

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



İÇ HAVA KALİTESİNİN İNSAN BEYNİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Burcu Banu ATEŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**İÇ HAVA KALİTESİNİN İNSAN BEYNİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Burcu Banu ATEŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ HAVA KALİTESİNİN İNSAN BEYNİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Burcu Banu ATEŞ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2025

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ HAVA KALİTESİNİN İNSAN BEYNİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Burcu Banu ATEŞ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez// tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi. Ahmet ÇOŞGUN (Danışman)

Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Doç.Dr. Tansel KOYUN

ÖZET

İÇ HAVA KALİTESİNİN İNSAN BEYNİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI Burcu Banu ATEŞ

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Ahmet ÇOŞGUN

Temmuz 2025; 88 sayfa

Günümüzde bireyler, zamanlarının önemli bir bölümünü iç mekânlarda geçirmektedir; bu durum, iç hava kalitesinin (İHK) insan sağlığı üzerindeki etkilerini daha da belirgin hâle getirmektedir. Yaygın kanının aksine, hava kirliliği yalnızca dış ortamdaki kirleticilerle sınırlı değildir; iç mekânlarda da ciddi sağlık sorunlarına yol açabilecek çeşitli kirleticiler bulunmaktadır. İHK, bireylerin genel yaşam kalitesini etkileyen ve özellikle beyin sağlığı üzerinde kritik bir rol oynayan çevresel faktörlerden biridir. Yapılan araştırmalar, iç hava kalitesindeki bozulmanın bilişsel işlevlerde azalma, hafıza problemleri ve duygudurum bozuklukları gibi nörolojik sorunlara yol açabileceğini ortaya koymaktadır.

İç mekân hava kirliliğinin başlıca kaynakları arasında karbondioksit (CO₂), toz ve diğer partikül maddeler yer almaktadır. Bu kirleticiler, solunum yoluyla vücuda girerek zamanla beyin fonksiyonlarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Örneğin, düşük hava kalitesi, odaklanma ve öğrenme yeteneğini zayıflatarak bilişsel performansı düşürebilir. Bu durum, özellikle öğrenciler ve kapalı ortamlarda çalışan bireyler için önemli bir sorun teşkil etmektedir. İç hava kalitesinin iyileştirilmesi için doğal havalandırma, gelişmiş hava temizleyici sistemler ve bitki tabanlı iç mekân düzenlemeleri gibi çeşitli stratejiler önerilmektedir. Bu yöntemlerin uygulanması, yalnızca fiziksel hava kalitesini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda zihinsel ve nörolojik sağlık üzerinde de olumlu etkiler yaratmaktadır.

Bu tez çalışması, İHK ile beyin sağlığı arasındaki doğrudan ve dolaylı bağlantıları derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, herhangi bir patolojik bulgusu olmayan sağlıklı bireylerin elektroensefalografî (EEG) ve manyetik rezonans (MR) görüntüleri analiz edilerek, iç hava kirliliğinin beyin fonksiyonları ve yapısal bütünlük üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirilecektir. Kullanılan materyal ve yöntem, katılımcılardan elde edilecek verilerin hassasiyetini ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla titizlikle belirlenmiştir. Elde edilecek bulgularla hem beyin fonksiyonları hem de olası yapısal değişiklikler açısından İHK'nin rolünü anlamak, bu alandaki mevcut literatüre özgün bir katkı sunmak ve toplumda beyin sağlığı için iç hava kalitesi farkındalığını artırmak hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, iç hava kalitesi ile beyin sağlığı arasındaki karmaşık ilişkinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunarak toplumsal bilinci artırmayı amaçlamaktadır. Temiz hava, sağlıklı bir zihin ve genel sağlık için temel bir unsurdur. Bu bağlamda alınacak önlemler, bireylerin ve toplumların genel sağlığını olumlu yönde

etkileyecektir. Bu tezden elde edilen bilimsel veriler, iç mekânlarda sağlıklı hava kalitesinin sağlanmasının kritik önemine dair değerli bir referans kaynağı oluşturacaktır.

ANAHTAR KELİMELELER: Beyin Fonksiyonları, EEG ve MR Görüntüleme, İç Hava Kalitesi, İyileştirme Yöntemleri, Karbondioksit.

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi. Ahmet ÇOŞGUN

Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Doç. Dr. Tansel KOYUN



ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF INDOOR AIR QUALITY ON THE HUMAN BRAIN

Burcu Banu ATEŞ

Master's Degree, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet ÇOŞGUN

July 2025; 88 pages

Today, individuals spend a significant portion of their time indoors; this situation increasingly highlights the impacts of indoor air quality (IAQ) on human health. Contrary to popular belief, air pollution is not limited to outdoor contaminants; indoor environments also contain various pollutants that can lead to serious health problems. IAQ is a critical factor influencing individuals' overall quality of life and plays a particularly vital role in brain health. Research indicates that deterioration in indoor air quality can cause neurological issues such as decreased cognitive functions, memory problems, and mood disorders.

The primary sources of indoor air pollution include carbon dioxide (CO₂), dust, and other particulate matter. These pollutants enter the body through the respiratory system and can, over time, negatively affect brain functions. For instance, poor air quality can impair focus and learning ability, thereby reducing cognitive performance; this poses a significant problem, especially for students and individuals working in enclosed environments. Various strategies are proposed for improving indoor air quality, such as natural ventilation, advanced air purification systems, and plant-based indoor arrangements. The implementation of these methods not only enhances physical air quality but also has positive effects on mental and neurological health.

This thesis aims to deeply investigate the direct and indirect connections between IAQ and brain health. Within the scope of this research, electroencephalography (EEG) and magnetic resonance (MR) images of healthy individuals without any pathological findings will be analyzed to assess the potential effects of indoor air pollution on brain functions and structural integrity. The materials and methods employed have been meticulously determined to ensure the sensitivity and reliability of the data obtained from participants. The findings from this study are expected to contribute uniquely to the existing literature by enhancing the understanding of IAQ's role in both brain functions and potential structural changes, and to raise public awareness about indoor air quality for brain health.

