



idealkent ©

ISSN: 1307-9905 E-ISSN: 2602-2133

DOI: 10.31198/idealkent.1410063

Araştırma Makalesi / Research Article

Sayı Issue 43, Cilt Volume 16, Yıl Year 2024-1, 180-218

# Ekolojik Koridorların Mikro İklim ve Hava Kirliliği Dağılımı Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi; Erzurum Örneği

Doğan Dursun<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0003-3791-0027

Merve Yavaş<sup>2</sup>

ORCID: 0000-0002-4340-4174

## Öz

İklimle kentleşme süreçleri arasındaki ilişkinin sorunlu olduğu ve yaşam koşullarını olumsuz etkilediği Erzurum kentinde, rüzgâr hareketleri, inversiyon, termal konfor, hava kirliliği ve mikro iklim değerleri gibi verilerin belirlenerek mekânsal planlama için uyum stratejilerinin hazırlanması ve geleceğe dair iklim simülasyonlarının üretilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışma ile, Erzurum'da hava kirliliği probleminin çözümü ve insan sağlığını koruyarak yaşam kalitesinin yükseltilmesi amacıyla ekolojik koridor önerilerine dayalı simülasyonlar yapılmış ve etkilerine dair somut sonuçlar ve araçlar ortaya konmuştur. Araştırma yöntemi, Erzurum kenti içerisindeki üzeri kapatılmış dere hatlarını dikkate alarak açılması önerilen iki ekolojik koridorun, çevresindeki hava kirliliği ve yerel mikro iklim koşullarına etkilerinin ENVI-met programı aracılığıyla üretilen simülasyon haritaları üzerinden belirlenmesi şeklindedir. Sonuçlar, öneri ekolojik koridorların çevresindeki kentsel yapılı çevrede hava kalitesini iyileştirdiği, kirliliği azalttığı ancak termal konfor değerlerinde düşüşe neden olduğunu göstermiştir. Ek olarak öneri ekolojik koridorlar ile havalandırma imkânı sağlanmış, kapalı dere hattının restorasyonu önerilmiş, yüksek yapı yoğunluğuna sahip kentsel gelişme engellenmiştir. Sonuçların kentlerimiz için ekolojik koridor uygulamalarının mikro iklime bağlı termal konfor koşulları ve hava kirliliği dağılımı üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde örnek teşkil edecek bulgular ortaya koyacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İklim değişikliği, hava kirliliği, Erzurum, ENVI-met, iklime uyum

<sup>1</sup> Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü,

E-posta: dogan08@gmail.com

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü,

E-posta: merveyvs@gmail.com



# Determination of the Effect of Ecological Corridors on Microclimate and Air Pollution Distribution; The Case of Erzurum

Doğan Dursun<sup>3</sup>

ORCID: 0000-0003-3791-0027

Merve Yavaş<sup>4</sup>

ORCID: 0000-0002-4340-4174

## Abstract

*In Erzurum, where the relationship between climate and urbanisation processes is problematic and negatively affects living conditions, it is necessary to prepare adaptation strategies for spatial planning by determining data such as wind movements, inversion, thermal comfort, air pollution and microclimate values and to produce climate simulations for the future. In the study carried out in this context, concrete results and tools based on simulations of ecological corridors and their effects are presented to solve the air pollution problem in Erzurum and to improve the quality of life by protecting human health. The research method is to determine the effects of two ecological corridors, which are proposed to be opened by considering the covered streamlines, on the air pollution and local microclimate conditions around them through simulation maps produced by ENVI-met software. The results show that the proposed ecological corridors improve air quality in the surrounding urban built environment, reduce pollution, but cause a decrease in thermal comfort values. In addition, the proposed ecological corridors provide ventilation opportunities, restoration of the closed streamline is proposed, and high-density urban development is prevented. It is thought that the results will provide exemplary findings in determining the effects of ecological corridors on thermal comfort conditions and air pollution distribution for our cities.*

**Keywords:** *Climate change, air pollution, Erzurum, ENVI-met, climate adaptation*

<sup>3</sup> Assoc. Prof., Ataturk University, Department of City and Regional Planning,  
E-mail: dogan08@gmail.com

<sup>4</sup> Assist. Prof., Ataturk University, Department of City and Regional Planning,  
E-mail: mervevys@gmail.com

## Giriş

19. yüzyıldaki sanayi devriminden bu yana hızlanmış bir kentleşme sürecinden geçilmektedir. Bu hızlı kentleşme süreci, kent merkezlerinde konut talebini arttırmış ve arazi yüzeyinde derin insan kaynaklı değişikliklere yol açmıştır. Kara yüzeyinin fiziksel özelliklerindeki ve süreçlerindeki bu değişiklikler sonucunda su ve enerji alışverişi dahil ilgili yüzey ve atmosfer ilişkisi bozulmuştur (Vahmani, 2016; Civerolo, 2007). Kentsel ölçekte meteoroloji ve hava kalitesi üzerinde önemli değişimler meydana gelirken küresel ölçekte de bu konularla ilgili iklim değişikliği krizi patlak vermiştir. Kentsel ölçekte yaşanan değişimler çoğunlukla mikro iklim çalışmalarında ele alınmaktadır. Kentsel alanların morfolojisi ve yoğunluğu ile yüzeylerin ısınma ve ışıyım özellikleri sonucu oluşan kentsel mikro iklimin, her kentsel alanda birbirinden farklılaştığı görülmektedir (Dursun ve Yavaş, 2020; Irmak vd., 2017; Dursun vd., 2020).

Bu anlamda yapılan çalışmalar incelendiğinde mikro ölçekte kentteki arazi kullanım kararlarının kent içi hava kalitesi üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar yönünden bir yetersizlik olduğu görülmektedir (Deng vd., 2019; Shi vd., 2019; Taleghani vd., 2020; Yılmaz vd., 2021; Yılmaz vd., 2022; Yılmaz vd., 2023). Çoğunlukla yeşil alan varlığı üzerine yürütülen araştırmalarda kentsel özelliklerin şehir genelinde homojen olduğu varsayılmakta ve çalışmalar çevresinden izole edilmiş küçük bir örneklem alanında yürütülmektedir (Nowak vd., 2018; Özdemir, 2019; Locosselli vd., 2019). Bu çalışmalarda yeşil alanların bitki örtüsü düzeyinde farklılaşmasına bağlı olarak ortaya çıkardığı mikro iklim etkileri değerlendirilirken kentsel yapıyı çevreye dair özellikler genellikle değerlendirme dışında tutulmaktadır. Sokak yönlenmeleri, bina yükseklikleri, yapı yoğunlukları, binalarda ve kentsel mekanlarda kullanılan malzeme türleri gibi mikro iklimi ve hava kalitesini etkileyen değişkenler kentsel alanda çok fazla ve farklı kombinasyonda bir araya gelebildiğinden etkisini ölçme konusunda zorluklar yaşanmaktadır. Bu nedenle sınırları daha tanımlı ve seçili parametreler üzerinden kentsel alanda yaratılacak değişimlerin mikro iklim ve hava kalitesi üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmaktadır. Ek olarak tüm dünyada en önemli çevresel problemler olarak kabul edilen iklim değişikliği ve hava kirliliğinin yere özgü koşullar nedeniyle farklı düzeylerde hissedilebildiği bilinmektedir. Bu nedenle kirlilik ve mikro iklim

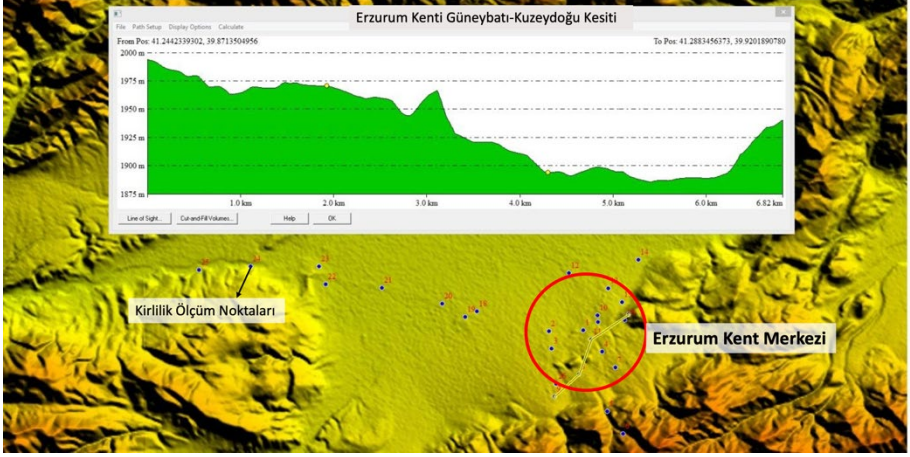
çalışmalarının yere özgü olarak çalışılması ve kent bazında yerel iklim koşulları ışığında ele alınması gerekmektedir. Türkiye’de yapılan çalışmalar hava kirliliği düzeyinin tespiti ve etkileri üzerine yoğunlaşmaktadır (Yavaş vd., 2023; Mentеше, 2012; Kara, 2012; Özşahin vd., 2016; Sari vd., 2019; Koçak, 2018; Alkan, 2018; Kara vd., 2018; Şişman, 2019; Öztürk vd., 2019; Tepe ve Doğan, 2019). Farklı bir mekânsal müdahalenin, mikro iklim ve kirlilik dağılımı etkilerinin uygulama yapılmadan önce bazı yardımcı yazılımlar aracılığıyla simülasyon yapılarak belirlenebilmesi konusunda ülkemizde büyük bir eksiklik olduğu anlaşılmaktadır.

Halbuki dünya çapında birçok çalışma, farklı kentsel alanlarda mikro iklimsel farklılıklar olduğunu ve bunun hava kalitesini etkileyebildiğini göstermektedir (Aw ve Kleeman, 2003; Burian, 2005; Chen vd., 2018; Civerolo, 2007; Fallmann vd., 2016; Kalnay vd., 2003; Tao vd., 2015; Zhang vd., 2018). Kentleşme süreçleri kaynaklı olarak ortaya çıkan mikro iklimsel değişiklikler, nitrojen oksitlerin ( $\text{NO}_x$ ), ozonun ( $\text{O}_3$ ) ve ince partikül madde ( $\text{PM}_{2.5}$ ) dahil olmak üzere hava kirleticilerinin konsantrasyonlarını etkileyebilmektedir. Bu yönde yapılan bir çalışmada kentsel genişleme, yüzeye yakın hava sıcaklıkları ve  $\text{O}_3$  arasında yaşanan değişimlere ilişkin tespitler yapılmış ve etkiler ortaya konmuştur (Jiang vd., 2008). Öte yandan Güney Kaliforniya’da yapılan çalışmada kentleşme süreçlerinde ortaya çıkan mikro iklimsel değişimlerin arazi yüzeyi değişiklikleriyle ilişkili olduğu ortaya konmuştur (Li, 2019). Öte yandan Nanjing’in (Çin) tipik bir yerleşim bölgesinde yapılan çalışmada mikro iklim modeli ENVI-met 4 kullanılarak, yeşil alanların mikro iklim ve  $\text{PM}_{10}$  konsantrasyonu üzerindeki etkisi ölçülmüştür (Rui vd., 2019). Çalışmada kent merkezinde yer alan yeşil alanlarda farklı uygulamalar (çim, çalı, ağaç) yapılması durumunda termal konfor ve hava kirliliğinde ortaya çıkacak etkiler incelenmiştir. İngiltere’de (Manchester’da) yapılan bir çalışmada farklı yeşil bariyer uygulamalarının bir mahalledeki hava kirliliğinin dağılımı üzerindeki etkilerinin nasıl olabileceği incelemiştir. Simülasyonlar, farklı bariyer uygulamalarının kirliliğin dağılmasını kolaylaştırdığını ve hava kalitesinin iyileştirdiğini göstermiştir (Taleghani vd., 2020). Hollanda’da yürütülen bir çalışmada ise beş farklı kentsel dokunun termal konfor koşulları üzerinde etkilerinin nasıl farklılaştığı ortaya konmuştur (Taleghani vd., 2015).

Yapılan tüm bu çalışmalar ışığında ülkemiz kentleri düşünüldüğünde benzer çevresel problemlere (düşük hava kalitesi ve termal konfor) sahip

olduğumuz ancak farklı plan kararları alınması durumunda ortaya çıkacak etkilerinin önceden tespiti konusunda zayıf kalındığı ve daha çok çalışma yapılması gerektiği görölmektedir. Ülkemizdeki farklı iklim bölgeleri düşünöldüğünde de yere özgü çalışmaların yapılması büyük bir zorunluluktur. Antalya (Akdeniz iklimi), Sakarya (Karadeniz iklimi) ve Erzurum (sert karasal iklim) gibi üç farklı iklim karakterine sahip kentte, farklı mekânsal dokuların ve yeşil alan uygulamalarının mikro iklimsel ve hava kalitesi etkileri farklı olacaktır.

