

Planlı Gelişme Alanlarının Hava Kirliliğine Olası Etkilerinin Değerlendirilmesi

Merve Arslan¹, Doğan Dursun^{2,*}

¹Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Tasarım Anabilim Dalı, 25240, Erzurum.

²Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 25240, Erzurum.

Özet

Bu çalışmada yeni gelişme alanlarındaki imar planı kararlarının hava kirliliği üzerindeki etkisini önceden tespit etmek amaçlanmıştır. Bu amaçla Erzurum kentinin yerleşik alanı için mevcut (2021) hava kirliliği analizi üretildikten sonra, çalışma alanı içerisinde önerilen uygulama imar plan kararları doğrultusunda 2027 hedef yılı için yeni bir hava kirliliği analizi üretilmiştir. Burada imar plan kararlarıyla değişecek olan kentsel dokunun nasıl bir etki yaratacağının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada yöntem olarak ağırlıklı çakıştırma analizi kullanılmıştır. Analiz dört temel veri grubu üzerinden yürütülmüştür. Topografik veri grubu içerisinde yükselti analizi, meteoroloji veri grubu içerisinde sıcaklık analizi, hava kirliliği verileri içerisinde PM₁₀-SO₂ analizleri ve plan kararları veri grubu içerisinde yeşil alanlar, kat yüksekliği, nüfus yoğunluğu, sanayi alanları ve yapay yüzey analizleri kullanılmıştır. Belirlenen her kriter için alt kriterler oluşturulmuş ve kriter için bir etki derecesi ile her alt kriter için bir ağırlık puanı belirlenmiştir. Analizler NetCAD ve ArcGIS programları kullanılarak elde edilmiştir. Yürütülen çalışma sonucunda elde edilen bulgular, kat yüksekliğinin, nüfus yoğunluğunun, yapay yüzey oranının fazla olduğu alanlarda hava kirliliğinin yoğunlaştığını göstermiştir. Bununla birlikte yeşil alan miktarının fazla, yapay yüzey oranının az olduğu alanlarda hava kirliliği yoğunluğunun daha az olduğu tespit edilmiştir. Analizlerde kentin sıcaklık durumu ve topografik yapısının da hava kirliliği üzerinde olumsuz etkiler yarattığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Kentleşme, Hava Kirliliği, Ağırlıklı Çakıştırma, Erzurum

Evaluation of the Possible Impacts of New Residential Areas on Air Pollution in the Development Plan

Abstract

In this study, the aim was to pre-determine the impact of urban planning decisions in emerging areas on air pollution. To achieve this, after conducting an air pollution analysis for the existing urban area of Erzurum (2021), a new air pollution analysis was produced for the target year 2027 in accordance with the proposed urban planning decisions within the study area. The goal was to determine how the changes in the urban fabric resulting from urban planning decisions would affect air quality. Weighted overlay analysis was used as the methodology in the study. The analysis was conducted based on four fundamental data groups: topographic data, which included elevation analysis; meteorological data, which included temperature analysis; air pollution data including PM₁₀-SO₂ analyses; and planning decision data, which included green areas, building height, population density, industrial areas and artificial surface analyses. Sub-criteria were established for each criterion, and an impact degree and weight score were determined for each sub-criterion. The analyses were conducted using the NetCAD and ArcGIS software. The study findings indicated that air pollution was more concentrated in areas with high building heights, population density, and a high percentage of artificial surfaces. Conversely, it was found that air pollution was less intense in areas with a greater amount of green space and a lower percentage of artificial surfaces. The analysis also indicated that the city's temperature conditions and topographical structure had a negative impact on air pollution.

Keywords

Urbanization, Air Pollution, Weighted Overlay, Erzurum

1. Giriş

Dünya Şehirleri Raporu 2020'ye göre kentsel nüfusun 2030 yılına kadar, dünya nüfusunun %60,4'ünü oluşturması beklenmektedir (Knudsen vd., 2020). Artan bu kentleşme eğilimi her ne kadar ekonomik gelişme ve refah seviyesiyle ilişkilendirilse de aynı zamanda kentsel yayılma, kentsel ısı adası ve hava kirliliği gibi bir dizi çevresel sorunlara da neden olmaktadır.

Kentleşme, kırsal nüfusun kentsel nüfusa dönüşmesi, üretimin tamamen tarım dışı olması ve toplumsal yapıdaki yaşam tarzı değişikliklerini içermektedir (Keleş, 2002). Sanayi devrimi sonrası kentleşme hızla devam etmiş ve kentler artık endüstriyel üretimin yoğunlaştığı mekanlar haline gelmiştir.

Artan nüfus ve enerji tüketimi, insan-çevre arasındaki dengenin bozulmasına neden olmuş ve hava kirliliği başta olmak üzere birçok çevresel probleminin temelini oluşturmuştur. Hava kirliliği, hava ortamındaki parametrelerin yapısına farklı maddelerin girmesi sonucunda doğal bileşiminin değişerek, canlı/cansız yaşamı, ekolojik sistem ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek miktar ve yoğunluğa ulaşması şeklinde tanımlanmaktadır (Müezzinoğlu, 2000). Kentsel bir olgu olan hava kirliliği; insanların çeşitli faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kirleticilerin atmosfere karışması olarak da açıklanabilir. Hava kirletici kaynaklar, doğal ve beşerî kaynaklar olmak üzere iki sınıfta ele alınmaktadır. Doğal kirleticiler; insan etkisinin olmadığı doğal olaylar sonucu ortaya çıkan kirleticilerdir. Fırtınalar sonucu yeryüzünden kalkan tozlar, volkanik faaliyetler, orman yangınları, çiçek tozları ve bazı gazlar bu grupta yer almaktadır. Yapay (antropojenik) kirleticileri; ateşin bulunmasıyla başlayan yakma faaliyetleri, nüfus artışı, kentleşme ve endüstri faaliyetleri oluşturmaktadır. Yapay kirletici kaynakları farklı şekillerde gruplandırılabilirler. Sanayiden, ısınmadan ve ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliğinde kaynağın türü, kirleticilerin sabit ve hareketli olma durumlarında kaynağın devinimi, kirleticilerin noktasal, çizgisel ve alansal olması durumlarında kaynağın yapısı ön plana çıkmaktadır (Kök, 2018). Katı, sıvı ya da gaz halinde olabilen birçok kirletici türü bulunmaktadır. Bu çalışmada verilerin mevcudiyeti, göstergelerin kentleşmeyle ilişkisi ve bilimsel çalışmalarda kirliliğin derecesinin ölçülmesinde sıklıkla kullanılan SO₂ ve PM₁₀ kirletici türleri seçilmiştir. Yakıtlarda bulunan kükürten kaynaklanan kükürt dioksit (SO₂) altı farklı kükürt oksit türünden biridir. Endüstriyel kuruluşlardan kaynaklanan salım miktarı toplam salım oranında büyük bir yere sahiptir. SO₂ oranının yüksek çıktığı yerler; nüfus ve yapı yoğunluğunun fazla olduğu kent merkezleri, taşıt trafiğinin yoğun olduğu yerler ve ısınma kaynaklı yakıt tüketiminin fazla olduğu konut alanlarıdır (Baş, 2019). Aerosol kirletici türünden olan partikül maddeler katı veya sıvı halde olup havada bir süre asılı kalabilen ve büyüklükleri değişkenlik gösteren maddelerdir. Partikül madde (PM), e aerosol kirleticiler içinde sağlık açısından en tehlikeli olan türdür ve hava kalitesine bağlı ölüm oranlarında etki oranı yüksek bir kirletici maddedir (Özbeyaz vd., 2016). Partikül maddelerin ana kaynaklarını evsel ısınma, ulaşım ve endüstriyel faaliyetler oluşturmaktadır. Evsel ısınmanın arttığı sonbahar ve kış mevsiminde kalitesiz yakıtların kullanılmasından dolayı PM₁₀ konsantrasyonları bu dönemde artmaktadır. Bu artış havanın puslu görünmesine, ekosisteme ve insan sağlığına kadar birçok olumsuz etkiye yol açmaktadır.

Kentsel alanlarda yaşanan hava kirliliğinde beşerî faktörler kadar, atmosferdeki dağılmayı önleyen topografik etmenler ve meteorolojik unsurlarda etkili olmaktadır. Beşerî faktörler, kirliliğin kaynağı ve emisyon oranlarına etki ederken, doğal ortamı şekillendiren jeomorfolojik özellikler ise hava kirliliğinin derecesi ve yerleşim biriminde kalma süresi üzerinde etkili olmaktadır (Şahin, 1989). Coğrafi faktörler kirliliğin atmosferde kalıcılık süresini etkilerken, meteorolojik parametreler ise, kirliliğin atmosferden ayrılma aşamasında etkili olmaktadır. Ulutaş vd. (2022) tarafından Zonguldak ilinde çeşitli istatistiksel analizler kullanılarak yürütülen çalışmada, PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, NO₂, CO ve SO₂ kirletici parametreleriyle, iklimsel veriler dört mevsim boyunca değerlendirilmiştir. NO₂ dışında diğer parametrenin kışın yüksek konsantrasyona sahip olduğu saptanmıştır. Yine benzer bir çalışma Ankara ilinde bir yıl boyunca PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO, NO₂, NO_x, O₃, CO parametreleri aylık, mevsimsel ve yıllık olarak değerlendirmiştir. Çalışmada nüfusun ve trafiğin yoğun olduğu yerlerde sabah ve akşam saatlerinde özellikle kış mevsiminde O₃ hariç bütün parametrelerde artış görülmüştür. Çalışma alanında doğalgaz kullanımının yaygın olması ve endüstri alanlarının olmamasına rağmen kirliliğin yüksek çıkması ise konutlarda ısınmadan kaynaklanan yakıt tüketimiyle açıklanmıştır (Ulutaş vd., 2021). Literatür kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi; kentleşmeden kaynaklanan enerji tüketimi ve bunun neden olduğu kirleticiler, plan kararlarının hava kalitesi üzerine etkisi ve hangi kentsel formun hava kalitesi ve kirlilik emisyonuyla ilişkili olduğunu belirlemeye yoğunlaşmıştır. Hava kirliliği ve kentleşme süreçleri arasındaki ilişki uzun yıllardır sorgulanmaktadır ve farklı çalışmalarda kentleşme biçimlerine göre kirlilik değerlerinde ortaya çıkan değişim tanımlanmaktadır.

