

## Farklı Konut Dokularının Hava Kirliliği Yoğunluğu Üzerindeki Etkisi: Erzurum Örneği

Elif Nur SARI<sup>\*1</sup>, Sevgi YILMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Erzurum, Türkiye

**Öz:** Hava kirliliği günümüzde canlı yaşamı için tehdit oluşturan önemli problemlerin başında gelmektedir. Kent içerisinde farklı konut dokularının emisyon oranları ve hava kirliliğini tetikleyen coğrafi değişkenler (basınç, yükseklik, rüzgâr, sıcaklık) ve fiziksel değişkenler (doğalgaz tüketimi, kömür tüketimi ve Gökyüzü Görünürlük Oranı) açısından durumu incelenmiştir. Değişkenlerin ArcGIS üzerinden mekânsal analizleri ve SPSS ile her bir konut dokusu için değişkenler arasında korelasyon analizi, konut dokuları arasındaki farkı anlamak için de Kruskal Wallis, hangi parametrelerin farklı olduğunu ortaya çıkarmak için %95 güven düzeyinde Posthoc – Games Howell analizi yapılmıştır. Apartman tipi konut dokusu, emisyon değerleri ve basınç değerleri açısından diğer konut dokularına göre anlamlı olarak daha yoğun, doğalgaz ve kömür tüketimi konusunda gecekondu tipi yapılaşma hariç diğer konut dokuların anlamlı olarak daha yoğun değere sahiptir. Site tipi konut dokusu diğer konut dokularından rüzgâr hızı konusunda anlamlı olarak daha yoğun değere sahiptir. Nitekim rüzgâr hızı 3 m/s'den düşük bulunmuştur. Gecekondu tipi konut dokusu yükselti ve yakıt tüketimi konusunda diğer konut dokularından anlamlı olarak daha yoğun değere sahiptir. Müstakil tip konut dokusu O<sub>3</sub>, sıcaklık ve Gökyüzü Görünürlük Oranı ile diğer konut dokularından anlamlı olarak daha yüksek değere sahiptir. Erzurum'daki kentsel dönüşüm alanları göz önünde bulundurulduğunda yerel yönetimlerin, şehir plancılarının, peyzaj mimarlarının doğal koşulları göz önünde bulundurarak, mekâna özgü kentsel tasarım önerilerini üretmesinin gerekliliği açıktır.

**Anahtar kelimeler:** Hava kirliliği, konut dokusu, Gökyüzü Görünürlük Oranı (GGO), mekânsal analiz, Erzurum

**The effect of different housing textures on air pollution intensity: Erzurum case**

**Abstract:** Air pollution is one of the most important problems that threaten life today. Different housing textures in the city were examined in terms of air pollution values (emission values) and geographical variables that trigger air pollution (pressure, altitude, wind, temperature) and physical variables (natural gas consumption, coal consumption and Sky View Factor). Spatial analyzes of the variables were done with Arcgis. SPSS was used for statistical analysis. Correlation analysis was used to understand the difference between housing patterns variables, Kruskal Wallis to understand the difference between housing patterns, and Posthoc – Games Howell analysis at 95% confidence level to reveal which parameters were different. Block-type housing pattern is significantly more dense than other housing patterns in terms of emission values and pressure values, and has a significantly more intense value in natural gas and coal consumption than other housing patterns, except shanty housing. Gated community type housing texture has a significantly more intense value in terms of wind speed than other housing patterns. As a matter of fact, the wind speed was found to be less than 3 m/s. The shanty housing pattern has a significantly more intense value than other housing patterns in terms of altitude and fuel consumption. Detached house texture has a significantly higher value of O<sub>3</sub>, temperature and SVF than other housing patterns. Considering the urban transformation areas in Erzurum, it is clear that local governments, city planners and landscape architects should produce site-specific urban design proposals, taking into account the natural conditions.

**Keywords:** Air pollution, Housing texture, SVF, Spatial analysis, Erzurum

### GİRİŞ

Birleşmiş Milletler verilerine göre artan nüfusla birlikte kentleşme oranları da yükseliş eğilimi göstermektedir. Geniş kapsamlı bir olgu olan kent, hızla yükselen nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için her geçen gün sert ve geçirimsiz yüzeylerini artırmaktadır (Chandan ve ark., 2019; Bharath ve ark., 2019). Kentsel mekânlarda artan ihtiyaçların bilinçli bir plan kararına uymadan yapılması trafik ve ısınma kaynaklı olarak hava kirliliğinin artmasına yol açmaktadır (Karagülian ve ark., 2015; Liu ve ark., 2017; Sarı ve ark. 2020; Yılmaz ve ark., 2021a). Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2021)' ne göre, Dünya çapında en büyük halk sağlığı riski kentsel hava kirliliği olarak saptanmıştır. Hava kalitesi izleme sistemleri olan şehirlerde yaşayan insanların %80'den fazlasının kirli hava soluduğu belirtilmiştir. Her yıl dünya çapında hava kirliliğine

bağlı olarak 4.2 milyon insanın öldüğü ifade edilmiştir (WHO, 2021).

Hava kirliliği günümüzde canlı yaşamı için tehdit oluşturan önemli bir problemdir. Hava kirliliği bir veya daha fazla kirlileti maddenin sınır değerlerini aşarak canlı yaşamına ve çevre kalitesine zarar verecek oranda bulunması olarak tanımlanmaktadır (Cavkaytar, 2013). Kent içerisinde yakıt tüketiminden, trafikten ve sanayiden dolayı kirli hava açığa çıkmaktadır. 1952 yılında Londra'da çöken sis tabakasından dolayı birçok insanın hayatını kaybettiği bilinmektedir. Ayrıca

**\*Sorumlu Yazar:** [elifnur.sari@iuc.edu.tr](mailto:elifnur.sari@iuc.edu.tr)

Bu çalışma yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

**Geliş Tarihi:** 24 Ekim 2022

**Kabul Tarihi:** 30 Kasım 2022

kirletici maddenin solunum ve akciğer hastalıklarını tetiklediği, bağışıklık sistemi problemlerine neden olduğu ve erken ölümü neden olduğu tespit edilmiştir (Heal ve ark., 2012; Zhang ve ark., 2012). Amerika, Brezilya, Avrupa ve Asya'da yapılan çalışmalarda Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>), Partikül Madde (PM<sub>10</sub>), Nitrojen Dioksit (NO<sub>2</sub>) gibi hava kirletici emisyonların düşük doğum, erken doğum ve ölü doğumla arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur (Ritz ve Yu, 2000). Sıklıkla gündeme gelen ve rahatsız edici boyutlara ulaşan hava kirliliği çalışmaları; Ankara (Çobanyılmaz ve Yüksel, 2013), Aydın (Başar ve ark., 2005; Erzurum (Yılmaz ve Öz, 2004), Edirne (Özşahin ve ark., 2016), Tekirdağ (Karbuç, 2016), Iğdır (Koç ve Koç, 2018), İzmir (Elbir, 2010) kentlerinde topoğrafik, iklimsel, yapay unsurlarla ilişkilendirilerek farklı yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

Topoğrafik yapı hava kirliliğini etkileyen önemli bir etken olarak gözükmektedir (Ning ve ark., 2018). Nitekim çanak biçimli topoğrafya hava, rüzgâr, sıcaklık gibi iklimsel değişkenleri etkileyerek hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır (Hindman ve ark., 1996). Yüksek basınç şartları kirli havayla ilişkilendirilmiştir (Sindosi ve ark., 2003). Yüksek basınçlı yerleşim alanları hava kirliliği açısından yüksek konsantrasyon göstermektedir (Kukkonen ve ark., 2005). İncersiyon tabakası soğuk havanın yer değiştirememesi sonucu kirli havanın oluşmasına neden olmaktadır (Karadağ ve Koçman, 2007; LARGERON ve Staquet, 2016). Soğuk hava durgunsa ve topoğrafya, yapılaşma nedeniyle rüzgâr hızı düşükse, kirli hava artışı tetiklenmektedir. Rüzgâr hızı ortalamada 3 m/s'den daha azsa veya rüzgâr hızı kesilecek şekilde engellemeler varsa hava kirliliği o ortamda artma eğilimi göstermektedir (Ketterer ve Matzarakis, 2016; Radzka, 2020).