Ek olarak mevcut iklim koşulları ile kentsel yapılı çevrenin mekânsal özellikleri birlikte değerlendirildiğinde sonuçlar çok daha farklılaşabilmektedir. Erzurum kent merkezine bakıldığında topografik yapı nedeniyle kentin çukurda kalan bir yerleşim olduğu (Şekil 1) ve rüzgar değerlerinin merkezi alanda morfolojik yapının da (Şekil 2) etkisiyle oldukça düştüğü anlaşılmaktadır (Yavaş vd., 2023). Mikro düzeyde bakıldığında ise Erzurum'un yerleşme tipolojisinin kent iklimini, rüzgarı ve güneşlenmeyi etkilediği ve mikro ölçekte farklılıklar yarattığı görölmektedir (Dursun ve Yavaş, 2020; Yavaş, 2019; Dursun ve Yavaş, 2015). Özellikle hâkim rüzgâr yönü, hava çıkış koridorlarının olmayışı ve düşük rüzgar hızı, Erzurum'da hava kalitesinin iyileştirilmesi ve kirliliğin dağıtılması açısından olumsuz koşullar yaratmaktadır (Yavaş vd., 2023). Yanma dönemi içinde hâkim rüzgar yönü ENE (Doğu-Kuzeydoğu) ve WSW'dır (Batı-Güneybatı). Erzurum'da en hızlı rüzgarların kirli havayı merkezden temizlemedeki etkisi sınırlıdır çünkü yanma sırasında çoğunlukla S (güney) yönünden gelip, kirli havanın taşınacağı çıkış koridorunun tersi yönünde esmektedir (Kopar ve Zengin, 2023). Aralık (2,1 m/s), Ocak (2,1 m/s) ve Şubat (2,3 m/s) rüzgar hızının en düşük olduğu aylardır (MGM 2023, Yavaş vd., 2023). Erzurum İl Temiz Hava Eylem Planı (2020)'na göre sıcaklığın çok düşük olduğu günlerde emisyon ölçümleri ciddi oranda artmaktadır. Partikül madde ve SO<sub>2</sub> emisyon ölçümlerinde özellikle sabah 06.00-10.00 ve akşam 18.00-21.00 saatlerinde (ısınma amaçlı yakılan yakıtların ilk ateşleme ve yükleme saatleri) sıçramalar olduğu görölmektedir.



Şekil 1. Erzurum Kenti Topografik Yapısı (Dursun vd., 2015, s.15)

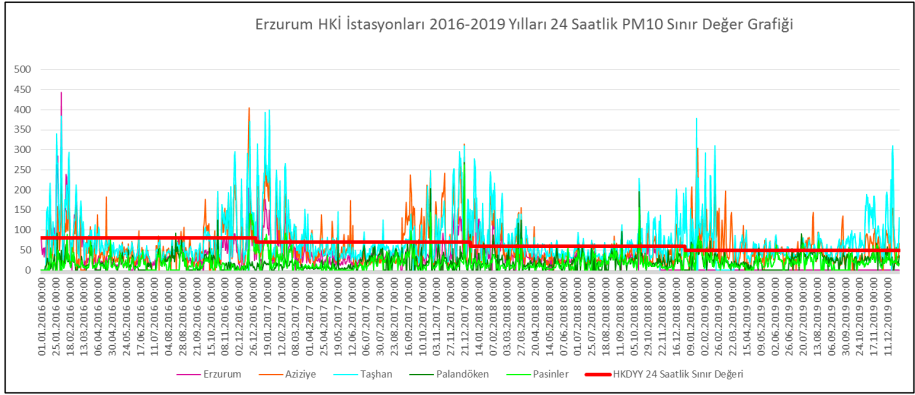


Şekil 2. Erzurum Kent Merkezi Morfolojik Yapısını Gösterir Hava Fotoğrafı<sup>5</sup>

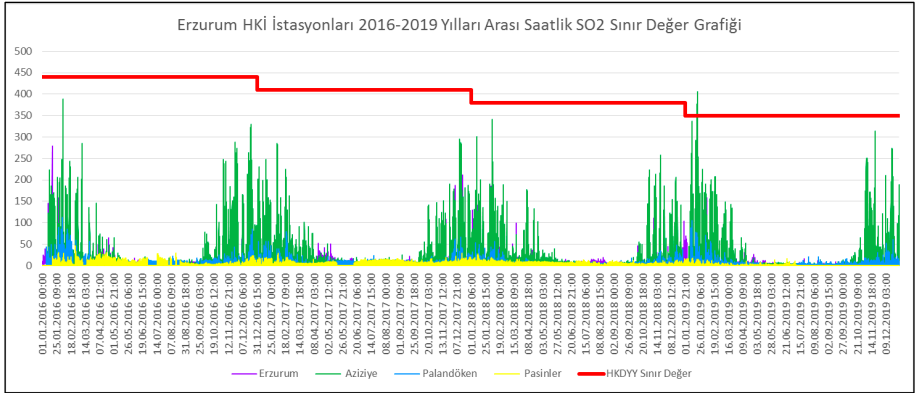
24 saatlik PM10 limitleri dikkate alındığında, Erzurum İli Temiz Hava Eylem Planı Raporu'nda (2020) belirtildiği gibi kış döneminde tüm istasyonlarda limitlerin aşıldığı görülmektedir. Yıl genelinde SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve CO

<sup>5</sup>Kaynak:www.ntv.com.tr/galeri/seyahat/dogunun-kis-cenneti-erzurum-gunduz-bembeyaz-gece-ise-isisl-isisl,wSG8JCAkpUC7YHAhbKWEMw/yPUFefU47k-O4uFbD14gIw

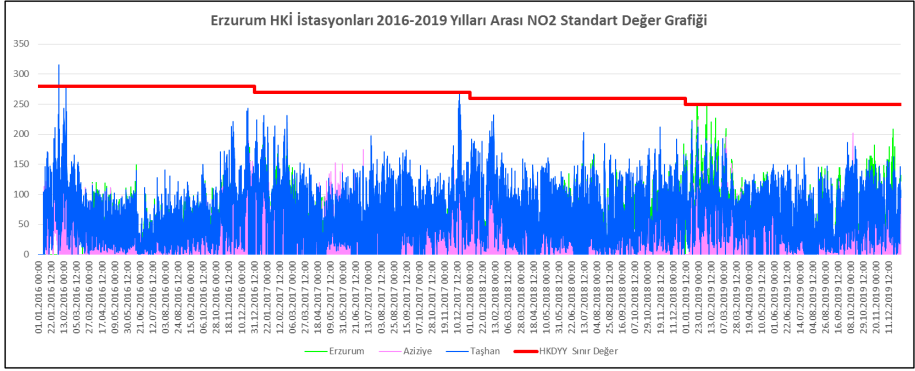
değerleri limitlerin altında kalsa da PM10 değeri “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği”nde açıklanan limitlerin üzerine çıkmaktadır (Şekil 3-4-5). Limitlerin aşıldığı gün sayısında meteorolojik faktörlerin de etkili olduğu anlaşılmaktadır. Hava basıncının yüksek olduğu günlerde kirlilik atmosferde yayılmamakta ve şehrin üzerinde kalmaktadır (Yavaş vd., 2023). Düşük rüzgâr hızı da aynı zamanda kirlenmelerin kalma süresini de etkileyerek aşım süresini uzatmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı-ÇŞB, 2020).



Şekil 3. PM10 Sınır Değer Grafiği (ÇŞB, 2020, s.37)



Şekil 4. SO2 Sınır Değer Grafiği (ÇŞB, 2020, s.38)



Şekil 5. NO2 Sınır Değer Grafiği (ÇŞB, 2020, s.38)

Verilen bilgiler ışığında, ilin coğrafi konumu nedeniyle tetiklenen olumsuz meteorolojik faktörlerin, yanlış arazi kullanım kararları ve yüksek yapı yoğunluğu ile birleştiğinde hava kirliliğinde artışa neden olabileceği tahmin edilebilmektedir. Burada üzerinde durulması gereken konu, çalışmanın temelini oluşturan bir kentsel planlama kararının iklim verileriyle birlikte ele alınması konusudur. Ne yazık ki Erzurum'un kent planlarında soğuk iklim karakterine, ısınma sürelerinin uzunluğuna ve konut tiplerine özel önem verilmemiştir. İncersiyon oluşturuıcı coğrafi konum dezavantajları fark edilmemiş veya önemsenmemiş olmakla birlikte kentsel alanlar bu yönde ele alınmamıştır (Dursun vd., 2016; Dursun vd., 2015; Çamur vd., 2023). Bu durum belki tarihsel dönemi içerisinde önemsenmemiş olabilir ancak bugün karşılaştığımız sağlıksız kentsel çevreler ve hava kirliliği problemlerinin temelinde bunların yatmakta olduğu görülmektedir. Bu sebeple kente yapılacak tüm müdahalelerde, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar gerçekleştirilecek tüm projelerde hava kirliliği ve termal konfor koşullarının gözetilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle yapılan çalışma ile daha önce 2015 yılında tamamlanmış olan Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı (KUDAKA) tarafından desteklenen "Hava Kirliliğinde Ekolojik Koridor Senaryoları: Erzurum Kenti" (Dursun vd., 2015) projesinde hava kirliliği probleminin çözümünde kullanılabilecek araçlardan biri olarak önerilen ancak somut bilimsel sonuçlara dayalı olarak etkileri ölçülememiş olan ekolojik koridorların, kirlilik ve termal konfor değerleri üzerindeki etkisi simülasyonlar yardımıyla test edilmiştir. Adı geçen projede kirlilik yükünün alansal dağılım haritası hazırlanmıştır. Bu süreçte Erzurum Temiz Hava Merkezi (THM)



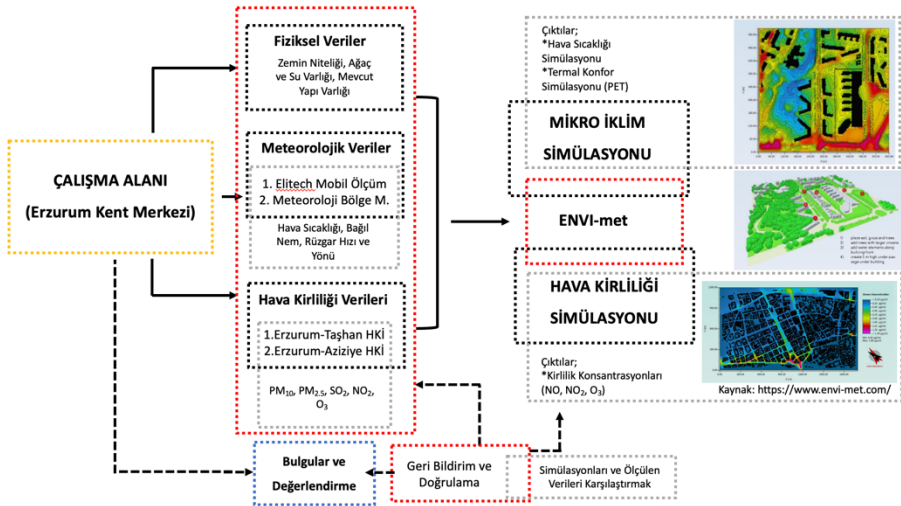
tarafından 18 noktada ölçülen hava kalitesi ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Erzurum'da ölçülen (SO<sub>2</sub>), (NO<sub>2</sub>), (O<sub>3</sub>), (H<sub>2</sub>S), (HF), (HCl), (BENZEN), (TOLUEN), (KSİLEN) kirletici ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araç olarak kullanılmış, noktasal veri tabanı oluşturulmuş ve hava kirletici değerlerinin alana en doğru dağılımını gösterir haritalar üretilmiştir (Dursun vd., 2015). Bu çalışmada ise soğuk iklimde sahip ve hava kirliliği problemi olan bir kentte, daha önce tamamlanan projede önerilmiş olan ve kent içi havalandırmaya imkan tanıyacağı düşünülen ekolojik koridorların uygulanması durumunda ortaya çıkacak etkiler ENVI-met yazılımı kullanılarak önceden tespit edilmek istenmiştir. Koridor önerileri dışında çevresindeki yapı adalarına dair mevcut durum verileri de yazılıma eklenmiştir. Bu alanlarda arazi kullanımı yapılmış ve alana dair bina yükseklikleri, malzeme türleri, çatı malzemeleri, yüzey kaplama türleri, çim alanlar, toprak yüzeyler ve mevcut ağaçların konumları verileri üretilmiştir. Çevre yapı adalarının fiziksel özellikleri sabit kaldığında, alana eklenecek ekolojik koridorların mikro iklim ve hava kirliliğine etkisi ölçülmüştür.