Kentleşmenin enerji tüketimi ve CO₂ salımı üzerindeki etkisi uzun zamandır literatürün odak noktası haline gelmiştir. Kentleşmeyle tarımsal üretimden teknolojik ve endüstriyel üretim sektörlerine doğru bir geçiş yaşanırken, her iki sektörde önemli ölçüde enerji tüketimine dayanmaktadır. Bu enerji tüketimi karbon emisyonlarına önemli oranda etki etmektedir ve şehirler, küresel karbon emisyonlarının %70'inden fazlasını oluşturmaktan sorumludur (Cai vd., 2021). Sonuç olarak kentleşmenin enerji tüketimi yoluyla karbon emisyonları üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur (Li & Lin, 2015; Wang vd., 2016; Bekhet & Othman, 2017; Ali vd., 2019; Fan vd., 2023; Tang & Hu, 2023). Bununla birlikte ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ve endüstriyel yapısının bu etki üzerinde önemli olduğu saptanmıştır. Modernleşmenin bir göstergesi olan kentleşmenin PM_{2.5} üzerindeki etkisine yönelik yapılan çalışmalarda, kentleşmeyle birlikte PM_{2.5} yoğunluğunun arttığı ve bunda ekonomik faaliyetler, nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımının etkili olduğu belirlenmiştir (Yang vd., 2018; Du vd., 2019; Luo vd., 2020; Cheng vd., 2020; She vd., 2021).

Kentsel gelişimin ve aldığı biçimin, bir şehrin çevresel performansının çeşitli bileşenlerini nasıl etkilediğini anlamak önemlidir. Bunlardan biri olan kentteki rüzgâr ortamı ise şehir planlamayla ilişkili olan kentsel form, bina formu ve kentsel yoğunluk gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Yüksek kat ve yapı yoğunluğuna sahip mekânsal formların genelinde zayıf rüzgâr ortamları oluşmaktadır. Hava kirliliği kentteki rüzgâr ortamından doğrudan etkilendiği için kirleticiler kent içinde birikerek yetersiz havalandırma nedeniyle kolayca dağılamamaktadır (Arslan, 2023).

Bu nedenle kentsel form yalnızca rüzgâr ortamının özelliklerini önemli ölçüde etkilemekle kalmaz, aynı zamanda rüzgâr ortamını değiştirerek kirleticilerin birikmesinde ve dağılmasında etkili rol oynamaktadır. Bu sebeple hangi kentsel formun hava kalitesi veya kirlilik emisyonu ile ilişkili olduğunu anlamaya yönelik yürütülen çalışmalarda düşük kentsel süreklilik, yoğun karma kullanım, düşük karbon ayak izi emisyonu, yüksek enerji verimi ve sürdürülebilir ulaşımın sağlanmasıyla hava kalitesinin iyileştirilebileceği tespit edilmiştir. Bununla birlikte düşük yoğunluklu kentsel yayılma ve yayılma benzeri yerleşim sergileyen kentsel morfolojiler ise düşük hava kalitesiyle ilişkilendirilmiştir (McCarty & Kaza, 2015; Yuan vd., 2017; Yuan vd., 2019; Li vd., 2021; Monkkonen vd., 2023).

Formlarla ilgili olarak literatürde kompakt kentsel formların hava kalitesini iyileştirmeye yardımcı olabileceğine dair çalışmalar olduğu kadar bu görüşün aksine, yüksek yoğunluklu kompakt bir kentsel formun hava kalitesini önemli ölçüde iyileştirmedeği hatta daha ciddi hava kirliliğine yol açtığı iddia eden görüşlerde mevcuttur (Hixson vd., 2010; Cho & Choi, 2014; Li & Zhou, 2019).

Kentsel hava kalitesini artırmaya yönelik pasif bir strateji olarak uygun bir şekilde planlanmış/tasarlanmış bir kentsel morfoloji kirlilik dağılımını önemli ölçüde iyileştirebilmektedir (Juan vd., 2021). Kentsel biçimi şekillendirmek için çok önemli bir araç olan kentsel planlamanın, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin gibi ülkelerin bazı bölgelerinde başarılı bir şekilde uygulanmasıyla, küresel olarak hava kirliliğini hafifletmek için en etkili yöntemlerden biri olduğu tespit edilmiştir (Zhao vd., 2022). Dünya Sağlık Örgütü de “insanların şehirleri planlama ve inşa etme şeklinin soluduğumuz havayı belirlediğini” vurgulamıştır (World Health Organization, 2020). Kentlerde hava kirliliği; nüfus ve yapı yoğunluğundan, kentteki yeşil alanların miktarı ve dağılımından, sanayi alanlarının yer seçim kararlarından ve en nihayetinde kentsel alanın aldığı mekânsal konfigürasyondan güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Yuan vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, yüksek yoğunluklu bina alanlarının kirleticiler üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bu alanlarda ise kirleticilerin dağılımı ve seyrelmesinin kısmen hava koşullarına, özellikle rüzgâr yönüne ve hızına bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle bina yoğunluğunun artmasının havalandırmanın ve kirleticilerin dağılımının azalmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Endüstriyel yapı, kentteki enerji tüketimi, karbon ve kükürt emisyonlarıyla, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan çeşitli ağır metaller içeren havadaki partikül madde (PM) kirliliğinin yaygınlaşmasında doğrudan ilişkilidir. (Cherniwchan, 2012; Li & Lin, 2015). Ağaçlar ve ormanlar, kirleticilerin doğrudan uzaklaştırılması, yerel mikro iklimleri değiştirmesi ve enerji kullanımını dengelemesi gibi bir dizi ekosistem hizmetini yerine getirir. Bu hizmet sadece ekolojik anlamda değil insan sağlığı ve ekonomik anlamda da birden çok faydalı ilişki sunmaktadır. Nowak vd. (2019) tarafından yürütülen çalışmada, kentteki yeşil alanların yüksek miktarda hava kirliliğini ortadan kaldırdığını ve bunun sağlık harcamalarında önemli azalmalar sağladığını tespit etmiştir.

Hava kirliliğini kentleşme süreçleriyle ilişkilendiren ve farklı yönlerden inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Uzun yıllardır hava kirliliği problemi olan Erzurum kentinde de birçok hava kirliliği konulu çalışma yürütülmüştür. Uzun süren kış dönemi, coğrafyanın elverişsiz olması, beşerî unsurlar ve yerel yöneticilerin kararları, hava kalitesini olumsuz yönde etkileyen faktörler olarak ön plana çıkmaktadır. İncelenen çalışmalarda kirlilikle ilişkilendirilebilecek bir bilgi olarak meteorolojik unsurlardan rüzgâr hızı ve sıcaklık değerleri arasında negatif bir ilişki olduğu bulunmuştur (Turaloğlu vd., 2005; Kopar & Zengin, 2009; Alparslan, 2017; Akarsu, 2021). Doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasının hava kalitesini olumlu yönde etkilediği belirtilirken (Kopar & Zengin, 2009; Turaloğlu, 2011; Turan & Yalçın Çelik, 2012; Akarsu, 2021), kentte yeni yerleşim alanlarının yer seçimi kararlarının hava kirliliğini artırdığı tespit edilmiştir (Sezen & Yılmaz, 2006; Turaloğlu, 2011). Bununla birlikte kentleşme kararlarında topografik yapı, meteorolojik unsurlar ve kentsel iklim verileri dikkate alınarak hava kirliliğinin kontrol altına alınabileceği vurgulanmıştır (Sezen & Yılmaz, 2006; Bayraktar & Turaloğlu, 2005; Dursun vd., 2015). Erzurum için mevcut durum itibarıyla yapılan değerlendirmeler çeşitli nedenlerle ortaya çıkan hava kirliliği probleminde farklı nedenleri ortaya koymuştur ancak imar planlarında belirlenen kentsel gelişme alanlarının yapılaştığı takdirde ortaya çıkacak kirlilik düzeyi üzerine bir tespit yapılmamıştır. Ova yönünde tarım arazileri üzerinde gelişme eğilimi olan kentin önümüzdeki yirmi yıl içerisinde bu şekilde kentleşirse hava kirliliği problemini çok ciddi düzeylere çıkaracağı öngörülebilmektedir. Bu nedenle Erzurum için kentleşme ve hava kirliliği ilişkisinin sorgulanması ve planlama pratiği içerisinde bu konunun ciddi şekilde ele alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmada kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkinin Erzurum kenti için hazırlanan 1/1000 ölçekli uygulama imar planı üzerinden incelenmesi ve plan kararları yolu ile ortaya çıkması beklenen olası hava kirliliği etkisinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Plan kararlarıyla değişiklik gösteren nüfus yoğunluğu, kat yüksekliği, yeşil alan miktarı ve dağılımı, yapay yüzey oranı ve sanayi alanlarının yer seçimi gibi hususların mevcut ve gelecek dönem durumları için analiz yapılmış ve hava kirliliğinde etkili olan tüm faktörlerin ortak değerlendirildiği mevcut ve öneri kentsel doku için hava kirliliği haritası üretilmiştir.

