 m Görüntü tarihi: 27/07/2022 Kullanım amacı: Karbon depolama
İl ve ilçe sınırları Kaynak: Millî Savunma Bakanlığı, Harita Genel Müdürlüğü (https://www.harita.gov.tr/index)	Veri tipi: Vektör (Poligon) Kullanım amacı: Coğrafi konum
Arazi Örtüsü (Corine, 2018) Kaynak: Copernicus Land Monitoring Service (https://land.copernicus.eu/)	Veri tipi: Vektör Veri detayı: 1/25.000 Ölçek Kullanım amacı: Hava kirliliği analizi
Meteorolojik Veriler Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (https://mgm.gov.tr/)	Veri tipi: Metin Veri tarihi: Uzun yıllar ortalaması (1935-2022) İklim parametreleri: Sıcaklık, yağış Kullanım amacı: Hava kirliliği analizi
Meteorolojik Veriler Kaynak: Global Wind Atlas (https://globalwindatlas.info/en)	Veri tipi: Raster Veri tarihi: 2023 yıllık ortalaması İklim parametreleri: Rüzgâr Kullanım amacı: Hava kirliliği analizi
Nüfus Yoğunluğu Verisi Kaynak: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Coğrafi Bilgi Dairesi Başkanlığı	Veri tipi: Raster Çözünürlük: 1.000 m x 1.000 m Veri tarihi: 2018 Yılı Kullanım amacı: Hava kirliliği analizi

Yöntem

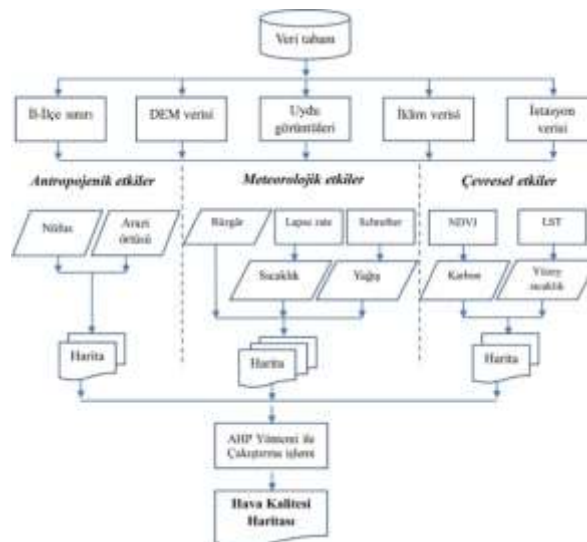
Çalışmanın yöntemi 2 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; hava kalitesini etkileyecek antropojenik etkiler, meteorolojik etkiler ve çevresel etkiler olmak üzere üç başlıkta mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, kamu kurumlarından ve güvenilir uluslararası

açık veri kaynaklarından haritalar elde edilmiştir. Doğrudan elde edilemeyen haritalar için, coğrafi bilgi sistemi teknolojisi kullanılarak farklı yöntemler ile (Lapse rate, Schreiber ve Land Surface Temperature) haritalar oluşturulmuştur. Her bir alt parametreye ilişkin önemli bir nokta ise, farklı türdeki bilgileri ve parametre bazındaki sonuçları tek bir değerde toplayan bileşik göstergeler

veya indislerdir. Bazı parametreler, farklı çok sayıda göstergenin kullanıldığı peyzaj planlama çalışmalarında doğrudan değerlendirilememekte, bu kapsamdaki tüm parametrelerin nicel sonuçlarının bütünleşik olarak, ortak bir değerde ele alınması gerekmektedir. Bu durumda, ölçülen farklı bileşenlerin sonuçlarına ait nicel değerler normalize edilip, standart bir değere dönüştürülmektedir (Vihervaara ve ark. 2017). Bu çalışma kapsamında da her bir alt parametre için elde edilen nicel sonuçlar, tüm parametrelerin standart bir değerde ele alınabilmesi amacıyla normalize edilmiş ve 1 (çok düşük)'den 5 (çok yüksek)'e kadar olmak üzere kategorik veriye dönüştürülmüştür. Bu işlem, her bir parametre için elde edilen nicel sonuçların, ArcGIS'teki yeniden sınıflandırma (reclassify) komutu yardımıyla, kategorik olarak 5 eşit aralıkta (equal interval) sınıflandırılması ile yapılmıştır. Karimi ve ark. (2017), hava kalitesini tespit ettiği çalışmada, her bir parametreyi 5 eşit sınıfta kategorik veriye dönüştürmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada da her bir parametrelerin nicel sonuçları daha ayrıntılı bir sınıflandırma olması açısından 5 sınıflı bir normalizasyon işlemi uygulanmıştır.

İkinci aşamada; karar verme sürecinde kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan analitik hiyerarşi sürecinden (Analytical Hierarchy Process-AHP) yararlanılmıştır. AHS, sadeliği, kolay uygulanan ve

anlaşılabilir bir teknik olması nedeniyle çok kriterli karar verme teknikleri arasında sıkça kullanılan bir tekniktir (Abijith ve ark. 2020, Pandian ve ark. 2023, Demir ve Altaş 2024, Aksoy ve ark. 2024). Bu teknikte karar verici uzman sayısı için bir örneklem hesabı veya üzerinde uzlaşmış sınır değer yoktur. Literatürde genellikle iki ile yüz arası uzman değerlendirmesi kullanılmıştır (Şahin ve Yurdugül 2018), ancak yöntemin kurucusu Saaty'e göre deneyimli tek bir uzmanın değerlendirmesi de yeterli olmaktadır (Saaty ve Özdemir 2014). Bu doğrultuda, ilgili parametrelerin derecelendirilmesi (ağırlıklandırılması) amacıyla peyzaj mimarı dört öğretim elemanının değerlendirmeleri alınmıştır. AHS ile uzman görüşlerinin tespit edilebilmesi amacıyla, çok kriterli karar verme yazılımı olan Expert Choice 11 kullanılmıştır. AHS tekniğinde, oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri karar vericilerin kişisel değerlendirmelerinden oluşmakta; bu nedenle, matrislerin tutarlılıklarının test edilmesi gerekmektedir (Ayçin 2020). Program yardımıyla tutarlılık oranı (CR), ikili karşılaştırma işlemi tamamlandıktan sonra hesaplanmaktadır. Güvenilir bir sonuç elde edebilmek için CI değerinin 0.1'i aşmaması gerekmektedir (Önder ve Önder 2018, Yıldız 2022, Pandian ve ark. 2023). Bu parametreler ağırlık düzeyleri dikkate alınarak örtmeler yöntemi ile çakıştırılmış ve hava kalitesi potansiyelinin mekânsal dağılımı haritalandırılmıştır, Şekil 2'de çalışmanın yöntem akışı yer almaktadır.