Özetlenen çerçevede içerisinde bu çalışmanın amacı, önerilen ekolojik koridorların mikro iklim (termal konfor koşullarına) ve hava kirliliği üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve bu etkilerin ne yönde olduğunun açıklanmasıdır. Termal konfor koşulları değerlendirilirken termal stres kategorileri (Physiological Equivalent Temperature-PET) temel alınmış (Matzarakis ve Mayer, 1996), kirlilik değerleri içinde konsantrasyonlarda ortaya çıkan sayısal iyileşmeye bakılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Erzurum kenti, sağlıklı kentleşme ve hava kirliliği problemi ile ilde hakim olan soğuk iklim koşullarına uygun olmayan bir yerleşme karakterine sahiptir. Kentin gelişim sürecinde gözlenen amacı dışında arazi kullanımı, ışık ve hava haklarından yoksun yaygın kentleşme ve yüksek yapı yoğunluğu (E: 2.5, 3, 4; Yençok: serbest, 36.5m, 24.5m<sup>6</sup>) gibi soğuk iklim koşullarına aykırı kentleşme pratikleri, bu çalışmanın temel gerekçesini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, kentsel yapı çevre özellikleri ile ekolojik koridorları birlikte değerlendirilerek mikro iklim ve hava kirliliği etkilerini tespit etme noktasında literatürdeki eksiklikten de yola çıkılarak, özellikle soğuk iklim koşulları altında farklı mekânsal kararlar alındığında, hava kalitesi ve mikro iklim koşullarında ortaya çıkabilecek etkilerin somut olarak ortaya konmasına odaklanılmıştır.

<sup>6</sup> <https://cbs.erzurum.bel.tr/keos/?P=REHBER38>

## Yöntem

Bu çalışmada izlenen yöntem, ENVI-met programının kullanımına dayanmaktadır. Dolayısıyla çalışmanın yöntemi bir mikro iklim simülasyon programı olan ENVI-met'in işleyişiyle bağlantılıdır (Şekil 6). İlk olarak çalışma alanına dair meteorolojik veriler, fiziksel veriler ve hava kirliliği verileri temin edilerek yazılımın ara yüzüne tanımlanmakta ve veriler üzerinden değerlendirme yapılarak uygun simülasyon başlangıç günü ve saati belirlenmektedir. Ardından yaklaşık bir ay süren bir simülasyon için program çalıştırılmakta ve sonuçlar üretilmektedir. Daha sonra elde edilen sonuçlar için doğrulama analizi yapılmaktadır ve uygun sonuçlar elde edildiğinde simülasyon sonuçları değerlendirilmektedir. Termal konfor değerlendirmeleri yapılırken Matzarakis'in (1996) geliştirdiği Termal stres kategorileri-PET kullanılmaktadır. Bu kategorilere denk gelen değerler ışığında simülasyon sonuçları yorumlanmaktadır.



Şekil 6. Metodoloji Şeması

### Çalışma Alanı

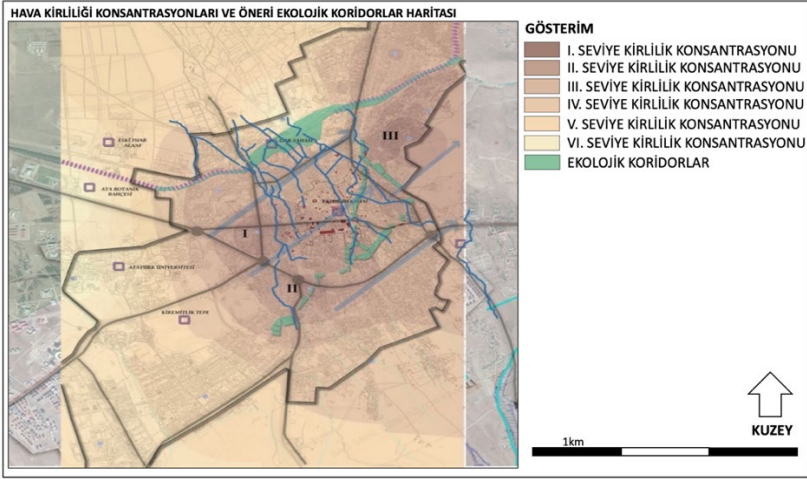
Erzurum kent merkezi, 30 kilometre alana yayılmış ve bin sekiz yüz metre rakımda yerleşmiştir. Kent Palandöken Dağı eteğinde doğu-batı doğrultulu gelişen, kuzeyde ise ovaya doğru genişleyen hafif eğimli bir karaktere sahiptir (Yavaş, 2019). Köppen iklim sınıflandırmasında Erzu-

rum, Dsb (Kışı Őiddetli, Yazı Kurak ve Serin) alt kategorisinde yer almaktadır. Bu iklimde en az 4 ayın ortalama sıcaklığı 10°C'den fazla ve en sıcak ayların ortalama sıcaklığı 22°C'den dūřuktur. Yılın yarısında kış dōnemi yaşayan kentin, Ekim ile Nisan ayları arasında sıcaklıklar oldukça dūřuk seyretmektedir. Tūrkiye'nin soğuk iklimiyle bilinen kentlerinden olan Erzurum'da kış aylarında eksi 25°C ve daha altında sıcaklık değerleri ortaya çıkmaktadır. Kent, kuzey ılıman kuşakta yer alan soğuk kuşak kentler arasında 2000metre rakımı ile en yūksek rakımda kurulmuş olan en būyūk kent olarak ōne çıkmaktadır (Kocaman vd., 2008).

Makale kapsamında, Erzurum'un tarihi çekirdeđinde olan dōnūřūm alanlarının yođunlařtıđı bir bōlge çalıřma alanı olarak seçilmiřtir (Őekil 7). Bu alanın simūlasyonlar için tercih edilme sebebi kıř aylarında hava kirliliđinin yođunlařtıđı bir bōlge olması, kapalı dere hattına sahip olması ve kentsel dōnūřūm projelerine konu olmasıdır (Dursun vd., 2015). Alanda ōnerilen ve daha ōnce tamamlanmıř bir proje sonucuna dayalı olan iki adet ekolojik koridorun (Őekil 8) (Dursun vd., 2015) kirlilik ve termal konfor deđerleri ūzerindeki etkisi somut bilimsel sonuçlara dayalı olarak test edilmiřtir. Ayrıca ekolojik koridorlara kapalı dere hatları ve su izleri dahil edilmiřtir. 100 metre geniřliklerinde ōnerilen koridorların iki kenarında sıralı ađaçlandırma ōnerilmiřtir. Bu alıřma ile termal ōzelliklere ek olarak, kentsel mikro iklimin ve hava kirleticilerinin karakterize edilerek test edilmesi iřlemi yapılmıřtır. Kısa bir sūre içerisinde dōnūřūm amacıyla bořaltılan bōlgelerin %100 doluluđa ulařacađı tahmin edilmektedir. evresinde konut kullanımının yođun olduđu alanda yapı dūzeni ayırık nizam, binalar 8-15 kattan oluřmaktadır. Hızlı bir kentleřme sūreci yařayacak olan bōlgede, ENVI-Met simūlasyon modeliyle ōnceden ve farklı planlama kararlarıyla (ekolojik koridorlar oluřturulması) geliřme olması durumunda hava kalitesi ve termal konfor deđerlerinin nasıl deđiřeceđi tespit edilmiřtir.



Şekil 7. Çalışma Alanının Sınırlarını ve Mekânsal Yapısını Gösterir Uydur Görüntüsü, 2023<sup>7</sup>



Şekil 8. Önerilen Ekolojik Koridorlar (Dursun vd, 2015; Dursun ve Yavaş, 2014)

<sup>7</sup> Google Earth Pro V 7.3.6.9750. (July 7, 2022). Rabi Ana Mah., Erzurum, Türkiye. 39° 54' 10.70"N, 41° 16' 46.49"E, Eye alt 3.67km, 1930m Elevation. DigitalGlobe 2022. <http://www.earth.google.com> [March 2, 2023].

## Ölçüm İstasyonları ve Meteorolojik Veriler

Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağından, Erzurum-Taşhan ve Erzurum-Aziziye HKİ istasyonlarının PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ve CO verileri 2022 yılı Aralık ayı ve 2023 yılı Ocak ve şubat ayları için temin edilmiş ve analizde kullanılmıştır.

Kirlilik verisine ilave olarak aynı dönemler için paralel ölçülecek meteorolojik veriler konusunda Elitech marka mobil ölçüm cihazları tedarik edilmiş ve Erzurum Meteoroloji bölge müdürlüğünde kalibre edilmiştir. Bu işlem için bölge müdürlüğü yetkililerinden yardım alınmıştır. Sonrasında mobil ölçüm cihazları kirliliğın yoğunlaştığı çalışma alanını çevreleyecek ve içerisine denk gelecek şekilde üç farklı noktada (Ölçüm Noktası 1 için Kuzey Doğu Anadolu Kalkınma Ajansının bahçesi belirlenmiş ve uygun noktaya saatlik veri kayıtlarının alınması için cihaz yerleştirilmiştir. Ölçüm Noktası 2 için Tarım Kredi Kooperatifi yerleşkesinde uygun bir noktaya mobil ölçüm cihazı yerleştirilmiştir. Ölçüm Noktası 3 için ekolojik koridor üzerinde merkezi bir noktada, Kadama kadın kooperatifi bahçesine ölçüm cihazı yerleştirilmiştir) kurulmuş ve veriler kiş dönemleri için kaydedilmiştir (şekil 9). Bu ölçüm cihazları ile yerden 2 metre yükseklikte saatlik sıcaklık ve nem verileri Aralık (2022), Ocak ve şubat (2023) ayları boyunca alınmıştır (Ek 1). Ek olarak Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden (Erzurum) aynı aylara ait saatlik olarak sıcaklık, rüzgâr hızı (m/s), rüzgâr yönü ve bağıl nem (g/m<sup>3</sup>) verileri temin edilmiştir.



Şekil 9. Ölçüm Noktaları, Mobil Ölçüm Cihazları ve Ekolojik Koridor Hatları

### Mikro İklim Modeli ve ENVI-met

Mikro iklimlendirme analizi için yaygın kullanılan dinamik simülasyon araçlarından biri olan ENVI-met modeli 2017 yılına kadar dünya genelinde 1900'den fazla kayıtlı kullanıcı tarafından mikro iklimlendirme araştırması için kullanılmıştır (Bruse, 2018). Son yıllarda da ENVI-met çalışmaları ve yayınlarında ciddi sayıda artış görülmektedir. Çalışmaların çoğunda, model hem araştırma hem de uygulama amaçlı kullanılmaktadır (Tsoka vd., 2018;; Yavaş vd., 2023; Dursun vd., 2020; Yılmaz vd., 2018; Yılmaz vd., 2021; Lopez-Cabeza vd., 2018; Kusumastuty vd., 2017; Ebrahimnejad vd., 2017; Cortes vd., 2022; Elraouf vd., 2022; Mahdavinejad vd., 2017; Bruse ve Fler, 1998)

Üç boyutlu, 0,5-10 metrelik grid çözünürlükte ve non-hidrostatik bir mikro iklim modeli olan ENVI-met, kentsel alanlardaki iklim değişkenlerini hesaplamak ve simüle etmek için geliştirilmiştir. Yazılımda toplam radyasyon (doğrudan, yansıyan ve dağınık güneş radyasyonu ve uzun dalga radyasyonu) göz önüne alınmaktadır ve gün içinde iklim değişkenlerinin evrimi modellenmektedir. Akışkanlar dinamiği ve termodinamiğin yasalarını kullanarak yapılan simülasyonlarda, program tarafından binaların, bitki örtüsünün, yüzey özelliklerinin, toprakların ve iklimsel koşullarının etkisi birleştirilerek atmosfer durumu hesaplanmaktadır (Bruse ve Fler, 1998). Ayrıca ENVI-met, simülasyon alanındaki hava kirliliğini simüle etmek ve analiz etmek için çok sayıda araç sağlamaktadır. Termal özelliklere ek olarak kentsel mikro iklim, özellikle ısı dalgaları sırasında yüksek seviyelerde hava kirleticileri ile birlikte örneğin NO<sub>x</sub> ve O<sub>3</sub> ile karakterize edilmektedir. Ozon, troposferde birincil bir kirletici değildir, yani -nitrojen monoksit ve nitrojen dioksit dışında- doğrudan atmosfere yayılmaz, bunun yerine troposferdeki fotokimyasal reaksiyonlarla oluşmaktadır. Serbest radikallerin yokluğunda, ozon konsantrasyonu, nitrojen monoksit ve nitrojen dioksit konsantrasyonları ile fotokimyasal bir denge oluşturur, burada ozon konsantrasyonu NO<sub>2</sub> ve NO oranına bağlıdır. Troposferik ozon esas olarak NO<sub>x</sub> etkisi altında oluşmaktadır. Arabalar ve diğer araçlar NO<sub>x</sub>'in ana yayıcıları olduğundan, yüksek O<sub>3</sub> konsantrasyonları, çok sık kullanılan caddelerin yakınlığıyla açıkça bağlantılıdır. Atmosferik koşullar (esas olarak kısa dalga radyasyonu ve ortam sıcaklığı), O<sub>3</sub> oluşumunda ve yok edilmesinde hayati bir rol oynamakta ve bunun homojen olmayan dağılımına neden olmaktadır. ENVI-met'in yüksek uzaysal çözünürlüğü ile mikro iklimdeki bu yerel değişiklikler ve dolayısıyla bunların O<sub>3</sub> konsantrasyonu üzerindeki etkileri yeterince simüle edilebilmektedir. Bu çalışma, ENVI-met'in bir model alandaki hava kirliliği konsantrasyonunu analiz etme yeteneğini göstermektedir. Bunun dışında ENVI-

met, model alanında aktif kimyayı ve dispersiyonu analiz etmek için çok sayıda seçenek sunmaktadır.