İncelenen konu kentsel gelişme ve hava kirliliği üzerinedir. Araştırmanın amacı, kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkinin Erzurum kenti için hazırlanan 1/1000 ölçekli uygulama imar planı üzerinden incelenmesi ve plan kararları yolu ile ortaya çıkması beklenen olası hava kirliliği etkisinin analiz edilmesidir. Kentsel gelişmeye yönelik plan kararlarının hava kirliliğini nasıl etkilediği, mevcut kentsel doku ve öneri kentsel doku üzerinden açıklanmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın hedefleri:

- Kentteki yer seçim kararları ve doğal coğrafyanın etkisiyle şekillenen mekânın ve iklimsel faktörlerin hava kirliliğine olan etkisini tespit etmek,
- Kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi, mekânsal yapı ve kentsel form üzerinden değerlendirmek,

- Hava kalitesini etkileyen PM₁₀ ve SO₂ kirleticilerinin kentteki dağılımını incelemek,
- Plan kararlarıyla değişiklik gösteren nüfus yoğunluğu, kat yüksekliği, yeşil alan miktarı ve dağılımı, yapay yüzey oranı ve sanayi alanlarının yer seçimi gibi hususların mevcut ve gelecek dönem durumlarının hava kalitesi etkilerini belirlemek,
- Hava kirliliğinde etkili olan tüm faktörlerin ortak değerlendirildiği mevcut ve öneri kentsel doku için hava kirliliği haritasını üretmek şeklinde belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında belirlenen amaç ve hedefler doğrultusunda yanıt verilecek araştırma soruları:

- Planlama kararlarının hava kirliliği üzerinde etkisi var mıdır? Varsa bu nasıl yönlü bir etkidir?
- Kentsel formun hava kalitesi ve emisyonlar üzerindeki etkileri nelerdir? şeklindedir.

Bu makale temel olarak ‘‘Erzurum’’da imar planlarında önerilen yeni gelişme alanları hava kirliliğinin artmasına neden olacaktır’’ hipotezine dayanmaktadır. Çalışmanın bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır. Çok boyutlu olan hava kirliliği problemi bu çalışmada plan kararları, topografya ile iklimsel veriler ve hava kirleticileri üzerinden incelenmiştir. Ayrıca çalışmaya plan kararlarıyla tanımlanamayacak, yoruma açık ve farklı ihtimallerin birden fazla sonuç ortaya çıkabileceği ulaşım ve konutlarda ısınmadan kaynaklanan kirlilik verileriyle, sosyo-ekonomik veriler dahil edilmemiştir. Çalışma alanı kentte 2027 yılı için önerilen planların uygulama sınırları ile hava kalitesi ölçüm verilerinin elde edildiği istasyon konumları dikkate alınarak Yakutiye ve Palandöken ilçeleri ile sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte Erzurum’da kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişki geçmiş, günümüz ve geleceğe dönük yapılacak analizlerle değerlendirilmek istenmiştir. Fakat çalışmada kullanılan PM₁₀ ve SO₂ hava kirleticilerinin kentleşmeyle olan ilişkisinin incelenmesi amacıyla geçmiş döneme yönelik yeterli düzeyde veri elde edilememiştir. Bu nedenle araştırma mevcut ve gelecek dönemle sınırlandırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Doğu Anadolu bölgesinin kuzeydoğusunda yer alan Erzurum, 25.066 km²’lik alanı ile bölgenin en büyük, Türkiye’nin ise 4. büyük ilidir. Makalenin çalışma alanını Erzurum ilinin merkez ilçeleri olan Yakutiye ve Palandöken ilçeleri oluşturmaktadır (Şekil 1). Erzurum’un mevcut yerleşimi batıda Atatürk Üniversitesi, doğuda yerleşime elverişli olmayan eğimli alanlarla sınırlanmıştır. Günümüzde kent kuzey, güney ve batı olmak üzere çok yönlü gelişme göstermektedir. Soğuk iklim koşullarının hâkim olduğu kent, etrafı yüksek dağlarla çevrili çanak görünümüne sahip bir ovada yer almaktadır. Yanma döneminin uzun sürdüğü ve inversiyon olayının yaşandığı kış aylarında, yetersiz hava akımları nedeniyle kirleticiler kentin çukur bölgelerinde birikerek hava kirliliğine neden olmaktadır. Topografik olarak hava kirliliği konusunda dezavantajlı olan Erzurum’da uygun olmayan kentleşme biçimi de hava akımlarının etkisini daha da azaltmaktadır. Tüm bu unsurlar Erzurum’da kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkinin sorgulanmasını gerekli kılmaktadır.



Şekil 1: Çalışma alanının konumu

2.2. Veri ve Model Yapısı

Bu çalışmada hava kalitesi ölçüm istasyon verileri, yükselti ve yükseltiye bağlı sıcaklık verisi ve kat yüksekliği, nüfus yoğunluğu, sanayi alanları, yeşil alanlar ve yapay yüzey gibi mekânsal analizlere ait veriler kullanılarak 2021 ve 2027 yıllarına ait hava kirliliği analizleri elde edilmiştir.

Tablo 1: Çalışma kapsamında elde edilen veriler

Veri	Veri İçeriği	Veri Türü	Veri Kaynağı
Hava Kalitesi İstasyon Verileri	PM ₁₀ (µg/m ³) SO ₂ (µg/m ³)	2021 Yılı Yıllık Ortalama Ölçüm Sonuçları	Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı
DEM Verisi	Raster Veri	12,5m*12,5m Uydu Görüntüsü	Alos Palsar
Mekânsal Analiz Verileri	Grafik Veri	Mevcut Doku (2021) 1/1000 Ölçekli Halihazır Harita, Google Uydu Görüntüleri, Arazi Çalışmaları	Erzurum Büyükşehir Belediyesi, Google Earth
		Öneri Doku (2027) 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı, Plan Notları ve Plan Raporları	Erzurum Büyükşehir Belediyesi

Verilerle ilgili detaylara Tablo 1’de yer verilmiştir. 2021 yılına ait PM₁₀ ve SO₂ kirletici emisyon verileri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı olan hava kalitesi ölçüm istasyonlarından elde edilmiştir. Şekil 2’de çalışma sınırları içerisinde yer alan hava kalitesi izleme istasyonlarının kent içindeki konumları yer almaktadır.



Şekil 2: Çalışma alanında bulunan hava kirliliği ölçüm istasyonlarının konumu

Çalışma kullanılan model temel olarak beş aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak hava kirliliği analizinde kullanılacak topografik ve meteorolojik unsurlar belirlenmiştir. İkinci olarak hava kalitesini etkileyen plan kararları saptanmıştır. Üçüncü olarak hava kirliliğinin belirlenmesine yönelik analizlerde kullanılacak kriterler ve alt kriterlere ait ağırlık puanları belirlenmiştir. Dördüncü olarak farklı kaynaklardan elde edilen tüm veriler NetCAD programı kullanılarak işlenmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen vektör veriler daha sonra ağırlıklı çakıştırma analizinde kullanılmak üzere raster veriye dönüştürülmüştür. Raster veriye dönüşüm işlemi için öncelikle ArcGIS programına CAD Reader uzantısı eklenerek NetCAD dosyaları ArcGIS’de okunur hale getirilmiştir. Eklenen NetCAD dosyalarında çalışılan ilin koordinat sistemine göre tanımlaması yapılmıştır. Tanımlı hale gelen vektör veri daha sonra ArcToolBox araçlarından olan “Conversion Tools” sekmesinden “To Raster” seçilerek “Polygon To Raster” işlemi ile raster veriye dönüştürülmüştür. Raster verilere ağırlıklı çakıştırma işlemi öncesinde “reclassify” işlemi yapılmıştır. Bunun için öncelikle raster verinin öznetelik tablosunda düzenleme yapılmıştır. Daha sonra ArcToolBox araçlarından olan “Spatial Analyst Tools” sekmesinden “Reclass” seçilerek “Reclassify” işlemi yapılmıştır. Yapılan sınıflandırma sonucunda raster verideki her hücre artık bir puan değerine sahip olmuş ve yeni bir raster veri elde edilmiştir. Son olarak ağırlıklı çakıştırma analizi yapılarak 2021 ve 2027 yıllarına ait hava kirliliği analizleri elde edilmiştir.

2.2.1. Kriterlerin ve Ağırlık Derecelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada hava kirliliğinin belirlenmesi amacıyla, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak ağırlık çakıştırma işlemi yapılmıştır. Ağırlıklı çakıştırma analizi, çok kriterli verilerin ortak çözümünde kullanılan önemli yöntemlerden biridir. Farklı kaynaklardan elde edilen ve farklı birimlere sahip verilerle nihai bir sonuca varılmasına ve uzamsal katmanların bir arada değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bir bölgenin hava kalitesi belirlenirken kullanılacak değişkenler ve bunların önem dereceleri çalışma alanının konumuna, bölgenin fiziksel ve coğrafi özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Erzurum’da hava kirliliğine yönelik kullanılacak kriterler, literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir (Kopar & Zengin, 2009; Sarı, 2019). Tablo 2’de görüldüğü gibi, belirlenen bu kriterlerin çalışma alanında hava kirliliğiyle ilişkisi sorgulanmış ve her bir kriterle mesleki yorumlar, literatür araştırması ve arazi gözlemleri sonucunda değer ataması yapılmıştır.

Hava kirliliğine neden olan faktörlerin etki dereceleri birbirinden farklı olduğu için ağırlıklandırma yapılırken, değişkenler arasında hangisinin hava kirliliğinde daha önemli olduğu sorusunun yanıtı aranmıştır. Burada hava kirliliğinde daha önemli olana 5 puan, daha az öneme sahip olana 1 puan verilmiştir. Bu puanlama sayesinde her veri standartlaştırılmış ve ağırlıklı çakıştırma işlemi için ortak bir veri seti elde edilmiştir.