Şekil 2. Yöntem akış şeması

Antopojenik Etkiler

Nüfus Yoğunluğu: 1 km x 1 km çözünürlüğe sahip raster nüfus yoğunluğu verisindeki nüfus değerleri, “extract values to point” komutu ile 1 km x 1 km aralıklarla oluşturulmuş örneklem noktalara aktarılmıştır. ArcGIS yazılımının Geostatistical Analyst aracında yer alan “Radial Basis Functions” komutu ile örneklem noktalara aktarılan bu değerlerin mekânsal dağılımı yeniden yapılmıştır. Radial basis functions komutunun esası, belirli bir ağırlık merkezi oluşturmaya dayanmakta ve bu merkez dikkate alınarak enterpolasyon tekniği ile ilgili alanlara uygun değerler atanmaktadır (Bahadır 2011). Elde edilen değerler 5 sınıfta normalize edilmiştir.

Arazi Örtüsü: 2018 Yılına ait arazi örtüsü (CORINE) verisi, hava kalitesi potansiyel durumları dikkate alınarak 5 sınıfta normalize edilmiştir.

Meteorolojik Etkiler

Rüzgâr: 2023 yılı ortalama rüzgâr değerlerine ilişkin elde edilen raster veri 5 sınıfta normalize edilmiştir.

Sıcaklık: 1935-2022 yıllarına ait uzun yıllar sıcaklık ortalaması verisinin yüksekliğe uyarlanabilmesi için Lapse Rate (LR) yönteminden yararlanılmıştır.

LR yönteminde, sıcaklığın yüksekliğe bağlı değişimi atmosferin günlük yapısı ile ilgilidir. LR, atmosferdeki adyabatik ısınma ve soğuma oranları olarak tanımlanmaktadır. LR, yükseklik bilgisini kullanarak hava sıcaklığını tahmin etmek amacıyla enterpolasyon yöntemlerinde kullanılmaktadır. LR yöntemi ile değeri olmayan noktalardaki sıcaklığın, mevcut istasyonlardan ölçülen sıcaklık ve yükseklik değerlerini dikkate alarak tahmin etmektedir. Bu yöntem aynı zamanda akıllı enterpolasyon (smart interpolation) yöntemi olarak da ifade edilmektedir (Willmot ve Matsuura 1995, Vincente Serrano ve ark. 2003, Stahl ve ark. 2006, Kazancı 2014). Kuru havadaki adyabatik LR oran, yaklaşık 100 metrede 1 °C olarak belirtilmiştir. Ancak bu değer farklı kaynaklarda 100 metrede 0.5 °C azaldığı da varsayıldığı

ifade edilmiştir (Fairbridge ve Oliver 2005, Demircan ve ark. 2017).

Çalışma kapsamında, yüksekliğe uyarlanmış sıcaklık dağılımını elde edebilmek amacıyla, ArcMap yazılımının Data Management aracındaki “Create Random Points” komutu ile rastgele istasyon noktaları oluşturulmuştur. Bu istasyon noktalarındaki yükseklik değerleri, Sayısal Yükseklik Modelinden (DEM-Digital Elevation Model) Spatial Analyst Tools aracı ile nokta verisine aktarılmıştır. İstasyonların sıcaklık değerleri, bulundukları yüksekliklere bağlı olarak Eşitlik (1) aracılığıyla deniz seviyesine indirgenmiştir.

$$Td = Ti + (hi * 0.005) \quad (1)$$

Td: Deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklık

Ti: İstasyonun ortalama sıcaklığı

hi: İstasyonun yüksekliği

Deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklıklar, rastgele oluşturulan örnek istasyon noktalarına çekilerek, Eşitlik (1)'in tersten uygulayan ile Eşitlik (2)'nin kullanımı ile yüksekliğe uyarlanmış sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

$$Tg = Td - (hg * 0.005) \quad (2)$$

Tg: Oluşturulan istasyonun sıcaklığı

Td: Deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklık

Hg: Oluşturulan istasyonun yüksekliği

LR yöntemi ile elde edilen sıcaklık değerlerinin enterpolasyonu için Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (IDW-Inverse Distance Weighted) ile sıcaklık dağılımı tüm alan için elde edilmiş ve 5 sınıfta normalize edilmiştir.

Yağış: 1935-2022 yıllarına ait uzun yıllar yağış ortalaması verisinin yüksekliğe uyarlanabilmesi için Schreiber yönteminden yararlanılmıştır.

Bu yöntem, yağışın topoğrafyaya bağlı değişimini ortaya koymada en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Formüle göre, her 100 metrelik yükseklik artışına bağlı

olarak yağış miktarı da 54 mm artmaktadır. Bu formülün esası, deniz seviyesinden yüksek seviyelere çıkıldıkça yağış miktarının da arttığı yaklaşıma dayanmaktadır. Formül bu haliyle yağış miktarı bilinmeyen alanlardaki yağış miktarını elde etmek için birçok çalışmada kullanılmıştır (Çiçek ve Ataol 2009, Işık ve ark. 2018, Doğru ve Güngörlüoğlu 2022).

Çalışma kapsamında, yüksekliğe uyarlanmış yağış dağılımını elde edebilmek amacıyla, ArcMap yazılımının Data Management aracındaki "Create Random Points" komutu ile rastgele istasyon noktaları oluşturulmuştur. Bu istasyon noktalarındaki yükseklik değerleri, Sayısal Yükseklik Modelinden (DEM-Digital Elevation Model) Spatial Analyst Tools aracı ile nokta verisine aktarılmıştır.

