

Ofis Binalarında İç Mekân Hava Kalitesinin Ölçümler ve Kullanıcı Algısı Üzerinden Değerlendirilmesi: Konya Selçuklu Belediyesi Hizmet Binası Örneği

Hasan KORKMAZ¹  Ayşegül TEREÇİ^{2*} 

¹ KTO Karatay Üniversitesi, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 06.07.2026
Kabul Tarihi: 10.08.2026
Yayın Tarihi: 30.09.2026

Anahtar Kelimeler:

Ofis binaları,
İç mekân hava kalitesi,
Ölçüm ve anket.

ÖZET

Bu makale, ofis binalarında doğal ve mekanik havalandırma sistemlerinin iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkilerini deneysel ölçümler ve kullanıcı memnuniyeti verileri doğrultusunda değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, yoğun kullanıcı kapasitesine sahip Konya Selçuklu Belediyesi Hizmet Binasında yürütülmüş ve farklı kullanım özelliklerine sahip dört ofis örneklem olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında yaz ve kış dönemlerinde sıcaklık, bağıl nem, karbondioksit (CO₂) ve PM_{2.5} konsantrasyonları ölçülmüş, iç ortam verileri dış ortam hava kalitesi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca 33 çalışanın katılımıyla gerçekleştirilen memnuniyet anketi aracılığıyla fiziksel çevre koşulları ile kullanıcı sağlığı ve konforu arasındaki ilişki incelenmiştir. Bulgular, kış döneminde sıcaklıkların önerilen konfor sınırlarını aştığını, bağıl nemin ise %30'un altına düşerek kuru iç ortam koşulları oluşturduğunu göstermektedir. Kullanıcı yoğunluğuna bağlı olarak bazı ofislerde CO₂ düzeyleri 1000 ppm sınırını aşmış, en yüksek değer 1835 ppm olarak ölçülmüştür. Kış aylarında dış ortam kaynaklı PM_{2.5} kirliliğinin iç ortama yansıdığı, yaz döneminde ise mekanik filtreleme sayesinde partikül seviyelerinin azaldığı belirlenmiştir. Doğal havalandırmanın uygulandığı ofislerde pencere açılmasıyla CO₂ konsantrasyonlarının hızla düştüğü ve kirlenmelerin etkin biçimde uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir. İstatistiksel analizlerde sıcaklık ile CO₂ arasında orta düzeyde pozitif korelasyon bulunmuş, kullanıcı yoğunluğunun her iki parametreyi de artırdığı görülmüştür. Anket sonuçlarına göre çalışanların %66,8'i iç mekân hava kalitesinden memnun olmadığını belirirken, en yaygın sağlık şikâyetleri yorgunluk, baş ağrısı ve burun tıkanıklığı olmuştur. Katılımcıların %72,7'sinin bina dışına çıktıktan sonra semptomlarının azaldığını ifade etmesi, Hasta Bina Sendromu riskini desteklemektedir. Sonuç olarak, kamu binalarında iç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesi için doğal havalandırmanın desteklenmesi, CO₂ sensörlü talep kontrollü havalandırma sistemlerinin uygulanması ve kullanıcı odaklı işletme stratejilerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

Evaluation of Indoor Air Quality in Office Buildings Based on Measurements and User Perception: The Case of the Konya Selçuklu Municipality Service Building

Article Info

Received: 06.07.2026
Accepted: 10.08.2026
Published: 30.09.2026

Keywords:

Office buildings,
Indoor air quality,
Surveys and questionnaires.

ABSTRACT

This article aims to evaluate the effects of natural and mechanical ventilation systems on indoor air quality in office buildings, based on experimental measurements and user satisfaction data. The research was conducted at the Konya Selçuklu Municipality Service Building, which has a high user capacity, and four offices with different usage characteristics were selected as a sample. As part of the study, temperature, relative humidity, carbon dioxide (CO₂) and PM_{2.5} concentrations were measured during the summer and winter periods, and indoor environmental data were compared with outdoor air quality. Furthermore, a satisfaction survey involving 33 employees was used to examine the relationship between physical environmental conditions and user health and comfort. The findings indicate that, during the winter period, temperatures exceeded the recommended comfort limits, whilst relative humidity fell below 30 per cent, creating dry indoor conditions. Depending on user density, CO₂ levels in some offices exceeded the 1000 ppm limit, with the highest value measured at 1835 ppm. It was determined that PM_{2.5} pollution from the outdoor environment was reflected indoors during the winter months, whilst particle levels decreased during the summer period thanks to mechanical filtration. In offices with natural ventilation, opening windows has been found to cause a rapid drop in CO₂ concentrations and effective removal of pollutants. Statistical analyses revealed a moderate positive correlation between temperature and CO₂, and it was observed that an increase in occupant density causes an increase in both parameters. According to the survey results, 66.8 per cent of employees stated that they were dissatisfied with the quality of the indoor air, with the most common health complaints being fatigue, headaches and nasal congestion. The fact that 72.7 per cent of participants reported that their symptoms subsided after leaving the building suggests an increased risk of Sick Building Syndrome. Consequently, it is recommended that natural ventilation be promoted and demand-controlled ventilation systems with CO₂ sensors be implemented in public buildings, alongside the development of user-centred operational strategies, to improve indoor air quality.

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Korkmaz, H., & Tereci, A. (2026). Ofis binalarında iç mekân hava kalitesinin ölçümler ve kullanıcı algısı üzerinden değerlendirilmesi: Konya Selçuklu Belediyesi hizmet binası örneği. *Thinking of Urban Decoding Journal (TUDEJ)*, 3(1), 18-35. <https://doi.org/10.69992/TUDEJ.2026.14>

*Sorumlu Yazar: Ayşegül Tereci, atereci@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

İnsanlar yaşamlarının büyük bir bölümünü kapalı ortamlarda geçirmektedir ve özellikle ofis binaları çalışanların uzun süre bulunduğu iç mekânlar arasında önemli bir yere sahiptir. Ofis yapılarında kapalı alana maruz kalma süresi günlük 8 saatin üzerindedir (Cheng vd., 2022). Bu nedenle iç mekân hava kalitesi, çalışanların sağlığı, konforu, bilişsel performansı ve iş verimliliği üzerinde doğrudan etkili olan temel çevresel faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Ayrıca iç ortam algısında da önemli bir paya sahiptir (Pei vd., 2024).

Kabul edilebilir iç mekân hava kalitesi ASHRAE 62.1-2022 standardında, yetkili kurumlar tarafından belirlenen zararlı konsantrasyonların bulunmadığı ve kullanıcıların %80'den fazlasının memnuniyetsizlik ifade etmediği hava olarak tanımlanmaktadır (ASHRAE, 2022). İç mekân hava kalitesi, termal parametreler, kirlenici konsantrasyonları ve havalandırma performansı gibi birçok faktör ile doğrudan ilişkilidir. İç mekân hava kalitesi; iç ortam sıcaklığı (T), hava hareket hızı, bağıl nem (RH), havada asılı partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), azot oksitler (NO_x), ozon (O₃), kükürtdioksit (SO₂), radon, formaldehitler (HCHO) ve havada bulunan bakteri sayılarının ölçüm verileri kullanılarak değerlendirilebilir. Hava kalitesi, sadece havalandırma oranıyla değil, kirlenici kaynakları ve filtrasyon sistemlerinin etkinliğiyle de belirlenmektedir. İç mekân hava kalitesinin yeterli koşulları sağlamadığı durumlarda insan sağlığı olumsuz etkilenmektedir. Yorgunluk, alerji ve enfeksiyon gibi çeşitli semptomlara sebep olan olumsuz iç mekân hava kalitesi, sınır değerlerin aşılması durumunda zehirlenme vakalarına bile sebep olabilmektedir (Bulut, 2012). Düşük PM_{2.5} seviyeli ofislerde çalışanların bilişsel becerilerde %56 oranında daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir (Zhou vd., 2023). Hava kalitesinin erkek çalışanlar üzerinde, verim açısından daha etkili olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. (Arata ve Kawakubo, 2022). Ayrıca partikül konsantrasyonu, düşük nem ve psikolojik stresin "Hasta Bina Sendromu" (SBS) semptomlarıyla (yorgunluk ve baş ağrısı) ilişkili olduğu çeşitli çalışmalarda doğrulanmıştır. (Azuma vd., 2022; Nezis vd., 2022). Dış mekandaki PM_{2.5} kirliliğinin iç mekâna sızarak iç hava kalitesini doğrudan etkilediği; kirliliğin yüksek olduğu bölgelerde mekanik havalandırma ve uygun filtrasyonun zorunlu hale geldiği belirtilmektedir (Jones vd., 2021, Li vd., 2023). CO₂ ve PM_{2.5} açısından diğer binalara kıyasla daha iyi performans sergileyen Yeşil Sertifikalı binaların, kullanılan malzemeler nedeniyle yüksek VOC seviyelerine sahip olabileceği yönünde raporlar bulunmaktadır. (Wu vd., 2021). Yapılan başka bir çalışmada ise sıcaklığın yarı-uçucu organik bileşikler (SVOC) üzerinde havalandırmadan daha etkili bir faktör olduğu gözlemlenmiştir (Domhagen vd., 2024; Li vd., 2022).