ENVI-met, kullanımı kolay olması ve güvenilirlik sebebiyle geliştirilen birçok sayısal model arasından bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu model, birçok araştırmada farklı kentsel tasarım seçeneklerinin dış mekân termal konfora olan etkilerini tespit etmek ve sokak seviyesinde insan konforunun (termal konforun) hesaplanması için tercih edilen modellerden biridir (Ali-Toudert vd., 2007; Chow vd., 2011; Krüger vd., 2011; Ng vd., 2012; Maggiotto vd., 2014; Taleghani vd., 2015; Tsoka vd., 2018).

### ***Termal Konfor (PET)***

Dış mekân termal konforu, kentsel açık alanların kullanım düzeni ile ilişkilidir. Termal olarak rahatsız olan açık hava ortamları, açık hava etkinliklerine katılımı engelleyebilmekte ve binaların soğutma için enerji tüketimini artırabilmektedir (Aghamolaei vd., 2022; Grifoni vd., 2013). Özellikle kış kentleri için makro ölçekten mikro ölçeğe kadar, kentsel düzen soğuk iklim koşulları ile tutarlı olmak zorundadır.

Termal konfor indeksleri tek bir iklim parametresinin insan üzerindeki etkisini değerlendirmemektedir. Birçok parametrenin birleşimini hesaba katarak sıcaklık değeri üzerinden bir sonuç üretmektedir. Bu çalışmada da termal konfor değerlendirmesi, termal indekslerden biri olan PET ile gerçekleştirilmiştir (Mayer ve Höppe, 1987; Gulyás vd., 2006; Potchter vd., 2018; Jamei ve Rajagopalan, 2019). Fizyolojik eşdeğer sıcaklık olarak değerlendirilen PET, insan enerji dengesinden türetilen bir termal indekstir. Farklı iklimlerin termal bileşeninin değerlendirilmesi için uygun olduğu kabul edilmektedir. Ayrıntılı bir fizyolojik temele sahip olmasının yanı sıra, PET, birimi °C olduğu için diğer termal indekslere göre tercih edilmektedir. Özellikle şehir planları için insan-biyometeorolojik terminolojisine göre sonuçları daha anlaşılır kılmaktadır. PET sonuçları ENVI-met yardımıyla bio-iklimsel haritalar olarak elde edilebilmektedir. Bu haritalar yoluyla mekânsal dağılım kolaylıkla izlenmektedir (Matzarakis vd., 1999). Matzarakis ve Mayer (1996), insanlarda termal algı ve fizyolojik stres derecesi için geçerli olan PET aralıklarını (Tablo 1) belirlemiştir. PET'in hesaplanması için hava sıcaklığı, ortalama yansıyan sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem, metabolik hız ve termal giysi yalıtımı olmak üzere altı parametre tanımlanmıştır ve elde edilen değerler 4 °C ile 41 °C arasında değişen dokuz basamaklı psiko-fizik bir ölçeğe dayanmaktadır. Bu çalışma kapsamında ENVI-met aracılığıyla kentsel mikro iklimsel değişiklikler termal konfor (PET) ile ölçülmüş ve dış mekân termal konforu belirlenmiş olan stres kategorilerine göre değerlendirilmiştir.

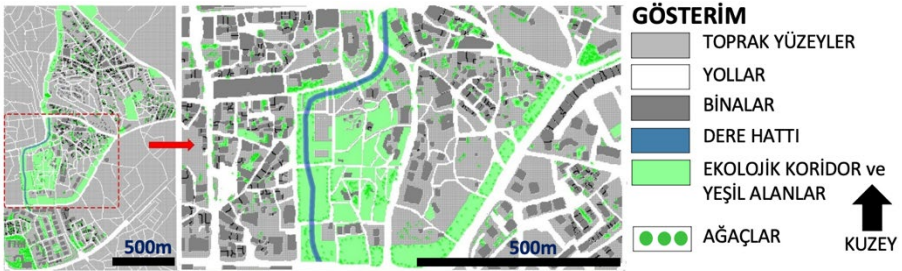


**Tablo 1.** Termal Stres Kategorileri (PET) (Matzarakis ve Mayer, 1996)

PET (°C)	Termal Algı	Fizyolojik Stres Derecesi
< 4.0	Çok soğuk	Aşırı soğuk stresi
4.1-8.0	Soğuk	Güçlü soğuk stresi
8.1-13.0	Serin	Orta derecede soğuk stresi
13.1-18.0	Biraz serin	Hafif soğuk stresi
18.1-23.0	Konforlu	Termal stres yok
23.1-29.0	Hafif sıcak	Hafif sıcak stresi
29.1-35.0	Sıcak	Orta derece sıcak stresi
35.1-40.0	Çok sıcak	Güçlü sıcak stresi
>41.0	Aşırı sıcak	Aşırı sıcak stresi

### Mobil Veri Girişi

Simülasyonlar için ENVI-Met 5.5.1 sürümünü kullanılmıştır. Tüm alan bü-tününde 3D simülasyon alanı 240 m x 366 m boyuta ve 25 m dikey yüksekliğe sahiptir. Alan, 5 m x 5 m x 5 m ızgara çözünürlüğüne sahip bir ızgara kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma alanı içerisinde odaklanılan alanda ise daha fazla detaylı veriye erişebilmek için 500 m x 300 m boyutlarında ve 45 m dikey yükseklikte, 2 m x 2 m x 2 m ızgara çözünürlükte çalışılmıştır (Şekil 10). Şubat ayı hem yılın en soğuk ayı olarak ölçülmesi hem de Erzurum geneli sıcaklık ortalaması ile çalışma alanı sıcaklık verileri arasında en az farkların görülmesi sebebiyle analizler için seçilmiştir. Simülasyon günü (Şubat ayı 12.günü) ve sıralama dışı bırakılan gün (ölçüm başlangıcı ayın ilk günü) Ek 1’de belirtilmiştir. 2023 yılı Şubat ayı 12.günü için ENVI-met, KUDAKA istasyon verileri ile saat sabah 05:00 itibariyle 30 saatlik bir süre boyunca çalıştırılmıştır. Rüzgâr Yönü yine aynı gün ve saat 05.00 için 200° ve hızı 0.5 m/sn alınmıştır. KUDAKA istasyonunun seçilme sebebi, gün içerisinde ekstrem sıcaklık farklılıklarının bulunmayışıdır. Başlangıç ve sınır koşulları Ek 2’de yer almaktadır.



Şekil 10. Çalışma Alanı ENVI-Met Görüntüsü

### ENVI-Met Modelinin Doğrulanması

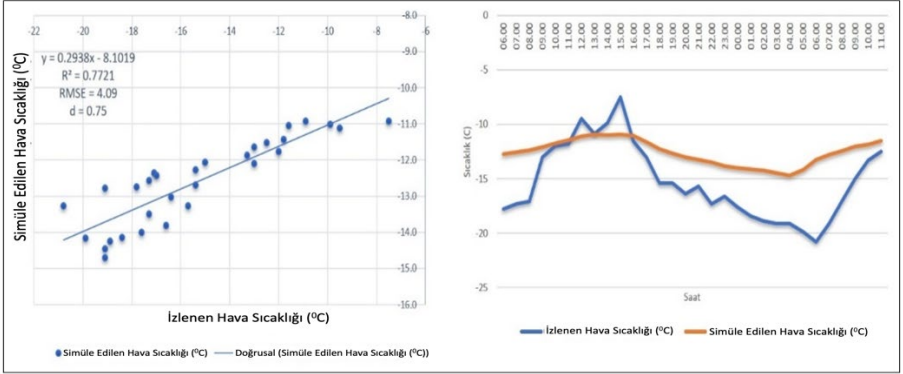
ENVI-met hesaplamaları büyük ölçüde ızgara boyutuna, modeldeki de-  
taylara ve giriş parametrelerine bağlı olarak doğrulanmaktadır. Bu çalışma-  
nın ENVI-met sonuçlarını doğrulamak için ölçülen ve simüle edilen hava sı-  
caklığı veri kümeleri karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Grafikler, iki veri kümesi  
için hava sıcaklıklarının artması ve azalmasının günün aynı saatinde gerçek-  
leştiğini göstermektedir. Çalışmada iki farklı gösterge ile ölçülen değerler ile  
modelleme sonuçları arasında kalibrasyon değerlendirilmiştir. Anlaşma di-  
zini (d), ilk gösterge olarak 0-1 arasında değer almakta ve bu değer 1'e ne  
kadar yakın olursa doğruluk o kadar sağlanmış olmaktadır. RMSE (Root  
Mean Square Error- kök ortalama kare hatası) ise diğer bir gösterge olarak bir  
veri kümesindeki farklı tahmin hatalarını karşılaştırmakta ve doğruluğu gös-  
termektedir. Değer ne kadar küçükse yapılan tahminde daha az hata olduğu  
anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda 2023 yılı için şubat ayında 30 saatlik bir peri-  
yot için uyuşma endeksi (simüle edilen ve ölçülen hava sıcaklığı arasında) d  
değeri ve RMSE değeri hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** Ölçüm Sonuçları

ÖLÇÜM ALINAN AY	ÇALIŞMA ALANI	ERZURUM OR- TALAMA	FARK	
ARALIK 2022	Sıcaklık (°C)	0.1 (S1)	-0.8	
		-0.9 (S2)		
		-1.4 (S3)		
			-0.7 (ORT)	0.1
	Nem (%)	64.7 (S1)	78.9	
		67.0 (S2)		
72.6 (S3)				
		68.1 (ORT)	-10.8	
OCAK 2023	Sıcaklık (°C)	-0.9 (S1)	-3.9	
		-2.9 (S2)		
		-3.6 (S3)		
			-2.4 (ORT)	1.5
	Nem (%)	52.2 (S1)	63.6	
		52.1 (S2)		
63.4 (S3)				
		55.9 (ORT)	-7.7	
ŞUBAT 2023	Sıcaklık (°C)	-3.0 (S1)	-7.8	
		-6.8 (S2)		
		-7.1 (S3)		
			-5.6 (ORT)	2.2
	Nem (%)	62.3 (S1)	68.7	
		60.6 (S2)		
73.9 (S3)				
		65.6 (ORT)	-3.1	

## Bulgular

Bulgularla ilgili olarak ilk aşamada doğrulama sonuçları 2023 yılı şubat ayı için uyuşma endeksi  $d$  değeri 0,75 ve RMSE değeri 4,09 olarak hesaplanmıştır (Şekil 11).