Schreiber formülü Eşitlik (3)'te yer almaktadır. Bu eşitliğe göre, rastgele elde edilmiş istasyonların yükseklik değerleri dikkate alınarak, yağışın her 100 m'de 54 mm arttığı varsayımı ile yüksekliğe uyarlanmış yağış değerleri elde edilmiştir.

$$Ph=Po+(54h) \quad (3)$$

Ph: Yükseltisi bilinen bir noktanın bulunacak yağış tutarını (mm)

Po: Yükseltisi bilinen ve yağış rasadı yapan bir istasyonun yağış tutarını (mm)

54: Her 100 m yükseldikçe yıllık yağışın 54 mm arttığını gösteren katsayı

h: Gerçek istasyon ile yağış miktarı bulunacak istasyon arasındaki yükselti farkı (hektometre) (Ardeh ve ark. 1969, Hepbilgin 2018).

Schreiber yöntemi uygulandıktan sonra yağış değerlerinin enterpolasyonu için IDW yöntemi ile yüksekliğe uyarlanmış yağış dağılımı tüm alan için elde edilmiş ve 5 sınıfta normalize edilmiştir.

Çevresel Etkiler

Karbon Depolama Miktarı: Karbon depolama miktarının belirlenmesi amacı ile Myeong ve ark. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın yöntemi dikkate alınmıştır. Bu

yöntem ile bitki örtüsünün birim alanda depoladığı karbon miktarı kolayca tahmin edilebilmektedir. Yöntem kapsamında, bağımsız değişken olarak NDVI (Eşitlik 4), bağımlı değişken olarak ise karbon depolama miktarı (kgC/piksel) kullanılarak bir regresyon denklemi geliştirilmiştir (Eşitlik 5). Eşitlikte, *a* (107.2) ve *b* (0.0194) doğrusal olmayan regresyondan geliştirilen sabitlerdir (Yıldız 2022, Yıldız ve Kahveci 2023).

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (4)$$

$$\text{Karbon Depolama (kgC/Pixel)} = a \times e^{(NDVI \times b)} \quad (5)$$

Arazi Yüzey Sıcaklığı (Land Surface Temperature-LST): LTS hesaplanmasında uydu görüntüsünün termal bantları kullanılmıştır. Bantlar; 2022 tarihli Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1 uydu görüntülerinde bant 10-11'dir. LTS haritalarını elde etmek için Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntülerinde aşağıdaki adımlar izlenmiş ve Şekil 3'teki eşitlikler uygulanmıştır. Eşitliklerde kullanılan veriler indirilen uydu görüntülerinin meta veri (MTL) dosyalarından elde edilmiştir. LST yönteminin aşamaları şunlardır:

- Termal kızılötesi dijital değerlerin spektral radyans değerlerine dönüştürülmesi,
- Radyans değerlerinin parlaklık sıcaklığı değerlerine dönüştürülmesi,
- NDVI'ya bağlı olarak arazi yüzeyi yansırılık (ϵ) değerleri belirlenmesi,
- AYS'nin arazi yüzeyi yansırılık değerine göre haritalanması (Alp 2021)
- Bantların LTS değerlerinin ortalamasının alınması

BULGULAR

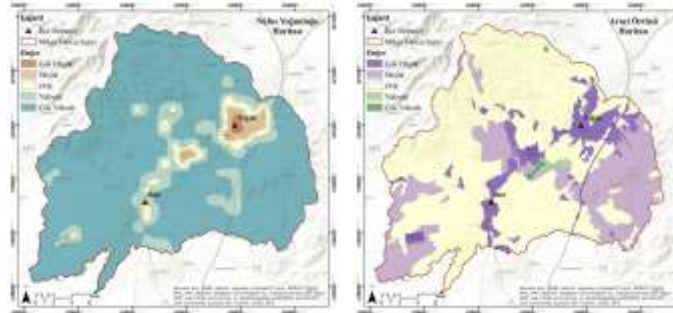
Antropojenik etkiler kapsamında elde edilen nüfus yoğunluğu ve arazi örtüsü verileri 5 kategoride normalize edilmiştir. Nüfus yoğunluğu ve arazi örtüsü haritaları Şekil 3'te, bu parametrelere ilişkin hava kalitesi potansiyel düzeyleri ise Çizelge 2'de yer almaktadır. Nüfus yoğunluğu haritasında, 1.614 ve 6.060 arasında nüfus yoğunluğuna sahip alanların Niğde kent merkezinde olduğu görülmektedir. Nüfus yoğunluğunun artması, fosil yakıt tüketiminin, sanayileşmenin ve araç trafiğinin arttığının göstergesidir (Rahman 2017). Bu nedenle çalışma sınırı

için belirtilen nüfus yoğunluğunda, hava kalitesi potansiyelinin düşük ve çok düşük olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, kent merkezlerinde, nüfus yoğunluğu ile ilişkili olarak konut ve iş merkezlerinin de yoğun olduğunu söylemek mümkündür (Karimi ve ark. 2016). Bu kapsamda, arazi örtüsü sınıfları incelendiğinde, kentteki yerleşime bağlı yapı yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda hava kalitesi potansiyelinin düşük olduğunu

söylemek mümkündür. Bu nedenle, 111, 112, 121, 122, 131, 133, 332 ve 333 kodlu arazi örtüsü sınıflarında hava kalitesi potansiyel düzeyleri çok düşük ve düşük olarak belirlenmiştir. Niğde Merkez ve Bor ilçelerinde yapı yoğunluğu yüksek yerleşim alanları yer aldığı için bu alanlarda hava kalitesi potansiyelinin düşük ve çok düşük olduğunu görülmektedir.