Hava kirliliğinin kent içindeki tahminleri makro ve mikro ölçekte ele alınmaktadır. Makro ölçekte incelenen çalışmalar kent formu ve makroformla ilgili problem üzerinde durmaktadır. Emisyon değerlerinin 12 yıllık verileri kullanılarak kentte kirlilik seviyesindeki değişimi inceleyen bir çalışmada, kentin büyüklüğü, kent düzensizliği durumu kriterlerine göre değerlendirilmiştir (Zhou ve ark., 2018). Hava kirliliği ve kent dokusu arasında önemli bir ilişki olduğu incelenmiştir (Bereitschaft ve Debbage, 2013). Kent sel sürekliliğinin olduğu yoğun yerleşim alanlarında kent sel sıçramanın olduğu bölgelere göre daha uygun hava şartlarına sahip olduğu bulunmuştur (Rodriguez ve ark., 2016; Lu ve Liu, 2018). Kent formu ve kirletici madde arasındaki ilişki birçok çalışmada nüfus yoğunluğu, iklim parametreleri ve kent makroformu ile ilişkilendirilmiştir. Yıllık kirletici değerleri dikkate alınan çalışmalarda CBS modellemeleri ve lineer regresyon modellerinde analizler yapılmıştır. Yerleşim alanı, iklim, nüfus parametrelerine bağlı olarak hava kirletici madde oranında artış gözlemlendiği belirlenmiştir (Stone, 2008; Bechle ve ark., 2011; Clark ve ark., 2011). Mikro ölçekte

sokak düzeyinde kirletici maddelerin hareketini gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Shi vd., 2018; Li ve ark., 2018; Yılmaz ve ark., 2022). Yüksek katlı yapıların oluşturduğu (Gökyüzü Görünürlük Oranı (GGO)'nın düşük olduğu dar kanyonlarında kirletici dağılımının mümkün olmadığı ve hava kirliliği sorununun daha da artırdığı belirlenmiştir. Rakowska ve ark., (2014)'a göre, dar caddelerde trafik daha da az olmasına rağmen, hava kirliliğinin geniş ve açık caddelerden daha fazla olduğu saptanmıştır. Yapılan araştırmalara göre; kent veya onu oluşturan sokak kanyonlarının uygun yön ve açıda konumlandırılması dış mekân termal konforu (Lee ve ark., 2020; Yavaş ve Yılmaz, 2020; Yılmaz ve ark., 2021b), doğru bitki tür seçiminin yapılması (Irmak ve ark., 2018; Dursun ve ark., 2020), hava kirliliği (Yılmaz ve ark., 2021a) gibi birçok sorununun azaltılmasında olumlu rol oynadığı ifade edilmiştir. Benzer şekilde doğal verilerin dikkate alınarak yapıldığı kent planlamalarında da olumlu sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir (Zhang ve Gu, 2013).

Makro ölçekte ve mikro ölçekte yapılan çalışmalar kent kompaktlığını veya sokak en boy oranlarını dikkate almaktadır. Ancak kent içerisinde farklı yerleşim dokularını gözlemleyebilmenin mümkün olduğu kentlerde yeni gruplandırma üzerinden analiz yapılması gerekli görülmüştür. Farklı konut dokularının hava kirliliği ile arasındaki ilişki literatürde zayıf kalmış bir konudur. Öte yandan literatür araştırmasında hava kirliliğinin seviyesi, nedenleri araştırılmış, ancak mekânsal tahminin yapılmasının sınırlı kaldığı incelenmiştir. Bu çalışma ile soğuk iklim bölgeleri için hava kirliliğinin farklı konut dokuları üzerinden mekânsal tahminiyle ilgili literatürdeki boşluğu doldurmak üzere kurgulanmıştır. Kış kenti kimliği ile markalaşmaya çalışan Erzurum'un, 600 hektarlık kentsel dönüşüm ve yenileme alanına sahip olması, elde edilen verilen plan kararlarına aktarılması bağlamında önemli olarak görülmektedir. Kirliliğin mekânsal tahminiyle ilgili oluşturulan metodoloji materyal ve yöntem bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Kent içerisindeki farklı konut dokusu, topoğrafya ve yakıt tüketimi ile ilişkisi göz önünde bulundurularak aşağıdaki araştırma soruları belirlenmiştir:

•Farklı konut dokularının hava kirliliği emisyon değerleri ve kirliliği tetikleyen coğrafi (basınç, rüzgâr, sıcaklık ve yükseklik değerleri) ve fiziksel değişkenler (doğalgaz ve kömür tüketim verileri, GGO ) arasında ilişki var mıdır?

•Farklı konut dokuları (apartman tipi, site tipi, müstakil tip, gecekondü tipi) arasında fark var mıdır?

#### **MATERYAL ve YÖNTEM**

Erzurum kenti deniz seviyesinden ortalama 1860m yükseklikte ve Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır (39.55E; 41.16N). 2012 yılında büyükşehir statüsüne sahip olup, nüfusu 2017 sayımlarına göre 760476 kişidir. Kent çanak formu coğrafi karakter sergilemektedir. Kentte konut

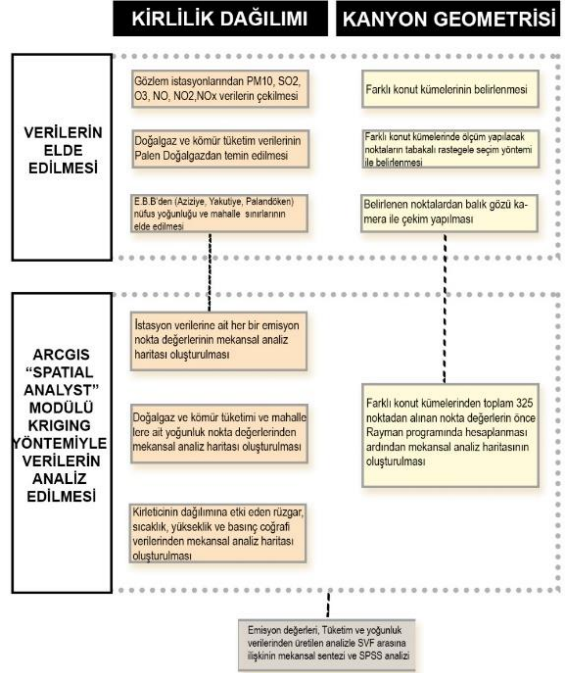
dokusuyla ilgili yapılan ön değerlendirme sonucunda kullanım yoğunluğuna göre dört farklı konut dokusu belirlenmiştir. Bu konut dokuları kentin genelini de temsil edecek şekilde tercih edilmiştir. Konut dokuları tekli konut, sıralı konut, toplu konut, gecekondur, teras ev, apartman ve site tipi şeklinde adlandırılmaktadır (Özgül, 2008; Akalın, 2016). Bu amaçla seçilen konut dokuları; apartman, site, müstakil ve gecekondur şeklinde sınıflandırılmıştır (Şekil 1). Kentte kışların uzun ve soğuk olması ısınma amaçlı yakıt tüketimini artırmaktadır. Kentte uzun yıllar iklim verisine göre elde edilen rüzgâr hızı ortalaması 2.7 m/s'dir (MGM, 2019). Hava basıncı mevsimler, yükseklik, yerçekimi, cephe ve basınç sistemlerine bağlı olarak değişmektedir. Yüksek basınç şartlarından dolayı kirli havanın kentte kalma süresinin uzadığı bilinmektedir. Hava kirliliği ölçümleri yapılan mobil istasyonların dağılımı ve çalışma alanı konumu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı konum haritası ve farklı konut dokusu tipleri

Kirliliğin kentte mekânsal dağılımıyla ilgili; kirletici faktörler (emiyon değerleri), coğrafi faktörler (basınç, rüzgâr, sıcaklık ve yükseklik değerleri) ve fiziksel faktörler (doğalgaz ve kömür tüketim verileri, GGO) olarak sınıflandırma yapılmıştır.