Belirlenen ana kriterler analiz edilirken farklı alt kriterlere ayrılmıştır. Bu ayırmda verilerin çalışma alanı içerisindeki mevcut durumları baz alınmıştır. Örneğin; yükselti analizi yapılırken DEM verisi ArcGIS’de çalışma sınırına göre kesilmiş ve bu sınır içerisindeki en düşük ve en yüksek yükselti değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerler daha sonra 100 metre aralıklarla farklı alt gruplara ayrıştırılmıştır. PM₁₀ ve SO₂ kirleticisine ait alt kriterler hava kalitesi indeksine göre hazırlanırken, yeşil alan, kat yüksekliği, nüfus yoğunluğu, sanayi alanları ve yapay yüzey analizlerinin alt kriterleri; çalışma alanını 100 m*100 m büyüklüğünde bölen karolajlar üzerinden elde edilmiştir. Bu sistemde her bir karoloj 1 hektara denk gelmektedir. Tek tek karolajlar üzerinden yapılan analizler sonucunda çalışma alanının bütününe kapsayan alt kriterler elde edilmiştir.

Tablo 2: Ağırlıklı çakıştırma kriterleri, alt kriterler, ağırlık puanları ve etki dereceleri

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlık Puanı	Etki Derecesi	Seçme Nedeni
Yükselti	1770 – 1870 m	1	%10	Yükselti arttıkça sıcaklık azalmakta, ısınma kaynaklı yakıt tüketimi artmaktadır. Bu ikili ilişki doğrultusunda yükselti hava kirliliği analizinde bir kriter olarak ele alınmıştır.
	1870 – 1970 m	1		
	1970 – 2070 m	2		
	2070 – 2170 m	3		
	2170 – 2270 m	4		
	2270 – 2470 m	5		
Sıcaklık	8.3 – 9.0 °C	5	%10	Sıcaklık ve kirlilik arasında ters bir orantı vardır. Soğuk iklimlerde önemli bir unsur olan sıcaklık bu bağlamda hava kirliliğini etkileyen bir kriter olarak analize dahil edilmiştir.
	9.0 – 9.4 °C	4		
	9.4 – 9.8 °C	3		
	9.8 – 10 °C	2		
	10 – 10.4 °C	1		

Tablo 2'nin devamı

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlık Puanı	Etki Derecesi	Seçme Nedeni
Yeşil Alan	0 – 6 adet	5	%10	Kent içerisinde yer alan yeşil alanlar temiz hava sağlama ve kirli havanın filtre edilmesini gibi özellikleri sayesinde hava kirliliği üzerinde önemli rol oynarlar. Bu nedenle çalışmada etkili bir kriter olarak kullanılmıştır.
	7 – 15 adet	4		
	16 – 25 adet	3		
	26 – 50 adet	2		
	50 ve üzeri adet	1		
Kat Yüksekliği	Kat yok	1	%10	Yüksek katlı ve yüksek yoğunluklu binalar, hava kirleticilerin dağılımını engelleyerek daha yüksek düzey-de kirletici birikimine yol açmaktadır. Bu nedenle kat yüksekliği hava kirliliği analizinde bir kriter olarak ele alınmıştır.
	0 – 2 adet	1		
	3 – 5 adet	2		
	6 – 8 adet	3		
	9 – 11 adet	4		
12 ve üzeri adet	5			
Nüfus Yoğunluğu	Nüfus yok	1	%10	Yüksek konut yoğunluğu ve nüfusa sahip alanlarda trafik sıklığına bağlı ulaşım kaynaklı kirleticiler ve konutlarda ısınma kaynaklı kirleticiler artmaktadır. Bu nedenle nüfus yoğunluğu çalışmada önemli bir etken olarak analize dahil edilmiştir.
	50 kişi/ha	1		
	51 – 150 kişi/ha	2		
	151 – 300 kişi/ha	3		
	301 – 600 kişi/ha	4		
600 ve üzeri kişi/ha	5			
Yapay Yüzey	%0-20	1	%10	Kentsel alan genişledikçe kentteki doğal yüzey alanı azalmakta ve yapay yüzey oranı artmaktadır. Bu durum antropojenik kaynaklı kirleticilerin artmasına yol açarak hava kirliliğini artırmaktadır. Geçirgen olmayan bu sert zeminler hava kalitesini etkileyen bir kriter olarak ele alınmıştır.
	%21-40	2		
	%41-60	3		
	%61-80	4		
	%81-100	5		
Sanayi Alanları	KSA	5	%10	Sanayiden kaynaklanan hava kirliliği temelde yanlış yer seçimi, yeterli teknik tedbirler alınmadan atık gaz ve tozların havaya bırakılması ve yanlış veya eskiden teknolojilerin seçiminden kaynaklanmaktadır. Kentteki sanayi alanlarının türleri ve yer seçim kararları hava kalitesini etkileyen önemli bir kriter olarak analize dahil edilmiştir.
	KDKÇA	4		
	Kentsel Servis	3		
Hava Kirleticileri (PM10, SO2)	İyi	1	%30	Kenti etkileyen topografik, iklimsel ve mekânsal faktörler aynı zamanda birer doğal ve yapay kaynak oldukları için hava kirletici gazların oluşmasına neden olurlar. Hava kirliliğini meydana getiren bu kirleticiler çalışma dahilinde kriter olarak kullanılmıştır.
	Orta	2		
	Hassas	3		
	Sağlıksız	4		
	Kötü	5		
Tehlikeli	5			

3. Bulgular

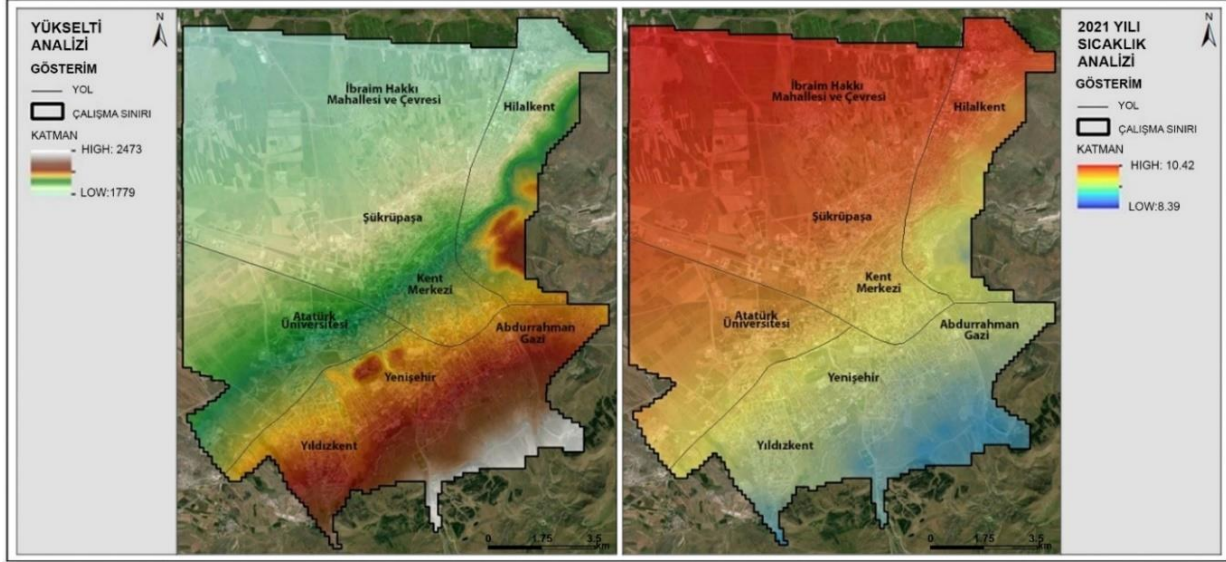
3.1. Topografya Analizi

Yükselti: Yükseklik dünyanın yüzeyinde, atmosferik olaylarda, bakı, eğim, basınç ve sıcaklık gibi birçok faktör üzerinde etkilidir. Hava kirliliğinde etkili bir kriter olarak ele alınan yükselti analizi Alos Palsar sitesinden 12,5*12,5 çözünürlükte indirilen DEM verisinin CBS'de sınıflandırılması sonucu elde edilmiştir. Yükselti analizine göre; kentte yükselti Palandöken ilçesinden Yakutiye ilçesine doğru azalmaktadır ve en az yükselti değeri çalışma sınırının kuzeybatısında yer almaktadır.

3.2. Meteoroloji Analizi

Sıcaklık: Lapse Rate ise yükselti verisine bağlı olarak ortalama sıcaklık değerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 3'de görüldüğü gibi yükseklik, rakım bilgileri ve en yakın istasyondan alınan bir yıllık ortalama sıcaklık değeri ile sıcaklık