Ofislerde havalandırma sistemleri incelendiğinde doğal havalandırmanın klimalı sistemlerle entegre edildiği karma sistemlerin, tamamen şartlandırılmış binalara göre belirgin şekilde daha az enerji tükettiği ve termal konforu artırdığı tespit edilmiştir (Veloso vd., 2023). Ofislerde tavan vantilatörleri ve masa tipi fanların kullanımı, konforu bozmadan ciddi enerji tasarrufu sağlamaktadır (Kent vd., 2023). Doğal havalandırma verimliliğinin pencere tipi, açıklık oranı ve mobilya düzeni gibi parametrelere doğrudan bağlı olduğu tespit edilmiştir (Yin vd., 2023). Gece yapılan doğal havalandırmanın soğutma yükünü azaltmada etkili olduğu, ancak iklim değişikliği ve sıcak dalgaları nedeniyle bu sistemlerin faz değiştiren malzemeler (PCM) veya mekanik sistemlerle desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Amaripadath vd., 2023; Tamer vd., 2023). Bunlarla birlikte deplasmanlı havalandırmanın, partikül maddelerin dikey katmanlaşmasını sağlayarak hava değişim hızlarında karma havalandırmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Liu vd., 2022). Aynı şekilde CO₂ bazlı talep kontrollü sistemlerin, doluluk tespitiyle birleştirildiğinde enerji kullanımında %15-20 verimlilik sağladığı saptanmıştır (Hobson vd., 2023; Wu vd., 2023).

Bunlarla birlikte endüstriyel olmayan yapılarda iç mekân hava kalitesinin yalnızca kirlenici

konsantrasyonlarıyla değerlendirilmesinin yeterli olmadığı, kullanıcıların algıları ve memnuniyet düzeylerinin de önemli bir gösterge olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle ASHRAE başta olmak üzere uluslararası standartlar, kabul edilebilir iç mekân hava kalitesini yalnızca kirletici sınır değerleriyle değil, aynı zamanda kullanıcıların büyük çoğunluğunun ortamdaki memnuniyet olma koşuluyla tanımlamaktadır. Bu yaklaşım, fiziksel ölçümler ile kullanıcı değerlendirmelerinin birlikte ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Konya Selçuklu Belediyesi hizmet binasında farklı kullanım özelliklerine sahip dört ofiste iç mekân hava kalitesi değerlendirilmiştir. Doğal havalandırılabilir ve doğal havalandırılabilir ofislerde, yaz ve kış dönemlerinde sıcaklık, bağıl nem, karbondioksit (CO₂) ve ince partikül madde (PM_{2.5}) parametreleri dakikalık aralıklarla ölçülmüş; aynı dönemlerde dış ortam hava kalitesi verileri en yakın hava kalitesi izleme istasyonundan temin edilerek iç ve dış ortam ilişkisi incelenmiştir. Ölçümler sırasında kullanıcı yoğunluğu, temizlik faaliyetleri ve doğal havalandırma uygulamaları gibi iç ortam hava kalitesini etkileyen değişkenler kayıt altına alınmıştır. Ayrıca ölçüm yapılan ofislerde çalışanlara uygulanan memnuniyet anketi ile kullanıcıların termal konfor algıları, sağlık semptomları ve iç mekân hava kalitesine ilişkin değerlendirmeleri belirlenmiştir. Araştırmanın temel amacı, ofis binalarında doğal ve mekanik havalandırma koşullarının iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkilerini deneysel veriler ve kullanıcı görüşleri doğrultusunda değerlendirmek, ölçülen hava kalitesi parametreleri ile kullanıcı memnuniyeti arasındaki ilişkiyi ortaya koymak ve elde edilen bulgular doğrultusunda enerji verimliliğini de gözeten uygulanabilir iyileştirme önerileri geliştirmektir. Bu yönüyle çalışma, kamu binalarında iç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik tasarım, işletme ve havalandırma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

YÖNTEM

Çalışma Alanı

Bu çalışmada, kamu tipi ofis yapılarında iç mekân hava kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla Konya ili Selçuklu ilçesinde bulunan Şekil 1 'de iç ve dış fotoğrafları verilen Selçuklu Belediyesi Hizmet Binası örnek yapı olarak seçilmiştir. Yapı, yaklaşık 700.000 kişiye hizmet veren ve aylık ortalama 20.000 ziyaretçi ağırlayan Konya'nın en yoğun kullanılan kamu yapılarından biridir. Binyesinde farklı büyüklüklerde, farklı kullanıcı yoğunluklarında ve farklı havalandırma özelliklerine sahip çok sayıda ofis bulunması nedeniyle araştırma kapsamında uygun bir örneklem alanı oluşturmuştur.

Şekil 1

Ofis binası örnek çalışma alanı olarak seçilen Selçuklu Belediyesi Hizmet Binası dış ve iç fotoğrafları



Çalışma alanının bulunduğu Konya ili, Köppen–Geiger iklim sınıflandırmasına göre yarı kurak step ikliminin (BSk) etkisi altındadır. Kentte yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve nispeten yağışlı geçmektedir. Ortalama yıllık yağış miktarı 329,7 mm olup Türkiye ortalamasının altındadır. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 7,4 saat olarak belirlenmiştir. Konya’da hâkim rüzgâr yönü kuzey ve kuzeydoğudur. Ancak kentin topografik yapısı ve sanayi bölgelerinin konumu nedeniyle özellikle kış aylarında hava kirleticilerinin şehir üzerinde birikme eğilimi göstermesi dış hava kalitesi açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Selçuklu Belediyesi Hizmet Binası bodrum katla birlikte toplam beş kattan oluşmakta olup 20.919 m² inşaat alanına sahiptir. Yapıda merkezi iklimlendirme sistemi kullanılmakta, çalışma saatleri içerisinde %100 temiz hava ile beslenen klima santralleri çalıştırılmaktadır. Bununla birlikte bazı ofislere açılabilir pencereler aracılığıyla doğal havalandırma da sağlanabilmektedir.

Araştırma Tasarımı

Araştırmada deneysel saha ölçümleriyle kullanıcı memnuniyet anketi birlikte kullanılmıştır. Çalışma kapsamında farklı kullanım özelliklerine sahip Şekil 2’de plan düzleminde gösterimi yapılan dört ofis belirlenmiştir:

M1: Basın ve Yayın Müdürlüğü Personel Ofisi : 44m², 6 kişi çalışan

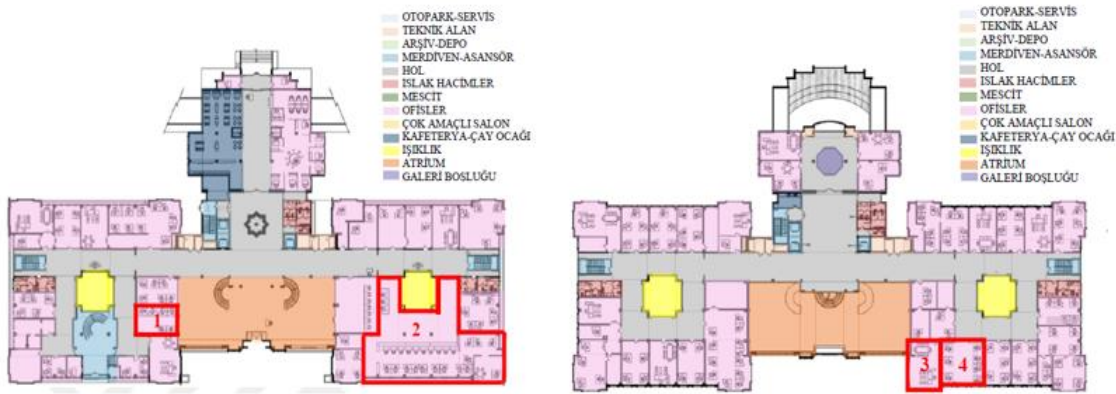
M2: Mali Hizmetler Müdürlüğü (Emlak Vezne) : 349m², 27 kişi çalışan

M3: İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Yönetici Ofisi: 52 m², 1 kişi çalışan

M4: İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Personel Ofisi: 64 m², 7 kişi çalışan

Şekil 2

Seçilen ofislerin plan düzleminde gösterimi



Ofislerin seçiminde kullanıcı yoğunluğu, hacim büyüklüğü ve doğal havalandırma durumu dikkate alınmıştır. M1 ofisi doğal havalandırma imkânına sahip olmayan bir çalışma alanıyken, M2, M3 ve M4 ofislerinde açılabilir pencereler aracılığıyla doğal havalandırma yapılabilir. Araştırmada mevsimsel farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla ölçümler kış ve yaz dönemlerinde gerçekleştirilmiştir. Kış dönemi ölçümleri 28 Kasım–12 Aralık 2022 tarihleri arasında, yaz dönemi ölçümleri ise 29 Mayıs–11 Haziran 2023 tarihleri arasında yapılmıştır. Ölçüm tarihleri belirlenirken belediye hizmet binasının en yoğun kullanıldığı emlak vergisi ödeme dönemleri dikkate alınmıştır.