Çalışma alanı içinde, rüzgâr hızı ölçümleri "Trotec marka bz16 rüzgâr hızı ve sıcaklık ölçer cihazı ile 330 farklı noktadan yapılmıştır. Kente ait yükseklik değerlerine ASTER GDEM'den tiff formatında çekilen 65\*65 km ölçülerinde DEM verisi ile ulaşılmıştır. Basınç verilerine ise Erzurum Meteoroloji Bölge Müdürlüğü aracılığı ile ulaşılmıştır. Kirliliğe etki eden doğalgaz ve kömür tüketimi değişkenleri ve GGO fiziksel faktörler kapsamında değerlendirilmiştir. Doğalgaz ve kömür tüketim verilerine ise Palen Enerji Doğalgaz Dağıtım End ve Tic A.Ş.'den elde edilmiştir. Çalışmada izlenen yol yöntem akış şemasında verilmiştir (Şekil 2). Erzurum kent merkezinde belirlenen dört farklı konut dokusu, dört adet hava kirlilik ölçüm istasyonu verileri ve GGO ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada izlenen yöntem şeması

### Gökyüzü Görünürlük Oranının (GGO) Ölçümü

Kent dokusunda heterojen yapıya neden olan site, apartman, müstakil, gecekondur tipi konut kümelerinde 325 noktadan şansa bağlı olarak GGO ölçümleri alınmıştır. GGO değerleri için ise Nikon D5200 fotoğraf makinesi ve balık gözü lens kullanılmıştır. GGO parametresini hesaplamak için ise Rayman 1.2 programı kullanılmıştır. GGO birçok araştırmacı tarafından kanyon geometrisini tanımlamak için uygun parametreler olarak kabul edilmiştir (Lee ve ark., 2020; Yılmaz ve ark., 2021b). Kanyon geometrisi oranlarında '0' bölgede bir yapılaşma olmadığı, sıg kanyon özelliği taşıdığı, '4' ise derin kanyon formunu ifade etmektedir. GGO değerlerinde ise bu kanyon oranların sayısal karşılıkları farklıdır. Değer '1' e yaklaştıkça yapılaşmanın az ve gökyüzünün açık olduğu "1" den az olan ve "0" a yakın durumlarda ise derin kanyon formu, gökyüzünün görünürlüğünün düşük olduğunu göstermektedir (Gülten, 2007).

### Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler Arasındaki İlişki

Veriler arasındaki farkı ve ilişkiyi anlamak için IBM SPSS Statistics 20 programında istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Bu aşamaya geçmeden önce, enterpole edilmiş kirletici, coğrafi ve fiziksel faktörlerin analiz haritasında rastgele noktalar ArcGIS Extract Values From Points komutu ile atılmıştır (Apartman tipi yapılaşma; 342, site tipi yapılaşma; 374, gecekondur tipi yapılaşma; 261, müstakil tip yapılaşma: 156). Elde edilen veriler .xls formatında export edilerek IBM SPSS Statistics 20 programında analiz edilmiştir. Normallik testi sonucunda verilerin normal dağılmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle nonparametrik testlere başvurulmuştur.

•Farklı konut dokularında araştırma sorularına cevap bulabilmek amacıyla öncelikle Spearman korelasyon analizi ile veriler arasındaki ilişki sorgulanmıştır.

•Farklı konut dokularında emisyon değerleri ile diğer tüm parametreler arasında farkı tespit edebilmek amacıyla %95 güven düzeyinde Kruskal Wallis testi yapılmıştır.

•Konut dokuları arasında parametreler açısından fark olduğunu incelemek amacıyla Kruskal Wallis, hangi parametrelerin farklı olduğunu ortaya çıkarmak için %95 güven düzeyinde Posthoc – Games Howell analizi yapılmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Dört farklı konut tipolojisi ve kentin hava kirliliği değerleri analiz edilerek, haritalar üretilmiş ve analiz sonuçları konut dokusu analizleri bölümünde tartışılmıştır.

### Konut Dokusu Analizleri

Hava kirliliği ve konut dokusu arasındaki ilişkiyi analiz etmek üzere kentin farklı bölgelerinde 4 farklı konut tipolojisinde (site tipi, müstakil, apartman ve gecekondu tipi) 325 noktadan alınan GGO ölçümleri, bina yüksekliği, saha ölçümlerinden elde edilen mikro iklim verileri olarak rüzgâr hızı ve sıcaklık değerleri, rüzgâr yönü ve rakım değişkenleri kullanılmıştır. Konut dokuları kent içerisinde homojen dağılım sergilemediği için aşağıdaki açıklamalarda harflendirme ile ayrılmıştır.

### Apartman Tipi Konut Dokusu

Kent merkezinde bulunan apartman tipi yapılaşmanın olduğu bölgede, bina yükseklikleri, sokak yönelimleri, sokak genişliği değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda homojen olmayan dağılım incelenmiştir. Sokak yönelimleri tekil veya ikili benzer özellikler taşımamakta, farklı açılarda bulunmaktadır. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 76 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.1 ile 0.4 arasında değişiklik göstermekte, bina yükseklikleri 15-24 m arasında değişmektedir. Rüzgâr hızı ise 1.2 m/s ile 2.5 m/s arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 3a). Kentin kuzeyinde yer alan apartman tipi yapılaşmanın olduğu bölgede, sokak yönelimlerinde K-G ve D-B hakimdir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 35 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.4 ile 0.7 arasında değişiklik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 9-18 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 0.5 m/s ile 1.2 m/s arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 3b). Apartman tipi yapılaşmanın olduğu diğer bölgede, bina yükseklikleri, sokak yönelimleri, sokak genişliği değişkenleri homojen olmayan dağılım incelenmiştir. Yol açısı farklı olan sokaklarda GB-KD ve KB-GD yönelimleri hâkim olsa da diğer sokaklarda farklı açılarda yönelim incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 29 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.3 ile 0.6 arasında değişiklik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 12-18 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 0.5 m/s ile 1.2 m/s arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 3c).



Şekil 3. Apartman tipi konut dokusu; a) Lalapaşa Mah., Muratpaşa Mah., Ömer Nasuhi Bilmen Mah., Rabiaana Mah., Kazım Karabekir Mah.; b) Şükrüpaşa Mah. c) Abdurrahmangazi Mah., Ertuğrul Gazi Mah., Kazım Yurdalan Mah., Yunusemre Mah.