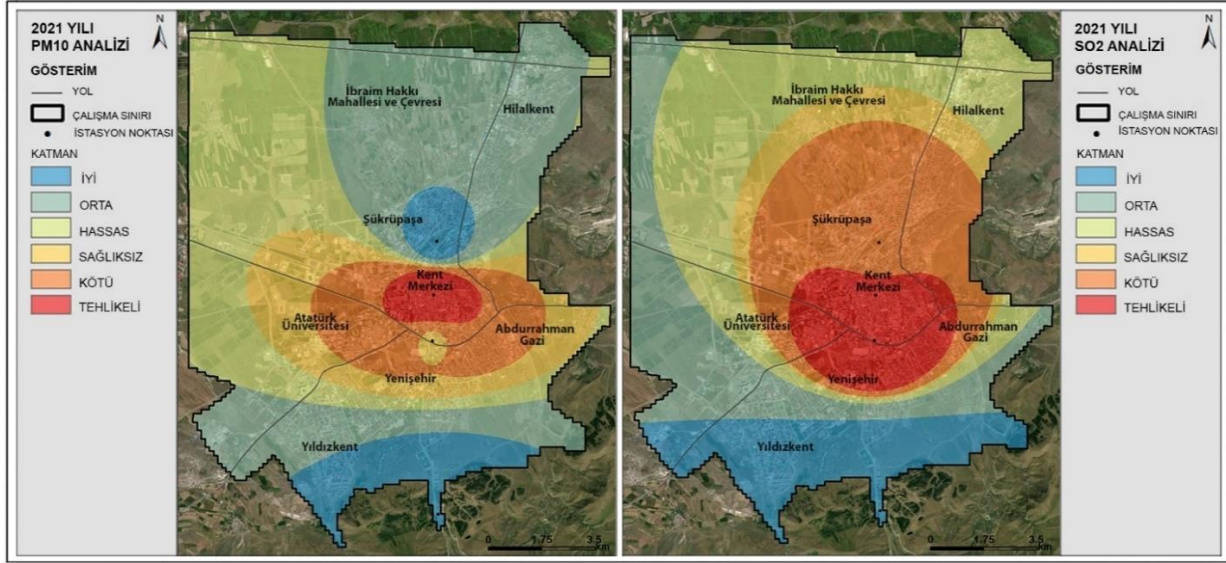
analizi yapılmıştır. LR yöntemi kullanılarak, yükseltiye bağlı olarak yapılan sıcaklık analizi $T_i = T_g + (h \cdot a / 100)$ formülüne göre elde edilmiştir. Formülde T_i indirgenmiş sıcaklık, T_g gerçek sıcaklık, h metre olarak istasyonun yüksekliği ve a değeri her bölge için oluşturulan regresyon modelinden alınan sıcaklık değişim oranını (lapse rate) ifade etmektedir (Erol, 2011). İstasyon sıcaklık verisi, çalışma sınırları içerisinde yer alan Erzurum Bölge İstasyonu'nun 2021 yılına ait sıcaklık ortalamasından elde edilmiştir. Kentin güney kesimlerinde yükselti fazla olduğu için sıcaklık değerleri bu bölgede daha düşük olacaktır. Bu durum ısınma kaynaklı yakıt tüketiminin artmasına neden olacağından dolayı hava kirliliğinin de artmasına yol açacaktır. Sıcaklık değerlerinin düşük olduğu noktalarda ısınma kaynaklı yakıt tüketiminin artması o bölgelerde hava kirliliğinin daha fazla oluşmasına neden olacaktır. Oluşan bu kirlilik rüzgârın etkisiyle kentte yükseltinin daha düşük olduğu noktalara taşınarak hava kirliliğinin artmasına yol açacaktır.



Şekil 1: Yükselti ve 2021 yılı sıcaklık analizi

3.3. Kirlilik Analizi

2021 Yılı PM₁₀ ve SO₂ Analizi: Erzurum kenti özelinde toplam beş adet hava kalitesi ölçüm istasyonu yer almaktadır. Çalışma sınırları içerisinde yer alan dört adet hava kalitesi ölçüm istasyonuna ait 2021 yılı verileri, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı olan Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı kullanılarak temin edilmiştir. Bu veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak IDW yöntemi ile analiz edilmiştir. Hava kirliliği emisyon değerlerinin mekânsal dağılımının elde edilmesinde, nokta verilerinin entepole edilecek yüzeyde, komşu noktalara olan ağırlıklı ortalamasını temel alan bir yöntem olan IDW yöntemi kullanılmıştır. Bu modelin temel işleyişi bilinen noktanın değerini kullanarak bilinmeyeni modellemektir (Toros vd., 2018). Bu analizde esas olarak var olan istasyon noktalarına ait verilerden yola çıkarak, verilerin yeterli olmadığı diğer noktalara ait en doğru veriyi elde etmek amaçlanmaktadır. Böylece kirlitici emisyonlarının mekânsal dağılımdaki eğilimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Analizde öncelikle çalışma sınırı üzerine istasyonların mevcut koordinatları işlenerek, bu istasyonlardan alınan PM₁₀ ve SO₂ kirlitici emisyonlarının ölçüm değerleri öznitelik tablosuna manuel olarak aktarılmıştır. Daha sonra ArcToolBox araçlarından olan Geostatistical sekmesinden Interpolation seçilerek burada yer alan IDW aracı ile analiz yapılmıştır. IDW entepolasyonu uygulandıktan sonra değer aralıkları, sınıf sayısı ve renklendirme işlemleri yapılmıştır. Sınıf sayısı ve renklendirmede Ulusal Hava Kalitesi İndeksi esas alınmıştır. IDW analizinde çalışma alanındaki istasyon sayısının yetersiz ve birbirine uzak mesafede olması analizde bir kısıtlayıcı olarak karşımıza çıkmaktadır. En nihayetinde elde edilmek istenen 2021 ve 2027 yıllarına ait hava kirliliği analizinde bir kriter olarak yer alan PM₁₀ ve SO₂ kirlitici emisyonları, diğer kriterlerinde ortak değerlendirildiği ağırlıklı çakıştırma analizinde kullanılarak ortak bir veri setiyle hava kirliliği analizi mekânsal olarak desteklenmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi elde edilen IDW haritası incelendiğinde; iki kirlitici türünde de kent merkezi kirliliğin en yoğun çıktığı alan olmuştur. Kentin güneyinde yükseltinin de etkisiyle hava kirliliğinin yoğunluğu daha düşük iken, kuzeyde kentin çukur noktalarında kirlilik değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 2: 2021 yılı PM₁₀ ve SO₂ kirlilik analizi

Tablo 3’de PM₁₀ ve SO₂ kirleticilerine ait yıllık ortalama değerler ve ölçüm yapılan gün sayısını belirten veri yüzdeleri yer almaktadır. İstasyonda ölçüm yapılan gün oranı verilerin yorumlanmasında katkı sağlayacaktır. Verilerdeki eksikliğin sebebi ise istasyonlarda bakım ya da arızaların olduğu günlerde ölçüm yapılamamasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3: Hava kalitesi izleme istasyonları 2021 yılı PM₁₀ ve SO₂ ortalama değerleri (µg/m³) ve veri yüzdeleri

PM ₁₀ ve SO ₂ Ölçüm Değerleri ve Veri Yüzdeleri				
Kirleticiler	Aziye	Merkez	Taşhan	Palandöken
PM ₁₀	37,4 - %98,08	46,4 - %96,99	58,4 - %89,86	33,5 - %97,53
SO ₂	11,9 - %98,9	13,5 - %99,18	-	4,6 - %98,9

3.4. Mekânsal Analizler

2021 Yılı Yeşil Alan Analizi: Şekil 5’te yer alan 2021 yılına ait yeşil alan analizinde kentte yeşil alanların üniversite, mezarlıklar ve askeri alanlarda yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Merkezi iş alanı olan ve yoğun kullanıcıya sahip kent merkezinde ise yeşil alanın yetersiz olduğu saptanmıştır. Kentin mevcut durumunda hâkim rüzgâr yönü de dikkate alınarak oluşturulmuş sistemli ve yeterli bir yeşil alan bulunmamaktadır.

2021 Yılı Kat Yüksekliği Analizi: Şekil 5’te yer alan yapı yüksekliklerinin incelendiği 2021 yılı analizinde, kent genelinde kat yüksekliklerinin 3-5 ile 6-8 kat arasında yoğunlaştığı görülmüştür. Kentin kuzeyinde yer alan Hilalkent Mahallesi konut dokusunun daha çok 9-11 kat arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Güneybatıda yer alan Yıldızkent Mahallesi de yine 9-11 katlı yerleşimlerin olduğu bölgelerden biridir. Kentin çeperinde yer alan yerleşimlerin genellikle 2 katlı yapılar olduğu tespit edilmiştir.

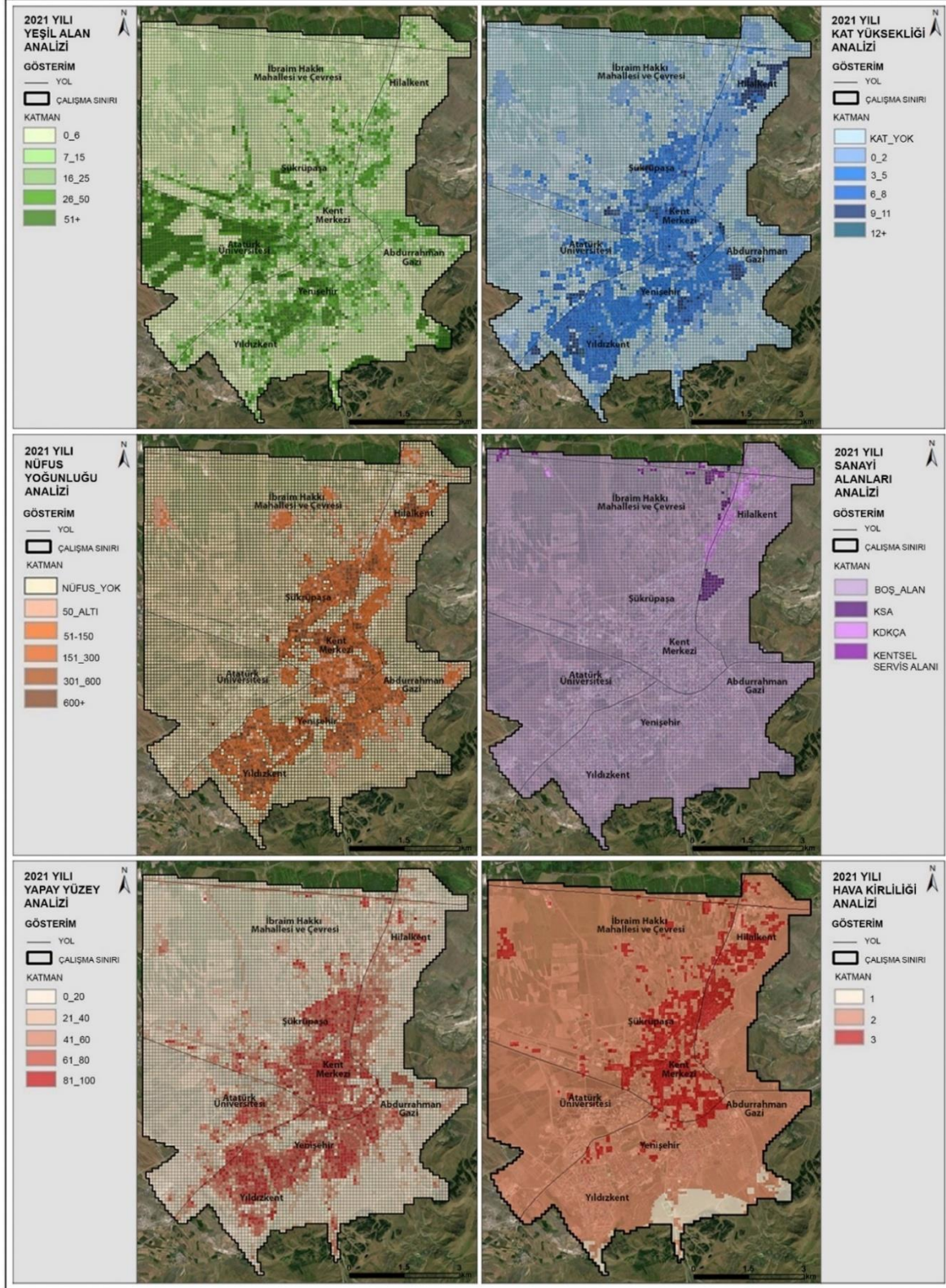
2021 Yılı Nüfus Yoğunluğu Analizi: 2021 yılında kentte nüfus yoğunluğunun daha çok kent merkezini çevreleyen Şükürpaşa ve Yenişehir mahallelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Kent çeperlerine doğru yoğunluk azalırken, mevcut durumda nüfus yoğunluğu eğiliminin kentin kuzeydoğu ve güneybatı yönlerine doğru olduğu görülmektedir.