İç Mekân Hava Kalitesi Ölçümleri

İç mekân hava kalitesi ölçümlerinde iki adet PCE-AQD 20 model partikül sayım cihazı kullanılmıştır. Cihazlar sıcaklık (T), bağıl nem (RH), karbondioksit (CO₂) ve ince partikül madde

(PM_{2.5}) parametrelerini eş zamanlı olarak ölçebilmektedir. Cihazın teknik özellikleri incelendiğinde CO₂ ölçüm aralığının 0–10.000 ppm, sıcaklık ölçüm aralığının 0–50 °C, bağıl nem ölçüm aralığının %5–95 RH ve PM_{2.5} ölçüm aralığının 0–250 µg/m³ olduğu görülmektedir. Ölçümler dakikada bir kez alınmış ve cihazların hafıza kartlarına otomatik olarak kaydedilmiştir. Ölçüm cihazları her ofiste çalışanların günlük faaliyetlerini etkilemeyecek şekilde yaklaşık 80 cm yükseklikteki çalışma masaları üzerine yerleştirilmiştir. Cihaz konumları doğrudan güneş ışığı, pencere önü ve hava üfleme menfezlerinden uzak olacak şekilde belirlenmiştir. Böylece ölçümlerin çalışma ortamını temsil etmesi amaçlanmıştır. M1 ve M2 ofislerinde ölçümler, bina kullanım yoğunluğunun en yüksek olduğu emlak vergisi ödeme dönemlerini kapsayacak şekilde birer hafta süreyle gerçekleştirilmiştir. M3 ve M4 ofislerinde ise yönetim ve personel çalışma alanlarını temsil edecek şekilde yine bir haftalık sürekli ölçümler yapılmıştır. Hafta sonları bina kullanılmadığından bu dönemler düşük yoğunluk koşullarının değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Dış Ortam Hava Kalitesi Verileri

İç ve dış ortam hava kalitesi arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi amacıyla T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı verilerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanına en yakın konumda bulunan Karkent Hava Kalitesi İzleme İstasyonu seçilmiş ve iç ortam ölçümleri ile eş zamanlı dış ortam verileri değerlendirilmiştir. İstasyondan PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, CO ve O₃ parametrelerine ait saatlik ölçüm sonuçları alınmıştır ve Tablo 1’de sunulmaktadır. Kış döneminde PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonlarının yaz dönemine göre belirgin biçimde daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum özellikle ısınma kaynaklı emisyonlar ve meteorolojik koşullarla ilişkilendirilmiştir. Elde edilen dış ortam verileri iç ortam ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak kirletici geçişleri ve havalandırma performansı değerlendirilmiştir.

Tablo 1

Konya Karkent hava kalite izleme istasyonu ölçüm verileri

Periyot	Parametre	Birim	Minimum Değer	Minimum Değer Tarihi	Maksimum Değer	Maksimum Değer Tarihi	Ortalama Değer	Ulusal ve AB Üye Ülke Sınır Değerleri	Sınır Değerin Aşıldığı Gün Sayısı
KİŞ (28 Kasım-12 Aralık 2022)	PM ₁₀	µg/m ³	19,43	04 Aralık 2022	412,75	30 Kasım 2022	145,42	50 µg/m ³ (2415 saat ort.)	
	PM _{2.5}	µg/m ³	14,38	04 Aralık 2022	330,46	30 Kasım 2022	84,71	-	-
	SO ₂	µg/m ³	1,24	02 Aralık 2022	95,5	01 Aralık 2022	15,13	350 µg/m ³ (1 sa. ort.)	0
	CO	µg/m ³	64,54	03 Aralık 2022	10311,76	30 Kasım 2022	1989,69	10.000 µg/m ³ (8 sa. ort.)	1
	O ₃	µg/m ³	3,36	01 Aralık 2022	27,38	01 Aralık 2022	11,43	120 µg/m ³ (8 sa. ort.)	0
YAZ (29 Mayıs-11 Haziran 2023)	PM ₁₀	µg/m ³	19,22	06 Haziran 2023	83,68	03 Haziran 2023	36,55	50 µg/m ³ (246 saat ort.)	
	PM _{2.5}	µg/m ³	10,72	11 Haziran 2023	38,42	03 Haziran 2023	17,46	-	-
	SO ₂	µg/m ³	1,76	30 Mayıs 2023	6,68	03 Haziran 2023	3,52	350 µg/m ³ (1 sa. ort.)	0
	CO	µg/m ³	319,76	30 Mayıs 2023	550,23	03 Haziran 2023	386,11	10.000 µg/m ³ (8 sa. ort.)	0
	O ₃	µg/m ³	7,7	31 Mayıs 2023	11,29	09 Haziran 2023	8,96	120 µg/m ³ (8 sa. ort.)	0

Kullanıcı Memnuniyet Anketi

Objektif ölçüm sonuçlarının kullanıcı algıları ile desteklenmesi amacıyla iç mekân hava kalitesi memnuniyet anketi uygulanmıştır. Anket formu literatürde yer alan benzer çalışmalar incelenerek hazırlanmış ve çalışma alanına uyarlanmıştır. Toplam 24 sorudan oluşan anket iki bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde katılımcıların cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, sağlık durumu ve tercih ettikleri kıyafet kalınlığı gibi demografik özellikleri sorgulanmıştır. İkinci bölümde ise çalışanların sıcaklık, nem, havalandırma yeterliliği, hava kalitesi algısı, fizyolojik rahatsızlık belirtileri ve genel memnuniyet düzeyleri beşli Likert ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir. Ölçüm yapılan dört ofiste, ölçüm esnasında, toplam 35 çalışan bulunmakta olup bunların 33'ü ankete katılmıştır. Böylece katılım oranı %94,3 olarak gerçekleşmiştir. Anket sonuçları ofis bazında ayrı ayrı değerlendirilmiş ve ölçüm verileriyle birlikte yorumlanmıştır.

Veri Analizi

Ölçüm cihazlarından elde edilen sıcaklık, bağıl nem, CO₂ ve PM_{2.5} verileri Microsoft Excel ortamına aktarılmıştır. Her bir parametre için minimum, maksimum ve ortalama değerler hesaplanmış, zamana bağlı değişimler grafikler yardımıyla incelenmiştir. İç ortam ölçüm sonuçları dış ortam hava kalitesi verileri ile karşılaştırılarak havalandırma performansı değerlendirilmiştir. Anket verilerinin analizinde tanımlayıcı istatistiklerden yararlanılmıştır. Ayrıca anketin iç tutarlılığı Cronbach Alfa katsayısı ile test edilmiştir. Cronbach Alfa yönteminin sosyal bilimler ve kullanıcı memnuniyeti araştırmalarında yaygın olarak kullanılan güvenilirlik analizlerinden biri olduğu kabul edilmektedir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Selçuklu Belediyesi Hizmet Binası'ndaki iç mekân hava kalitesi değerlendirilmiş ve hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik öneriler geliştirilmiştir.

BULGULAR

Ofislerin Kış ve Yaz Dönemi Ölçüm Analizleri

Çalışma kapsamında dört farklı ofiste (M1, M2, M3 ve M4) 2022 yılı kış dönemi ile 2023 yılı yaz döneminde gerçekleştirilen iç ortam hava kalitesi ölçümleri değerlendirilmiştir ve Tablo 2'de sunulmuştur. Ölçümler sıcaklık, bağıl nem, CO₂ ve PM_{2.5} parametrelerini kapsamakta olup dakikalık aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktaları kullanıcı yoğunluğu, ofis büyüklüğü, doğal havalandırma durumu ve mekanik iklimlendirme özellikleri bakımından farklılık göstermektedir. Böylece farklı kullanım senaryolarının iç ortam hava kalitesi üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Tablo 2

Ofislerin Kış-Yaz sıcaklık, bağıl nem, CO₂ ve PM_{2.5} ölçümü genel analizi

OFİS		Parametre	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%RH)	CO ₂ (ppm)	PM _{2.5} (µg/m ³)
M1-Basın ve Yayın Müdürlüğü	KIŞ	Minimum Değer	16,8	20,5	250	0
		Minimum Değer Tarihi	28 Kasım 2022 saat 08.45	28 Kasım 2022 04.18 ile 04.41 saat aralığı	01 Aralık 2022 saat 05.45	02-03-04-05 Aralık 2022 birden çok
		Maksimum Değer	27,7	34,7	1307	115
		Maksimum Değer Tarihi	01 Aralık 2022 16.17 ile 16.30 saat aralığı	28 Kasım 2022 saat 08.45	28 Kasım 2022 saat 15.52	01 Aralık 2022 saat 11.43
		Ortalama Değer	25,3	25,3	444,3	18,7
		Standart Sapma	1,0	2,5	173,0	19,8
	YAZ	Minimum Değer	22,5	39,4	377	3