İstatistiki analizlerde apartman tipi yapılaşma için; doğal koşullar kapsamında ele alınan, basınç ile SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> değerleri arasında pozitif ilişki, O<sub>3</sub> le negatif ilişki bulunmuştur. Rüzgâr ve SO<sub>2</sub> arasında pozitif ilişki, CO, NO<sub>x</sub>,

NO, NO<sub>2</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. Sıcaklık ve NO arasında pozitif ilişki bulunmuş, SO<sub>2</sub> ile negatif ilişki tespit edilmiştir. Kentin fiziksel koşulları kapsamında ele alınan doğal gaz tüketim verileri ile SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> arasında pozitif ilişki, CO ve O<sub>3</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. Kömür tüketim verileri ile SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> arasında pozitif ilişki, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. GGO ve O<sub>3</sub> arasında pozitif ilişki bulunmuştur. SO<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>2</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. Apartman tipi konut dokusu mekânsal analizlerde kirliliği tetikleyen faktörlerin en yoğun olduğu bölge olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra doğal koşul parametrelerinden rüzgâr ve sıcaklık parametrelerinin SO<sub>2</sub> ile arasında pozitif ilişki olması konut dokusundaki sokak yönelmeleri ve bina yüksekliklerinin farklı oranların etkisini göstermektedir. Nitekim rüzgâra dik açılarda yerleştirilmiş yapılaşma deseninin, rüzgârın kent içerisinde dolaşımına engel olduğu tespit edilmiştir (Schatzmann ve ark., 2000; Zhang ve ark., 2015). Nispeten güçlü hava kirliliği atakları, çoğunlukla 1 m/s - 3 m/s den daha az olan düşük rüzgâr hızıyla ilişkili hava koşullarında şiddetlenmektedir (Ketterer ve Matzarakis, 2016). Yakıt tüketim değerlerinin SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> değerleri ile pozitif ilişkili olması ise kömür tüketimi kaynaklı artan SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> ile ilişkilidir. Ayrıca GGO değeri ile negatif ilişkili olan yakıt tüketimi GGO değerinin düştükçe ısınma ihtiyacının arttığını göstermektedir. Apartman tipi yapılaşmada farkı en/boy oranına sahip binalar Nosek ve ark. 2018'e benzer şekilde farklı bina yüksekliklerine sahip yerleşim alanında sokak yönelmelerinin kirlilik dağılımında birincil faktör olarak ön plana çıktığı incelenmiştir (Nosek ve ark. 2018).

#### Site Tipi Konut Dokusu

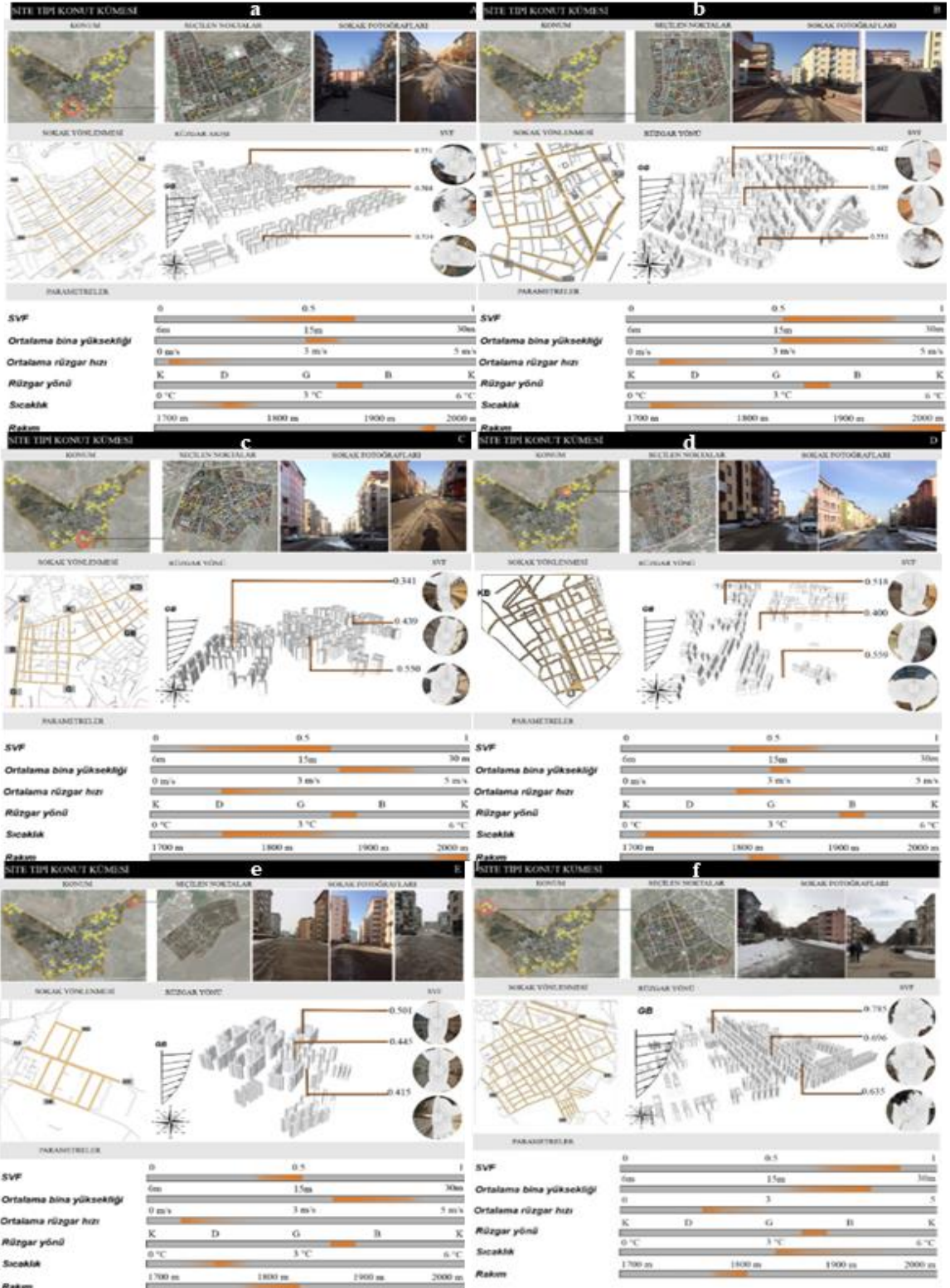
Kentin güneybatısında gecekondu önleme bölgesi olarak kurulan yerleşim alanı ızgara plan üzerine oturtulmuştur. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 24 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.4 ile 0.6 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 15-18 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 0.8 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4a). Kentin güneyinde bahçeli konut dokusu niteliği taşıyan yerleşim alanında yatay ekseninde sokaklar D-B yönündeyken kuzey ekseninde değişkenlik göstermektedir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 17 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.6 ile 0.8 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 15-24 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 0.6 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4b). Palandöken dağı eteklerinde kurulmuş olan yerleşim alanında apartman ve site tipi yapılaşma hakimdir. Sokak yönelmelerinde ise K-G ve D-B ile GB- KD ve GD-KD olmak üzere 2 tip sokak yönelmesi incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 21 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.2 ile 0.6 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 18-27 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 1.5 m/s ile 2.5

m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4c). Kentin kuzeyinde yeni yerleşim alanları arasındaki bölgede sokak yönelmeleri GB- KD yönünde ve GD-KB yönünde değişmektedir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 8 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.4 ile 0.6 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 15-18 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 1.8 m/s ile 3.0 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4d). Kent makroformunun kuzey ucunda yeni gelişim alanı olarak nitelendirilen yerleşim alanında site tipi yapılaşmalar hakimdir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 4 nokta seçilmiştir. Güneybatı'dan gelen hâkim rüzgâra paralel sokakların olduğu alanda diğer parametreler: GGO değerleri 0.4 ile 0.5 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 18-24 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 0.6 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4e). Kent merkezinde uydu kent olarak kurulmuş olan kentin batısında yer alan yerleşim alanında apartman ve site tipi yapılaşma hakimdir. Sokak yönelmeleri GB-KD ile GD-KB şeklinde incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 12 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.6 ile 0.8 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 15-24 m arasında değişmektedir. Rüzgâr hızı ise 1.6 m/s ile 2.3 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4f).