In conclusion, this study aims to enhance societal awareness by contributing to a better understanding of the complex relationship between indoor air quality and brain health. Clean air is a fundamental element for a healthy mind and overall well-being; in this context, the measures taken will positively impact the general health of individuals and communities. The scientific data obtained from this thesis will serve as a valuable

reference resource regarding the critical importance of ensuring healthy air quality in indoor environments.

KEYWORDS: Brain Functions, Carbon Dioxide, EEG and MRI Imaging, Improvement Methods, Indoor Air Quality

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Ahmet ÇOŞGUN

Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Assoc. Prof. Dr. Tansel KOYUN



ÖNSÖZ

Modern yaşamın büyük bir bölümü iç mekânlarda geçmekte olup, bu ortamların hava kalitesi bireylerin fiziksel ve zihinsel sağlığı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, iç hava kirleticilerinin, özellikle ince partikül maddeler (PM2.5) ve karbondioksit (CO₂) seviyelerinin, bilişsel işlevler ve nörolojik sağlık üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

Yapılan çalışmalar, iç mekânlarda CO₂ konsantrasyonlarının artmasının bireylerin bilişsel performansını düşürebileceğini ortaya koymuştur. Örneğin, CO₂ seviyelerindeki 315 ppm'lik bir artışın Stroop testinde yanıt süresini %0,85 artırdığı ve doğru yanıt sayısını %1,32 azalttığı belirlenmiştir (Miller et al., 2023). Benzer şekilde, PM2.5 seviyelerinin 12 µg/m³'ün üzerine çıkmasının bilişsel test performansında belirgin düşüşlere neden olduğu saptanmıştır (Chen et al., 2022).

Ayrıca, uzun süreli hava kirliliğine maruz kalmanın beyin yapısında değişikliklere ve nörodejeneratif hastalıkların riskinde artışa yol açabileceği gösterilmiştir. Örneğin, PM₁₀ ve NO₂'ye uzun süre maruz kalan bireylerde bilişsel gerileme hızının arttığı ve vasküler demans riskinin yükseldiği tespit edilmiştir (Xu et al., 2021).

Bu yüksek lisans tezi, iç hava kalitesinin beyin sağlığı üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, herhangi bir nörolojik hastalığı bulunmayan bireylerin elektroensefalografi (EEG) ve manyetik rezonans (MR) görüntüleri analiz edilerek, iç hava kirleticilerinin beyin fonksiyonları üzerindeki etkileri değerlendirilecektir. Elde edilen bulguların, iç mekân hava kalitesinin nörolojik sağlık üzerindeki etkilerine dair literatüre katkı sağlaması ve bu alanda farkındalığı artırması hedeflenmektedir.

Bu süreçte, danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Coşgun'a, değerli katkıları için Prof. Dr. Afşin Güngör'e ve jüri üyesi Doç.Dr.Tansel Koyun'a teşekkür ederim. Akdeniz Üniversitesi Nöroloji Anabilim Dalı doktorlarına ve çalışmam sırasında desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkürü borç bilir, eğitim hayatım boyunca yanımda olan aileme de minnettarlığımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. İç Hava Kalitesinin Bilişsel ve Nörolojik Sağlık Üzerindeki Etkileri Üzerine Uluslararası Çalışmalar.....	4
2.1.1. Karbondioksitin Bilişsel ve Zihinsel Sağlık Üzerindeki Etkileri	4
2.1.2. İnce Partikül Madde ve Beyin Sağlığına Etkileri.....	5
2.1.3. Uçucu Organik Bileşiklerin Zihinsel ve Bilişsel Sağlık Üzerindeki Etkileri.....	6
2.1.4. İç Hava Kalitesi İyileştirmelerinin Olumlu Etkileri ve Genel Değerlendirme.....	6
2.2. Türkiye'de İç Hava Kalitesinin Bilişsel ve Nörolojik Sağlık Üzerindeki Etkileri Üzerine Yapılmış Çalışmalar	8
2.2.1. İç Hava Kalitesinin İnsan Sağlığına Etkileri ve Hasta Bina Sendromu	8
2.2.2. Eğitim ve Çalışma Ortamlarında İç Hava Kalitesinin Bilişsel ve Ruhsal Sağlık Üzerindeki Etkileri.....	8
2.2.3. Ofis Ortamlarında İç Hava Kalitesinin Çalışan Sağlığına Etkileri	10
2.2.4. İç Mekân Hava Kalitesinin Bilişsel Performans ve Zihinsel Sağlık Üzerindeki Etkileri: İstanbul Örneği.....	10
2.2.5. Okul Ortamlarında İç Hava Kalitesinin Çocukların Bilişsel ve Zihinsel Sağlığı Üzerindeki Etkileri	11
2.3. Türkiye'de İç Hava Kalitesi Üzerine Yapılan Lisansüstü Tez Çalışmaları ve İlgili Araştırmalar.....	11
2.3.1. Eğitim Ortamlarında İç Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Öğrenci Sağlığı Üzerindeki Etkileri.....	12
2.3.2. İç Hava Kalitesinin Farklı Yapı Türlerinde Değerlendirilmesi ve İyileştirme Çözümleri	13
2.3.3. İç Hava Kalitesinin Çalışan Sağlığı, Bilişsel Performans ve Psikolojik Etkileri	14