Çizelge 2. Nüfus yoğunluğu ve arazi örtüsünün hava kalitesi potansiyel düzeyleri

Nüfus yoğunluğu	Hava kalitesi potansiyeli- değer	
3030 - 6206	Çok düşük	1
1614 - 3030	Düşük	2
784 - 1614	Orta	3
222 - 784	Yüksek	4
0 - 222	Çok yüksek	5
Arazi örtüsü	Hava kalitesi potansiyeli- değer	
111, 112, 121, 122, 131, 133	Çok düşük	1
332, 333	Düşük	2
211, 212, 221, 222, 242, 231, 243, 321, 324	Orta	3
411	Yüksek	4
512	Çok yüksek	5



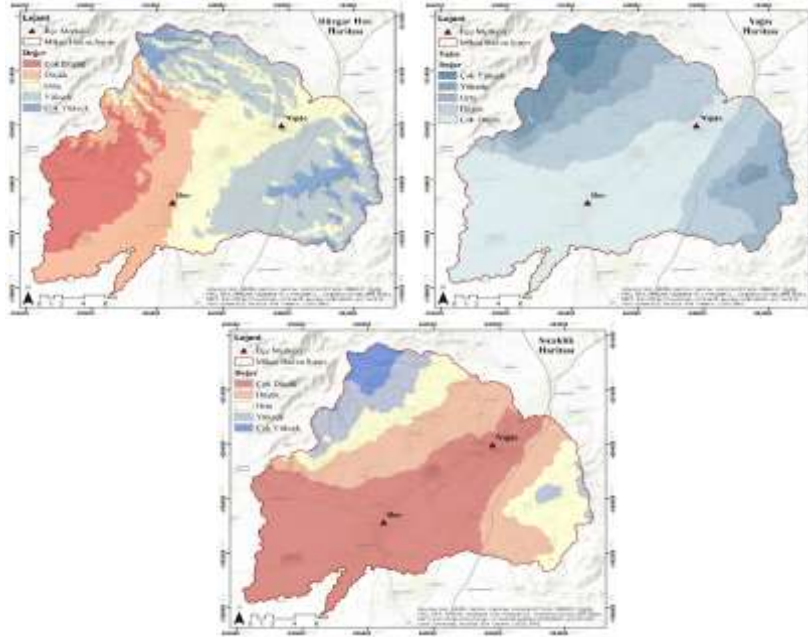
Şekil 3. Nüfus yoğunluğu ve arazi örtüsü haritaları

Meteorolojik etkiler kapsamında elde edilen rüzgâr, yağış ve sıcaklık verileri 5 kategoride normalize edilmiştir. Rüzgâr, yağış ve sıcaklık haritaları Şekil 4'te, bu parametrelere ilişkin hava kalitesi potansiyel düzeyleri ise Çizelge 3'te yer almaktadır. Rüzgâr hızının yüksek olduğu alanlarda kirli hava taşınacağı için bu alanlardaki hava kalitesi potansiyelinin yüksek olacağını söylemek mümkündür (Karimi ve ark. 2016). Bu nedenle, çalışma alanındaki rüzgâr hızı değerleri 5.83 ile 9.56 m/sn olan alanlarda hava kalitesi potansiyel düzeyleri yüksek ve çok yüksek olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, çalışma alanının kuzey, kuzey doğu, doğu ve güney doğusundaki hava kalitesi potansiyel düzeyleri yüksek ve çok yüksek olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, yağış miktarının

yüksek olduğu alanlarda, atmosferdeki kirletici partiküller yıkanmakta ve buna bağlı olarak hava kalitesi potansiyeli artmaktadır (Karimi ve ark. 2016). Bu nedenle, çalışma alanında 528.47 mm ile 796.90 mm arasında yağış alan bölgelerde hava kalitesi potansiyeli yüksek ve çok yüksek olarak belirlenmiştir. Meteorolojik etkiler kapsamında değerlendirilen son parametre ise sıcaklıktır. Sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde havadaki kirletici partiküllerin de yoğun olduğu bilinmektedir (Viswanathan ve Krishnamurti 1989). Bu nedenle, çalışma alanında sıcaklık değerleri 9.31 °C ile 11.96 °C arasında olan bölgeler için hava kalitesi potansiyel düzeyleri çok düşük ve düşük olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Rüzgâr, yağış ve sıcaklığın hava kalitesi potansiyel düzeyleri

Rüzgâr (m sn)	Hava kalitesi potansiyeli- değer	
6.87 - 9.56	Çok yüksek	5
5.83 - 6.87	Yüksek	4
4.83 - 5.83	Orta	3
3.68 - 4.83	Düşük	2
2.35 - 3.68	Çok düşük	1
Yağış (mm)	Hava kalitesi potansiyeli- değer	
642.41 - 796.90	Çok yüksek	5
528.47 - 642.41	Yüksek	4
439.64 - 528.47	Orta	3
360.47 - 439.64	Düşük	2
302.53 - 360.47	Çok düşük	1
Sıcaklık (°C)	Hava kalitesi potansiyeli- değer	
10.78 - 11.96	Çok düşük	1
9.31 - 10.78	Düşük	2
7.66 - 9.31	Orta	3
5.55 - 7.66	Yüksek	4
2.80 - 5.55	Çok yüksek	5



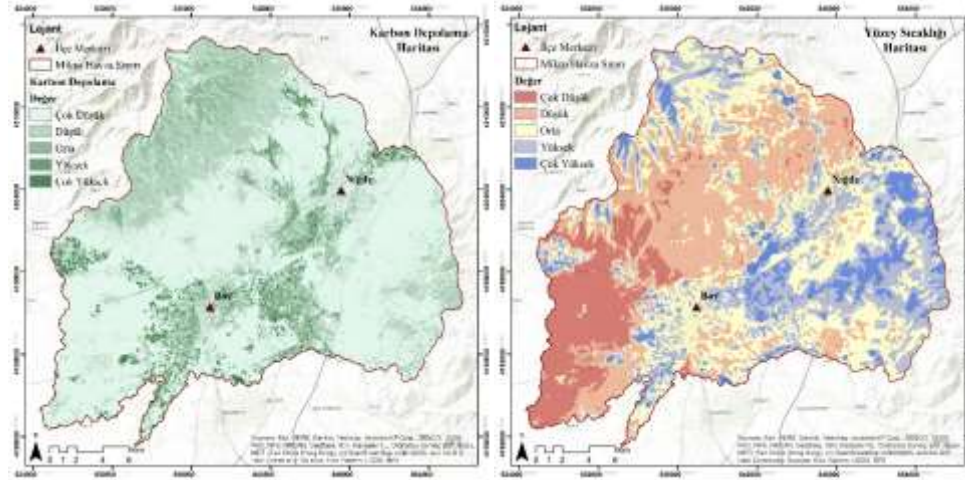
Şekil 4. Rüzgâr, yağış ve sıcaklık haritaları