İstatistiksel analizlerde site tipi yapılaşma için; doğal koşullar kapsamında ele alınan yükselti ile emisyon değerleri arasında ilişki bulunmamıştır. Basınç ile SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> hariç diğer emisyon değerleri arasında pozitif ilişki, O<sub>3</sub> ile negatif ilişki bulunmuştur. Rüzgâr hızı ve SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında pozitif ilişki bulunmuştur. Sıcaklık ve NO arasında pozitif ilişki bulunmuş, SO<sub>2</sub> ile negatif ilişki tespit edilmiştir. Kentin fiziksel koşulları kapsamında ele alınan doğal tüketim verileri ile SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> arasında pozitif ilişki, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. Kömür tüketim verileri ile SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> arasında pozitif ilişki, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. GGO ve O<sub>3</sub> arasında pozitif ilişki bulunmuştur. SO<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>2</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur.

Site tipi konut dokusunda apartman tipi yapılaşmaya benzer olarak rüzgâr hızının emisyon değeriyle orantılı olarak artması gözlenmiştir. Ancak emisyon değerlerinin daha düşük olması sokak yönelmelerinin güneybatı yönelimle olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Nitekim Hang ve ark. (2009) tarafından rüzgâr açısının sokağa paralel olması kirlenmeye katkı sunduğu ifade edilmiştir (Hang ve ark., 2009). Ayrıca rüzgâr hızının apartman tipi yapılaşmaya göre daha fazla olması kirlenmeye katkı sunduğu ifade edilmiştir (Zhang ve ark., 2015). Apartman tipi yapılaşmada sokak yönelmeleri nedeniyle girdap oluşumu söz konusu olurken site tipi yapılaşmada bu durum söz konusu değildir (Hoydysh ve Dabberdt, 1988).

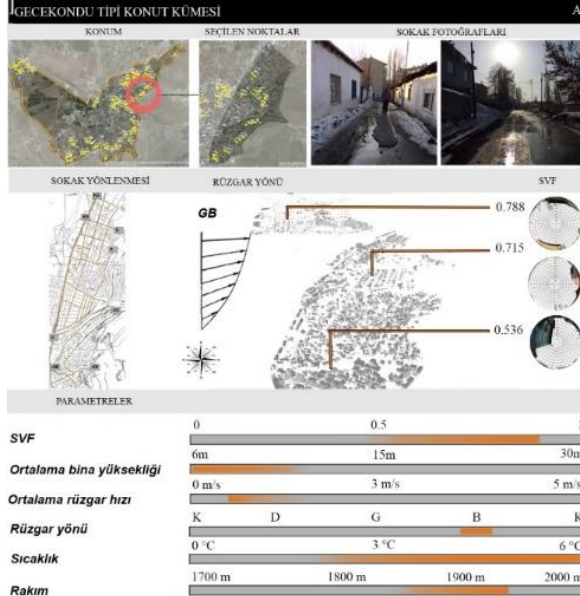
Farklı Konut Dokularının Hava Kirliliği Yoğunluğu Üzerindeki Etkisi:  
Erzurum Örneği



Şekil 4. Site tipi konut dokusu, a) Adnan Menderes Mah., Hacı Salih Efendi Mah., Hacı Ahmet Baba Mah., Mehmet Akif Ersoy Mah., Solakzade Mah., Ş.İsmail Aksu Mah.); b) Osmangazi Mah.); c) Osmanbektaş Mah.; d) Şükrüpaşa Mah.; e) Kurtuluş Mah.; f) Alparslan Mah., Abdülhamit Mah

### Gecekondu Tipi Konut Dokusu

Gecekondu tipi yapılaşmanın olduğu bölgede kömür tüketimi diğer bölgelere oranla daha fazladır. Sokak yönlendirmeleri farklı açılarda bulunmaktadır. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 54 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.4 ile 0.75 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de 6-9 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 0.6 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 5). Kent genelinde gecekondu özelliğinde fazla çeşitlilik olmadığı için tek alanda çalışma yapılmıştır.



Şekil 5. Gecekondu tipi konut dokusu, Kurtuluş Mahallesi

İstatistiksel analizlerde gecekondu tipi yapılaşma için; doğal koşullar kapsamında ele alınan basınç ile SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında pozitif ilişki, O<sub>3</sub> ile negatif ilişki bulunmuştur. Yükselti ile CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında pozitif ilişki bulunmuştur. Rüzgâr ve emisyon değerleri arasında ilişki bulunmamıştır. Sıcaklık ve SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında pozitif ilişki bulunmuştur. Kentin fiziksel koşulları kapsamında ele alınan doğal gaz ve kömür tüketim verileri ile SO<sub>2</sub> arasında pozitif ilişki, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. GGO ile SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. Rüzgâr hızının arttıkça hava kirliliği oranının iyileştiği bilinmektedir (Zhang ve ark., 2015). 0.6/1.5 m/s arasında değişen rüzgâr hızı kirlilik değerleri üzerinde etkili olmamıştır. Öte yandan diğer konut dokularına paralel olarak sıcaklık arttıkça emisyon değerlerinin arttığı incelenmiştir.

### Müstakil Tip Konut Dokusu

Müstakil tipi yapılaşmanın olduğu kentin batısında yer alan bölgede kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 12 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.7 ile 0.9 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 6-9 m arasında