2021 Yılı Sanayi Alanları Analizi: Sanayi alanları analizinde; kentin kuzey-doğusunda yerleşim alanları içerisinde kalmış küçük sanayi alanı, Tortum yolu boyunca karşılıklı konut dışı kentsel çalışma alanları ve kuzey çevre yolu hattı boyunca kentsel servis alanlarının yer aldığı tespit edilmiştir. Şekil 5’te yer alan sanayi alanları analizinde yapılar genellikle 1-2 kattan oluşmaktadır. Kent merkezine yakın bir noktada yer alan küçük sanayi alanı hava kirliliğinin kaynaklarından ve birikim noktalarından biridir.

2021 Yılı Yapay Yüzey Analizi: Yapay yüzey analizi ile kentte sert zemin ve doğal zemin ayrımı yapılmıştır. Şekil 5’te yer alan bu analizle kentin yapılaşmış alan sınırı bilgisine ulaşılmaktadır. Yapay yüzey oranının en yüksek olduğu alan kent merkezi ve çevresi olurken, çeperlere doğru yapay yüzey oranının düştüğü görülmektedir.

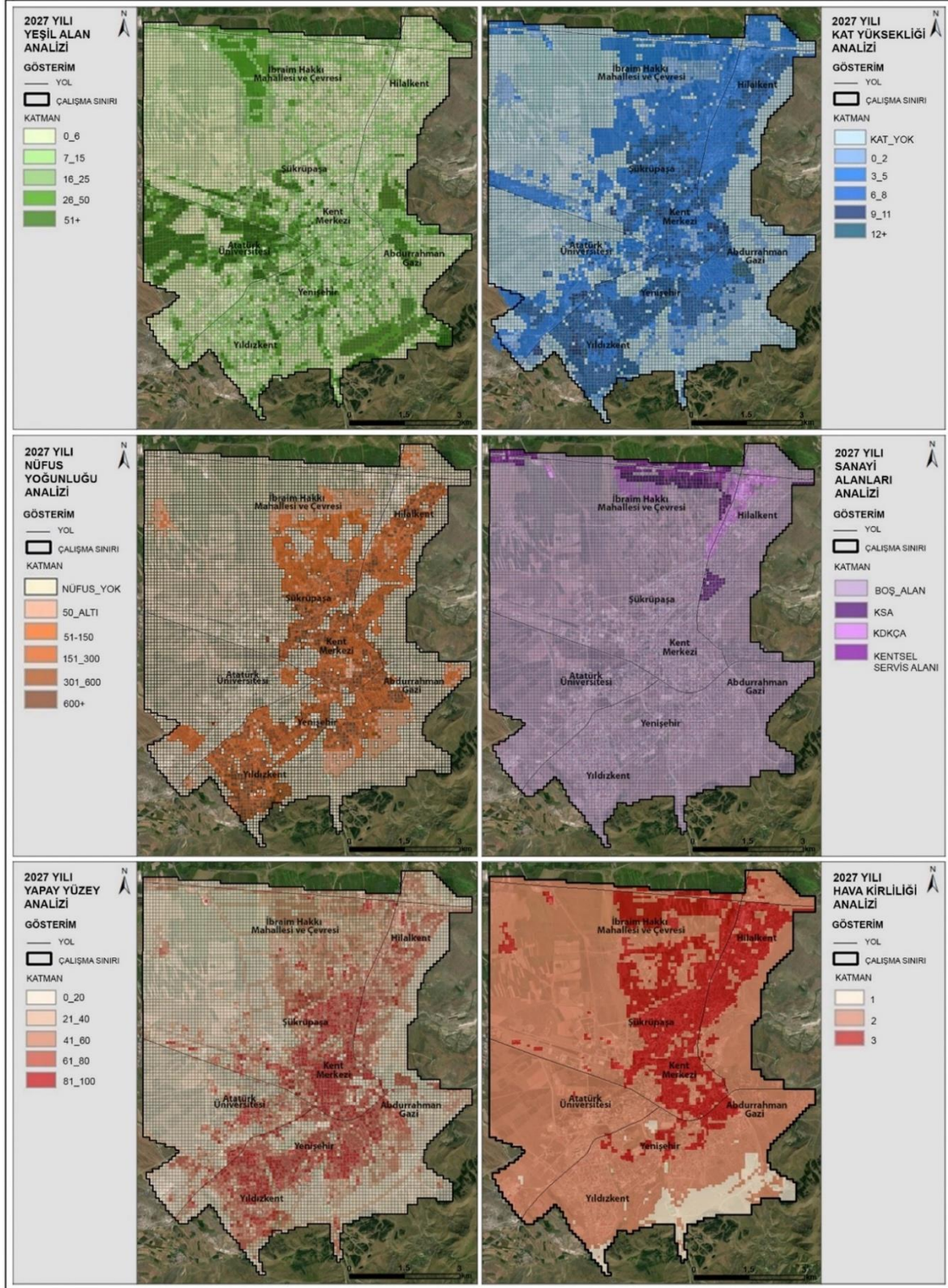
2021 Yılı Ağırlıklı Çakıştırma Analizi: Ağırlıklı çakıştırma işlemi plan kararlarının hava kirliliği üzerindeki etkisinin ölçülebilmesi amacıyla analizler sabit ve değişken veriler üzerinden yapılmıştır. Yükselti, sıcaklık ve kirlilik verileri 2021 ve 2027 yılları için sabit tutulurken, plan kararlarıyla değişiklik gösteren yeşil alan, kat yüksekliği, nüfus yoğunluğu, sanayi alanları ve yapay yüzey analizleri mevcut ve öneri duruma göre güncellenmiştir. Yükselti, sıcaklık, PM₁₀ ve SO₂ kirlilik verileri ile mekânsal analizlerin CBS’de ağırlıklı çakıştırma yönteminin kullanılmasıyla elde edilen

2021 yılı hava kirliliği analizinde; kent merkezi, küçük sanayi alanı, Şükrüpaşa ve Hilalkent Mahalleleri kirliliğin yoğunlaştığı alanlar olarak ön plan çıkmaktadır. Yıldızkent ve Yenişehir gibi güneyde yer alan mahaller, kuzeydeki mahallelere oranla hava kirliliği yoğunluğunun daha az olduğu alanlar olmuştur. Abdurrahman Gazi Mahallesi de merkeze daha yakın olması sebebiyle kirliliğin yoğunlaştığı alanlardan olmuştur. Şekil 5'te ağırlıklı çakıştırma analizi sonucuna elde edilen 2021 yılına ait hava kirliliği analizi yer almaktadır.



Şekil 3: 2021 yılına ait mekânsal analizler ve ağırlıklı çakıştırma analizi sonucunda elde edilen 2021 yılı hava kirliliği analizi

2027 Yılı Yeşil Alan Analizi: Şekil 6'da öneri plana göre yapılan yeşil alan analizi incelendiğinde, yeşil alanların bir sistem dahilinde kurgulanmadığı ve parçalı yeşil alanlar önerildiği görülmüştür. Hava kirliliği yoğunluğunun azaltılmasında kullanılabilecek yöntemlerden biri olan yeşil alanların artırılması ve hâkim rüzgâr yönü doğrultusunda koridorların oluşturulması gerekliliği bu plan kararlarında göz ardı edilmiştir.



Şekil 4: 2027 yılına ait mekânsal analizler ve ağırlıklı çakıştırma analizi sonucunda elde edilen 2027 yılı hava kirliliği analizi

2027 Yılı Kat Yüksekliği Analizi: Öneri plan doğrultusunda hazırlanan ve Şekil 6’da yer alan kat yüksekliği analizine göre, kent genelinde mevcut duruma oranla konut alanlarında ve diğer fonksiyonlarda kat yüksekliklerinin artırıldığı tespit edilmiştir. Kent merkezinde özellikle kentsel dönüşüm projeleri ile noktasal olarak kat artışları yapılmıştır. Kentin gelişme alanlarından biri olan Hilalkent ve Yıldızkent Mahallerinde ise yükseklikler 9-11 ile 12 kat ve üzeri olarak belirlenmiştir.