M2-Mali Hizmetler Müdürlüğü (Emlak Vezne)		Minimum Değer Tarihi	30 Mayıs 2023 07.18 ile 08.12 saat aralığı	30 Mayıs 2023 saat 17.07 ve 01 Haziran 2023 saat 17.35	04 Haziran 2023 saat 10.27	05 Haziran 2023 03.55 ile 08.04 saat aralığı
		Maksimum Değer	26,7	53,7	1118	91
		Maksimum Değer Tarihi	01 Haziran 2023 saat 14.52	30 Mayıs 2023 saat 09.12	29 Mayıs 2023 saat 12.00	29 Mayıs 2023 saat 17.59
		Ortalama Değer	23,9	44,8	501,4	16,1
		Standart Sapma	0,8	2,5	136,1	5,5
	KIŞ	Minimum Değer	17,3	20	390	6
		Minimum Değer Tarihi	28 Kasım 2022 saat 08.54	05 Aralık 2022 saat 04.48	04 Aralık 2022 saat 17.46	03 Aralık 2022 saat 23.53
		Maksimum Değer	27,7	38,9	1272	146
		Maksimum Değer Tarihi	28 Kasım 2022 16.36 ile 16.57 saat aralığı	02 Aralık 2022 18.11 ile 18.12 saat aralığı	28 Kasım 2022 saat 11.52	01 Aralık 2022 saat 11.22
		Ortalama Değer	25,4	25,6	529,6	36,1
		Standart Sapma	0,9	3,2	131,1	22,3
	YAZ	Minimum Değer	22,7	36,5	252	0
		Minimum Değer Tarihi	30 Mayıs 2023 06.13 ile 07.51 saat aralığı	30 Mayıs 2023 06.13 ile 07.51 saat aralığı	30 Mayıs 2023 saat 06.34	Tüm günler
		Maksimum Değer	26,4	46,7	1058	17
		Maksimum Değer Tarihi	30 Mayıs 2023 15.43 ile 16.02 saat aralığı	30 Mayıs 2023 11.45 ile 11.48 saat aralığı	30 Mayıs 2023 saat 15.52	29 Mayıs 2023 saat 12.18
		Ortalama Değer	24,3	43,0	481,5	3,1
		Standart Sapma	1,1	2,3	201,0	3,1
	KIŞ	Minimum Değer	23,3	20,8	242	0
		Minimum Değer Tarihi	05 Aralık 2022 18.25 ile 18.29 saat aralığı, 07 Aralık 2022 saat 08.52, 08 Aralık 2022 04.03 ile 05.04 saat aralığı, 09 Aralık 2022 04.40 ile 04.45 saat aralığı, 10 Aralık 2022 05.21 ile 06.20 saat aralığı	07 Aralık 2022 08.14 ile 08.21 saat aralığı	08 Aralık 2022 saat 08.36	Tüm günler
		Maksimum Değer	24,6	33,5	1428	43
		Maksimum Değer Tarihi	05 Aralık 2022 10.03 ile 13.25 saat aralığı	05 Aralık 2022 saat 17.35	05 Aralık 2022 saat 17.25	11 Aralık 2022 01.38 ile 04.24 saat aralığı
		Ortalama Değer	23,9	26,3	475,9	10,6
		Standart Sapma	0,3	2,6	199,2	10,5
M3-İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Yönetici Ofisi	YAZ	Minimum Değer	22,5	28,9	226	0
		Minimum Değer Tarihi	06 Haziran 2023 04.16 ile 06.47 saat aralığı	08 Haziran 2023 16.02 ile 16.03 saat aralığı	11 Haziran 2023 saat 00.26	Tüm günler
		Maksimum Değer	28,5	48,7	706	8

M4- İmar ve Şehircilik Müdürlüğü personel ofisi		Maksimum Değer Tarihi	10 Haziran 2023 10.03 ile 11.09 saat aralığı	06 Haziran 2023 10.00 ile 10.11	07 Haziran 2023 saat 12.58	09 Haziran 2023 saat 16.31
		Ortalama Değer	25,4	39,8	344,3	0,2
		Standart Sapma	1,5	4,4	79,8	0,7
	KIŞ	Minimum Değer	22,5	20,6	316	6
		Minimum Değer Tarihi	08 Aralık 2022 18.23 ile 18.26 saat aralığı	07 Aralık 2022 saat 08.41, 09 Aralık 2022 saat 08.41	09 Aralık 2022 saat 05.57	06 Aralık 2022 saat 07.23
		Maksimum Değer	27,3	32,1	1835	82
		Maksimum Değer Tarihi	05 Aralık 2022 15.12 ile 16.05 saat aralığı	09 Aralık 2022 17.45 ile 17.55 saat aralığı	09 Aralık 2022 saat 15.23	08 Aralık 2022 saat 12.42
		Ortalama Değer	25,9	24,9	701,7	27,5
		Standart Sapma	0,5	2,2	303,1	10,2
	YAZ	Minimum Değer	23,1	29,2	371	3
		Minimum Değer Tarihi	07 Haziran 2023 08.11 ile 08.35 saat aralığı	08 Haziran 2023 saat 17.30	11 Haziran 2023 saat 08.35	08 Haziran 2023 saat 07.57
		Maksimum Değer	27,1	61,2	1621	32
		Maksimum Değer Tarihi	09 Haziran 2023 15.53 ile 17.13 saat aralığı	05 Haziran 2023 saat 12.13	05 Haziran 2023 saat 12.14	09 Haziran 2023 saat 10.03
		Ortalama Değer	24,9	41,5	532,7	14,1
		Standart Sapma	0,9	3,6	185,8	2,3

Sıcaklık ölçümleri değerlendirildiğinde tüm ofislerde çalışma saatleri boyunca sıcaklık değerlerinin kullanıcı yoğunluğu ve mekanik iklimlendirme sistemlerinin işletme koşullarına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Kış döneminde M3 yönetici ofisi dışında kalan ofislerde sıcaklık değerleri çoğunlukla ASHRAE tarafından önerilen 25°C üst sınırını aşmıştır. M3 ofisinde ise düşük kullanıcı yoğunluğu ve düzenli doğal havalandırma sayesinde sıcaklık değerleri önerilen konfor aralığında kalmıştır. Yaz döneminde ise tüm ofislerde çalışma saatlerinde sıcaklıkların zaman zaman 25°C sınır değerinin üzerine çıktığı belirlenmiştir. Özellikle yoğun kullanılan M1 ve M4 personel ofislerinde sıcaklık artışları daha belirgin gerçekleşirken, çalışma saatleri dışında mekanik sistemlerin devreden çıkmasıyla sıcaklık değerlerinin dış ortam koşullarına yaklaştığı görülmüştür.

Bağıl nem ölçümleri mevsimsel farklılıkların en belirgin olduğu parametrelerden biri olmuştur. Kış döneminde tüm ofislerde bağıl nem değerleri büyük ölçüde önerilen %30 minimum seviyesinin altında gerçekleşmiştir. Isıtma sistemlerinin çalışmasıyla birlikte iç ortam havasının kuruması ve dış ortamın düşük mutlak nem içeriği bu durumun temel nedeni olarak değerlendirilmiştir. Yaz döneminde ise bağıl nem değerleri genel olarak önerilen %30–60 aralığında kalmış, yalnızca bazı kısa süreli ölçümlerde sınır değerlerin altına veya üstüne çıkmıştır. Yaz döneminde sıcaklık ile bağıl nem arasında ters yönlü değişim gözlemlenmiş, sıcaklığın arttığı zamanlarda bağıl nemin azaldığı belirlenmiştir. Bu durum özellikle doğal havalandırmanın uygulandığı M3 ve M4 ofislerinde daha belirgin olarak izlenmiştir.

CO₂ konsantrasyonları kullanıcı yoğunluğunu en iyi yansıtan parametre olarak öne çıkmıştır. Kış döneminde M1 ve M4 personel ofislerinde çalışma günlerinin tamamında, M2 ofisinde ise bazı çalışma günlerinde 1000 ppm kabul edilebilir sınır değeri aşılmıştır. En yüksek CO₂ konsantrasyonu M4 ofisinde yaklaşık 1835 ppm olarak ölçülmüş olup, bu değer yoğun kullanıcı varlığı ve sınırlı hava değişimi ile ilişkilendirilmiştir. M3 yönetici ofisinde ise yalnızca toplantı yapılan zaman dilimlerinde CO₂ seviyelerinde belirgin yükselmeler meydana gelmiş, pencere açılarak gerçekleştirilen doğal

havalandırma sonrasında değerlerin kısa sürede düştüğü gözlenmiştir. Yaz döneminde tüm ofislerde CO₂ seviyeleri genel olarak kış dönemine göre daha düşük gerçekleşmiş, ancak yoğun kullanılan M1 ve M4 ofislerinde çalışma saatlerinde sınır değerlerin aşılmaya devam ettiği görülmüştür. Buna karşılık M3 yönetici ofisinde doğal havalandırma uygulamaları sayesinde CO₂ konsantrasyonlarının tüm ölçüm süresince kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı belirlenmiştir.