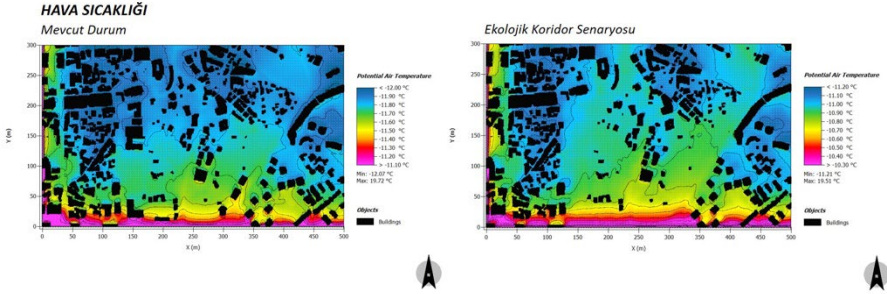


Şekil 11. 2023 Yılı 12 Şubat Tarihli Simüle Edilmiş Hava Sıcaklıklarının Günlük Profili

## Çalışma Alanında Mikro İklim Parametrelerinin ve Kirlilik Konsantrasyonunun Mekânsal Dağılımı

### Hava Sıcaklığı ve Termal Konfor (PET)

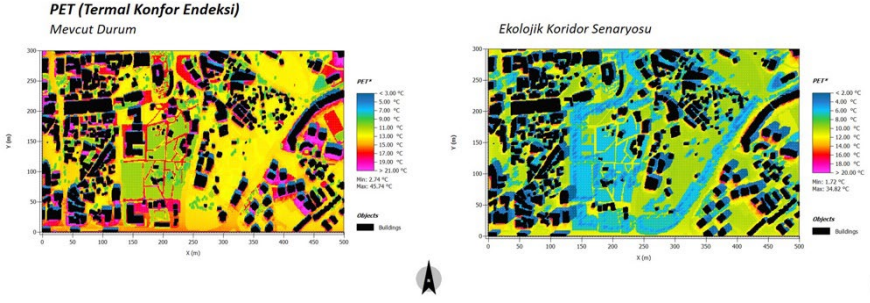
Çalışmada ilk olarak hava sıcaklığına ait simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. 2023 yılı Şubat ayına ait sonuçlar karşılaştırıldığında, ekolojik koridorun açılmasıyla birlikte alandaki sıcaklığın ortalama 1 °C arttığı anlaşılmaktadır (Şekil 12). Gözlemlenen en soğuk ve en sıcak değer aralığında 0,8 °C bir iyileşme izlenebilmektedir. Çevre yapılaşmalar aynı kalmasına rağmen, alandaki bu sıcaklık artışında öneri ekolojik koridorların ve dere hattının oluşturduğu sıcaklık etkisinin büyük rol aldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 12. Hava Sıcaklığı Simülasyonu

Termal konfor endeksi (PET değeri) için sonuçlar değerlendirildiğinde ise, yapılaşma olan alanlar ile boş alanlar arasında aynı yönlü fakat farklı düzeyde etkiler olduğu gözlenmiştir. Ekolojik koridor açıldığı takdirde boş alanlarda PET değerlerinde 5 °C'ye varan düşüşler görülmektedir. Bu durum yapı çevreye geldiğinde 8 °C ve daha fazla düşüşe neden olmaktadır. Ortam genelinde ise 1 °C'lik düşüş olduğu görülmektedir (Şekil 13). Özellikle kış döneminde bina gölge boylarının uzunluğu sebebiyle yapı çevrede “güçlü soğuk stresi” seviyesinde PET sonuçları olduğu anlaşılmaktadır. Açık alanların yapı çevreye göre termal konforu daha iyi olsa da ağaçlandırma kaynaklı gölgelik alanlar ve rüzgâr nedeniyle güçlü ve orta derecede soğuk stresi yaşanan alanlar olduğu anlaşılmıştır. Alan genelinde sıcaklık artmasına rağmen hissedilen sıcaklıklar gölge ve rüzgâr nedeniyle farklılaşmakta ve PET sonuçlarını değiştirmektedir. Ekolojik koridorlar ortam sıcaklığını azda olsa artırırken diğer yandan soğuk stresi yaratmıştır.

Ekolojik koridor önerisi alandaki hava sıcaklığını çeşitli değerlerde artırmıştır. Buna karşılık, koridorlar PET değerlerini düşürmüş ve böylece dış mekanlardaki termal konforu azaltmıştır. Dolayısıyla bu çalışma, hava sıcaklığını artırmak ile PET ile ölçülen dış mekan termal konforunu iyileştirmek arasında kritik bir ikilem olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, hava sıcaklığı artışı ve PET azaltımı arasındaki ikilem için olası çözümler olarak bitki örtüsü, yüzey kaplamaları, bina yükseklik ve oryantasyonları (farklı konumlandırılmaları) gibi farklı uygulamaları birleştiren senaryolar tartışılmalı ve denenmelidir.



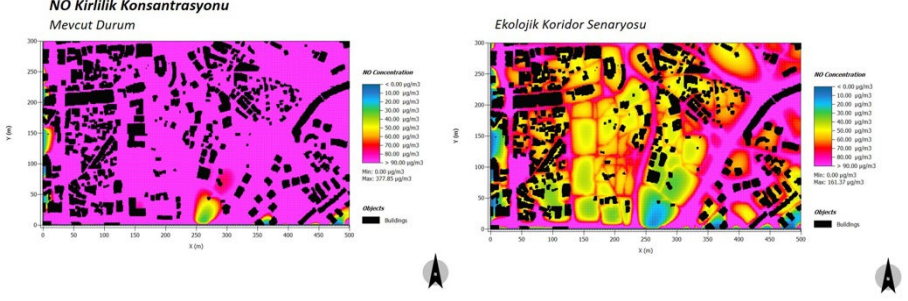
Şekil 13. PET Analizi Sonuçları

### Hava Kirliliği

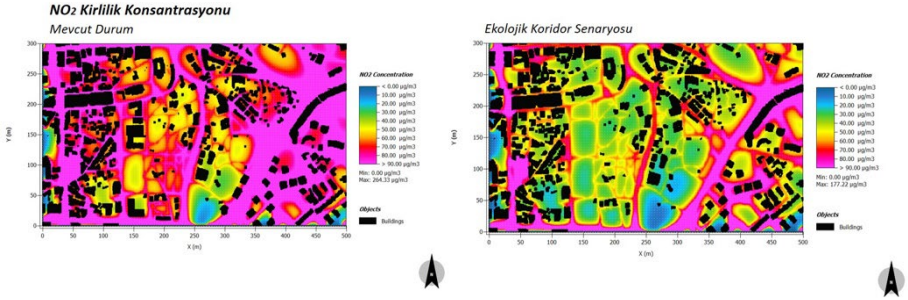
Çalışma alanındaki NO, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları ile kentleşme süreci arasındaki ilişki 2023 yıllarına ait 12 Şubat saat 05.00'de yapılmış olan simülasyonlarla değerlendirilmiştir. Ek olarak, rüzgâr hızı ve yönü aynı kabul edilmiştir. Erzurum'un özellikle kış aylarında yüksek konsantrasyonlarda azot oksitleri barındırması ve ozonun da (O<sub>3</sub>) taşıt trafiği ile bağlantılı olarak artışı bu kirleticilerin seçilmesinde önemli rol oynamıştır.

Azot (nitrojen) oksitler atmosferde kararlı ve kararsız olmak üzere iki yapıda bulunmaktadır ve oksitleyici maddelerle fotokimyasal reaksiyonlara girerek fotokimyasal sis'i oluşturmaktadırlar. Ayrıca su buharı ile reaksiyona girerek asit yağmurlarına sebebiyet vermektedirler. NO<sub>2</sub> ve NO bu oksitler içinde en önemli kirleticilerdendir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020). Bu doğrultuda kentsel yayılmanın bu kirleticiler gazlar üzerindeki etkisini anlamak için simülasyon haritaları oluşturulmuştur (Şekil 14 ve 15). Unutulmamalıdır ki, ekolojik koridorların varlığı ile kirleticilerin konsantrasyonu ters orantılıdır. Ayrıca hava sıcaklığı ile kirleticiler konsantrasyonları arasında da ters orantı bulunmaktadır (Yavaş vd., 2023). Yukarıda hava sıcaklığı ve PET simülasyonlarında da görülmüştür ki, ekolojik koridorlar ile birlikte alandaki sıcaklık düzeyi düşmüştür. Bu duruma rağmen bununla bağlantılı olarak NO ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları artmamıştır. Ekolojik koridorun kirliliği azaltıcı etkisi devreye girmiş ve koridorlar çevresindeki tüm alanlarda kirlilik değerleri düşmüştür. Alandaki NO konsantrasyonlarında 40mg/m<sup>3</sup>lük bir iyileşme ortaya çıkarken, NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında 20 ile 40mg/m<sup>3</sup> arasında değişen azalmalar gözlenmiştir. Ekolojik hatların ve yapılan ağaçlandırmanın kirli havayı dağıtıcı ve emici etkisi net olarak gözlenebilmiştir. Alandaki konut alanları ve taşıt kullanımıyla daha çok ilişkili olan O<sub>3</sub> konsantrasyonunun dağılımı ise (Şekil 16) aynı

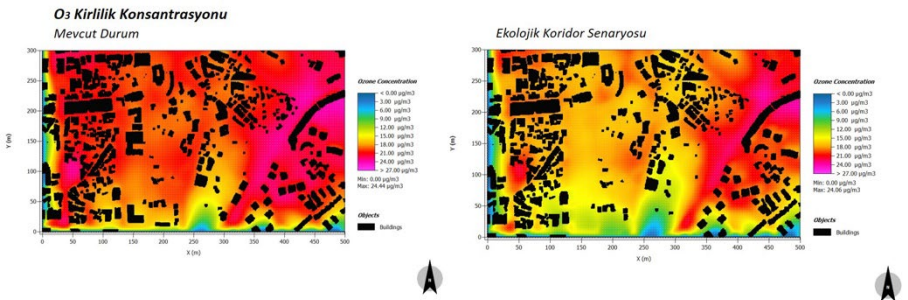
şekilde alanda ekolojik koridorlarla birlikte kirliliğin azaldığını açıkça göstermektedir. Özellikle  $O_3$  konsantrasyonunda 3 ile  $6 \mu g/m^3$  arasında değişen düşüşler görülmektedir. Ayrıca en dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de, simülasyon haritalarında kirlilik değerlerindeki düşüşün sadece ekolojik koridor hatlarında değil, alan bütününde görülmesidir.



Şekil 14. NO Konsantrasyonları



Şekil 15.  $NO_2$  Konsantrasyonları



Şekil 6.  $O_3$  Konsantrasyonları

## Tartışma

Türkiye, 2020 Dünya Hava Kirliliği Raporu'nda 106 ülke içinde 46'ncı sırada yer almaktadır. Aynı rapora göre Erzurum hava kirliliğinin en yoğun olduğu ilk üç kentten birisidir (WAQR, 2020). Bu bilgi ışığında çalışmada kentteki soğuk iklime uyumsuz mekânsal özellikler, termal konfor ve hava kirliliği olmak üzere öne çıkan 3 “negatif” yönlü başlık üzerinden Erzurum için bir değerlendirmeye gidilmiştir. Çalışma öncesinde özellikle soğuk iklimde mekânsal gelişme, yapılaşma ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyle ilgili literatürün ve araştırmacı çeşitliliğinin de sınırlı olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda ve literatürde görülen, kentsel mikro iklim koşulları ve hava kirliliği dağılımı ile sınırlı kalmıştır. Özellikle soğuk iklimli yerleşmelerde kentsel müdahalelerin hava kirliliği ve mikro iklim koşulları özelinde etkisinin tespitinde eksiklikler tespit edilmiştir. Bu bağlamda kentsel müdahalelere bağlı olarak mikro iklim koşullarında yaşanabilecek değişimlerin (termal konfor düzeyi değişimi) ve hava kirliliği dağılımı üzerindeki etkilerin ne yönde olduğu ve olacağını belirlemek önemli bir kazanım olmuştur.