2.3.4. Hava Kirliliği ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İlişkisi	14
2.3.5. Genel Değerlendirme ve Sonuç.....	15
2.4. İç Hava Kalitesi	15
2.4.1. İç Hava Kalitesinin Tanımı, Tarihsel Gelişimi ve Önemi.....	15
2.4.2. Atmosfer Bileşimi, İç Hava Kalitesini Etkileyen Unsurlar ve Temel Kirleticiler	17
2.4.3. İç Hava Kalitesinin Sağlık ve Bilişsel Performans Üzerindeki Kapsamlı Etkileri ve İyileştirme Önlemleri	20
2.5. İnsan Beyni: Yapısı, İşlevleri ve Çevresel Duyarlılığı.....	25
2.5.1. Hava Kalitesi	26
2.5.2. Kimyasal Maruziyetler	27
2.5.3. Gürültü Kirliliği.....	27
2.5.4. Termal Konfor (Sıcaklık ve Nem)	27
2.5.5. Küf ve Mikrobiyal Etkenler	27
2.6. Antalya'da İç Ortam Hava Kalitesinin İnsan Beyin Sağlığı Üzerine Etkileri: Kapsamlı Bir Değerlendirme.....	28
2.6.1. Dış Kaynaklı ve Yanma Kaynaklı Kirleticiler	29
2.6.2. İç Mekân Özellikleri ve Mikrobiyal Riskler	29
2.6.3. Başlıca İç Ortam Kirleticilerinin Nörolojik Etkileri	30
2.6.4. Havalandırma, İzleme ve Arıtma Yaklaşımları.....	30
2.6.5. Kaynak Kontrolü ve Bina Yönetimi.....	31
2.6.6. Kurumsal ve Kamusal Politikalar	31
3. MATERYAL VE METOT	33
3.1. Materyal	33
3.2. Yöntem.....	33
3.2.1. Çalışma Alanı ve Örneklem Seçimi	33
3.2.2. Veri Toplama Araçları ve Prosedürü	34
3.2.3. Veri Analizi Yöntemleri.....	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
4.1. Katılımcı Profili ve Demografik Dağılım	38
4.2. Veri Analizi ve Bulgular	43
4.2.1. İç Hava Kalitesi Verilerinin Değerlendirilmesi	43
4.2.2. EEG ve MR Görüntüleri ile İç Hava Kalitesi Arasındaki İlişki.....	43
4.2.3. Demografik Verilerle Bağlantılı Bulgular.....	44
4.2.4. İstatistiksel Analiz Bulguları.....	44

4.3. Görsel Analiz ve Yorum: EEG ve MR Verileri Işığında İç Hava Kalitesinin Beyin Sağlığına Olası Etkileri	47
4. 4. Genel Değerlendirme ve Tartışma	65
4. 4. 1. Bireysel Vaka Bulguları ve İç Hava Kalitesi ile İlişkisi	66
4.4.2. Antalya Özelinde Değerlendirme: İç Hava Kalitesinin Beyin Sağlığına Etkisi	72
4.4. Bulguların Genel Değerlendirilmesi ve Tartışma	74
4.4.1. Antalya'nın İklimsel ve Yapısal Özelliklerinin İç Hava Kalitesine Etkisi	74
4.4.2. Antalya'daki Güncel İç Hava Kalitesi Verileri ve Beyin Sağlığı Açısından Risk Değerlendirmesi	74
4.4.3. Değerlendirme ve Öneriler	75
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	78
5.1. Sonuçlar	78
5.2. Öneriler	79
5.2.1. Halk Sağlığı Politikaları İçin Öneriler	79
5.2.2. Eğitim Ortamları İçin Spesifik Uygulamalar	80
5.2.3. Tıbbi İzlem ve Önlem Önerileri	80
5.2.4. Bireysel Yaşam Alanları İçin Stratejiler	80
5.2.5. Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler	81
6. KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**İç Hava Kalitesinin İnsan Beynine Etkisinin Araştırılması**” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

Burcu Banu ATEŞ

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

% : Yüzde

°C : Santigrat derece

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: Mikrogram bölü metreküp (konsantrasyon birimi)

p : Anlamlılık düzeyi (p-value)

ppm : Milyonda bir kısım (parts per million)

r : Korelasyon katsayısı

RH : Bağlı nem (relative humidity)

Kısaltmalar

ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

AÜ : Akdeniz Üniversitesi

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri

CO : Karbon Monoksit

CO₂ : Karbondioksit

EEG : Elektroensefalografi

EPA : Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)

HBS : Hasta Bina Sendromu

HEPA : Yüksek Verimli Partikül Hava (High-Efficiency Particulate Air)

IAQ : Indoor Air Quality (İç Hava Kalitesi)

IARC : Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (International Agency for Research on Cancer)

IBM SPSS : International Business Machines Statistical Package for the Social Sciences

İHK : İç Mekân Hava Kalitesi

İTÜ	:	İstanbul Teknik Üniversitesi
KOAH	:	Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
MR	:	Manyetik Rezonans (Magnetic Resonance)
MRG	:	Manyetik Rezonans Görüntüleme
MTA	:	Maden Tetkik Arama
N ₂	:	Azot
NO ₂	:	Nitrojen Dioksit
NO _x	:	Azot Oksitleri
O ₂	:	Oksijen
O ₃	:	Ozon
ODTÜ	:	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Pb	:	Kurşun
PM	:	Partikül Madde
PM0.3	:	Partikül Madde 0.3 (Çapı 0.3 mikrometreden küçük partikül madde)
PM2.5	:	Partikül Madde 2.5 (Çapı 2.5 mikrometreden küçük partikül madde)
PM10	:	Partikül Madde 10 (Çapı 10 mikrometreden küçük partikül madde)
SBS	:	Hasta Bina Sendromu (Sick Building Syndrome)
SI	:	System International (Uluslararası Birim Sistemi)
SO ₂	:	Kükürt Dioksit
TBAEK	:	Tıbbi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu
VOC	:	Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compounds)
WHO	:	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye Yönetmeliğine Göre Sınırları Değerler	19
Şekil 2.2. Kirletici Etmenlerin İnsan Beynine Etkisini Temsil Eden Görsel	25
Şekil 2.3. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkisini Gösteren Görsel.....	26
Şekil 2.4. Kirletici Gazların İnsan Beynine Etkisini Temsil Eden Görsel	28
Şekil 2.5. Türkiye'nin Hava Kirliliği Haritası	32
Şekil 3.1. Çalışmamızda Kullanılan Ölçüm Araçlarından Görüntüler	36
Şekil 4.1. Ölçümü Yapılan Bölgelerin Harita Üzerinde Gösterimi	39
Şekil 4.2.Kundu Mahallesi Hava Ölçümü	40
Şekil 4.3.Altıntaş Mahallesi Hava Ölçümü.....	40
Şekil 4.4.Döşemealtı Mahallesi Hava Ölçümü	40
Şekil 4.5.Altındağ Mahallesi Hava Ölçümü	41
Şekil 4.6.Muratpaşa Mahallesi Hava Ölçümü	41
Şekil 4.7.Fener Mahallesi Hava Ölçümü	41
Şekil 4.8.Kepez Mahallesi Hava Ölçümü	42
Şekil 4.9.Karşıyaka Mahallesi Hava Ölçümü	42
Şekil 4.10.Gürsu Mahallesi Hava Ölçümü.....	42
Şekil 4.11.Konyaaltı Mahallesi Hava Ölçümü.....	42
Şekil 4.12. Vaka 1 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	48
Şekil 4.13. Vaka 1 EEG Görüntüsünden Bir Kesit	49
Şekil 4.14. Vaka 2 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	50
Şekil 4.15. Vaka 2 EEG Görüntüsünden Bir Kesit	51
Şekil 4.16. Vaka 3 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	52
Şekil 4.17. Vaka 3 EEG Görüntüsünden Bir Kesit	53
Şekil 4.18. Vaka 4 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	54
Şekil 4.19. Vaka 4 EEG Görüntüsünden Bir Kesit	55