2027 Yılı Nüfus Yoğunluğu Analizi: Öneri uygulama imar planına göre hazırlanan 2027 yılı nüfus yoğunluğu analizinde Yıldızkent ve Hilalkent Mahallelerinde nüfus yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Şekil 6’da yer alan analize göre, Şükrüpaşa Mahallesi nüfusun yoğunluğu çevre yoluna doğru kademeli olarak azalmıştır. Şükrüpaşa ve çevre yolu arasında yer alan ve kırsal kimliğini koruyan yerleşimlerin etrafı yapılaşmaya açılarak düşük yoğunluklu nüfus önerisinin yapıldığı görülmektedir. Yine Abdurrahman Gazi Mahallesi ve etrafında da Palandöken Dağı’nın eteklerine doğru nüfus yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Kent merkezinde yoğunluğun yüksek oranda aynı kaldığı, kentsel dönüşüm alanı olarak ilan edilen bölgelerde alansal nüfus artışının olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut durum ve öneri planda nüfus yoğunluğu analizleri karşılaştırıldığında kentin güneybatı ve kuzeydoğu yönünde nüfus yoğunluğunun arttığı görülmektedir. 2027 planını değerlendirdiğimizde kent genelinde nüfus yoğunluklarının arttığı görülmektedir.

2027 Yılı Sanayi Alanları Analizi: Mevcut durumda konut alanlarının içerisinde kalan ve kentte hava kirliliğinin kaynak ve birikim noktalarından biri olan küçük sanayi alanına öneri planda müdahale edilmemiştir. Şekil 6’da yer alan sanayi analizine göre, kentin kuzeyinde gelişme konut alanlarına yakın bir noktada yeni bir küçük sanayi alanı önerilmiştir. Bu durumun ileride orada yaşayacak nüfusun hava kirliliğine yoğun olarak maruz kalmasına yol açacağı öngörülmektedir.

2027 Yılı Yapay Yüzey Analizi: Öneri planla birlikte kent kuzeyde yapay bir sınır olan kuzey çevre yoluna, güneyde doğal bir eşik olan Palandöken Dağı’na kadar yayılmıştır. Bu durum kentte geçirimsiz yüzeylerin artmasına ve kuzey-güney yönlü doğal zeminlerin azalmasına neden olmuştur. Şekil 6’da yer alan analize göre, mevcut durumda yapay yüzey oranları daha düşük olan alanlarda sert zemin oranları artarak yeni planla yüksek yapay yüzeye sahip alanlar oluşmuştur.

2027 Yılı Ağırlıklı Çakıştırma Analizi: Yükselti, sıcaklık, kirlilik verileri ile mekânsal analizlerin CBS’de ağırlıklı çakıştırma yöntemi kullanılarak elde edilen 2027 yılı hava kirliliği analizinde kirliliğin yüksek çıktığı alanlar; sert zemin yüzeyinin, nüfus ve yapı yoğunluğunun fazla olduğu kent merkezi ve yine nüfusun yoğunlaştığı ve yeşil alan miktarının az olduğu Şükrüpaşa ve Hilalkent Mahalleleri olmuştur. Yine kentin kuzeyinde sanayi ve öneri konut alanlarının yer aldığı bölgede kirliliğin yoğunluğu artmıştır. Kentin güneyinde yer alan Abdurrahman Gazi Mahallesi kirliliğin yoğunluğu artarken, daha güneye indiğimizde Yıldızkent ve Yenişehir Mahallelerinde hava kirliliğinin 2. derece olduğu görülmektedir. Palandöken Dağı’na doğru gidildikçe hava kirliliğinin daha düşük çıktığı sonucuna ulaşılmıştır. 2027 yılına ait hava kirliliği analizini incelediğimizde; mevcut duruma kıyasla 2027 yılında kentte kirliliğin yoğunluğunun ve alansal dağılımının arttığı, mekânsal olarak ise kentin kuzey ve kuzeydoğusunda yoğunlaştığı saptanmıştır.

Bu analizlerin sonucunda mevcut hava kirliliği analizine oranla, 2027 yılı için yapılan kirlilik analizinde dört bölgede kirliliğin yoğunlaştığı saptanmıştır. Bunlar; şehir merkezi, Şükrüpaşa, Hilalkent, ve Şükrüpaşa mahallesi ile çevre yolu arasında kalan İbrahim Hakkı Mahallesi ve çevresi olmuştur. Kirliliğin yoğunlaştığı bu dört alanda kat yükseklikleri, yapay yüzey oranı artırılmış ve yeşil alan miktarı azaltılmıştır. Hilalkent, İbrahim Hakkı Mahallesi ve çevresinde öneri sanayi alanlarının artırılması, nüfus ve kat yüksekliğinin artırılması hava kirliliği artıran plan kararlarından olmuştur. Hava kirliliğinin en çok yoğunlaştığı alan olan İbrahim Hakkı Mahallesi ve çevresi, öneri imar planında gelişme konut alanı olarak belirlenmiş ve küçük sanayi alanı ile kentsel servis gibi kullanımlar önerilmiştir. Burada hava kirliliğinin artışında plan kararlarıyla birlikte, alanın topografik özellikleri de etkili olmuştur. Yapılaşmaya açılan alan, kentin çukur noktası ve kışın inversiyonun olayının sık sık yaşandığı bir bölgedir. Kent genelinde nüfus yoğunluğunun ve sert zemin oranının artırılması, yeşil alanların azaltılması sonucunda bu bölgelerde oluşacak kirliliğin de kentin çukur noktasında birikerek hava kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği öngörülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkinin incelenmesi, hava kirliliğinin azaltılması ve ekolojik dengenin korunması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada insan sağlığı ve çevre için önemli unsurlardan biri olan hava kirliliğinin, Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak ağırlıklı çakıştırma yöntemi ile kentsel mekândaki değişimi incelenmiştir.

2021 ve 2027 yılları için hazırlanan hava kirliliği analizleri karşılaştırıldığında; kentin kuzeyinde öneri gelişme alanında 3. derece hava kirliliğinin oluştuğu ve mevcut kirliliğinin yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir. Böylece çalışma kapsamında kurgulanan ‘‘Erzurum’da imar planlarında önerilen yeni gelişme alanları hava kirliliğinin artmasına neden olacaktır’’ ana hipotezi doğrulanmıştır.

Planlama kararlarının hava kirliliği üzerinde etkisi var mıdır? Varsa bu nasıl yönlü bir etkidir? araştırma sorusu mevcut durum ve öneri plan doğrultusunda hazırlanan hava kirliliği analizlerine göre cevaplanmıştır. Bu analizlere göre yeşil alanların hava kalitesini iyileştirdiği tespit edilmiştir (Lin vd., 2020). Sanayi alanlarının yoğunlaştığı (Cherniwchan, 2012), kat yüksekliğinin, nüfus yoğunluğunun (Clark vd., 2011; Rodriguez vd., 2016) ve yapay yüzey oranının (Travisab vd., 2010; Poumanyong vd., 2012) arttığı alanlarda ise hava kirliliğinin de arttığı saptanmıştır (Arslan, 2023).

Kentsel yayılma, kentleşmiş alanlarda kontrolsüz genişleme ve yayılma olgusunu ifade eder, bu da başlangıçta merkezi alanlarda yoğunlaşan kentsel etkinliklerin şehirlerin çeperlerine yayılmasına neden olur. Kentsel yayılma, temel tarım alanlarını işgal ederek ekili arazi alanlarında hızlı bir azalmaya neden olmaktadır. Banliyöleşme, doğal ortamı bozarak ciddi bir arazi kaynağı israfına yol açmaktadır (Hankey vd., 2010; Rodriguez vd., 2016). Bu durum doğal arazilerin zamanla yapay yüzeylere dönüşmesine ve bu alanlarda nüfusun yoğunlaşmasına, ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonlarının artmasına ve hava kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Kentsel formun hava kalitesi ve emisyonlar üzerindeki etkileri nelerdir? araştırma sorusunun cevaplanması amacıyla Erzurum özelinde yürütülen çalışmada, kentte düşük yoğunluklu ve kentsel yayılmaya neden olan plan kararlarının hava kalitesini olumsuz yönde etkileyerek hava kirliliğinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen tüm bu sonuçlara göre; kentlerde yeni gelişme alanları önerilirken plan kararlarıyla belirlenen nüfusun yaşam alanının yapısı ve yoğunluğu, yeşil alanların miktarı ve dağılımı ile çalışma alanlarının yer seçim kararlarının hava kirliliğinde doğrudan etkili olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu doğrultuda plan çalışmaları yapılırken ilk olarak; alanın topografik yapısı, iklimsel verileri ve rüzgâr akım bilgileri analiz edilmelidir.

Kentin mevcut durumunda ise hava kalitesi iyileştirmek ve kirliliği önlemek amacıyla, farklı ölçeklerde müdahale planları hazırlanmalıdır. Kirliliğin havanın dağılmasını sağlamak için kentin içine giren yeşil kama ve hava koridorları oluşturulmalıdır.

Erzurum kenti özelinde hava kirliliğini önlemek amacıyla iklime uyumlu tasarımların yapılması gerekmektedir. Bu tasarımlarda bina yükseklikleri, binalar arası mesafe, bitki örtüsü ve güneşe erişim dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Böylece ısınma kaynaklı yakıt tüketimi azaltılarak hava kalitesi iyileştirilebilecektir.