Çevresel etkiler kapsamında elde edilen karbon depolama ve yüzey sıcaklığı verileri 5 kategoride normalize edilmiştir. Karbon depolama ve yüzey sıcaklığı haritaları Şekil 6'da, bu parametrelere ilişkin hava kalitesi potansiyel düzeyleri ise Çizelge 4'te yer almaktadır. Karbon depolama ile yüzey sıcaklığı miktarı, alandaki yeşil alan miktarı ile ilişkili parametrelerdir. Yeşil alanların yoğun olduğu bölgelerde karbon depolama miktarı da yüksektir. Dolayısı ile karbon depolama miktarının yüksek olduğu bölgelerde, yeşil alan miktarına bağlı olarak hava kalitesi potansiyelinin de yüksek olduğunu söylemek

yanlış olmayacaktır (Liu ve Shen 2014). Çalışma kapsamında, 5.946 ton ile 15.088 ton arasında karbon depolama miktarına sahip olan alanlarda hava kalitesi potansiyel düzeyleri yüksek ve çok yüksek olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, yeşil alanlar, yapıli alanlara göre daha fazla serinletici etkiye sahiptir. Bu nedenle, bu bölgelerde, sıcaklık parametresinde de ifade edildiği gibi hava kalitesi potansiyelinin yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Bu çalışmada, 35.33 °C ile 46.50 °C arasında yüzey sıcaklığına sahip bölgelerde hava kalitesi potansiyeli yüksek ve çok yüksek olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 4. Karbon depolama ve yüzey sıcaklığının hava kalitesi potansiyel düzeyleri

Karbon depolama (Ton)	Hava kalitesi potansiyeli- değer	
9.289 – 15.088	Çok yüksek	5
5.946 – 9.289	Yüksek	4
3.590 – 5.946	Orta	3
2.298 – 3.590	Düşük	2
107 – 2.298	Çok düşük	1
Yüzey sıcaklığı (°C)	Hava kalitesi potansiyeli - değer	
38.96 - 46.50	Çok düşük	1
35.33 - 38.96	Düşük	2
32.47 - 35.33	Orta	3
29.30 - 32.47	Yüksek	4
7.86 - 29.30	Çok yüksek	5



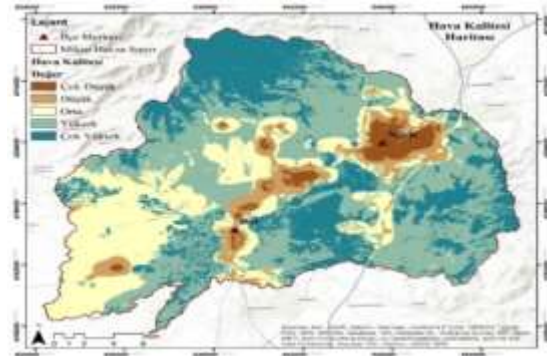
Şekil 5. Karbon depolama ve yüzey sıcaklığı haritaları

Antropojenik, meteorolojik ve çevresel etkiler başlıkları altında belirlenen parametrelerden elde edilen haritalar, çok kriterli karar verme tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak değerlendirilmiştir. Uzman görüşleri alınarak her bir alt parametre için ağırlık düzeyleri belirlenmiştir (Çizelge 5). Bu parametreler ağırlık düzeyleri dikkate alınarak örtmeler yöntemi ile çakıştırılmış ve hava kalitesi potansiyelinin mekânsal dağılımı haritalandırılmıştır. Şekil 7’de çalışma alanı için elde edilen hava kalitesi potansiyeli mekânsal haritası yer almaktadır.

Çalışma alanındaki hava kalitesi potansiyel düzeylerinin alansal büyüklükleri Çizelge 6’da yer almaktadır. Sonuçlar çalışma alanının yaklaşık %66’sında hava kalitesi potansiyelinin yüksek ve çok yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışma alanının yaklaşık %10’unda ise hava kalitesi potansiyel düzeyinin çok düşük ve düşük olduğu görülmektedir. Bu alanlar, Niğde Merkez ve Bor

ilçesi ile diğer küçük ölçekli yerleşimleri kapsayan nüfus yoğunluğu ve yapılaşmanın yoğun olduğu bölgelerdir.

Aynı zamanda, bu bölgelerde, yapılaşma nedeniyle yeşil alan miktarının da düşük olduğu arazi örtüsü kodlarından anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak, kentleşmenin olduğu alanlarda, meteorolojik parametrelerin de etkisiyle hava kalitesi potansiyeli diğer alanlara kıyasla düşük ve çok düşük olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. Hava kalitesi potansiyeli haritası

Çizelge 5. AHS tekniği ile uzman görüşleri doğrultusunda elde edilen ağırlık puanları

Göstergeler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Gösterge ağırlığı
Antropojenik etkileri	0.683	0.625	0.637	0.682	0.7
Meteorolojik etkiler	0.2	0.136	0.105	0.082	0.1
Çevresel etkiler	0.117	0.238	0.258	0.236	0.2
Tutarlılık oranı (CI)	0.02	0.02	0.04	0.02	

Çizelge 6. Hava kalitesi potansiyel düzeyleri ve alanları (ha ve %)

Hava kalitesi potansiyel değeri	Alan (ha)	Alan (%)
Çok düşük	1.923.795	3.36
Düşük	4.028.479	7.04
Orta	13.616.11	23.80
Yüksek	23.088.84	40.35
Çok yüksek	14.565.82	25.46