Şekil 4.20. Vaka 5 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	56
Şekil 4.21. Vaka 5 EEG Görüntüsünden Bir Kesit	56
Şekil 4.22. Vaka 6 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	58
Şekil 4.23. Vaka 6 EEG Görüntüsünden Bir Kesit	58
Şekil 4.24. Vaka 7 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	59
Şekil 4.25. Vaka 7 EEG Görüntüsünden Bir Kesit	60
Şekil 4.26. Vaka 8 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	61
Şekil 4.27. Vaka 8 EEG Görüntüsünden Bir Kesit	61
Şekil 4.28. Vaka 9 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	63
Şekil 4.29. Vaka 9 EEG Görüntüsünden Bir Kesit	63
Şekil 4.30. Vaka 10 MR Görüntüsünden Bir Kesit.....	64
Şekil 4.31. Vaka 10 EEG Görüntüsünden Bir Kesit.....	65
Şekil 4.32. Antalya'daki Kapalı Alanlarda İç Hava Kalitesi Parametreleri ve Beyin Sağlığı Üzerindeki Etkileri	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. İç Ortam Kirleticileri ve İnsan Sağlığı ile Bilişsel Performans Üzerindeki Başlıca Etkileri	24
Çizelge 4.1. Analiz Yöntemlerine Göre Beyin Dalgalarının Sınıflandırılması	46
Çizelge 4.2. Bölgelere Göre Bulguların Sınıflandırılması.....	66
Çizelge 4.3. Bireysel Vaka Analizleri ve İç Hava Kalitesi İlişkisi Özet Çizelgesi	70
Çizelge 4.4. Antalya Özelinde İç Hava Kalitesi ve Beyin Sağlığı Etkileri Özeti (Odaklı İlçe Analizi)	73



1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca yaşam alanlarımız sürekli evrilmiş ve modern çağda bireylerin zamanlarının büyük bir çoğunluğunu iç mekânlarda geçirmesi, bu ortamların kalitesini hayati bir öneme taşımıştır. Sanayileşme, kentleşme ve iklim kontrollü binaların yaygınlaşmasıyla birlikte, dışarıdaki hava kalitesi kadar iç mekânlardaki hava kalitesi de göz ardı edilemez bir sağlık faktörü haline gelmiştir. Ne yazık ki, yaygın kanının aksine, hava kirliliği yalnızca dış ortamlarla sınırlı değildir. İç mekânlar, insan solunumu, kullanılan eşyalardan yayılan partiküller, yapı malzemeleri, temizlik ürünleri ve hatta dışarıdan sızan kirleticiler gibi pek çok etmen nedeniyle hava kalitesi açısından riskli olabilmektedir. Bu durum, iç hava kalitesi ile bireylerin genel sağlık ve yaşam kalitesi arasındaki derin bağlantının önemini giderek artırmıştır.

İç mekânlarda biriken partikül madde, uçucu organik bileşikler ve özellikle karbondioksit konsantrasyonları gibi hava kirliliği faktörleri, solunum yoluyla vücuda nüfuz ederek kısa ve uzun vadede çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Özellikle beyin fonksiyonları üzerindeki olumsuz etkiler, son yıllarda bilimsel araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Artan kanıtlar, düşük iç hava kalitesinin bilişsel fonksiyonlarda düşüş, dikkat eksikliği, hafıza kaybı, kronik yorgunluk ve duygu durum bozuklukları gibi sorunlara zemin hazırlayabildiğini göstermektedir. Literatürdeki çalışmalar, bu bağlantıyı somut verilerle desteklemiştir: karbondioksit seviyelerindeki nispeten küçük artışların bile bilişsel performansı olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Örneğin, Miller ve arkadaşları (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, karbondioksit seviyelerindeki sadece 315 ppm'lik bir artışın, Stroop testinde yanıt süresini %0.85 artırdığı ve doğru yanıt sayısını %1.32 azalttığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Chen ve arkadaşları (2022), PM_{2.5} seviyelerinin 12 µg/m³'ün üzerine çıkmasının, bilişsel test performansında belirgin düşüşlere neden olduğunu saptamıştır. Dahası, uzun süreli hava kirliliğine maruz kalmanın beyin yapısında mikro düzeyde değişikliklere ve nörodejeneratif hastalıkların riskinde artışa yol açabildiği de gösterilmiştir. Xu ve arkadaşları (2021) tarafından yürütülen bir derlemede, PM₁₀ ve azot dioksit'e uzun süre maruz kalan bireylerde bilişsel gerileme hızının arttığı ve vasküler demans riskinin yükseldiği ortaya konulmuştur. Bu bulgular, iç mekânlardaki görünmez kirleticilerin, beyin sağlığı üzerindeki potansiyel tehlikelerine işaret etmiştir.

Öte yandan, temiz iç hava sirkülasyonunun ve iyi optimize edilmiş iç mekân ortamlarının zihinsel sağlık üzerinde belirgin bir olumlu etkisi olduğu da bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Doğal havalandırma, yüksek verimli hava temizleyici sistemlerin kullanımı ve hatta bitki tabanlı iç mekân peyzajı gibi stratejiler, iç mekân hava kalitesini iyileştirerek beyin sağlığını ve genel iyi oluş halini destekleyebilmektedir. Bu tür yöntemlerin çalışma ortamlarında, evlerde ve diğer kapalı kamusal alanlarda uygulanabilirliği üzerine yapılan çalışmalar, bireylerin performansını ve konforunu artırmaya yönelik pratik çözümler sunmuştur.