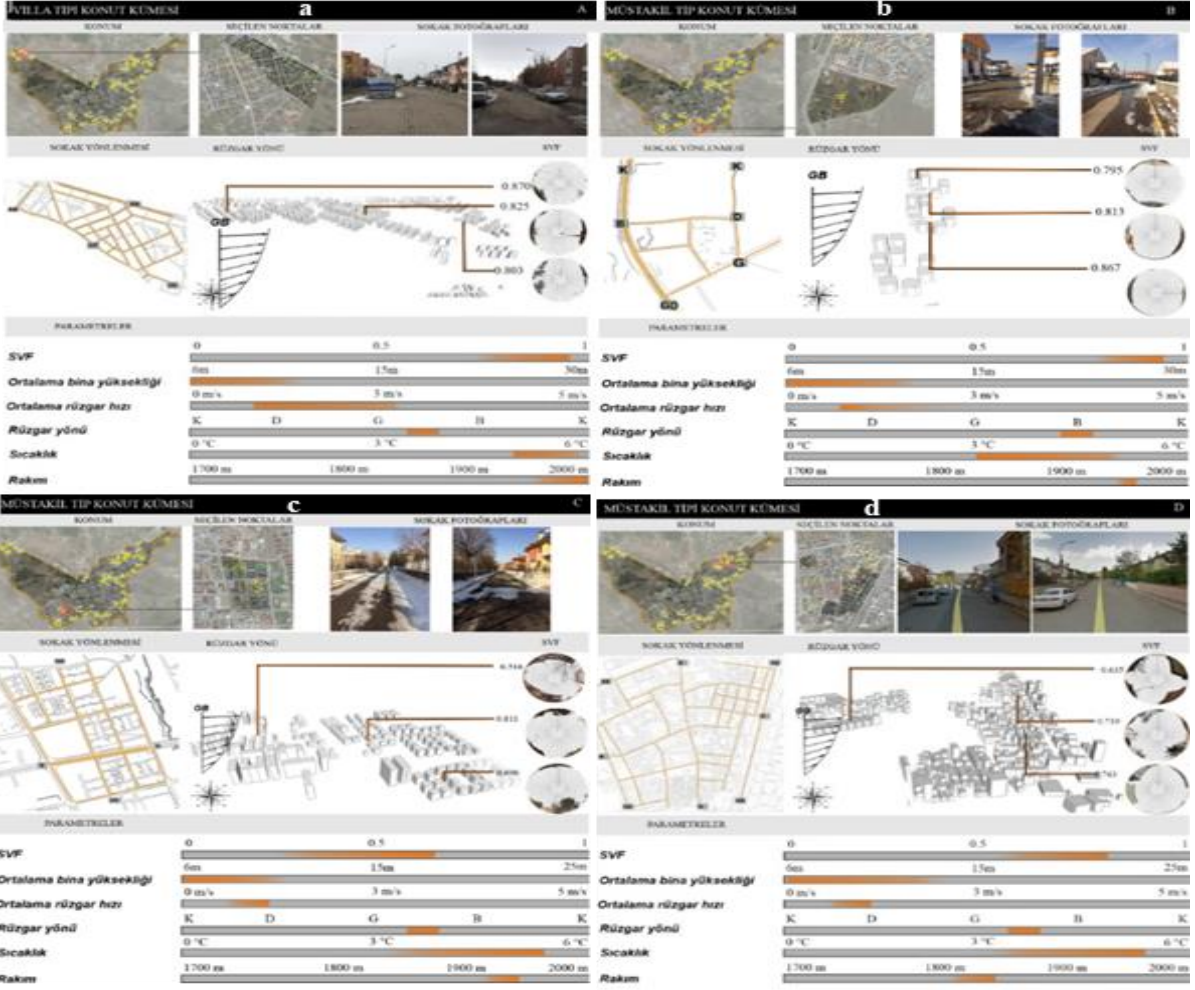
değişmektedir. Rüzgâr hızı ise 1.2 m/s ile 3 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 6a). Müstakil tipi yapılaşmanın olduğu diğer kentin güneyinde yer alan bölgede, kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 4 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.6 - 0.9 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 6-9 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 1.2 m/s ile 2 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 6b). Kentin güney batısında yer alan bölgede kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 10 nokta seçilmiştir. Sokak yönlendirmeleri GB-KD ve KB-KD şeklindedir. GGO değerleri 0.5 ile 0.8 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 6-9 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 0.6 m/s ile 1.5 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 6c). Kentin kuzeyinde müstakil tip yapılaşmanın hâkim olduğu bölgede sokak yönlendirmeleri K-G ve D-B olarak incelenmiştir. Kanyon geometrisini tahmin etmek üzere yerleşim alanında şansa bağlı olarak 13 nokta seçilmiştir. GGO değerleri 0.6 ile 0.8 arasında değişkenlik göstermekte, bina yükseklikleri de doğru orantılı olarak 6-9 m yüksekliklere çıkmaktadır. Rüzgâr hızı ise 0.5 m/s ile 1.2 m/s arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 6d).

İstatistiksel analizlerde müstakil tip yapılaşma için; doğal koşullar kapsamında ele alınan basınç ile SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında pozitif ilişki, O<sub>3</sub> ile negatif ilişki bulunmuştur. Yükselti ile SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. Rüzgâr ve sıcaklık ile SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında pozitif ilişki, O<sub>3</sub> ile negatif ilişki bulunmuştur. Kentin fiziksel koşulları kapsamında ele alınan doğalgaz tüketim verileri ile SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında pozitif, O<sub>3</sub> ile negatif ilişki bulunmuştur. Kömür tüketim verileri ile SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> arasında negatif ilişki, O<sub>3</sub> arasında pozitif ilişki bulunmuştur. GGO ile O<sub>3</sub> arasında negatif ilişki bulunmuştur. Yapılan literatür analizlerine paralel olarak basınç artıp, yükseklik azaldıkça (Erzurum topoğrafik koşullarında yüksekliğin azalması çanak topoğrafyanın ortaya çıkışına neden olur) kirlilik değerleri artmıştır. Benzer şekilde rüzgâr hızı arttıkça emisyon değerlerinin artması apartman tipi yapılaşmaya benzer şekilde 3 m/s'den düşük olması nedeniyle uyum göstermektedir. Ancak rüzgâr hızı düşük olsa bile emisyon değerlerinin diğer konut dokularına göre düşük olmasında sokak yönlendirmelerinin rüzgâr yönüne paralel olması etkili olmaktadır (Ketterer ve Matzarakis, 2016). Müstakil tip yapılaşmada GGO oranları düşük olduğu ve kanyon karakteristiği taşımadığı için emisyon değerleri dolayısı ile ilişkili bulunmamıştır. Nitekim, Vardoulakis ve ark. (2007) tarafından kanyon karakteristiği gösteren bölgelerde hava kirliliğinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

### Farklı Konut Dokularının Karşılaştırılmasında Kullanılan İstatistik Verileri

Çalışma alanı içinde belirlenen dört farklı konut dokusu özellikleri ile alanın fiziksel ve mikro iklim özellikleri, hava kirliliği parametreleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Farklı Konut Dokularının Hava Kirliliği Yoğunluğu Üzerindeki Etkisi:  
Erzurum Örneği



Şekil 6. Müstakil tip konut dokusu, a) Ahmet Yesevi Mah. Bilal Habeşi Mah.; b) Osmanbeytaş Mah.; c) Adnan Menderes Mah.; d) Şükrüpaşa Mah.

Tablo 1. Konut dokuları arasında parametreler açısından farklılıkların tespit edilmesi

	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	Basınç	Yükselti	Rüzgâr	Sıcaklık	Dgaz	Kömür	GGO
Apt	d,e	d,e	d,e,f	d,e,f	d,e,f	d,e,f		d,e,f				d,e	d,e	
Site	b	b	b	b	b	b	a,c	b		a,b,c	a	a	b	a
Gecek.			j,l	j,l	j,l	j,l	k	j,l	j,k,l	k,l	j,k	j,k,l	j,k,l	k
Müstakil								g,h,l			g,h,l			g,h,l

- a: Site tipi konut dokusu apartman tipinden daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
b: Site tipi konut dokusu gecekondut tipinden daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
c: Site tipi konut dokusu müstakil tipten daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
d: Apartman tipi konut dokusu site tipinden daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
e: Apartman tipi konut dokusu gecekondut tipinden daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
f: Apartman tipi konut dokusu müstakil tipten daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
g: Gecekondut tipi konut dokusu site tipinden daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
h: Gecekondut tipi konut dokusu apartman tipinden daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
ı: Gecekondut tipi konut dokusu müstakil tipten daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
j: Müstakil tip konut dokusu site tipinden daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
k: Müstakil tip konut dokusu apartman tipinden daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.  
l: Müstakil tip konut dokusu gecekondut tipinden daha fazla yoğunluk değerine sahiptir.



Konut dokuları arasındaki farklılıklar genel olarak incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır:

- Apartman tipi konut dokusu, emisyon değerleri ve basınç değerleri açısından diğer konut dokularına göre anlamlı olarak daha yoğun, doğalgaz ve kömür tüketimi konusunda gecekondu tipi yapılaşma hariç diğer konut dokuların anlamlı olarak daha yoğun değere sahiptir.
- Site tipi konut dokusu diğer konut dokularından rüzgâr hızı konusunda anlamlı olarak daha yoğun değere sahiptir.
- Gecekondu tipi konut dokusu yükselti ve yakıt tüketimi konusunda diğer konut dokularından anlamlı olarak daha yoğun değere sahiptir.
- Müstakil tip konut dokusu O<sub>3</sub>, sıcaklık ve GGO ile diğer konut dokularından anlamlı olarak daha yüksek değere sahiptir.