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Niğde kenti ve çevresini kapsayan mikro havza sınırı için hava kalitesi potansiyelinin bütünleşik olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Yöntem kapsamında, hava kalitesini etkileyecek antropojenik etkiler (nüfus yoğunluğu ve arazi örtüsü), meteorolojik etkiler (rüzgâr, yağış ve sıcaklık) ve çevresel etkiler (karbon depolama ve yüzey sıcaklığı) olmak üzere üç başlıkta mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan parametreler belirlenirken Gassmann ve Mazzeo (2000), Pisoni ve ark. (2009), Achillas ve ark. (2011), Hosseiniebalam ve Ghaffarpasand (2014) ve Karimi ve ark. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan yararlanılmıştır. Bu çalışmalarda nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımını ile birlikte sıcaklık, rüzgâr hızı ve yağış gibi meteorolojik veriler hava kalitesini etkileyen önemli faktörler olarak kullanılmıştır. Literatürdeki hava kalitesini haritalayan diğer çalışmalara bakıldığında trafik yoğunluğu ve hava kalitesi istasyon ölçümlerine de yer verildiği görülmektedir (Habibi ve ark. 2017, Chirebvu ve Sibanda 2017, Jhonson ve Saylor 2018, Sharma ve ark. 2018, Li ve ark. 2019, Zhou ve ark. 2020). Bu çalışmalardaki kentlere göre Niğde nüfusu daha az olduğu için trafik yoğunluğu parametresi göz ardı edilmiştir. Bununla birlikte Niğde ilinde yeterli çözünürlükte veri sağlayacak hava kalitesi istasyonu bulunmadığı için çalışmada bu ölçümlere de yer verilmemiştir. Bu çalışmada, literatürdeki benzer

çalışmalardan farklı olarak, havayı kirleten kaynaklar ve bölgesel olarak kirliliği düzenleyen meteorolojik parametrelerle ek olarak, kent iklimini etkileyen yüzey sıcaklığı parametresi (Fuladlu ve Altan 2021) ve etkili hava kalitesi iyileştirme mekanizmalarından biri olan kentsel yeşil alanlar (Hewitt ve ark. 2020) karbon depolama parametresi olarak çevresel etkiler başlığı altında yöntemle eklenmiştir. Bu bağlamda kapsam zenginleştirilmiş; antropojenik, meteorolojik ve çevresel faktörler bütünleşik bir şekilde değerlendirilerek CBS ve UA teknikleri yardımıyla çalışma alanında hava kalitesi potansiyelinin mekânsal dağılımını detaylı bir şekilde haritalandırmıştır. Buna ek olarak Niğde kenti ve çevresi için daha önce hava kalitesi çalışması yapılmadığı için bu çalışma bir ilk olmuştur.

Bulgular incelendiğinde Niğde kenti ve çevresinde hava kalitesi potansiyelinin %66'sında yüksek ve çok yüksek, %10'unda ise düşük ve çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Niğde kent merkezi ile Bor ilçesi kıyaslandığında ise Niğde kent merkezinde hava kalitesinin daha düşük olduğu görülmektedir ve bu bulgu T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı açık erişimli kısıtlı istasyon verileri ile uyumludur. Bu bulguların Tahran (Habibi ve ark. 2017), New York (Jhonson ve Saylor 2018), Delhi (Sharma ve ark. 2018) ve Pekin (Li ve ark. 2019) gibi metropollerde yapılan çalışmalara kıyasla oldukça iyimser olduğu söylenebilir, bu kentlerde hava kalitesinin düşük olduğu ve kirletici kaynakların yoğun olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen değerlerin Niğde kenti ve çevresini kapsayan

mikro havza ölçeğinde yani idari sınırın aksine ekolojik sınırı temel alan ve bu kapsamda kırsal ve kentsel alanı da içinde barındıran bir çalışma alanı sınırında tespit edildiği unutulmamalıdır. Çalışma yalnızca yapılaşmanın yoğun olduğu kentsel alanlar için sınırlandırıldığında, elde edilen yüksek ve çok yüksek düzeydeki hava kalitesi potansiyeli bulgularının bu kadar iyimser olmayacağı öngörülmektedir.

Bu çalışma, hava kalitesi potansiyelinin belirlenmesine yönelik gelecekteki benzer çalışmalar için örnek teşkil edeceği düşünülmektedir. Buna karşın, yöntemle ilişkin bazı kısıtlılıklar mevcuttur. Bu çalışmanın yöntemi, farklı kentlerde de uygulanabilmektedir, ancak hava kalitesini etkileyen parametreler ve kullanılan veri detayı, çalışma ölçeği ile alanın doğal ve kültürel peyzaj karakterine göre farklılık gösterebilmektedir. Farklı kentler için hava kalitesini etkileyen birincil parametreler ile bu göstergelerin önem dereceleri değişebilmektedir. Bu kapsamda, her bir gösterge için uygulanan normalizasyon işlemi ve gösterge değerleri için belirlenen eşik değerler de, farklı çalışma alanları için değişiklik gösterecektir. Bu çalışmada normalizasyon işlemi ile elde edilen değer aralıklarının standart değerler olmadığını söylemek mümkündür. Bununla birlikte, çalışma alanı sınırı belirlerken havza ölçeği yerine kent ile kır ayrımını oluşturan yapılaşma sınırının dikkate alınması, analiz sonuçlarının kent için daha net biçimde tahmin edilmesine katkı sağlayacaktır. Çalışmadaki diğer kısıt ise, Niğde il sınırları içinde sadece Niğde merkez ve Bor ilçelerinde birer tane hava kalitesi ölçüm istasyonunun olması nedeniyle çalışma sonuçlarının mevcut hava kalitesi ölçüm değerleri ile karşılaştırılamamış olmasıdır.

Uygulanan yöntem, araştırmacıların ve kent planlamacıların hava kalitesini karakterize etmek için yeni katmanlar eklemelerine ve uygun ağırlıklarla kriterler atamalarına olanak tanımaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, araştırma alanının özel sorunlarına ve gereksinimlerine dayanarak farklı parametreler ve farklı ağırlıkların eklenmesi mümkündür. Örneğin antropojenik etkilere, trafik yoğunluğunun yaşandığı kentler için trafik yoğunluğu parametresi, yüksek ve yoğun yapılaşmanın olduğu metropollerde yapı hacmi parametresi eklenebilir. Yükselti ve eğim çeşitliliğine sahip olan kentlerde ise

çevresel etkilere topoğrafya parametresi eklenebilir. Aynı zamanda, gelecek çalışmalarda, hava kalitesi ölçüm istasyonlarının mevcut ölçüm değerlerinin olması durumunda, değerlendirilecek parametrelere bu değerler de dâhil edilebilir veya kontrol verisi olarak kullanılıp, çalışma yönteminin başarısı irdelenebilir. Burada önemli olan, kullanılan parametrelerin, her kentin karakterine uygun biçimde seçilmesi gerekliliğidir.