Bu yüksek lisans tezi, iç mekân hava kalitesi ile insan beyni sağlığı arasındaki bu kritik ve karmaşık bağlantıyı daha derinlemesine incelemeyi, mevcut bilgi birikimine katkı sağlamayı ve bu alandaki farkındalığı artırmayı hedeflemiştir. Çalışma kapsamında, iç mekân hava kalitesini etkileyen faktörlerin detaylı bir şekilde anlaşılması, sağlıklı ve konforlu iç mekânların tasarımı ve yönetimi için temel bir zemin oluşturacaktır. Bu doğrultuda, tezimiz Antalya'nın farklı bölgelerinde ikamet eden, bilinen herhangi bir

nörolojik veya başka bir sistemik hastalığı bulunmayan, ancak Hasta Bina Sendromu olarak bilinen semptomları (baş ağrısı, kronik yorgunluk, solunum güçlüğü, dikkat eksikliği, konsantrasyon bozuklukları vb.) deneyimleyen bireylerin mevcut tıbbi verilerini değerlendirmiştir. Çalışmada, yeni beyin görüntüleme veya sinyal ölçümleri yapılmamış; bunun yerine, Akdeniz Üniversitesi Hastanesi'nden etik kurul onaylı bir şekilde temin edilen mevcut Elektroensefalografi ve Manyetik Rezonans görüntüleme verileri analiz edilmiştir. Etik prensiplere sıkı sıkıya bağlı kalınarak, katılımcıların isim ve kişisel bilgileri kesinlikle kullanılmamıştır. Bireylerin beyin sinyalleri ve görüntüleri incelenerek, yaşadıkları bölgelerin genel hava kalitesi ve ev içi ortamlarının özellikleri ile deneyimledikleri semptomlar ve beyin fonksiyonları arasındaki potansiyel ilişkiler araştırılmıştır. Bu yaklaşım, çevresel faktörlerin insan beyni üzerindeki etkisini doğrudan nörofizyolojik ve nöroanatomik düzeyde anlamamıza olanak tanıyacaktır.

Bu tez çalışmasının ana hedefleri aşağıdaki gibi detaylandırılabilir:

- **İç Mekân Hava Kalitesini Etkileyen Faktörlerin Analizi ve Beyin Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi:** İç mekânlardaki hava kalitesini düşüren ana faktörlerin (partikül madde, karbondioksit, uçucu organik bileşikler vb.) kapsamlı bir şekilde belirlenmesi ve bu kirleticilerin insan beyninin elektriksel aktivitesi (elektroensefalografi) ve yapısal özellikleri (manyetik rezonans) üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu sayede, kirli havanın beyin görüntüleri ve sinyalleri üzerinde ne tür farklılıklara yol açtığı ortaya konulacaktır.
- **İç Hava Kalitesini İyileştirmeye Yönelik Etkili Stratejilerin Belirlenmesi:** Çalışmada elde edilen bulgular ışığında, iç mekânlardaki hava kalitesini iyileştirmek için uygulanabilir ve etkin stratejilerin belirlenmesi ve önerilmesi amaçlanmıştır. Bu stratejilerin uygulanmasıyla temizlenmiş havanın, beyin fonksiyonları üzerindeki potansiyel olumlu etkileri dolaylı yoldan değerlendirilecektir.
- **İyileştirilmiş İç Hava Kalitesinin Beyin Sağlığı ve Konfor Üzerindeki Olumlu Etkilerinin Belirlenmesi:** İç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesinin, bireylerin bilişsel performansı, psikolojik iyi oluş hali ve genel konfor düzeyleri üzerinde gerçek dünya koşullarında nasıl bir fark yaratabildiğini anlamak ve mevcut veri seti üzerinden bu olumlu etkileri belgelendirmek hedeflenmiştir.
- **Toplumsal Farkındalığın Artırılması ve Sağlıklı İç Mekânların Teşviki:** İç mekân hava kalitesinin önemi, potansiyel sağlık etkileri ve iyileştirme stratejileri hakkında bilgilendirici kaynakların oluşturulması ve yayılması aracılığıyla toplumda genel bir farkındalık yaratılması ve sağlıklı iç mekânların oluşturulmasına yönelik bilinçlendirme çabalarına katkı sağlanması önceliklerden olmuştur.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, iç hava kalitesi ile beyin sağlığı arasındaki derin bağlantıların altını çizerek, bu alanda yapılacak müdahalelerin gerekliliğini ve etkisini bilimsel verilerle ortaya koymayı amaçlamıştır. Temiz hava, yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda zihinsel sağlık ve bilişsel işlevsellik için de temel bir unsurdur. Bu bağlamda alınacak önlemler, bireylerin genel sağlığını, yaşam kalitesini ve dolayısıyla akademik ve

mesleki başarı durumlarını olumlu yönde etkileyecek potansiyele sahiptir. Bu çalışma, hem literatüre önemli bir katkı sunmayı hem de halk sağlığı politikalarına yol gösterici nitelikte bulgular sağlamayı hedeflemektedir.



2. KAYNAK TARAMASI

Bu tez çalışması, iç ortam hava kalitesi ile insan bilişsel ve nörolojik sağlığı arasındaki karmaşık ilişkiyi çok yönlü bir bakış açısıyla ele almaktadır. Bu kapsamda, küresel ölçekte yapılan bilimsel araştırmaların yanı sıra, özellikle Türkiye'deki mevcut literatürün derinlemesine incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Aşağıdaki bölümlerde, iç hava kalitesinin insan beyni üzerindeki etkilerine dair uluslararası ve ulusal düzeydeki çalışmalar, bu alandaki lisansüstü tezler ve genel iç hava kalitesi prensipleri detaylı bir şekilde analiz edilecektir. Ayrıca, insan beyninin yapısal ve işlevsel özellikleri ile çevresel faktörlere duyarlılığına değinilerek, özellikle Antalya özelinde iç ortam hava kalitesinin insan beyin sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri kapsamlı bir değerlendirmeye tabi tutulacaktır. Bu kaynak taraması, tez çalışmamızın temelini oluşturan bilimsel zemini güçlendirmeyi ve hipotezlerimizi destekleyecek kanıtları ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2.1. İç Hava Kalitesinin Bilişsel ve Nörolojik Sağlık Üzerindeki Etkileri Üzerine Uluslararası Çalışmalar