PM_{2.5} ölçümleri mevsimsel farklılıkların en belirgin görüldüğü parametrelerden biri olmuştur. Kış döneminde M1, M2 ve M4 personel ofislerinde ölçüm yapılan günlerin tamamında 35 µg/m³ sınır değeri aşılmıştır. M3 yönetici ofisinde ise yalnızca iki çalışma gününde kısa süreli sınır değer aşımı gözlenmiştir. Kış aylarında dış ortam hava kirliliğinin artması ve ısınma kaynaklı emisyonların yükselmesi iç ortam PM_{2.5} seviyelerini olumsuz etkilemiştir. Yaz döneminde ise bütün ofislerde partikül konsantrasyonları belirgin şekilde azalmış, M1 ofisinde yalnızca haftanın son günlerinde, M4 ofisinde ise tüm ölçüm süresince PM_{2.5} değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. M2 ve M3 ofislerinde de yaz döneminde partikül seviyelerinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum yaz döneminde dış ortam hava kalitesinin iyileşmesiyle birlikte mekanik filtreleme sistemlerinin etkinliğini göstermektedir.

Ofislerin kullanım özellikleri incelendiğinde kullanıcı yoğunluğunun CO₂ konsantrasyonları üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Personel sayısının azaldığı günlerde CO₂ seviyelerinde belirgin düşüş meydana gelirken, toplantılar veya kısa süreli yoğun kullanım dönemlerinde CO₂ değerlerinde hızlı artışlar kaydedilmiştir. Özellikle M3 yönetici ofisinde gerçekleştirilen toplantı sonrasında CO₂ seviyesindeki yükseliş ve pencere açılması sonrasında meydana gelen hızlı düşüş doğal havalandırmanın etkinliğini açık biçimde ortaya koymuştur. Benzer şekilde M4 ofisinde doğal havalandırmanın uygulandığı zaman dilimlerinde CO₂ konsantrasyonlarının önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir.

Günlük istatistiksel değerlendirmelerde bütün ofislerde sıcaklık, bağıl nem, CO₂ ve PM_{2.5} parametrelerinin standart sapma değerlerinin çalışma günlerinde hafta sonlarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun temel nedeni çalışma saatlerinde kullanıcı sayısının artması, mekanik iklimlendirme sistemlerinin aktif çalışması ve insan faaliyetlerinin iç ortam koşullarını sürekli değiştirmesidir. Hafta sonlarında ise kullanıcı bulunmaması nedeniyle bütün parametrelerde daha kararlı ölçüm değerleri elde edilmiştir. Özellikle sıcaklık ve CO₂ parametrelerinde hafta içi ve hafta sonu arasındaki farklılıklar belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 3

İç mekân hava kalitesini etkileyen parametrelerin senelik korelasyon verileri

Korelasyon Parametre	M1- KIŞ	M1- YAZ	M2- KIŞ	M2- YAZ	M3- KIŞ	M3- YAZ	M4- KIŞ	M4- YAZ	Ortalama Korelasyon Değerleri
İç Mekân Sıcaklık ve Bağıl Nem	0,73	-0,52	-0,17	-0,24	0,25	-0,76	0,56	-0,52	0,47
İç Mekân PM _{2.5} ve CO ₂	0,58	0,53	0,60	0,57	-0,01	0,04	-0,03	0,53	0,36
İç Mekân Sıcaklık ve CO ₂	0,73	0,81	0,37	0,86	0,27	0,31	0,48	0,81	0,58
İç ve Dış Mekân PM _{2.5}	0,49	0,06	0,59	0,46	0,47	0,18	0,39	0,06	0,34

8 farklı koşulda yapılan ölçümlere ilişkin değerlendirmenin daha güvenilir olması için tüm verilerin korelasyon ilişkisi Tablo3'te gösterilmiştir. Senelik bazda en güçlü korelasyon değerleri sırasıyla; iç mekân sıcaklık ve CO₂ (0,58), iç mekân sıcaklık ve bağıl nem (0,47), iç mekân PM_{2.5} ve CO₂ (0,36), iç ve dış mekân PM_{2.5} (0,34) seviyesindedir. Korelasyon analizleri, iç ortam hava kalitesini belirleyen parametrelerin birbirleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Kış döneminde sıcaklık ile CO₂

arasında özellikle M1 ve M4 ofislerinde orta ve yüksek düzeyde pozitif korelasyon belirlenmiş olup, bu durum kullanıcı yoğunluğunun hem sıcaklık hem de CO₂ seviyelerini birlikte artırdığını göstermektedir. Benzer şekilde sıcaklık ile bağıl nem arasında mevsime bağlı olarak pozitif veya negatif yönlü ilişkiler belirlenmiştir. Yaz döneminde sıcaklık ile bağıl nem arasındaki negatif korelasyon bütün ofislerde daha belirgin hâle gelmiş ve dış ortam iklim koşullarının iç ortam üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

CO₂ ile PM_{2.5} arasındaki korelasyon değerleri özellikle yoğun kullanılan personel ofislerinde orta düzeyde pozitif ilişki göstermiştir. Bu durum kullanıcı hareketliliğinin yalnızca CO₂ seviyelerini değil aynı zamanda yeniden süspansiyon yoluyla partikül konsantrasyonlarını da artırdığını ortaya koymaktadır. Yönetici ofisinde ise kullanıcı yoğunluğunun düşük olması nedeniyle bu ilişkinin daha zayıf olduğu belirlenmiştir. İç ve dış ortam PM_{2.5} konsantrasyonları arasındaki ilişki mevsimsel olarak farklılık göstermiştir. Kış döneminde tüm ofislerde dış ortam PM_{2.5} ile iç ortam PM_{2.5} arasında orta düzeyde korelasyon belirlenmiş olup, dış ortam hava kirliliğinin iç ortam partikül seviyelerini etkilediği görülmüştür. Buna karşılık yaz döneminde bu ilişkinin belirgin şekilde zayıfladığı ve özellikle M1 ile M4 ofislerinde korelasyon katsayılarının oldukça düşük seviyelere gerilediği belirlenmiştir. Bu durum mekanik havalandırma sistemlerinde kullanılan filtrelerin ve temiz hava kontrolünün yaz döneminde dış ortam kaynaklı partiküllerin iç ortama taşınmasını önemli ölçüde sınırlandığını göstermektedir.

Ofisler birlikte değerlendirildiğinde en iyi iç ortam hava kalitesinin düşük kullanıcı yoğunluğu ve düzenli doğal havalandırmaya sahip M3 yönetici ofisinde elde edildiği belirlenmiştir. Buna karşılık en yüksek CO₂ ve PM_{2.5} konsantrasyonları yoğun kullanılan personel ofisleri olan M1 ve M4'te ölçülmüştür. M2 ofisi ise geniş hacmi ve etkin mekanik havalandırma sistemi sayesinde kullanıcı yoğunluğuna rağmen özellikle yaz döneminde daha dengeli iç ortam hava kalitesi sergilemiştir. Sonuç olarak iç ortam hava kalitesini belirleyen en önemli faktörlerin kullanıcı yoğunluğu, mekanik iklimlendirme sistemi, doğal havalandırma uygulamaları ve dış ortam hava kalitesi olduğu belirlenmiştir. Kış döneminde düşük bağıl nem ile yüksek CO₂ ve PM_{2.5} seviyeleri iç ortam hava kalitesini olumsuz etkilerken, yaz döneminde partikül konsantrasyonlarının önemli ölçüde azaldığı, ancak yoğun kullanılan ofislerde CO₂ seviyelerinin çalışma saatlerinde kabul edilebilir sınır değerleri aşmaya devam ettiği görülmüştür. Bulgular, özellikle yoğun kullanılan ofislerde kontrollü mekanik havalandırma sistemlerinin etkin işletilmesi, doğal havalandırmanın uygun zamanlarda uygulanması ve dış ortam hava kalitesine göre filtreleme stratejilerinin geliştirilmesinin iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

İç Mekân Hava Kalitesi Memnuniyet Anketi Analizi

İç mekân hava kalitesi memnuniyet anketi, daha önce hava kalitesi ölçümleri gerçekleştirilen dört farklı ofiste görev yapan çalışanlara uygulanmıştır. Toplam 24 sorudan oluşan anket; katılımcıların demografik özellikleri, iç ortam hava kalitesine bağlı sağlık semptomları, koku algısı, mekanik iklimlendirme ve doğal havalandırmaya ilişkin görüşleri ile genel memnuniyet düzeylerini değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Tablo 4'te katılımcılara dair bilgiler sunulmuştur. Anket verilerinin güvenilirliği Cronbach Alfa yöntemi ile analiz edilmiş, tüm sorular için Cronbach Alfa katsayısı 0,66, sağlık semptomlarına ilişkin sorular için ise 0,78 olarak hesaplanmıştır. Anket çalışmasına hedef kitlenin %94,2'si katılmıştır. Katılımcıların büyük çoğunluğu erkek (%84,8), 30–50 yaş aralığında (%78,8) ve lisans mezunudur (%66,7). Çalışanların %81,8'i herhangi bir kronik rahatsızlığı bulunmadığını belirtirken, katılımcıların büyük bölümü kıyafet kalınlığını normal düzeyde değerlendirmiştir. Ankete katılanların önemli kısmı Mali Hizmetler Müdürlüğü Personel Ofisi (M2) çalışanlarından oluşmuştur.