Kentlerde, sorun çıktıkça çözüm üretmek yerine, planlama aşamasında hava kalitesini belirleyen parametrelere yönelik kararlara yer verilmelidir. Kent planlarında, açık ve yeşil alan sistemlerine ilişkin, ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından geliştirilen ulusal ve uluslararası standartlar mutlaka dikkate alınmalıdır. Dünya Sağlık Örgütü, kentte kişi başına düşen yeşil alan miktarının en az 9 m² olması gerektiğini, idealinin ise 10-15 m² olduğunu belirtmektedir. Kent planlarında, bu standart değerlere ulaşılması, kentlerin hava kalitesini doğrudan etkileyecek önemli bir adımdır. Gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen yeşil alan ortalama 20 m² iken Türkiye’de bu değer 1 ila 9 m² arasında değiştiğini söylemek mümkündür (Sandal Erzurumlu ve ark. 2017). Dolayısıyla, özellikle nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu kentlerde, hava kalitesinin arttırılabilmesi için uluslararası standartlarla uyumlu ulusal eşik değerler kent planlarına bütünleştirilmelidir. Kent içindeki mevcut hava koridorları korunmalı ve ihtiyaca göre alternatif hava koridorlarının oluşturulmalıdır. Bununla birlikte kirletici kaynakları azaltmak adına özellikle organize sanayi bölgeleri ve konutlarda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yerel yönetimlerce teşvik edilmeli; endüstride ve ulaşımda fosil yakıt kullanımı azaltılmalıdır. Sonuç olarak hava kalitesini iyileştirmek bir ulusal politika olarak benimsenmeli ve bu doğrultuda izleme, haritalama, tahmin ve değerlendirme çalışmaları önemsenmelidir.

KAYNAKLAR

- Achillas C, Vlachokostas C, Moussiopoulos N, Banias G (2011) Prioritise strategies to confront environmental deterioration in urban areas: multicriteria assessment of public opinion and experts' views. *Cities*, 28(5): 414–423.
- Abijith D, Saravanan S, Singh L, Jennifer JJ, Saranya T, Parthasarathy K SS (2020) GIS-based multi-criteria analysis for identification of potential groundwater recharge zones - a case study from Ponnaniyar watershed, Tamil Nadu, India. *HydroResearch*, 3: 1–14.