Modern yaşam döngüsü, bireylerin zamanlarının önemli bir bölümünü kapalı mekânlarda geçirmesini zorunlu kılmıştır. Bu durum, iç hava kalitesinin sadece fiziksel sağlığı değil, aynı zamanda bilişsel ve nörolojik fonksiyonlar üzerindeki etkilerinin de bilimsel araştırmaların temel odak noktalarından biri haline gelmesine neden olmuştur. Kentsel yaşamın artan karmaşıklığı ve iklim kontrollü binaların yaygınlaşmasıyla birlikte, dış ortam kirliliğinin yanı sıra, iç mekânlardaki hava kalitesi de göz ardı edilemez bir halk sağlığı problemi olarak kendini göstermiştir. Bu bağlamda, uluslararası literatürde iç hava kalitesinin bilişsel performans, zihinsel sağlık ve beyin yapısı üzerindeki çeşitli etkilerini inceleyen kapsamlı çalışmalar yürütülmüştür.

İç mekânlardaki başlıca hava kirleticileri arasında karbondioksit, ince partiküller, uçucu organik bileşikler ve formaldehit gibi maddeler yer almaktadır. Bu maddeler, havalandırma yetersizliği ve kirleticilerin iç mekânlarda birikmesi sonucu artar ve bireylerin sağlığını olumsuz şekilde etkileyebilir. Bu kirleticilerin birikmesi, beyin fonksiyonları üzerinde ciddi değişikliklere yol açarak bireylerin öğrenme kapasitesini, yaratıcı düşünme becerilerini ve genel kognitif performanslarını olumsuz yönde etkileyebilir (Miller et al., 2023).

2.1.1. Karbondioksitin bilişsel ve zihinsel sağlık üzerindeki etkileri

Karbondioksit, iç mekânlarda insan solunumu gibi faaliyetler sonucu biriken ve konsantrasyonu hızla artabilen temel bir kirleticidir. Karbondioksit seviyelerinin yükselmesi, özellikle ofis gibi kapalı alanlarda çalışan bireylerde konsantrasyon eksiklikleri, baş ağrıları, yorgunluk ve genel zihinsel yavaşlama gibi bilişsel problemleri beraberinde getirebilir. Yapılan çalışmalarda, karbondioksit seviyelerinin 1000 ppm (milyonda bir kısım) eşığının üzerine çıkmasının bilişsel performansı doğrudan etkileyen bir faktör olduğu görülmüştür (Miller et al., 2023). Bu durum, ofis ortamlarında çalışan bireylerin iş verimliliğini düşürürken, aynı zamanda genel iş memnuniyetsizliklerine de yol açmaktadır. Karbondioksit seviyelerinin yüksek olduğu ortamlarda çalışan bireylerin bilişsel performanslarının azaldığı, özellikle karar verme ve problem çözme becerilerinde ciddi düşüşler yaşandığı belirtilmektedir. Hatta, 315 ppm gibi nispeten küçük bir

karbondioksit artışının dahi Stroop testindeki yanıt süresini %0.85 oranında artırıp doğru yanıt sayısını %1.32 oranında azalttığı tespit edilmiştir (Miller et al., 2023).

Birçok çalışma, karbondioksitin artan seviyelerinin, insanların dikkat sürelerini, hafıza kapasitesini ve karar verme yeteneklerini olumsuz etkileyebileceğini ortaya koymuştur (Zhang et al., 2022). 1000 ppm'nin üzerindeki karbondioksit seviyelerinin, bilişsel performansı düşürdüğü ve bu durumun sinir sistemini ve beyin aktivitelerini etkileyerek dikkat eksikliği, yorgunluk, baş ağrıları gibi psikolojik semptomların artmasına yol açtığı gözlemlenmiştir (Miller et al., 2023; Wargocki et al., 2019). Yüksek karbondioksit seviyelerinin, ruh halini bozarak depresyon ve kaygı gibi duygusal bozuklukların gelişmesine zemin hazırladığı da yapılan araştırmalarda vurgulanmıştır (Zhang et al., 2022; Wu et al., 2021). Bu durum, özellikle ofislerde ve okullarda, düşük hava kalitesine sahip ortamlarda çalışan veya eğitim gören bireylerde daha belirgindir. Uzun süreli karbondioksit maruziyeti, ruh hali değişimlerine ve zihinsel tükenmişliğe yol açabilir; bu da iş yerlerinde verimliliği düşürür ve öğrenme süreçlerini olumsuz etkiler (Wu et al., 2021).

2.1.2. İnce partikül madde ve beyin sağlığına etkileri

İnce partikül madde, hem dış ortam kirliliğinden kaynaklanabileceği gibi, iç mekânlarda da birikerek bireylerin sağlığını olumsuz etkileyebilir. İnce partikül maddenin beyin üzerinde olumsuz etkiler yarattığına dair güçlü bulgular mevcuttur. Özellikle uzun süreli ince partikül madde maruziyetinin, dikkat dağınıklığı, hafıza kaybı ve bilişsel gerileme gibi bilişsel etkilere neden olduğu belirtilmiştir (Xu et al., 2021; Chen et al., 2021). Bu tür kirleticilere maruz kalan bireylerde, erken yaşlanma ve nörolojik hastalıkların gelişme riski de artmaktadır (Xu et al., 2021).