Tablo 4

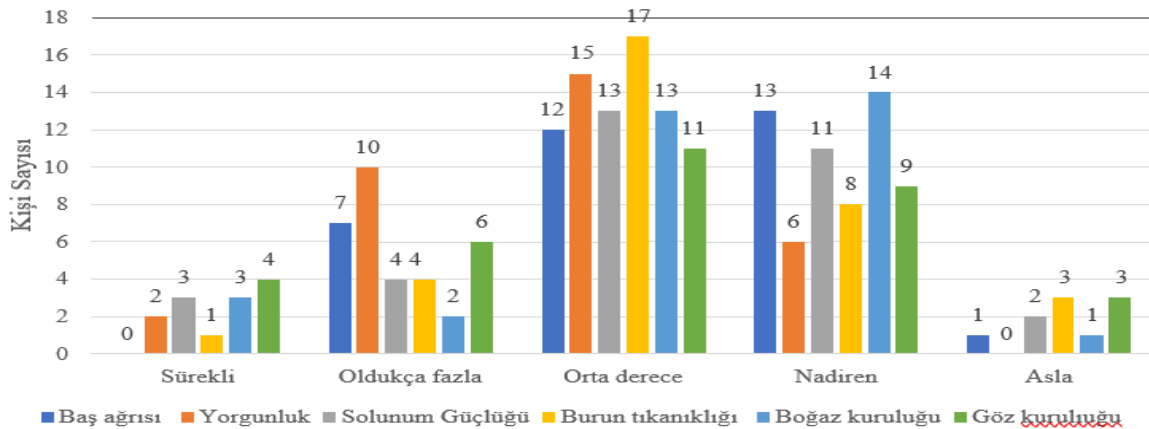
Anket katılımcılarının genel Analizi

Katılımcılara Ait Genel Özellikler	Katılımcılara Ait Alt Özellikler	Kişi Sayısı	Yüzde
Cinsiyet	Kadın	5	%15,2
	Erkek	28	%84,8
Yaş	20-30	6	%18,2
	30-40	15	%45,5
	40-50	11	%33,3
	50-60	1	%3,0
Eğitim Durumu	Lise	1	%3,0
	Ön lisans	5	%15,2
	Lisans	22	%66,7
	Yüksek lisans ve üstü	5	%15,2
Sağlık Durumu	Kronik rahatsızlık yok	27	%81,8
	Kronik rahatsızlık var	6	%18,2
Çalışılan Ofis	İmar ve şehircilik müdürlüğü personel (M4)	7	%21,2
	İmar ve şehircilik müdürlüğü yönetici (M3)	1	%3,0
	Mali Hizmetler Müdürlüğü (Emlak Vezne) M2)	19	%57,6
	Basın ve yayın müdürlüğü personel (M1)	6	%18,2

Sağlık semptomlarına ilişkin değerlendirmelerde, çalışanların önemli bir bölümünün ofis ortamında baş ağrısı, yorgunluk, burun tıkanıklığı, boğaz kuruluğu, göz kuruluğu ve solunum güçlüğü gibi belirtileri farklı sıklıklarda yaşadığı belirlenmiştir ve Şekil 3'te grafik olarak sunulmuştur. Tüm semptomlar birlikte değerlendirildiğinde katılımcıların yaklaşık %41'i bu şikâyetleri orta düzeyde, %31'i ise nadiren yaşadığını ifade etmiştir. En sık bildirilen yakınmalar yorgunluk, burun tıkanıklığı ve baş ağrısı olmuştur. Katılımcıların yalnızca küçük bir kısmı bu semptomları hiç yaşamadığını belirtmiştir. Ofis ortamından ayrıldıktan sonraki değişimler değerlendirildiğinde, çalışanların %75,7'si enerji seviyelerinde artış olduğunu, %72,7'si ise gün içerisinde yaşadıkları semptomların zamanla azaldığını veya tamamen ortadan kalktığını ifade etmiştir. Bu bulgular, sağlık şikâyetlerinin büyük ölçüde çalışma ortamı ile ilişkili olduğunu göstermekte ve binada Hasta Bina Sendromu (Sick Building Syndrome-SBS) belirtilerinin görülebileceğine işaret etmektedir.

Şekil 3

Sağlık semptomlarına ilişkin anket verileri



Koku değerlendirmelerinde tüm katılımcılar ofis ortamında belirli düzeylerde koku hissettiklerini belirtmiştir. Çalışanların büyük çoğunluğu kokunun insan kaynaklı olduğunu (%63,6) ifade etmiş, daha

düşük oranlarda yapı malzemeleri, dış ortam, fotokopi makineleri ve temizlik malzemeleri kaynaklı kokular bildirilmiştir. Özellikle doğal havalandırması bulunmayan ofislerde ve fotokopi cihazlarının çalışma alanı içerisinde bulunduğu bölümlerde koku problemlerinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu durum mevcut mekanik havalandırma sisteminin koku kontrolünde her zaman yeterli performans gösteremediğini ortaya koymaktadır.

İklimlendirme sistemine yönelik değerlendirmelerde çalışanların önemli bir kısmı termostatlara doğrudan erişiminin bulunmadığını veya ayarların başkaları tarafından yapıldığını belirtmiştir. Katılımcılar ayrıca mekanik iklimlendirme sistemi çalışırken özellikle yaz döneminde pencereleri sık açtıklarını ifade etmişlerdir. Bu durum, merkezi iklimlendirme sisteminin %100 temiz hava ile çalışmasına rağmen, kullanıcıların termal konforunun her zaman sağlanamadığını ve çalışanların doğal havalandırmayı destekleyici bir çözüm olarak kullandığını göstermektedir.

Termal konfor değerlendirmelerinde katılımcıların %42,4'ü ortam sıcaklığını normalden yüksek, %57,6'sı ise bağıl nem seviyesini düşük olarak değerlendirmiştir. Ayrıca çalışanların yaklaşık %61'i hava hareket hızının yetersiz olduğunu, üçte biri ise ofis içerisinde farklı bölgelerde hava kalitesinin değiştiğini belirtmiştir. Bu sonuçlar, bina içerisindeki hava dağılımının homojen olmadığını ve bazı çalışma noktalarında konfor koşullarının yetersiz kaldığını göstermektedir.

Genel memnuniyet değerlendirmesinde ise çalışanların %66,8'i iç mekân hava kalitesinden memnun olmadığını ifade etmiştir. Katılımcıların yalnızca üçte biri mevcut hava kalitesini normal düzeyde değerlendirmiştir. Ölçüm sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde bu memnuniyetsizlik; çalışma saatlerinde yükselen CO₂ konsantrasyonları, düşük bağıl nem, dönemsel yüksek PM_{2.5} seviyeleri, yetersiz hava hareketi ve kullanıcı yoğunluğuna bağlı olarak artan koku problemleri ile uyumludur. Anket sonuçları, fiziksel ölçümlerden elde edilen bulguları önemli ölçüde desteklemektedir. Özellikle kullanıcı yoğunluğunun arttığı ofislerde çalışanların daha fazla sağlık semptomu yaşadığı, hava kalitesini daha olumsuz değerlendirdiği ve doğal havalandırmaya daha fazla ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Bu nedenle mevcut mekanik havalandırma sistemlerinin kullanıcı yoğunluğunu dikkate alacak şekilde optimize edilmesi, hava dağılımının iyileştirilmesi, bağıl nem kontrolünün sağlanması ve taze hava miktarının artırılması hem iç ortam hava kalitesinin hem de çalışan memnuniyetinin iyileştirilmesi açısından önemli görülmektedir.