Yüksek katlı konut dokularının olduğu site ve apartman tipi yapılaşmada emisyon değerlerinin basınç, yakıt tüketimi, GGO arasındaki ilişki benzer olmasına rağmen rüzgâr hızı ile ilişkinin farklı olduğu tespit edilmiştir. Emisyon değerlerinin apartman tipi yapılaşmada, rüzgâr hızının site tipi yapılaşmada daha fazla olduğu göz önünde bulundurulduğunda sokak yönlenmelerinin ve rüzgâr hızı eşik değerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Site tipi konut dokusunda sokak yönlenmeleri rüzgârı yönüne paralel, apartman tipi yapılaşmada ise rüzgâr hızı 3 m/s'den düşüktür (Jeanjean ve ark., 2016). En/boy oranının düşük konut dokularının olduğu müstakil tip ve gecekondu tipi yapılaşmada ise yakıt tüketimi ve GGO oranı dikkati çekmektedir. Gecekondu tipi yapılaşmada kömür tüketiminin fazla olması şehir deseninde kirliliği tetikleyen birincil parametrenin yakıt tüketimi olduğunu göstermektedir. Çünkü gecekondu alanlarında genellikle kömür veya lastik benzeri malzemelerin ısınma amaçlı tüketimi hava kirliliğini artırmaktadır.

## SONUÇ

Uzun yıllardır doğal ve yapay faktörler nedeniyle hava kirliliğine maruz kalan Erzurum kenti henüz sağlıklı bir yaşam konforuna ulaşamamıştır. Soğuk iklim şartlarına sahip Erzurum kentinde evsel yakıt tüketimi kaynaklı kirlenici gazların atmosfere yayılması kirliliğin birincil kaynağı olarak görülmektedir. Ayrıca kentin morfolojik ve meteorolojik koşulları da bu etkiyi artırmaktadır. Hava kirliliği ve kentin fiziki yapısını oluşturan farklı konut tipolojileri arasındaki ilişkinin analizi ile literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Kentin doğal koşullarını oluşturan, basınç, yükselti, rüzgâr hızı ve sıcaklık; fiziksel koşullarını oluşturan doğalgaz ve kömür tüketimi ve GGO değerleri ile emisyon değerleri arasındaki ilişki incelenmiş, mekânsal olarak hava kirliliğinin en yüksek olduğu bölgeler tespit edilmiş, kirliliği tetikleyen ana parametreler ortaya konulmuştur.

Hava kirliliği emisyon değerleri dolayısıyla yakıt tüketimi kirliliği etkileyen birincil parametre olarak bulunmuştur.

Gecekondu tipi yapılaşma ideal en boy oranına sahip olmasına ve rüzgâr hızıyla emisyon değerleri arasında ilişki olmamasına rağmen hava kirliliğinin yüksek olduğu bölgelerdendir. Bunun nedeni de kullanılan yakıt türünden kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra hava kirliliğini tetikleyen ikincil parametre olarak rüzgâr hızı ve sokak yönelmeleri gelmektedir. Site tipi yapılaşma ve apartman tipi yapılaşmadaki coğrafi (basınç ve rüzgâr) ve fiziksel koşullar emisyon değerleri ile benzer koşullara sahip olmasına rağmen rüzgâr hızı ile benzer ilişkide bulunmamıştır. Burada konut dokusunun rolü ön plana çıkmaktadır. Apartman tipi yapılaşmada kirliliği azaltmak amacıyla rüzgârı hızlandıran müdahalelerde bulunulması önerilmektedir. Her konut dokusu için rüzgârı önleyici, hızlandırıcı veya hızını düşüren farklı önlemler alınması gerekmektedir.

Son yıllarda gündeme gelen sürdürülebilir, ekolojik kentler oluşturma çabalarının politika geliştirme düzeyinde kaldığı, planlama ve tasarım uygulamalarına yansıtılmadığı görülmektedir. Çalışma alanı olarak belirlenen Erzurum'un etrafının yüksek dağlarla çevrili olması, uzun ve sert kış koşullarına bağlı olarak artan fosil yakıt tüketimi ve rüzgâr hareketliliğinin sınırlı olması hava kirliliği sorununu daha da artırmaktadır. Bu durum sık sık basında da gündeme gelmektedir (21. 01. 2019 Ocak CNN-Erzurum Haber). Plan kararlarında kentin doğal-kültürel değerleri ve mikroklimatik verilerinin kullanılması, sürdürülebilir yaşam alanlarının oluşumunu desteklemektedir. Erzurum'daki kentsel dönüşüm alanları göz önünde bulundurulduğunda yerel yönetimlerin, şehir plancılarının, peyzaj mimarlarının doğal koşulları göz önünde bulundurarak, mekâna özgü kentsel tasarım önerilerini üretmesinin gerekliliği açıktır.

## KAYNAKLAR

- Akalın, M. (2016). Mekânsal ayrışmanın bir yeni biçimi olarak kapalı/kapılı siteler: Akkent konutları örneği. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 923-956.
- Başar, P., Okyay, P., Ergin, F., Coşan, S., Yıldız, A. (2005). Aydın İli Kent Merkezinde Hava Kirliliği / 1997-2004\*. *ADÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 6(3), 11-15.
- Bechle, M. J., Millet, D. B., & Marshall, J. D. (2011). Effects of income and urban form on urban NO<sub>2</sub>: Global evidence from satellites. *Environmental science & technology*, 45(11), 4914-4919.
- Bereitschaft, B., & Debbage, K. (2013). Urban Form, Air Pollution, and CO 2 Emissions in Large U.S. Metropolitan Areas. *The Professional Geographer*, 65(4), 612- 635.
- Bharath, HA.; Chandan, MC.; Nimish, G. (2019). Assessing land surface temperature and land use change through spatio-temporal analysis: a case study of select major cities of India. *Arab. J. Geosci.*, 12 (11): 367.
- Cavkaytar, Ö., Uysal, S. Ö., & Şekerel, B.E. (2013). Türkiye'de Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Sağlık Sorunları. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 2, 105-111.