Kaynaklar

- Akarsu, T. (2021). *Erzurum'da doğalgaz kullanımının hava kalitesine etkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Ali, R., Bakhsh, K., & Yasin, M. A. (2019). Impact of urbanization on CO₂ emissions in emerging economy: Evidence from Pakistan. *Sustainable Cities and Society*, 48, Article 101553. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101553>
- Alparslan, H. M. (2017). *Erzurum ili hava kalitesinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Arslan, M. (2023). *Planlı gelişme alanlarının hava kirliliğine olası etkilerinin değerlendirilmesi: Erzurum örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Baş, B. (2019). *Giresun ili hava kalitesinin meteorolojik parametrelerle zamansal değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Bayraktar, H., & Turalıoğlu, S. (2005). A kriging-based approach for locating a sampling site - In the assessment of air quality. *Stochastic Environmental Research and Risk*, 19(4), 301–305.
- Bekhet, H. A., & Othman, N. (2017). Impact of urbanization growth on Malaysia CO₂ emissions: Evidence from the dynamic relationship. *Journal of Cleaner Production*, 154, 374–388. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.174>
- Cai, M., Shi, Y., Ren, C., Yoshida, T., Yamagata, Y., Ding, C., & Zhou, N. (2021). The need for urban form data in spatial modeling of urban carbon emissions in China: Critical review. *Journal of Cleaner Production*, 319, Article 128792. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128792>
- Cheng, L., Zhang, T., Chen, L., Li, L., Wang, S., Hu, S., Yuan, L., Wang, J., & Wen, M. (2020). Investigating the impacts of urbanization on PM_{2.5} pollution in the Yangtze River Delta of China: A spital panel data approach. *Atmosphere*, 11(10), Article 1058. <https://doi.org/10.3390/atmos11101058>
- Cherniwchan, J. (2012). Economic growth, industrialization, and the environment. *Resource and Energy Economics*, 34(4), 442–467. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2012.04.004>
- Cho, H. S., & Choi, M. (2014). Effects of compact urban development on air pollution: Empirical evidence from Korea. *Sustainability*, 6(9), 5968–5982. <https://doi.org/10.3390/su6095968>
- Clark, L. P., Millet, D. B., & Marshall J. (2011). Air quality and urban form in U.S. urban areas: Evidence from regulatory monitors. *Environmental Science & Technology*, 45(16), 7028–7035.
- Du, Y., Wan, Q., Liu, H., Liu, H., Kapsar, K., & Peng, J. (2019). How does urbanization influence PM_{2.5} concentrations? Perspective of spillover effect of multi-dimensional urbanization impact. *Journal of Cleaner Production*, 220, 974–983. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.222>
- Dursun, D., Yılmaz, S., Yılmaz, H., Irmak, M. A., Demir, M., & Yavaş, M. (2015). *Hava kirliliğinde ekolojik koridor senaryoları: Erzurum kenti*. Atatürk Üniversitesi Yayınları.
- Erol, O. (2011). *Genel Klimatoloji*. Çantay Kitapevi.
- Fan, J., Wang, J., Qui, J., & Li, N. (2023). Stage effects of energy consumption and carbon emissions in the process of urbanization: Evidence from 30 provinces in China. *Energy*, 276, Article 127655. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127655>
- Hankey, S., & Marshall, J. (2010). Impacts of urban form on future US passenger-vehicle greenhouse gas emissions. *Energy Policy*, 38(9), 4880–4887. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.005>
- Hixson, M., Mahmud, A., Hub, J., Bai, S., Niemeiera, D., Handy, S., & Kleeman, M. (2010). Influence of regional development policies and clean technology adoption on future air pollution exposure. *Atmospheric Environment*, 44(4), 552–562. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.10.041>
- Juan, Y. H., Wen, C. Y., Li, Z., & Yang, A. S. (2021). Impacts of urban morphology on improving urban wind energy potential for generic high-rise building arrays. *Applied Energy*, 299, Article 117304. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117304>
- Keleş, R. (2002). *Kentleşme politikası*. İmge Kitabevi.

- Knudsen, C., Moreno, E., Arimah, B., Otieno, R., & Ogunsanya, O. (2020). *World cities report 2020: The value of sustainable urbanization*. UN-Habitat. <https://unhabitat.org/world-cities-report-2020-the-value-of-sustainable-urbanization>
- Kopar, İ., & Zengin, M. (2009). Coğrafi faktörlere bağlı olarak Erzurum kentinde hava kalitesinin zamansal ve mekânsal değişiminin belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 53, 51–68.
- Kök, F. (2018). *Var olan/yeni planlanacak kentlerde hava kirliliğini önleyecek/azaltacak yöntem için verilerin toplanması/değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Li, F., & Zhou, T. (2019). Effects of urban form on air quality in China: An analysis based on the spatial autoregressive model. *Cities*, 89, 130-140. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.025>
- Li, H., Zhou, T., & Lan, F. (2021). Relationships between urban form and air quality at different spatial scales: A case study from northern China. *Ecological Indicators*, 121, Article 107029. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107029>
- Li, K., & Lin, B. (2015). Impacts of urbanization and industrialization on energy consumption/CO₂ emissions: Does the level of development matter. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1107–1122. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.185>
- Lin, Y., Yang, X., Li, Y., & Yao, S. (2020). The effect of forest on PM_{2.5} concentrations: A spatial panel approach. *Forest Policy and Economics*, 118, Article 102261. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102261>
- Luo, X., Sun, K., Li, L., Wu, S., Yan, D., Fu, X., & Luo, H. (2020). Impacts of urbanization process on PM_{2.5} pollution in "2+26" cities. *Journal of Cleaner Production*, 284, Article 124761. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124761>
- McCarty, J., & Kaza, N. (2015). Urban form and air quality in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 139, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.03.008>
- Monkkonen, P., Guerra, E., Escamilla, J. M., Cos, C. C., & Mclung, R. T. (2023). *A global of land use regulation, urban form and greenhouse gas emissions*. SSRN. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4610743>
- Müezzinoğlu, A. (2000). *Hava kirliliği ve kontrolünün esasları*. Dokuz Eylül Yayınları.
- Nowak, D., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
- Özbeyaz, A., Tufan, F., & Demirci, Y. (2016, 26-28 Ekim). *Partikül madde ile ilişkili görüntüleri kullanarak hava kirliliği tahminine ait bir model tasarımı* [Bildiri sunumu]. International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana, Türkiye.
- Poumanyonga, P., Kaneko, S., Dhakal, S. (2012). Impacts of urbanization on national transport and road energy use: Evidence from low, middle and high income countries. *Energy Policy*, 46, 268–277. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.059>
- Rodriguez, M. C., Dupont-Courtade, L., & Oueslati, W. (2016). Air pollution and urban structure linkages: Evidence from European cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.190>
- Sarı, E. N. (2019). *Hava kirliliği ve konut dokusu arasındaki ilişkinin analizi: Erzurum örneği* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Sezen, I., & Yılmaz, S. (2006). Erzurum kent merkezinde 1994-2004 yılları arasındaki hava kirliliği durumu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2), 217–224.
- She, Q., Cao, S., Zhang, S., Zhang, J., Zhu, H., Bao, J., Meng, X., Liu, M., & Liu, Y. (2021). The impacts of comprehensive urbanization PM_{2.5} concentrations in the Yangtze River Delta, China. *Egological Indicators*, 132, Article 108337. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108337>
- Şahin, C. (1989). Hava kirliliği ve hava kirliliğini etkileyen doğal çevre faktörleri. *Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 25–45.
- Tang, M., & Hu, F. (2023). Land urbanization and urban CO₂ emissions: Empirical evidence from Chinese prefecture-level cities. *Heliyon*, 9(9), Article e19834. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19834>
- Toros, H., Bağış, S., & Gemici Z. (2018). Ankara'da hava kirliliği mekansal dağılımının modellenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(1), 20–53.
- Travisiab, C., Camagni, R., & Nijkamp, P. (2010). Impacts of urban sprawl and commuting: A modelling study for Italy. *Journal of Transport Geography*, 18(3), 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2009.08.008>
- Turalioğlu, S. (2011). Şehirleşme ve doğalgaz kullanımının Erzurum hava kalitesine etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 41–45.
- Turalioğlu, S., Nuhoğlu, A., & Bayraktar, H. (2005). Impacts of some meteorological parameters on SO₂ and TSP concentrations in Erzurum, Turkey. *Chemosphere*, 59(11), 1633–1642. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.02.003>
- Turan, T., & Yağın Çelik, B. (2012). Erzurum ilinde hava kirliliğindeki değişim. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(1), 65–68.
- Ulutaş, K., Abujayyab, S. K., & Salem, A. U. (2021). Evaluation of the major air pollutants levels and its interactions with meteorological parameters in Ankara. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1284–1295. <https://doi.org/10.21923/jesd.939724>
- Ulutaş, K., Alkarkhi, A. F., Abujayyab, S. K., & Amr, S. A. (2022). Multivariate analysis for air contamination and meteorological parameters in Zonguldak, Turkey. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 16(4), 661–671.
- Wang, Q., Wu, S. D., Zeng, Y. E., & Wu, B. W. (2016). Exploring the relationship between urbanization, energy consumption, and CO₂ emissions in different provinces of China. *Renawable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1563–1579. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.090>
- World Health Organization. (2020). *Integrating health in urban and territorial planning: A sourcebook*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240003170>
- Yang, D., Yea, C., Wang, X., Lu, D., Xu, J., & Yang, H. (2018). Global distribution and evolvement of urbanization and PM_{2.5} (1998–2015). *Atmospheric Environment*, 182, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.053>
- Yuan, M., Song, Y., Hong, S., & Huang, Y. (2017). Evaluating the effects of compact growth on air quality in already-high-density cities with an integrated land use-transport-emission model: A case study of Xiamen, China. *Habitat International*, 69, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.08.007>
- Yuan, M., Huang, Y., Shen, H., & Li, T. (2018). Effects of urban form on haze pollution in China: Spatial regression analysis based on PM_{2.5} remote sensing data. *Applied Geography*, 98, 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.018>

- Yuan, M., Song, Y., Huang, Y., Shen, H., & Li, T. (2019). Exploring the association between the built environment and remotely sensed PM_{2.5} concentrations in urban areas. *Journal of Cleaner Production*, 220, 1014-1023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.236>
- Zhao, X., Zhou, W., Wu, T., & Han, L. (2022). The impacts of urban structure on PM_{2.5} pollution depend on city size and locatin. *Environmental Pollution*, 292(A), Article 118302. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118302>