- Aksoy O, Demir S, Ersoz ND, Gokkaya MD (2024) Assessment of an effective quantitative model with multi-criteria decision-making method for sustainable campus. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-16.
- Alp H (2021) Kent vadilerinin planlanmasında iklim bilgisinin kullanımı: İmrahor Vadisi Örneği. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Ardel A, Kurter A, Dönmez Y (1969) *Klimatoloji Tatbikatı*. İstanbul Üniversitesi Yayınları, Taş Matbaası, İstanbul.
- Ayçin E (2020) Çok kriterli karar verme bilgisayar uygulamalı çözümler (2. Baskı), Ankara: Nobel Yayınevi.
- Bahadır M (2011) Coğrafya çalışmalarında yeni bir dağılış modellemesi: yarıçapsal tabanlı fonksiyon yöntemi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 4(2): 151-161.
- Borck R, Schrauth P (2021) Population density and urban air quality. *Regional Science and Urban Economics*, 86: 103596.
- Büke T, Köne AÇ (2016) Assessing air quality in Turkey: a proposed, air quality index. *Sustainability*, 8: 73.
- Chirebvu E, Sibanda M (2017) Application of GIS and remote sensing for air quality monitoring in Harare, Zimbabwe. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6): 621.
- Ćurić M, Zafirovski O, Spiridonov V (2022) Air quality and health. 143–182. In M. Ćurić, O. Zafirovski, & V. Spiridonov (Eds.), *Essentials of Medical Meteorology*, Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80975-1_8
- Çiçek İ, Ataol M (2009) Türkiye'nin su potansiyelinin belirlenmesinde yeni bir yaklaşım. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7 (1): 51-64.
- Demir M, Altaş NT (2024) Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların CBS tabanlı AHP analizlerine dayalı olarak belirlenmesi. *Geomatik*, 9(1): 123–140.
- Demircan M, Arabacı H, Alanı (2017) Coğrafi bilgi sistemleri ile sıcaklık normallerinin yüksek çözünürlüklü veri setinin üretilmesi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 7–10.
- Doğru B, Güngörlüoğlu C (2022) Farklı meteorolojik istasyonlara ait yağış değerlerinin haritalanmasında etkinliğin artırılmasına dair bir uygulama. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(1): 15–22.
- Efe B (2022) Air quality improvement and its relation to mobility during COVID-19 lockdown in Marmara Region, Turkey. *Environ Monit Assess*, 194: 255.
- Fenger J (1999) Urban air quality. *Atmospheric Environment*, 33(29): 4877–4900.
- Fowler D, Brimblecombe P, Burrows J, Heal MR, Grennfelt P, Stevenson DS, Jowett A, Nemitz E, Coyle M, Liu X, Chang Y, Fuller GW, Sutton MA, Klimont Z, Unsworth MH, Vieno M (2020) A chronology of global air quality. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2183): 20190314.
- Fuladlu K, Altan H (2021) Examining land surface temperature and relations with the major air pollutants: a remote sensing research in case of Tehran. *Urban Climate*, (39): 100958.
- Gassmann M, Mazzeo N (2000) Air pollution potential: regional study in Argentina. *Environ. Manag*, 25(4): 375–382.
- Habibi R, Alesheikh AA, Mohammadinia A, Sharif M (2017) Spatial distribution of air pollutants using GIS: a case study in Tehran, Iran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9): 270.
- Health and Environment Alliance (2015) Air Pollution and health in Turkey. <https://www.env-health.org>.
- Hewitt CN, Ashworth K, MacKenzie AR (2020) Using green infrastructure to improve urban air quality (GI4AQ). *Ambio*, 49(1): 62–73.
- Hepbilgin B (2018) Kazdağı ve yakın çevresinde ağaç formasyonunun dağılışına iklim değişikliğinin olası etkilerinin modellenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı Doktora Tezi, Çanakkale.
- Hosseiniebalam F, Ghaffarpasand O (2014) The effect of emission sources and meteorological factors on sulphur dioxide concentration of great Isfahan, Iran. *Atmospheric Environment*, (100): 94–101.
- Işık F, Bahadır M, Çağlak S (2018) Artvin ilinde yağışın mekânsal dağılışı üzerine bir deneme, Schreiber formülü. *Uluslararası Artvin Sempozyumu*, Artvin.
- Jacob DJ, Winner DA (2009) Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43(1): 51–63.
- Jayasooriya VM, Ng AWM, Muthukumar S, Perera BJC (2017) Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. *Urban Forestry & Urban Greening*, (21): 34–47.
- Johnson M, Saylor R (2018) Mapping air quality in urban areas using GIS and remote sensing: A case study of New York City. *Journal of Environmental Management*, 222: 280-292.
- Kahveci B, Yıldız NE (2023) Yağmur suyu hasadı potansiyelinin belirlenmesi: Niğde Kenti Örneği. *Erzurumlu, S. (Ed), Kentsel Tasarım Öğelerine Mimari Bakış*. Bidge Yayınları, ISBN: 978-625-372-081-0.
- Kalıpcı E, Başer V (2019) Coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve hava kalitesi verileri kullanılarak Türkiye'nin hava kirliliğinin değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2): 377-389.
- Karimi H, Soffianian A, Mirghaffari N, Soltani S (2016) Determining air pollution potential using geographic information systems and multi-criteria evaluation: a case study in Isfahan Province in Iran. *Environ. Process*, (3): 229–246.
- Li X, Zhang Q, Wang Y (2019) Mapping urban air quality using GIS: a case study of Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 214: 116848.
- Liu HL, Shen SH (2014) The impact of green space changes on air pollution and microclimates: a case study of the Taipei Metropolitan Area. *Sustainability*, (6) 12: 8827-8855.
- Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E (2020) Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in Public Health*, 8.
- Myeong S, Nowak DJ, Duggin MJ (2006) A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 101(2): 277–282.
- Oliver JE, Fairbridge RW (2005) *Encyclopedia of World Climate*. Springer, 448 sy.
- Orhan G (2017) Uzun menzilli sınır aşan hava kirliliği sözleşmesi ve protokolleri: Türkiye'nin duruşu ve uygulamaları. (ss. 131-165). G. Orhan, S. C. Mazlum, & Y. Kaya (Eds), *Uluslararası Çevre Rejimleri*. Dora.
- Önder G, Önder E (2018) İşletmeciler, mühendisler ve yöneticiler için operasyonel, yönetsel ve stratejik problemlerin çözümü çok kriterli karar verme yöntemleri. *Dora Yayınevi*, 21–74.
- Pérez Velasco R, Jarosińska D (2022) Update of the WHO global air quality guidelines: systematic reviews-an introduction. *Environment International*, (170): 107556.
- Pandian RS, Udayakumar S, Balaji KKP, Narayanan RL (2023) Identification of groundwater potential for urban development using multi-criteria decision-making method of analytical hierarchy process. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(3): 318–328.

- Pisoni E, Carnevale C, Volta M (2009) Multi-criteria analysis for PM10 planning. *Environment*, (43): 4833–4842.
- Rahman MM (2017) Do population density, economic growth, energy use and exports adversely affect environmental quality in Asian Populous Countries?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (77): 506-514.
- Saaty TL, Özdemir MS (2014) How many judges should there be in a group?. *Ann. Data. Sci.*, 1: 359–368.
- Sandal Erzurumlu G, Yıldız NE, Kahveci B (2017) The evaluation of active green sites for recreation: bor case. *Eurasian Journal of Agricultural Research*, 1(1): 44-51.
- Sharma S, Jain V, Shukla A (2018) Urban air quality mapping and its prediction using GIS and remote sensing techniques: A case study of Delhi, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (9): 558.
- Stahl K, Moore RD, Floyer JA, Asplin MG, McKendry IG (2006) Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density. *Agricultural and Forest Meteorology*, (139) 3-4: 224-236.
- Şahin M, Yurdugül H (2018) A content analysis study on the use of analytic hierarchy process in educational studies. *Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology*, 9(4): 376-392.
- Şişman E (2019) Türkiye’de seçilen hava kalitesi izleme istasyonları için eğilim (trend) değerlendirmeleri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1): 134-152.
- Tian X, Cui K, Sheu HL, Hsieh YK, Yu F (2021) Effects of rain and snow on the air quality index, PM2.5 levels, and dry deposition flux of PCDD/Fs. *Aerosol and Air quality Research*, 21(8): 210158.
- Uzunali A, Yazıcı T (2023) Carbon footprint changing with Covid-19 in Turkey. *Environ Dev Sustain*, 25: 10685–10707.
- Vadrevu K, Ohara T, Justice C (2017) Land cover, land use changes and air pollution in Asia: a synthesis. *Environmental Research Letters*, 12(12): 120201.
- Vihervaara P, Mononen L, Santos F, Adamescu M, Cazacu C, Luque S, Genelletti D, Maes J (2017) Biophysical quantification. In: *Mapping Ecosystem Services*, Burkhard, B. ve Maes, J. (eds), Pensoft Publishers, Sofia.
- Yıkıcı A, Ünal H (2022) Türkiye’de hava kalitesinin Covid-19 bağlamında değerlendirilmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(23): 21-43.
- Zhang L, Liu S, Liu S (2021) Mechanisms underlying the effects of landscape features of urban community parks on health-related feelings of users. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15).
- Zhou J, Wang J, Huang H, Liu Y (2020) Assessment of air quality using GIS and remote sensing: A case study of Guangzhou, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5): 1234-1248.