- Chandan, M. C., Nimish, G., & Bharath, H. A. (2020). Analysing spatial patterns and trend of future urban expansion using SLEUTH. *Spatial Information Research*, 28(1), 11-23.
- Clark, L. P., Millet, D. B., & Marshall, J. D. (2011). Air quality and urban form in U.S. urban areas: Evidence from regulatory monitors. *Environmental Science and Technology*, 45, 7028–7035.
- Çobanyılmaz, P., & Yüksel, Ü. D. (2013). Kentlerin iklim değişikliğinden zarar görebilirliğinin belirlenmesi: Ankara Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(3), 39-50.
- Dursun D., Yavaş M., Yılmaz S. (2020). Microclimate Assessment of Design Proposals for Public Space in Cold Climate Zone: Case of Yakutiye Square; Soğuk İklim Bölgesinde Kamusal Alanda Tasarım Önerilerinin Mikro İklim Yönünden Değerlendirmesi: Yakutiye Meydanı Örneği. *MEGARON*, 2020; 15(2):321-33.
- Elbir, T., Bayram, A., Melik, K. A. R. A., Altıok, H., Seyfioğlu, R. S., Ergün, P., & Şimşir, S. (2010). İzmir kent merkezinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 12(1), 1-17.
- Gülten, A. (2007). Kent Dokusunda Güneş Işınımından Yararlanmak İçin Cadde-Bina İlişkinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özgülven, U. Ö. (2008). *İstanbul'daki Lüks Konutların İncelenmesi Ve Farklı Tiplerinin Karşılaştırılması Farklı Tiplerinin Karşılaştırılması*. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hang, J., Sandberg, M., Li, Y., & Claesson, L. (2009). Pollutant dispersion in idealized city models with different urban morphologies. *Atmospheric Environment*, 43(38), 6011–6025.
- Heal, M. R., Kumar, P., & Harrison, R. M. (2012). Particles, air quality, policy and health. *Chemical Society Reviews*, 41(19), 6606-6630.
- Hindman, E. E., & Upadhyay, B. P. (2002). Air pollution transport in the Himalayas of Nepal and Tibet during the 1995–1996 dry season. *Atmospheric Environment*, 36(4), 727-739.
- Hoydysh, W. G., & Dabberdt, W. F. (1994). Concentration fields at urban intersections: fluid modeling studies. *Atmospheric Environment*, 28(11), 1849-1860.
- Irmak, A., Yılmaz S., Mutlu E., Yılmaz H. (2018). Assessment of the effects of different tree species on urban microclimate. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: (16); 15802–15822.
- Jeanjean, A. P., Monks, P. S., & Leigh, R. J. (2016). Modelling the effectiveness of urban trees and grass on PM2.5 reduction via dispersion and deposition at a city scale. *Atmospheric Environment*, 147, 1-10.
- Karadağ, A., & Koçman, A. (2007). Coğrafi çevre bileşenlerinin kentsel gelişim süreci üzerine etkileri: Ödemiş (İzmir) örneği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 16(1-2), 3-16.
- Karagulian, F.; Belis, CA.; Dora, CFC. (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): a systematic review of local source contributions at global level. *Atmos. Environ.*, 120: 475-483.
- Karbuç, İ. (2016). Tekirdağ'da Hava Kirliliğine Coğrafi Bakış. *The Journal Of Academic Social Science Studies*, 44, 363-376.
- Ketterer, C., & Matzarakis, A. (2016). Mapping the Physiologically Equivalent Temperature in urban areas using artificial neural network. *Landscape and Urban Planning*, 150, 1–9.
- Koç, F. & Koç, A. (2018). An Assessment Through Relationship Between Air Pollution and Climatic Parameters in City of Igdir. *Kent Akademisi*, 11(1), 1-10.
- Kukkonen, J., Pohjola, M., Sokhi, R. S., Luhana, L., Kitwiroon, N., Fragkou, L., & Finardi, S. (2005). Analysis and evaluation of selected local-scale PM10 air pollution episodes in four European cities: Helsinki, London, Milan and Oslo. *Atmospheric environment*, 39(15), 2759-2773.
- Largerion, Y., & Staquet, C. (2016). Persistent inversion dynamics and wintertime PM10 air pollution in Alpine valleys. *Atmospheric Environment*, 135, 92-108.
- Lee, H.; Mayer, H.; W. Kuttler, W. (2020). Impact of the spacing between tree crowns on the mitigation of daytime heat stress for pedestrians inside E-W urban street canyons under Central European conditions. *Urban For. Urban Green.*, 48:126558
- Li, C., Wang, Z., Li, B., Peng, Z.-R., & Fu, Q. (2018). Investigating the relationship between air pollution variation and urban form. *Building and Environment*.
- Liu, Y.; Gao, C.; Lu, Y. (2017). The impact of urbanization on GHG emissions in China: the role of population density. *J. Clean. Prod.*, 157: 299-309.
- Lu, C., & Liu, Y. (2016). Effects of China's urban form on urban air quality. *Urban Studies*, 53(12), 2607–2623.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü
- Ning, G., Wang, S., Yim, S. H. L., Li, J., Hu, Y., Shang, Z., Wang, J., and Wang, J.: (2018) Impact of low-pressure systems on winter heavy air pollution in the northwest Sichuan Basin, China, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 13601–13615.
- Nosek, Š., Fuka, V., Kukačka, L., Kluková, Z., & Jaňour, Z. (2018). Street-canyon pollution with respect to urban-array complexity: The role of lateral and mean pollution fluxes. *Building and Environment*, 138(February), 221–234.
- Özşahin, E., Eroglu, I., & Pektezel, H. (2016). Kesan'da (Edirne) Hava Kirliliği/Air Pollution in Kesan (Edirne). *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (36), 83.
- Radzka, E. (2020). The effect of meteorological conditions on air pollution in Siedlce. *Journal of Ecological Engineering*, 21(1), 97-104.
- Rakowska, A.; Wong, KC.; Townsend, T. (2014). Impact of traffic volume and composition on the air quality and pedestrian exposure in urban street canyon. *Atmos. Environ.*, 98:260-270

- Ritz, B., & Yu, F (2000). Parkinson's disease mortality and pesticide exposure in California 1984–1994. *International Journal of Epidemiology*, 29(2): 323–329.
- Rodríguez, Algeciras, J. A., Gómez Consuegra, L., & Matzarakis, A (2016). Spatiotemporal study on the effects of urban street configurations on human thermal comfort in the world heritage city of Camagüey-Cuba. *Building and Environment*, 101, 85–101.
- Sari E.N., Yilmaz S., Yilmaz B.G. (2020). Definition of Pedestrian Friendly Street Parameters and Evaluation in the Case of Erzurum City. Pedestrians, Urban Spaces and Health Proceedings of the XXIV International Conference on Living and Walking in Cities (LWC, September 12-13, 2019, Brescia, Italy). Edited By Maurizio Tira, Michèle Pezzagno, Anna Richiedei, Taylor & Francis.
- Schatzmann, M., Leitl, B., Liedtke, J. (2000). Dispersion in urban environments- comparison of field measurements with wind tunnel results. *Environ. Monit. Assess.* 65, 249e257.
- Shi, Y., Xie, X., Fung, J. C. H., & Ng, E. (2018). Identifying critical building morphological design factors of street-level air pollution dispersion in highdensity built environment using mobile monitoring. *Building and Environment*, 128(November 2017), 248–259.
- Sindosi, O. A., Katsoulis, B. D., & Bartzokas, A. (2003). An objective definition of air mass types affecting Athens, Greece; the corresponding atmospheric pressure patterns and air pollution levels. *Environmental Technology*, 24(8), 947-962.
- Stone, B. (2008). Urban sprawl and air quality in large US cities. *Journal of Environmental Management* 86:688–98.
- Vardoulakis, S., Valiantis, M., Milner, J., & ApSimon, H. (2007). Operational air pollution modelling in the UK—Street canyon applications and challenges. *Atmospheric Environment*, 41(22), 4622-4637.
- Yavaş, M., Yilmaz S (2020). Climate Sensitive Urban Design Principles: The Case of Erzurum City. İklim Duyarlı Kentsel Tasarım İlkeleri: Erzurum Kenti Örneği. *Planlama* 2020;30(2):294–312
- Yilmaz, S.; Sezen, I.; Sari, EN., (2021a). The relationships between ecological urbanization, green areas, and air pollution in Erzurum/Turkey. *Environ Ecol Stat.*, 28, 733–759.
- Yilmaz, S., Mutlu B.E., Aksu A., Mutlu E., Qaid A., (2021b). Street design scenarios using vegetation for sustainable thermal comfort in Erzurum, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (3):3672–3693.
- Yilmaz, S., Mutlu E., Yilmaz H. (2018). Alternative Scenarios For Ecological Urbanizations Using Envi-Met Model. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (26): 26307– 27.
- Yilmaz, S., 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*, 109210.
- Yilmaz, S., & Öz, İ. S. (2004). Erzurum Kentinde Hava Kirliliğine Karşı Halkın Duyarlılığının Belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2), 199–206.
- WHO (2021). Ambient air pollution- a major threat to health and climate. <https://www.who.int/airpollution/ambient/en>
- Zhang, Y. & Gu, Z., (2013). Air quality by urban design. *Nat. Geosci.*, 6: 506.
- Zhang, H., Xu, T., Zong, Y., Tang, H., Liu, X., & Wang, Y. (2015). Influence of Meteorological Conditions on Pollutant Dispersion in Street Canyon. *Procedia Engineering*, 121, 899–905.
- Zhou, C., Li, S., & Wang, S. (2018). Examining the impacts of urban form on air pollution in developing countries: A case study of China's megacities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8).