SONUÇ

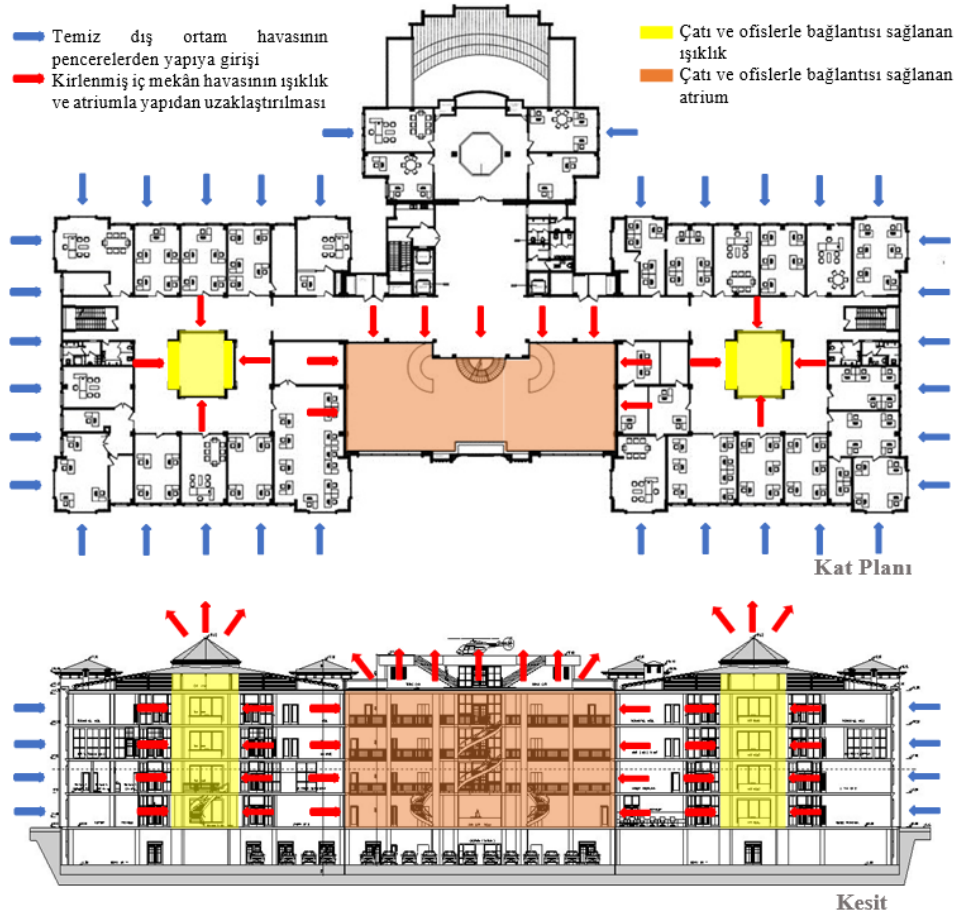
İnsanlar yaşamlarının büyük bölümünü kapalı ortamlarda geçirmekte olup, ofis binalarında iç mekân hava kalitesi çalışan sağlığı, konforu ve verimliliği üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu çalışmada Konya Selçuklu Belediyesi hizmet binasında farklı kullanıcı yoğunluklarına, mekânsal özelliklere ve havalandırma koşullarına sahip dört ofiste yaz ve kış dönemlerinde sıcaklık, bağıl nem, CO₂ ve PM_{2.5} parametreleri ölçülmüş; elde edilen bulgular dış ortam hava kalitesi verileri ve kullanıcı memnuniyet anketleriyle birlikte değerlendirilmiştir.

Deneyisel ölçümler, çalışma yapılan ofislerin önemli bir bölümünde iç ortam hava kalitesi parametrelerinin ulusal ve uluslararası kabul edilebilir sınır değerleri zaman zaman aştığını göstermiştir. Özellikle kullanıcı yoğunluğunun yüksek olduğu ve doğal havalandırma olanağı bulunmayan ofislerde CO₂ ve PM_{2.5} konsantrasyonlarının çalışma saatlerinde belirgin şekilde arttığı, bağıl nemin ise özellikle kış döneminde önerilen konfor seviyelerinin altında kaldığı belirlenmiştir. Buna karşın kullanıcı yoğunluğunun düşük olduğu ve doğal havalandırmanın uygulanabildiği yönetici ofisinde CO₂ düzeylerinin daha düşük olduğu ve genel iç ortam hava kalitesinin diğer ofislere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Korelasyon analizleri de iç ortam hava kalitesini belirleyen temel faktörlerin kullanıcı yoğunluğu, mekanik iklimlendirme sistemi ve havalandırma koşulları olduğunu ortaya koymuştur. Anket sonuçları fiziksel ölçümlerle büyük ölçüde uyum göstermiştir. Katılımcıların önemli bir bölümü

çalışma ortamında baş ağrısı, yorgunluk, burun tıkanıklığı, boğaz ve göz kuruluğu gibi semptomlar yaşadıklarını ifade etmiş, çalışanların yaklaşık dörtte üçü ofisten ayrıldıktan sonra enerji seviyelerinin arttığını ve semptomlarının azaldığını belirtmiştir. Ayrıca katılımcıların büyük çoğunluğu iç mekân hava kalitesinden memnun olmadığını, ortam sıcaklığını yüksek, bağıl nemi düşük ve hava hareketini yetersiz olarak değerlendirmiştir. Bu bulgular, incelenen ofislerde Hasta Bina Sendromu belirtilerinin görülebildiğini ve kullanıcı algılarının ölçüm sonuçlarını desteklediğini göstermektedir.

Şekil 4

Önerilen ışıklık ve atrium işletim revizyonu sonrası hava akımlarına dair şematik gösterim



Çalışmada bina tasarımının doğal havalandırma açısından önemli sınırlılıklar oluşturduğu belirlenmiştir. Yapının derin plan şemasına sahip olması nedeniyle mevcut pencere düzeni ile etkili doğal havalandırmanın sağlanamadığı, özellikle doğal havalandırma bulunmayan ofislerde kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılmasının yalnızca mekanik sistemlere bağlı olduğu görülmüştür. Ayrıca fotokopi ve yazıcı gibi ofis ekipmanlarının bulunduğu çalışma alanlarında kullanıcıların koku şikâyetlerinin arttığı belirlenmiş, bu cihazların oluşturduğu kirletici yükün iç ortam hava kalitesini olumsuz etkileyebileceği değerlendirilmiştir. Mevcut mekanik havalandırma sisteminin ağırlıklı olarak sıcaklık kontrolüne göre çalışması, buna karşın CO₂ ve diğer kirletici konsantrasyonlarını esas alan talep kontrollü bir havalandırma stratejisinin bulunmaması, çalışma sırasında belirlenen önemli eksikliklerden biri olmuştur. Bunun yanında dış ortam hava kalitesinin özellikle kış döneminde iç ortam partikül seviyelerini etkilediği görülmüş ve havalandırma sistemlerinde etkin filtreleme ile dış ortam koşullarına bağlı işletme stratejilerinin önem taşıdığı belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, bina içerisinde doğal havalandırma olanaklarının artırılması, atrium ve ışıklıkların baca etkisi oluşturacak şekilde yeniden değerlendirilmesi, yaz aylarında gece

havalandırmasının uygulanması, doğal havalandırma imkânı bulunmayan ofislerin yeniden düzenlenmesi ve fotokopi-yazıcı gibi kirletici kaynakların ayrı ve bağımsız havalandırılan hacimlerde konumlandırılması önerilmektedir. Önerilen ışıklık ve atrium işletim revizyonu sonrası hava akımlarına dair şematik gösterim Şekil 4'te sunulmuştur fakat herhangi simülasyonla yetkinliği denenmemiştir. Ayrıca mevcut otomasyon sistemine CO₂ sensörlerinin entegre edilerek talep kontrollü havalandırmanın uygulanması, filtreleme sistemlerinin iyileştirilmesi ve dış ortam hava kalitesine bağlı dinamik havalandırma stratejilerinin geliştirilmesi hem enerji verimliliği hem de iç ortam hava kalitesinin sürdürülebilir şekilde iyileştirilmesi açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, ofis binalarında iç mekân hava kalitesinin yalnızca mekanik iklimlendirme sistemiyle değil; bina tasarımı, doğal havalandırma olanakları, kullanıcı yoğunluğu, dış ortam hava kalitesi ve işletme stratejilerinin birlikte değerlendirilmesiyle iyileştirilebileceğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda önerilen iyileştirmelerin bina enerji modellemesi ve havalandırma simülasyonları ile desteklenmesi, farklı iklim bölgelerinde benzer yapı tiplerinde doğrulanması ve kullanıcı davranışlarının uzun dönemli etkilerinin incelenmesi, iç mekân hava kalitesinin geliştirilmesine yönelik daha kapsamlı ve sürdürülebilir çözümlerin ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır.

Etik Onay

Bu araştırma için KTO Karatay Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulundan 17.04.2024 tarih ve 03/03 sayılı onay alınmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, bu çalışmanın yürütülmesi ve yayımlanması sürecinde herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkıları

Çalışmanın tasarlanması ve metodolojisi 1. Yazar ve 2. Yazar tarafından yapılmıştır. Verilerin toplanması ve analizi 1. Yazar tarafından gerçekleştirilmiştir. Makale taslağı 2. Yazar tarafından yazılmış, tüm yazarlar tarafından eleştirel olarak incelenerek son haline getirilmiştir.