Bilimsel kanıtlar, ince partikül madde partiküllerinin akciğerler aracılığıyla kana geçerek kan-beyin bariyerini aşabildiğini ve beyin dokusunda inflamasyonu (nöroinflamasyon) ve oksidatif stresi tetikleyebildiğini ortaya koymuştur (Fan et al., 2022; Chen et al., 2021). İnce partiküller, beyin hücrelerine kadar inerek bu biyolojik süreçleri tetiklediği ve bunun sonucunda beyin fonksiyonlarının bozulmasına neden olduğu bildirilmiştir (Xu et al., 2021). Bu durum, dikkat eksiklikleri, hafıza kayıpları ve öğrenme güçlükleri gibi bilişsel sorunlara yol açabilir. Yapılan bir başka çalışmada, ince partikül maddeye uzun süre maruz kalan bireylerde Alzheimer hastalığına ve diğer nörodejeneratif hastalıklara ilişkin semptomların hızlandığı gözlenmiştir (Gao & Li, 2023). Özellikle yaşlı bireylerde, ince partikül maddeye maruziyetin, beyin fonksiyonlarındaki gerilemeyi hızlandırdığı tespit edilmiştir (Gao & Li, 2023; Lee et al., 2020). Harrison ve arkadaşları (2020) da ince partikül maddenin beyin yapılarında gerilemeye yol açarak Alzheimer hastalığı gibi nörolojik hastalıkların başlangıcını hızlandırabileceğini belirtmiştir.

İnce partikül maddenin beyin üzerindeki etkileri, kognitif işlevlerde gerileme, öğrenme ve hafıza problemleri ile ilişkilendirilmiştir (Harrison et al., 2020). Bu partiküllerin, beyin yapısında hasara neden olduğu ve nörotransmitter dengesizliklerine yol açarak, duygusal ve psikolojik bozuklukları tetikleyebileceği ortaya konmuştur (Chen et al., 2022). İnce partikül maddeye uzun süre maruz kalan bireylerde, depresyon, anksiyete, uyku bozuklukları ve ruh hali bozukluklarının arttığı gözlemlenmiştir (Chen et al., 2022; Xu et al., 2021). Çocuklar gibi hassas gruplar da ince partikül maddeye maruz

kaldıklarında nörolojik hastalıkların erken gelişim riskine ve depresyon, anksiyete, dikkat dağınıklığı gibi zihinsel sağlık sorunlarına daha yatkın olabilmektedir (Zhang et al., 2021).

2.1.3. Uçucu organik bileşiklerin zihinsel ve bilişsel sağlık üzerindeki etkileri

Uçucu organik bileşikler, ev eşyaları, temizlik ürünleri, boyalar, inşaat malzemeleri ve hatta sigara dumanı gibi çeşitli iç mekân kaynaklarından salınan kimyasal kirleticilerdir. Bu bileşiklerin iç mekân hava kalitesini bozmadaki rolü ve zihinsel sağlık üzerindeki etkileri son yıllarda daha fazla incelenmiştir. Uçucu organik bileşiklere maruz kalan bireylerde zihinsel performans düşüklüğü, duyu durum bozuklukları, baş ağrıları, mide bulantıları, anksiyete ve depresyon gibi semptomlar sıkça rapor edilmiştir (Jones & Williams, 2022; Hao et al., 2023). Özellikle iş yerlerinde ve okullarda uçucu organik bileşiklere maruz kalan bireylerde hafıza bozuklukları, anksiyete, depresyon ve dikkat dağınıklığının arttığı gözlenmiştir (Fan et al., 2022).

Uçucu organik bileşiklerin beyin üzerindeki etkileri, kimyasal bileşiklerin merkezi sinir sistemi üzerinde doğrudan toksik etkiler yaratması ve nörotransmitterlerin işleyişini olumsuz etkilemesi ile ilişkilidir (Jones & Williams, 2022). Bu etki, bireylerin öğrenme kapasitesinin düşmesine ve bilgi işlemelerinde zorluk yaşamasına neden olabilmektedir. Fan ve arkadaşları (2022) yaptıkları bir çalışmada, uçucu organik bileşiklere maruz kalmanın, özellikle dikkat ve bellek üzerinde olumsuz etkiler yarattığını ve bu durumun zihinsel performansı doğrudan etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca, uçucu organik bileşiklere maruz kalan bireylerde uyku bozuklukları, yorgunluk ve sinir bozuklukları gibi semptomların arttığı da gözlemlenmiş, bu durumların özellikle çalışanlar ve öğrenciler için zihinsel verimliliği ciddi şekilde engelleyebileceği vurgulanmıştır. Özellikle kadınlarda depresyon ve anksiyete semptomlarının daha sık görüldüğü belirlenmiştir (Fan et al., 2022). Uçucu organik bileşiklerin beyin kimyasını bozarak, duyu durumunu düzenleyen nörotransmitterleri olumsuz yönde etkileyebileceği ve bunun sonucunda anksiyete, depresyon ve stres gibi ruhsal hastalıkların ortaya çıkabileceği de belirtilmiştir (Fan et al., 2022).

Kirleticiler ve bileşikler, doğrudan beyin fonksiyonları üzerinde etkili olabildiği gibi, dolaylı olarak bireylerin yaşam kalitesini de düşürebilir. Örneğin, iç mekânlardaki kötü hava kalitesi, uyku düzenini bozabilir ve bu da bilişsel performans üzerinde uzun vadeli olumsuz etkiler yaratabilir. Uyku eksikliği, dikkat eksikliği ve depresyon gibi semptomlar, beyin sağlığını doğrudan etkileyebilir ve bu semptomlar, bireylerin günlük yaşamda karşılaştıkları zorlukların daha da artmasına neden olabilir (Chen et al., 2021).

2.1.4. İç hava kalitesi iyileştirmelerinin olumlu etkileri ve genel değerlendirme

Uluslararası literatür, iç hava kalitesinin iyileştirilmesinin bilişsel, zihinsel ve nörolojik sağlık üzerinde önemli olumlu etkiler yaratabileceğini güçlü bir şekilde ortaya koymuştur. Hava temizleme cihazlarının kullanımı, doğal havalandırma sistemlerinin güçlendirilmesi, bitki tabanlı iç mekân peyzajı gibi yöntemler, iç hava kalitesini artırmada etkili araçlar olarak belirlenmiştir.