Öte yandan bu çalışma ile karmaşık bir ilişkiye sahip yeşil altyapı ve hava kirliliği etkileşimleri konusunda, Erzurum örneğinde temel düzeyde bir ekolojik koridor tasarımının (100metre genişlikte iki kenarı ağaçlandırılmış) hava kalitesi üzerinde etkisi sorgulanmıştır. Artılar ve eksiler, yeşil altyapının belirli özelliklerine göre şüphesiz değişebilir. Ancak yapılan tasarım ile fayda sağlamak ve bu faydaları en üst düzeye çıkarmak için kilit öneme sahiptir. Bu husus literatürde çok sayıda makalede (Van den Berg vd., 2010; Abhijith vd., 2017; Cariñanos ve Casares-Porcel, 2011; Gallagher vd., 2015; Lee ve Maheswaran, 2011; Shaneyfelt vd., 2017; Eisenman vd., 2019; Kumar vd., 2019) vurgulanmaktadır. Özellikle yeşil altyapı için tasarım kılavuzları ile ortaya çıkan etkilerin farklılaşması için başka çalışmalar denenmelidir. Atmosferik kirleticilerin kentsel bitki örtüsü tarafından uzaklaştırılması ilgi çeken bir konudur (Bealey vd., 2007; Litschke ve Kuttler, 2008) ve bitki yapraklarının atmosferik partikülleri uzaklaştırdığı (McDonald vd., 2007; Nowak vd., 2006) ve gaz halindeki kirleticileri emdiği (Harris ve Manning, 2010; Nowak vd., 2006; Yin vd., 2011) bilinmektedir. Ayrıca bitki örtüsü, özellikle de ağaçlar, partikül madde birikim oranlarının artması ve/veya gaz kirleticilerin emilmesi yoluyla kentsel alanlarda hava kalitesinin iyileştirilmesinde rol oynayabilmektedir. Bu çalışma ile bitki türleri düzeyine inilmeden ekolojik koridor önerisinin hava

kalitesine olumlu etkisi farklı kirlilik parametreleri ile ortaya konmuştur. Kentsel yeşil alanlar kentlerde özellikle soğuk hava koşullarında ısıtma enerjisi ihtiyacını artırarak ters bir etkiye de yol açabilmektedir (Simpson ve McPherson, 1998). Bazı çalışmalarda, farklı yeşil alan çözümleri ile farklı düzeylerde (CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> ve SO<sub>2</sub>) azaltım yaratılabileceği tahmin edilmiştir (Cavanagh ve Clemons, 2006; Selmi vd., 2016). Hava kirliliğinin giderilmesi yeşil alanların tasarımına ve hava kirletici konsantrasyonlarına göre değişmektedir. Kirlilik giderimi tahminleri, birikim oranları ve yeşil yüzey alanı gibi faktörler hakkında çeşitli varsayımlarda bulunurken, kentsel alanlar için kapsamlı bir veri tabanı sağlamak için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Bu durum, yerel ve bölgesel ölçeklerde farklı yeşil altyapı formlarının hava kalitesi faydalarını doğru bir şekilde ölçmek için daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir (Pataki vd., 2011; Salmond vd., 2016). Erzurum örneğinde yapılan çalışma ekolojik koridorların kirlilik üzerinde olumlu etki yaratılabildiğini ancak termal konfor düzeyini düşürdüğünü göstermiştir. Etki düzeyleri sınırlıdır ancak literatürde çok farklı çözümlerin çok farklı etkileri olabildiği gösterilmektedir. Bu nedenle elde edilen olumlu etkilerin artırılmasına yönelik çalışmalar kentsel tasarım ölçeğinde farklı senaryolar dahilinde üretilmelidir.

Çalışmada Erzurum'da yaşanan hava kirliliği probleminin çözümü ve hissedilen etkisinin azaltılması için kentsel alanda rüzgar koridoru olarak tavsiye edilen ekolojik koridorların yaratabileceği etkiler önceden belirlenmiştir. Erzurum Valiliği ve KUDAKA desteği ile 2015 yılında tamamlanan "Hava kirliliğinde ekolojik koridor senaryoları: Erzurum kenti" (Dursun vd., 2015) isimli projede hava kirliliğinin kent merkezinde yoğunlaştığı alanlar tespit edilmiş, üzeri kapatılmış dere yatakları, hakim rüzgar yönü ve kirliliğin yoğun olduğu bölgelerde yürütülen kentsel dönüşüm çalışmaları dikkate alınarak ekolojik koridorlar önerilmiştir. Projede uygulama kolaylığı gözetilerek hem dönüşüm alanları hem de mevcut kentsel boşluklar değerlendirilmiştir. Bu makale kapsamında kesintisiz olarak önerilen ekolojik koridorların, kentin merkezi alanına denk gelen ve dönüşüm sürecinde kamulaştırılarak en fazla boşluğun üretildiği kısmı test edilmiştir. 600 ve 750 metre uzunluğunda ve 100 metre genişliklerinde tasarlanan koridorlar için büyükşehir belediyesinin park, müze, avm gibi farklı projeleri olduğu dile getirilse de sonuçta ne üreteceği net olarak bilinmemektedir. Kamulaştırılan bu alanlar için çalışma kapsa-



mında ekolojik koridor olarak bir fonksiyon getirilmiş ve etkileri ölçülmüştür. Böyle bir uygulamanın yapılması mülkiyet durumu açısından belediyenin tercihiyle gerçekleşebilecek durumdadır. Ancak yapılı çevrenin üretim sürecinde kentte hakim olan piyasa dinamikleri düşünüldüğünde bu arazilerin belediye için arsa olarak üretildiği ve konut ve ticaret alanı olarak planda işlenip satılacağı fikri ortaya çıkmaktadır. Bu durumda kentin hava kirliliği probleminin çözümünde etkili bir yol olarak önerilen ekolojik koridorların maddi getirisi olmadığı gerekçesiyle tercih edilmeyeceği öngörülebilmektedir. Ancak bu çalışmada böyle bir uygulama durumunda elde edilebilecek kazanımların belirlenmesine odaklanılmıştır.

Ek olarak, Erzurum özelinde yaptığımız bu çalışma genel kabullere ek olarak her çalışma alanının kendi kriterleri ile değerlendirilmesinin daha isabetli kararlara ve sonuçlara götüreceği gerçeğini ortaya koymuştur. Erzurum gibi soğuk iklim karakteri, uzun yanma süreleri (ısıtma amaçlı) ve hava kirliliği problemi olan bir kentte, proje özelinde elde edilen sonuçlar, özellikle farklı planlama kararları ile mikro ölçekte hava sıcaklığı, termal konfor ve hava kalitesi üzerindeki olumlu etkiler yaratılabileceğini göstermiş, ekolojik koridorların kirlilik azaltıcı etkisini ortaya koymuş ve literatüre bu anlamda bir bilgi sunarak katkı sağlamıştır. Yapılan çalışma ile kentsel yapılı çevrede mavi ve yeşil altyapıyla ilişkili ekolojik koridor düzenlemelerinin hava kalitesinin artırılmasında ve yönetilmesinde olumlu bir etkiye sahip olduğu ortaya konmuştur.

Elde edilen bulgulara dayalı olarak kent yöneticilerine ve politika yapımcıları bazı önerilerde bulunulabilmektedir. Öncelikle teknik altyapı konusunda iyileştirmeye gidilmelidir. Bu projede kullanılan türde simülasyonları üretebilecek ve yorumlayabilecek teknik altyapının ve insan kaynağının oluşturulması gerekmektedir. Bu yolla düşünülen tüm projelerin yaşam kalitesine etkileri (termal konfor düzeyi, kirlilik düzeyi gibi) önceden simüle edilerek test edilebilir ve sonuçlara göre proje fikri uygulamaya geçirilebilir. Bu sayede kamu kaynakları daha doğru kullanılmış olacaktır. Diğer taraftan bu tür araçların kullanılması dışında kentsel alanlar içerisinde doğal yüzeylerin artırılması konusunda bir politika geliştirilmelidir. Her bir kentin yeşil sistem planına ihtiyacı bulunmaktadır. Planın geliştirilmesi ilk aşama olmakla birlikte işin büyük kısmı uygulama ve izleme aşamalarıdır. Özellikle yerel yönetimlerin seçim dönemi endeksli bakış açıları bu türden geniş çaplı işlemler için çekince yaratmakta ve uygulamayı zayıflatmaktadır. Kentsel alanlarda doğal yüzeylerin artırılması

konusunun ülke politikası haline getirilmesi de doğru olacaktır. Her kentin kendi iklim koşulları ve çevresel sorunları özelinde özgünlük taşıyan bir kentleşme politikası olmalıdır. Planlama kararları yalnızca imar haklarının belirlenmesi düzeyine indirgenmemelidir. Kentsel tasarımı imar planlarına dahil eden, plan kararlarını bazı araçları (yazılım) kullanarak önceden test eden ve çevresel etki anlamında sonuçlarını kestirebilen bir sürecin işletilmesi aciliyet taşımaktadır. Aksi halde mevcut yanlış kentleşme uygulamaları değişen iklim koşullarıyla birleşerek ciddi kayıplara yol açmaya devam edecektir.

## **Sonuç**

Çalışmanın sonuçları, ekolojik koridorların kış mevsiminde hava sıcaklığını artırdığını ve kirlilik konsantrasyonlarını düşürdüğünü göstermiştir ancak unutulmaması gereken çok önemli bir husus olarak ekolojik koridorların simülasyonda denendiği şekliyle kentsel alanda soğuk stresini artırdığını göstermiştir. Erzurum gibi kış koşullarının hâkim olduğu kentlerde, ekolojik koridor planlamaları farklı parametreleri hesaba katarak yapılmalıdır. Bu nedenle özellikle yaya olarak yoğun kullanımı düşünülen kentsel alanlarda bu etki dikkate alınmalı ve termal konforu yüksek alanlar oluşturulması için detaylı kentsel tasarım projeleri hazırlanmalıdır. Rüzgâr, zemin yüzey çeşitliliği ve bitki örtüsü hava sıcaklığını ve kirlilik seviyesini etkileyen faktörlerdir ancak ENVI-met model sonuçlarının da ortaya koyduğu gibi sadece bitki örtüsü veya yüzey malzemelerinin bir fonksiyonu değildir. Aynı zamanda kentsel mekanların nitelik, biçim ve düzenlemesine de bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen ana sonuç, bir yerleşim bölgesinin hava kirliliği probleminin planlama kararları ve mekânsal tasarımla ilişkili olduğu ve mikro iklim parametrelerine dayalı plan ve tasarım çözümlerine girdi oluşturması gerektiğidir. Bu girdiler düşünüldüğünde kentsel mekanın tasarımı konusu, bina ve sokak yönelmeleri, sokak genişlikleri, yeşil alan miktarları, ağaçlandırma şekli, doğal ve yapay yüzey oranları ile kaplamalı yüzeylerde tercih edilen malzeme detayına kadar detaylı düşünülerek farklı denemeler ışığında sonuçları test edilmiş çözümlerle ele alınmalıdır.

## **Extended Abstract**

# **Determination of the Effect of Ecological Corridors on Microclimate and Air Pollution Distribution; The Case of Erzurum**

Doğan Dursun<sup>8</sup>

ORCID: 0000-0003-3791-0027

Merve Yavaş<sup>9</sup>

ORCID: 0000-0002-4340-4174

From the years of the industrial revolution to the present day, the world is experiencing an accelerated urbanization process. In this rapid urbanization process, the creation of solution-oriented scenarios related to the climate change, thermal comfort and air pollution has become current issues due to the problems such as urban population growth, intensive construction, urban sprawl, changes in settlement pattern and decreasing open and green areas. Land surface changes caused by urbanization drive temperature and wind speed changes in urban areas and create differences between surface temperature and near-surface temperature. Additionally, it is determined that climate change and urban meteorological changes affect air pollution in urban areas. In fact, many pollutants have impacts on climate change and global warming. Pollutants that cause air pollution and greenhouse gases are produced by the same sources of emissions. Climate change as a global problem and the effects of air pollution associated with it, must be addressed on a city-by-city basis due to location-specific conditions.

There is an urgent need of the determination of adaptation strategies for spatial planning and the preparation of climate simulations in Erzurum due to its characteristics based on dominant climate conditions negatively affecting daily life of residents. In this process, the values of wind movements, inversion, thermal comfort and air pollution must be determined. The main motivation of this study is the urbanisation practices that are contrary to cold

---

<sup>8</sup> Assoc. Prof., Ataturk University, Department of City and Regional Planning,  
E-mail: dogan08@gmail.com

<sup>9</sup> Assist. Prof., Ataturk University, Department of City and Regional Planning,  
E-mail: merveyvs@gmail.com

climate conditions such as misuse of lands, widespread urbanisation deprived of light and air rights and high building density observed in the development process of the city. Within the scope of the study, the effects that may arise in air quality and microclimate conditions, especially when different spatial decisions are taken under cold climate conditions, are revealed by starting from the deficiency in the literature in terms of determining the effects of microclimate and air pollution by evaluating urban built environment and ecological corridors together. With this article, specific results based on simulations of different urban planning decisions have been produced for the solution of air pollution problem in Erzurum and to improve the quality of life by protecting human health. The effects of the proposed ecological corridors on microclimate (thermal comfort conditions) and air pollution are determined and explained in this study. The research method is to determine the effects of two ecological corridors proposed to be opened by taking into account the covered stream lines in Erzurum on the surrounding air pollution and local microclimate conditions through simulation maps produced by ENVI-met software. Firstly, meteorological data, physical data and air pollution data for the study area were obtained and defined on the interface of the software, and the appropriate simulation start day and time were determined by evaluating the data. Then, the programme was run for a simulation lasting approximately one month and the results were produced. Then, verification analysis was performed for the results and simulation were evaluated when appropriate results were obtained. While evaluating the thermal comfort conditions, thermal stress categories (Physiological Equivalent Temperature-PET) were taken as basis and the numerical improvement in concentrations within pollution values was examined.

The simulation results of the air temperature revealed that the temperature in the area increased by 1 °C on average with the opening of the ecological corridor. An improvement of 0.8 °C can be observed between the coldest and hottest values. Although the surrounding constructions remained the same, it was observed that the temperature effect caused by the proposed ecological corridors and the stream line played a major role in the temperature increase in the area.