REFERANSLAR

- Amaripadath, D., Paolini, R., Sailor, D. J., & Attia, S. (2023). Comparative assessment of night ventilation performance in a nearly zero-energy office building during heat waves in Brussels. *Journal of Building Engineering*, 107611.
- Arata, S., & Kawakubo, S. (2022). Study on productivity of office workers and power consumption of air conditioners in a mixed-mode ventilation building during springtime. *Building and Environment*, 214, 108923.
- ASHRAE. (2022). Standards and guidelines: Standard 62.1-2022, ventilation and acceptable indoor air quality. Erişim adresi: <https://www.ashrae.org/technicalresources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>. Erişim tarihi: 29 Mart 2024
- Azuma, K., Kagi, N., Yanagi, U., Kim, H., & Osawa, H. (2022). A longitudinal study on the effects of hygro-thermal conditions and indoor air pollutants on building-related symptoms in office buildings. *Indoor air*, 32(11), e13164.
- Bulut, H. (2012, Nisan 16). Havalandırma ve iç hava kalitesi açısından co2 miktarının analizi. *Tesisat Mühendisliği*, 128, 61-70.
- Cheng, Z., Lei, N., Bu, Z., Sun, H., Li, B., & Lin, B. (2022). Investigations of indoor air quality for office buildings in different climate zones of china by subjective survey and field measurement. *Building and Environment*, 214, 108899.
- Domhagen, F., Langer, S., & Sasic Kalagasidis, A. (2024). Theoretical threshold for estimating the impact of ventilation on materials' emissions. *Environmental Science & Technology*, 58(11), 5058–5067.
- Hobson, B. W., Markus, A. A., Gunay, H. B., & Rizvi, F. (2023). Minimum sensor grid density and configuration to enable CO₂-based demandcontrolled ventilation in an office building. *Energy and Buildings*, 113536.
- Jones, E. R., Laurent, J. G. C., Young, A. S., MacNaughton, P., Coull, B. A., Spengler, J. D., & Allen, J. G. (2021). The Effects of Ventilation and Filtration on Indoor PM_{2.5} in Office Buildings in Four Countries. *Building and environment*, 200, 107975. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107975>
- Kent, M. G., Huynh, N. K., Mishra, A. K., Tartarini, F., Lipczynska, A., Li, J., Sultan, Z., Goh, E., Karunakaran, G., Natarajan, A., Indrajith, A., Hendri, I., Narendra, K. I., Wu, V., Chin, N., Gao, C. P., Sapar, M., Seoh, A., Shuhadah, N., Valliappan, S., Jukes, T., Spanos, C., & Schiavon, S. (2023). Energy savings and thermal comfort in a zero energy office building with fans in Singapore. *Building and Environment*, 110674
- Li, Y., He, L., Xie, D., Zhao, A., Wang, L., Kreisberg, N. M., Jayne, J., & Liu, Y. (2022). Strong temperature influence and indiscernible ventilation effect on dynamics of some semivolatile organic compounds in the indoor air of an office. *Environment International*, 165, 107305.
- Li, Z., Di, Z., Chang, M., Zheng, J., Tanaka, T., & Kuroi, K. (2023). Study on the influencing factors on indoor PM_{2.5} of office buildings in beijing based on statistical and machine learning methods. *Journal of Building Engineering*, 66, 105240.
- Liu, S., Koupriyanov, M., Paskaruk, D., Fediuk, G., & Chen, Q. (2022). Investigation of airborne particle exposure in an office with mixing and displacement ventilation. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103718.

- Nezis, I., Biskos, G., Eleftheriadis, K., Fetfatzis, P., Popovicheva, O., Sitnikov, N., & Kalantzi, O.-I. (2022). Linking indoor particulate matter and black carbon with sick building syndrome symptoms in a public office building. *Atmospheric Pollution Research*, 13(1), 101292.
- Pei, J., Qu, M., Sun, L., Wang, X., & Yin, Y. (2024). The relationship between indoor air quality (iaq) and perceived air quality (paq) – a review and case analysis of chinese residential environment. *Energy and Built Environment*, 5(2), 230-243.
- Tamer, T., Dino, İ. G., Baker, D. K., & Akgül, Ç. M. (2023). Coupling PCM Wallboard Utilization with Night Ventilation: Energy Efficiency and Overheating Risk in Office Buildings under Climate Change Impact. *Energy and Buildings*, 113482.
- Veloso, A. C. O., Filho, C. R. A, Souza, R. V. G. (2023). The Potential of Mixed-Mode Ventilation in Office Buildings in Mild Temperate Climates: An Energy Benchmarking Analysis. *Energy and Buildings*, 113445.
- Wu, P., Fang, Z., Luo, H., Zheng, Z., Zhu, K., Yang, Y., & Zhou, X. (2021). Comparative analysis of indoor air quality in green office buildings of varying star levels based on the grey method. *Building and Environment*, 195, 107690.
- Wu, Z., Zhang, Y., Mai, J., Wang, F., Zhai, Y., & Zhang, Z. (2023). Adaptationbased indoor environment control with night natural ventilation in autumn in an office building in a hot-humid area. *Building and Environment*, 110702
- Yin, X., Muhieldeen, M. W., Razman, R., & Ee, J. Y. C. (2023). Multi-objective optimization of window configuration and furniture arrangement for the natural ventilation of office buildings using Taguchi-based grey relational analysis. *Energy and Buildings*, 113385.
- Zhou, J., Stamp, S., Mumovic, D., Gaston, K. J., Russell, E., Jones, A. M., & Mudway, I. (2023). Short-term exposure to indoor in office buildings and cognitive performance. *Building and Environment*, 234, 110105.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: People spend most of their time indoors, particularly in office buildings where occupancy often exceeds eight hours per day. Therefore, indoor air quality (IAQ) plays a vital role in occupants' health, comfort, cognitive performance, and productivity. This study investigates the effects of natural and mechanical ventilation on IAQ in four office spaces with different ventilation characteristics in the Selçuklu Municipality Service Building in Konya, Türkiye. Indoor temperature, relative humidity, carbon dioxide (CO₂), and fine particulate matter (PM_{2.5}) were monitored during both summer and winter, and the results were compared with outdoor air quality data. In addition, a user satisfaction survey was conducted to evaluate occupants' perceptions of thermal comfort, health symptoms, and overall indoor environmental quality. The findings provide practical recommendations for improving IAQ and supporting energy-efficient ventilation strategies in public office buildings.

Method: This study employed a combined experimental and survey-based methodology to evaluate indoor air quality (IAQ) in the Selçuklu Municipality Service Building in Konya, Türkiye. Four office spaces with different occupancy levels, sizes, and ventilation characteristics were selected, including naturally ventilated and non-naturally ventilated offices. Indoor temperature, relative humidity (RH), carbon dioxide (CO₂), and fine particulate matter (PM_{2.5}) were continuously monitored at one-minute intervals during representative winter (November–December 2022) and summer (May–June 2023) periods using PCE-AQD 20 air quality monitors. Simultaneously, outdoor air quality data were obtained from the nearest national air quality monitoring station to examine the relationship between indoor and outdoor conditions. In addition, a structured questionnaire consisting of 24 questions was administered to 33 employees to assess thermal comfort, perceived air quality, health symptoms, and overall satisfaction. The collected environmental and survey data were analyzed using descriptive statistics, graphical trend analysis, and correlation analysis to evaluate ventilation performance and the relationship between measured IAQ parameters and occupant perceptions.

Findings: Indoor air quality measurements revealed clear seasonal and occupancy-related variations across the four office spaces. During winter, indoor temperatures frequently exceeded recommended comfort limits, while relative humidity remained below the recommended threshold because of heating system operation. CO₂ concentrations surpassed the acceptable level of 1000 ppm in the densely occupied offices, reaching a maximum value of 1835 ppm, whereas naturally ventilated offices maintained substantially lower concentrations through window opening. PM_{2.5} levels were considerably higher in winter due to outdoor air pollution but decreased during summer as a result of improved outdoor conditions and effective mechanical filtration. Correlation analysis indicated the strongest positive relationship between indoor temperature and CO₂ concentration, confirming the influence of occupant density on indoor environmental conditions. The occupant survey supported these findings, showing that 66.8% of employees were dissatisfied with the indoor air quality, with fatigue, nasal congestion, and headaches reported as the most common symptoms. Furthermore, most participants stated that their symptoms diminished after leaving the building, suggesting the presence of Sick Building Syndrome (SBS)-related conditions.

Discussion: The results demonstrate that occupant density, ventilation strategy, and outdoor air quality are the primary factors influencing indoor air quality in public office buildings. Naturally ventilated spaces consistently exhibited lower CO₂ concentrations, highlighting the effectiveness of window ventilation in reducing occupant-generated pollutants. In contrast, mechanically ventilated offices with high occupancy experienced elevated CO₂ levels despite continuous fresh-air supply, indicating that ventilation rates should be adjusted according to occupancy. Seasonal differences further showed that outdoor particulate pollution significantly affected indoor PM_{2.5} concentrations during winter, emphasizing the importance of efficient filtration and ventilation control. The agreement between objective measurements and occupant perceptions confirms that physical monitoring alone is insufficient for evaluating indoor environmental quality. Therefore, integrating demand-controlled ventilation based on CO₂ monitoring, improving humidity control and air distribution, and combining mechanical and natural ventilation strategies can enhance both indoor air quality and occupant satisfaction while supporting energy-efficient building operation.

Conclusion: This study demonstrated that indoor air quality in public office buildings is strongly influenced by occupant density, ventilation strategy, building design, and outdoor air quality. Offices with high occupancy

and limited natural ventilation exhibited elevated CO₂ and PM_{2.5} concentrations and lower thermal comfort, while naturally ventilated spaces maintained better indoor environmental conditions. The questionnaire findings were consistent with the measured data, indicating reduced occupant satisfaction and the presence of symptoms associated with Sick Building Syndrome. Overall, the results highlight the importance of integrating objective environmental measurements with occupant perceptions to achieve healthier and more sustainable office environments.

Recommendation: Improving indoor air quality requires both design and operational interventions. Natural ventilation opportunities should be enhanced through architectural modifications where feasible, while CO₂-based demand-controlled ventilation and improved filtration systems should be implemented to optimize mechanical ventilation performance. Pollutant-emitting office equipment should be relocated to separately ventilated spaces, and ventilation strategies should be adapted to outdoor air quality and occupancy conditions. Future research should validate these recommendations through building energy simulations and airflow modeling and examine their applicability in different climate regions and office building types.