The results produced for the thermal comfort index (PET value) revealed that there are same directional but different level of effects between the built-up areas and vacant areas. If the ecological corridor is opened, PET values decrease up to 5 °C in vacant areas. This situation causes a decrease of 8 °C and more when it comes to the built environment. It is seen that there is a

decrease of 1 °C in the whole environment. It is understood that there is a "strong cold stress" in the built environment due to the length of the building shadow lengths, especially in the winter period.

Along with the ecological corridors, the temperature level in the area has decreased. Despite this, pollution (NO and NO<sub>2</sub>) concentrations did not increase in connection with it. The pollution reducing effect of the ecological corridor came into effect and pollution values decreased in all areas around the corridors. An improvement of 40mg/m<sup>3</sup> was observed in NO concentrations in the area, while decreases in NO<sub>2</sub> concentrations ranging from 20 to 40mg/m<sup>3</sup>. The dispersing and absorbing effect of ecological lines and afforestation can be clearly observed. The distribution of O<sub>3</sub> concentration, which is more related to the residential areas and vehicle use, also clearly shows that the pollution decreases with the ecological corridors in the area. In particular, decreases in O<sub>3</sub> concentration ranging between 3 and 6 µg/m<sup>3</sup> are observed.

The results of the study showed that ecological corridors increased air temperature and decreased pollution concentrations during the winter season, but a very important point to note is that ecological corridors increased cold stress in the urban area as tested in the simulation. In cities like Erzurum where winter conditions are dominant, ecological corridor planning should be done by taking into account different parameters. For this reason, this effect should be taken into account especially in urban areas with intensive pedestrian use and detailed urban design projects should be prepared to create areas with high thermal comfort. Wind, ground surface diversity and vegetation are factors that affect air temperature and pollution level, but as the ENVI-met model results reveal, it is not only a function of vegetation or surface materials. It is also understood that it depends on the quality, form and arrangement of urban spaces. Therefore, the main conclusion obtained from this study is that the air pollution problem of a residential area is related to planning decisions and spatial design and should form an input to planning and design solutions based on microclimate parameters. Considering these inputs, the design of urban space should be addressed with tested solutions in the light of different trials by considering in detail the building and street orientations, street widths, green space amounts, afforestation, natural and artificial surface ratios, and the material details preferred for paved surfaces.

## Kaynakça/References

- AB. (2008). "Directive 2008/50/EC of The European Parliament and of The Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe", Official Journal of the European Union L 152/1, Publications Office of the European Union, Luxembourg. adresinden alındı
- Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., DiSabatino, S., & Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments– a review. *Atmospheric Environment*, 162, 71–86.
- Aghamolaei, R., Azizi, M.M., Aminzadeh, B., & O'Donnell, J. (2022). A comprehensive review of outdoor thermal comfort in urban areas: Effective parameters and approaches. *Energy & Environment*, 34(6). <https://doi.org/10.1177/0958305X22111>
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2007). Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on OHTCCs in urban street canyons. *Solar Energy*, 81, 742–754. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.10.007>
- Alkan, A. (2018). Hava Kirliliğinin Ciddi Boyutlara Ulaştığı Kentlere Bir Örnek: Siirt. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 641–666. Erişim tarihi: 2 Ekim 2023, <https://dergipark.org.tr/pub/bitlissos/issue/41200/475981>
- Aw, J., & Kleeman, M. J. (2003). Evaluating the first-order effect of intraannual temperature variability on urban air pollution. *Journal of Geophysical Research*, 108, 4365. <https://doi.org/10.1029/2002JD002688>
- Bealey, W.J., McDonald, A.G., Nemitz, E., Donovan, R., Dragosits, U., Duffy, T.R., & Fowler, D. (2007). Estimating the reduction of urban PM10 concentrations by trees within an environmental information system for planners. *Journal of Environmental Management*, 85, 44–58.
- Boucher, O., Randall, D., Artaxo, P., Bretherton, C., Feingold, G., Forster, P., Kerminen, V.-M., Kondo, Y., Liao, H., Lohmann, U., Rasch, P., Satheesh, S. K., Sherwood, S., Stevens, B., & Zhang, X. Y. (2013). Clouds and aerosols. *Climate change 2013: The physical science basis*, in: Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 571–657). Cambridge University Press.
- Bruse, M., & Fleer, H. (1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three-dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software*, 13(3–4), 373–384. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)
- Bruse, M. (2018). "ENVI-met 4.4: A Microscale Urban Climate Model", <http://www.envi-met.info>
- Burian, S. J., & Shepherd, J. M. (2005). Effect of urbanization on the diurnal rainfall pattern in Houston. *Hydrological Processes*, 19, 1089–1103. <https://doi.org/10.1002/hyp.5647>

- Cariñanos, P., Casares-Porcel, M. (2011). Urban green zones and related pollen allergy: a review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact. *Landscape and Urban Planning*, 101, 205–214.
- Cavanagh, J.A.E., Clemons, J. (2006). Do urban forests enhance air quality? *Australasian Journal of Environmental Management*, 13, 120-130.
- Charlson, R. J., Schwartz, S. E., Hales, J. M., Cess, R. D., Coakley, J. A., Jr., Hansen, J. E., & Hofmann, D. J. (1992). Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*, 255, 423–430. <https://doi.org/10.1126/science.255.5043.423>
- Chen, L., Zhang, M., Zhu, J., Wang, Y., & Skorokhod, A. (2018). Modeling impacts of urbanization and urban heat island mitigation on boundary layer meteorology and air quality in Beijing under different weather conditions. *Journal of the Geological Society Australia*, 123, 4323–4344. <https://doi.org/10.1002/2017JD027501>
- Chow, W. T. L., Pope, R. L., Martin, C. A., & Brazel, A. J. (2011). Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: Horizontal and vertical impacts. *Theoretical and Applied Climatology*, 103(1), 197–211. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0293-8>
- Civerolo, K., Hogrefe, C., Lynn, B., Rosenthal, J., Ku, J.-Y., Solecki, W., Cox, J., Small, C., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Knowlton, K., & Kinney, P. (2007). Estimating the effects of increased urbanization on surface meteorology and ozone concentrations in the New York City Metropolitan Region. *Atmospheric Environment*, 41, 1803–1818.
- Cortes, A., Rejuso A.J., Santos, J.A., & Blanco, A. (2022). Evaluating mitigation strategies for urban heat island in Mandaue City using ENVI-met. *Journal of Urban Management*, 11(1), 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2022.01.002>
- Çamur, K.C., Dursun, D., & Kaya, A.B. (2023). Agricultural land change, planning and urbanisation: a case study from Erzurum, Türkiye (1940–2022), *Planning Perspectives*, 38(6), 1233-1255. doi: 10.1080/02665433.2023.2187440
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı-ÇŞB. (2020). *Erzurum İli Temiz Eylem Planı*. Erzurum: Erzurum Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- Deng, S., Ma, J., Zhang, L., Jia, Z., & Ma, L. (2019). Microclimate simulation and model optimization of the effect of roadway green space on atmospheric particulate matter. *Environmental Pollution*, 246, 932-944. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.026>
- Dursun, D., Yavaş, M., & Yılmaz, S. (2020). Soğuk İklim Bölgesinde Kamusal Alanda Tasarım Önerilerinin Mikro-İklim Yönünden Değerlendirmesi: Yakutiye Meydanı Örneği. *Megaron*, 15(2), 321-331.
- Dursun, D., & Yavaş, M. (2020). Thermal Comfort Effects of New Urban Development Projects: The Case of Erzurum. *Production of Climate Responsive Urban Built Environments*, 8-14. İstanbul: İstanbul Policy Center.
- Dursun, D., & Yavaş, M. (2015). Climate-Sensitive Urban Design in Cold Climate Zone: The City of Erzurum, Turkey. *International review for spatial planning and sustainable development*, 17-38.

- Dursun, D., & Yavaş, M., (2014). Climatic Urban Design: Configuring Ventilation Channels in Urban Area, Erzurum, Turkey, *Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island* Bildiriler Kitabı içinde, Ekim 13-15, Venedik.
- Dursun, D., Yavaş, M., & Güller, C. (2016). The Level of Integration among Climate Issues, Urban Planning and Local Government Policies for the Winter City Erzurum. *Planlama*, 26(2), 147-159.
- Dursun D., Yılmaz S., Yılmaz H., Irmak M. A., Demir M., & Yavaş M. (2015). Hava Kirliliğinde Ekolojik Koridor Senaryoları Erzurum Kenti Atatürk Üniversitesi Yayını - 1119, Erzurum.
- Ebrahimnejad, R., Noori, O., & Deihimfard, R. (2017). Mitigation potential of green structures on local urban microclimate using ENVI-met model. *International Journal of Urban Sustainable*, 9(3), 274-285. <https://doi.org/10.1080/19463138.2017.1370424>
- Eisenman, T.S., Churkina, G., Jariwala, S.P., Kumar, P., Lovasi, G.S., Pataki, D.E., Weinberger, K.R., & Whitlow, T.H. (2019). Urban trees, air quality, and asthma: an interdisciplinary review. *Landscape and Urban Planning*, 187, 47-59.
- Elraouf, R.A., ELMokadem, A., Megahed, N., Eleinen, O.A., & Eltarabily, S. (2022). Evaluating urban outdoor thermal comfort: a validation of ENVI-met simulation through field measurement. *Journal of Building Performance Simulation*, 15(2), 268-286. <https://doi.org/10.1080/19401493.2022.2046165>
- Fallmann, J., Forkel, R., & Emeis, S. (2016). Secondary effects of urban heat island mitigation measures on air quality. *Atmospheric Environment*, 125, 199–211. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.094>
- Gallagher, J., Baldauf, R., Fuller, C.H., Kumar, P., Gill, L.W., & McNabola, A. (2015). Passive methods for improving air quality in the built environment: are view of porous and solid barriers. *Atmospheric Environment*, 120, 61–70.
- Grifoni, R.C., Passerini, G., & Pierantozzi, M. (2013). Assessment of outdoor thermal comfort and its relation to urban geometry. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 173. doi:10.2495/SDP130011
- Gulyás, Á., Unger, J., & Matzarakis, A. (2006). Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. *Building and Environment*, 41(12), 1713–1722.
- Harris, T.B., & Manning, W.J. (2010). Nitrogen dioxide and ozone levels in urban tree canopies. *Environmental Pollution*, 158, 2384-2386.
- HKDYY. (2008). T.C. Başbakanlık, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12188&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> adresinden alındı
- Irmak, M. A., Yılmaz, S., & Dursun, D. (2017). Effect of different pavements on human thermal comfort conditions. *Atmosfera*, 30(4), 355-366.
- Jamei, E., & Rajagopalan, P. (2019). Effect of street design on pedestrian thermal comfort. *Architectural Science Review*, 62(2), 92–111.
- Jiang, X., Wiedinmyer, C., Chen, F., Yang, Z.-L., Lo, J., & C.- F. (2008). Predicted impacts of climate and land use change on surface ozone in the Houston, Texas, Area.



- Journal of Geophysical Research, 113, D20312. <https://doi.org/10.1029/2008JD009820>
- Kalnay, E., & Cai, M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423, 528–531. <https://doi.org/10.1038/nature01675>
- Khaniabadi, Y. O., Sicard, P., Takdastan, A., Hopke, P. K., Taiwo, A. M., Khaniabadi, F. O., Marco, A. D., & Daryanoosh, M. (2019). Mortality and morbidity due to ambient air pollution in Iran. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(2), 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2018.06.006>
- Kara, G. (2012). Kentsel Hava Kirleticilerine Meteorolojinin Etkisi: Konya Örneği. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 27(3), 73–86. Erişim tarihi: 2 Ekim 2023, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/215749>
- Kara G., Yalçınkaya B., Özdil B., & Avcı, E. (2018). Konya İlinin Hava Kirliliğine Bazı Meteorolojik Faktörlerin Etkisi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 104–109. Erişim tarihi: 2 Ekim 2023, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/512363>
- Kocaman, S., Zaman, S., Kara, F., & Keçeli, A. (2008). Erzurum kentinde gecekondu önleme ve kentsel dönüşüm çalışmaları. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (18), 179–210. Erişim tarihi: 2 Ekim 2023, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/marucog/issue/465/3751>
- Koçak, E. (2018). Aksaray Kentinin PM10 ve SO2 Konsantrasyonlarının Zamansal Değişimi: Koşullu İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonu ve K-Means Kümeleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 471–478. <https://doi.org/10.21923/jesd.426741>
- Kopar, İ., & Zengin, M. (2009). Coğrafi faktörlere bağlı olarak erzurum kentinde hava kalitesinin zamansal ve mekânsal değişiminin belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (53), 51–69. Erişim tarihi: 2 Ekim 2023, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21228/228416>
- Kumara, P., Druckman, A., Gallagher, J., Gatersleben, B., Allison, S., Eisenman, T.S., Hoang, U., Hama, S., Tiwari, A., Sharma, A., Abhijith, K.V., Adlakha, D., McNabola, A., Astell-Burt, T., Feng, X., Skeldon, A.C., Lusignane, S., & Morawska, L. (2019). The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environment International*, 133, 105181
- Kusumastuty, K.D., Poerbo, H.W., & Koerniawan, M.D. (2018). Climate-sensitive urban design through Envi-Met simulation: case study in Kemayoran, Jakarta. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 129. doi :10.1088/1755-1315/129/1/012036
- Krüger, E. L., Minella, F. O., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor OHTCCs and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621–634. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006>
- Lee, A.C.K., & Maheswaran, R. (2011). The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. *Journal of Public Health*, 33, 212–222.

- Li, Y., Zhang, J., Sailor, D., & Ban-Weiss, G. (2019). Effects of urbanization on regional meteorology and air quality in Southern California. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 4439–4457.
- Lippmann, M. (1989). Health effects of ozone. A Critical Review. *JAPCA*, 39(5), 672–695. <https://doi.org/10.1080/08940630.1989.10466554>
- Litschke, T., Kuttler, W. (2008). On the reduction of urban particle concentration by vegetation-A review. *Meteorologische Zeitschrift*, 17, 229-240.
- Locosselli, G.M., Camargo, E. P., Lopes Moreira, T.C., Todesco, E., Andrade, M.F., André, C.D., André, P.A., Singer, J.M., Ferreira, L.S., Saldiva, P.H.N., & Buckenridge, M.S. (2019). The role of air pollution and climate on the growth of urban trees. *Science of the Total Environment*, 666, 652–661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.291>
- López-Cabeza, V.P., Galán-Marín, C., Rivera-Gómez, C., & Roa-Fernández, J. (2018). Courtyard microclimate ENVI-met outputs deviation from the experimental data. *Building and Environment*, 144, 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.013>
- Maggiotto, G., Buccolieri, R., Santo, M. A., Leo, L. S., & Di Sabatino, S. (2014). Study of the urban heat island in Lecce (Italy) by means of ADMS and ENVI-MET. *International Journal of Environment and Pollution*, 55(1–4), 41–49. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2014.065903>
- MGM. (2023). Meteoroloji Genel Müdürlüğü verisi. <https://www.mgm.gov.tr/>
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M.G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43, 76-84
- Matzarakis, A., & Mayer, H. (1996). Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO collaborating centre for Air Quality Management and Air pollution Control. *Newsletters*, 18, 7–10.
- Mayer, H., & Höppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38(1), 43–49.
- McDonald, P.J., Aptaker, P.S., Mitchell, J., & Mulheron, M. (2007). A unilateral NMR magnet for sub-structure analysis in the built environment: the surface GARField. *Journal of Magnetic Resonance*, 185, 1-11.
- Menteşe, S., & Tağlı, Ş. (2012). Bilecik'te İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15(28), 3–16. Erişim tarihi: 2 Ekim 2023, from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/baunsobed/issue/50183/645979>
- Mohammadjavad, M., Hadis, S., & Nina, M. (2018). An ENVI-met Simulation Study on Influence of Urban Vegetation Congestion on Pollution Dispersion. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 15(2), 187-194. doi: 10.3233/AJW-180031
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., & Yuan, C. (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, 47, 256– 271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>

- Nowak, D. J., 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>
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4, 115-123.
- Oğuz, K. (2020). Nevşehir ilinde hava kalitesinin ve meteorolojik faktörlerin hava kirliliği üzerine etkilerinin incelenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(2), 391–404. <https://doi.org/10.21324/dacd.686052>
- Özdemir, H. (2019). Mitigation impact of roadside trees on fine particle pollution. *Science of the Total Environment*, 659, 1176–1185. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.262>
- Pataki, D.E., Carreiro, M.M., Cherrier, J., Grulke, N.E., Jennings, V., Pincetl, S., Pouyat, R.V., Whitlow, T.H., & Zipperer, W.C. (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 27–36.
- Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 56(6), 709–742. <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>. PMID: 16805397.
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T.P., & Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: a comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment* 631, 390–406.
- Rui, L., Buccolieri, R., Gao, Z., Gatto, E., & Ding, W. (2019). Study of the effect of green quantity and structure on OHTCCs and air quality in an urban like residential district by ENVI-met modelling. *Building Simulation*, 12, 183–194. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0498-9>
- Salmond, J.A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K.N., Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R.N., & Wheeler, B.W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by Street trees in the urban environment. *Environmental Health*, 15, 36.
- Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L., & Nowak, D. (2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 192–201.
- Shaneyfelt, K.M., Anderson, A.R., Kumar, P., Hunt, W.F. (2017). Air quality considerations for storm water green Street design. *Environmental Pollution*, 231, 768-778.
- Shi, Y., Ren, C., Lau, K. K., & Ng, E. (2019). Investigating the influence of urban land use and landscape pattern on PM2.5 spatial variation using mobile monitoring and WUDAPT. *Landscape and Urban Planning* 189, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.004>

- Simpson, J.R., McPherson, E.G. (1998). Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. *Atmospheric Environment*, 32, 69-74.
- Şişman, E. (2019). Türkiye’de seçilen hava kalitesi izleme istasyonları için eğilim (trend) değerlendirmeleri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 134-152. <https://doi.org/10.21324/dacd.444503>
- Taleghani, M., Clark, A., Swan, W., & Mohegh, A. (2020). Air pollution in a microclimate; the impact of different green barriers on the dispersion. *Science of the Total Environment*, 711, 134649.
- Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & Van Den Dobbelsteen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>
- Tao, W., Liu, J., Ban-Weiss, G. A., Hauglustaine, D. A., Zhang, L., Zhang, Q., Cheng, Y., Yu, Y., & Tao, S. (2015). Effects of urban land expansion on the regional meteorology and air quality of eastern China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 8597-8614. <https://doi.org/10.5194/acp-15-8597-2015>
- Tsoka, S., Tsikaloudaki, A., & Theodosiou, T. (2018). Analyzing the ENVI-met microclimate model’s performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. *Sustainable Cities and Society*, 43, 55-76. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>
- Vahmani, P., Sun, F., Hall, A., & Ban-Weiss, G. (2016). Investigating the climate impacts of urbanization and the potential for cool roofs to counter future climate change in Southern California. *Environmental Research Letters*, 11, 124027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124027>
- Van den Berg, A.E., Maas, J., Verheij, R.A., & Groenewegen, P.P. (2010). Green space as a buffer between stressful life events and health. *Social Science and Medicine*, 70, 1203-1210.
- WAQR. (2020). *World Air Quality Report, Region & City PM2.5 Ranking*.
- WHO. (2005). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide”, Global update 2005, World Health Organization*. World Health Organization: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y) adresinden alındı
- Yavaş, M. (2019). “İklim Duyarlı Planlama Stratejileri: Erzurum Örneği”. *Doktora Tezi*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yavaş, M., Dursun, D., Toy, S. (2023). Simulating the effect of urban sprawl on air quality and outdoor human thermal comfort in a cold city, Erzurum, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol.195-11.
- Yılmaz, S., Mutlu, E., & Yılmaz, H. (2018). Alternative scenarios for ecological urbanizations using ENVI-met model. *Environmental Science And Pollution Research*. 25(26), 26307-26321.

- Yılmaz, S., Kulekci, E. A., Mutlu, B. E., & Sezen, I. (2021). Analysis of winter thermal comfort conditions: street scenarios using ENVI-met model. *Environmental Science And Pollution Research*, 28(45), 63837-63859.
- Yılmaz, S., Sezen, I., Irmak, M.A., & Kulekçi E. (2021). Analysis of outdoor thermal comfort and air pollution under the influence of urban morphology in cold-climate cities: Erzurum/Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 64068–64083. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14082-3>.
- Yılmaz, S., Sezen, I., Irmak, M.A., & Qaid A. (2022). Assessing the effects of different urban landscapes and built environment patterns on thermal comfort and air pollution in Erzurum city, Turkey. *Building and Environment*, 219, 109210. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109210>
- Yılmaz, S., Menteş, Y., Angin, S. A., & Qaid, A. (2023). Impact of the COVID-19 outbreak on urban air, Land surface temperature and air pollution in cold climate zones. *Environmental Research*, 237, 116887. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116887>
- Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., & Wang, W. (2011). Quantifying air pollution attenuation within urban parks: an experimental approach in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 159, 2155-2163.
- Zhang, J., Li, Y., Tao, W., Liu, J., Levinson, R., Mohegh, A., & Ban-Weiss., G. (2018). Investigating the urban air quality effects of cool walls and cool roofs in Southern California. *Environmental Science & Technology*, 53(13), 7532–7542. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00626>

### **Doğan Dursun**

Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümünde doçent olarak görev yapmaktadır. 2001 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi (GÜMMF) Şehir ve Bölge Planlama Bölümünden lisans derecesi, 2011 yılında da Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümünde doktora derecesini almıştır. Çalışma alanları iklim duyarlı kent planlama ve tasarım, iklim değişikliğine uyum, kent iklimi, mikroiklim ve mikroiklim simülasyonlarıdır.

*Doğan Dursun, has been an Associate Professor in the Department of City and Regional Planning at Ataturk University and has been a member of the Faculty of Architecture and Design since 2012. He received a B.S. degree in the same department at Gazi University and a PhD degree in City and Regional Planning Department at Middle East Technical University (METU). His research interests in city planning include climate sensitive urban planning and design, climate change urban adaptation actions, digital simulation and mapping of urban environment under different conditions.*

**E-posta:** dogan08@gmail.com.

### **Merve Yavaş**

Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümünde doktor öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümünden lisans derecesi, 2012 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümünden yüksek lisans derecesi, 2019 yılında da Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümünde doktora derecesini almıştır. Çalışma alanları iklim duyarlı kentsel tasarım, kent iklimi, mikroiklim ve mikroiklim simülasyonlarıdır.

*Merve Yavaş, has been an Assistant Professor in the Department of City and Regional Planning at Ataturk University and has been a member of the Faculty of Architecture and Design since 2012. She received a B.S. degree in the same department at Karadeniz Technical University, a Master degree in the same department at Mimar Sinan Fine Arts University and a PhD degree in Landscape Architecture Department at Ataturk University. Her research interests in city planning include climate sensitive urban design, digital simulation and mapping of urban environment under different conditions.*

**E-posta:** mervevvs@gmail.com.

## Ekler

Ek 1. Çalışma Alanından Alınan 3 Mobil İstasyona Ait Şubat Ayı Günlük Ölçüm Sonuçları °C

GÜN	Kudaka (S1)	Tarım kredisi (S2)	Kadama (S3)
1	-2.99	-4.06	-2.47
2	-4.72	-5.03	-2.19
3	-8.96	-9.16	-4.09
4	-10.15	-11.01	-8.12
5	-6.88	-7.72	-4.48
6	-2.53	-3.30	-2.16
7	-4.44	-4.39	-2.32
8	-8.43	-8.46	-4.09
9	-12.16	-12.11	-7.06
10	-12.40	-12.73	-7.65
11	-13.53	-13.81	-8.28
12	-14.53	-14.68	-8.73
13	-14.49	-14.18	-8.83
14	-14.23	-14.60	-8.72
15	-12.73	-12.15	-7.52
16	-9.47	-10.30	-7.55
17	-7.59	-8.60	-4.24
18	-8.80	-8.93	-3.03
19	-3.06	-3.23	-1.72
20	-0.08	-0.43	1.03
21	-1.80	-2.46	0.53
22	-0.27	-0.94	2.02
23	0.58	-0.18	2.58
24	-5.50	-6.34	0.26
25	-6.11	-5.55	0.49
26	-2.81	-2.36	3.67
27	-2.55	-2.57	3.80
28	-1.65	-1.45	2.78

Ek 2. Simülasyon Başlangıç ve Sınır Koşulları

Parametre	Açıklama	Değer
Konum	Erzurum, Türkiye (Enlem ve Boylam)	39.92, 41.26
	10 m yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)	0.5
Meteorolojik Veriler	Rüzgar yönü (°)	200
	Referans noktasındaki pürüzlülük (m)	0.01
	Başlangıç sıcaklığı (°C)	-17.8
	Özgül nem (2500 m, g/kg)	8.0
	2 m yükseklikteki bağıl nem (%)	85.1
Kirlilik Kaynakları	Türler	NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>
	Kaynak geometrisi	Çizgi (yol boyu) ve nokta (bina)