Harvard Halk Sağlığı Okulu tarafından yapılan bir araştırma (Allen et al., 2016), yeşil binalarda çalışan bireylerin karar verme süreçlerinde daha hızlı ve doğru sonuçlar aldığını ve stres seviyelerinin daha düşük olduğunu kanıtlamıştır. Bu tür binalarda, iç hava kalitesinin yanı sıra, doğal ışık kullanımı ve bitkilerin iç mekânlarda bulunması gibi faktörler de bilişsel işlevselliği olumlu yönde etkilemektedir. Chen ve arkadaşları (2021) ile Lee ve arkadaşları (2020) bitkilerin iç mekân havasındaki uçucu organik bileşikleri absorbe ederek zihinsel sağlık üzerinde faydalı bir etki yaratabildiğini ve psikolojik ve bilişsel iyileşmeye katkı sağlayabildiğini ifade etmiştir.

Wargocki ve arkadaşları (2019) gibi çalışmalar, iç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesi için alınacak basit önlemlerin, bireylerin ruh hali üzerinde önemli bir iyileşme sağladığını ve dikkat sürelerini artırarak bilişsel performansı olumlu yönde etkileyebileceğini ortaya koymuştur. Hava temizleyicilerin, iç mekânlardaki kirleticileri azaltarak, bireylerin bilişsel performanslarını iyileştirdiği birçok araştırma tarafından desteklenmiştir. Örneğin, bir çalışmada, hava temizleyici cihazların kullanımıyla, karbondioksit seviyelerinin düşürülmesi ve ince partikül madde yoğunluğunun azaltılması sayesinde, çalışanların odaklanma ve dikkat becerilerinin arttığı bulunmuştur (Xu et al., 2021). Çalışma ortamlarında yapılan hava kalitesi düzenlemelerinin, bireylerin psikolojik sağlıklarını olumlu şekilde etkileyebileceği ve verimliliği artırabileceği ortaya çıkmıştır (Chen et al., 2021). Lee ve arkadaşları (2020) da yerel çevresel faktörlerin, iç mekân hava kalitesiyle bağlantılı olarak bilişsel performansı etkilediğini tespit etmiş ve kapalı mekânlarda hava kalitesinin iyileştirilmesinin, dış çevresel faktörlerden bağımsız olarak da kritik bir faktör haline geldiğini belirtmiştir. Hava kalitesinin iyileştirilmesi için kullanılan yöntemler, genellikle havalandırma sistemlerinin güçlendirilmesi, hava temizleyici cihazlarının kullanılması ve doğal havalandırmanın sağlanması gibi önlemleri içermektedir. Bu tür iyileştirmeler, özellikle dikkat eksiklikleri, baş ağrıları ve stres gibi semptomları azaltabilir ve genel olarak zihinsel sağlığı iyileştirebilir.

Sonuç olarak, iç mekân hava kalitesinin zihinsel ve nörolojik sağlık üzerindeki etkileri, geniş kapsamlı uluslararası araştırmalarla desteklenen ve giderek daha fazla dikkat çeken bir konu haline gelmiştir. İç mekânlarda yüksek karbondioksit seviyeleri, ince partikül madde ve uçucu organik bileşikler gibi kirleticilere maruz kalmanın bilişsel performansı olumsuz etkilediği, yapılan araştırmalarla desteklenen güçlü bir kanıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle kapalı ofislerde çalışan bireylerin bilişsel performanslarının düşmesi, iş verimliliği üzerinde ciddi etkilere yol açmaktadır. Bu kirleticilerin uzun süreli maruziyeti, bilişsel bozulmalar, dikkat eksiklikleri, hafıza kaybı, depresyon, anksiyete, stres ve diğer psikolojik sorunları tetikleyebilir. Özellikle çocuklar ve yaşlılar gibi hassas grupların bu kirleticilere karşı daha savunmasız olduğu ve beyin gelişimleri ile yaşlanma süreçlerinin olumsuz etkilendiği de vurgulanmıştır. Bu nedenle, iç mekânların hava kalitesinin düzenli olarak izlenmesi ve iyileştirilmesi, yalnızca fiziksel sağlığın korunması değil, aynı zamanda bireylerin zihinsel ve bilişsel kapasitelerinin geliştirilmesi için de kritik bir öneme sahiptir. İç hava kalitesini iyileştirmek için atılacak adımlar, yalnızca fiziksel sağlık değil, zihinsel sağlık üzerinde de uzun vadeli faydalar sağlayacaktır. Bu alanda atılacak adımlar, bireylerin genel sağlığını, yaşam kalitesini ve dolayısıyla akademik ve mesleki başarı durumlarını olumlu yönde etkileyecek potansiyele sahip bulunmaktadır. İç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesi, bu etkilerin azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı iç mekân ortamlarının oluşturulması hem bireylerin bilişsel performansını hem de genel yaşam

kalitesini iyileştirecektir. Bu alandaki daha fazla araştırma, hava kalitesinin bilişsel işlevler üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza olanak tanıyacaktır.

2.2. Türkiye'de İç Hava Kalitesinin Bilişsel ve Nörolojik Sağlık Üzerindeki Etkileri Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Türkiye'de iç hava kalitesinin insan sağlığı, özellikle de bilişsel ve zihinsel fonksiyonlar üzerindeki etkileri, uluslararası literatürde olduğu gibi artan bir ilgiyle incelenmektedir. Yurt içi çalışmalar, iç mekânlardaki çeşitli kirleticilerin sağlık sorunlarına ve bilişsel performansta düşüslere yol açtığını net bir şekilde ortaya koymaktadır.

2.2.1. İç hava kalitesinin insan sağlığına etkileri ve hasta bina sendromu

Köksal'ın (2010) gerçekleştirdiği çalışmada, iç mekân hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde ele alınmış, özellikle Hasta Bina Sendromu (HBS) tanımlanarak bu sendromun ortaya çıkmasına neden olan etmenler detaylı bir şekilde incelenmiştir. HBS; kapalı ortamlarda, yetersiz hava kalitesine sahip binalarda ortaya çıkan baş ağrısı, yorgunluk, gözlerde iritasyon, solunum güçlükleri ve cilt rahatsızlıkları gibi çeşitli sağlık sorunlarını içeren bir durum olarak tanımlanmıştır. Bu sendromun temel nedenleri arasında iç mekândaki kirletici maddeler, yetersiz havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, toksik yapı malzemeleri ile bireylerin maruz kaldığı hava kirliliği gibi faktörler gösterilmiş; bu unsurların bireylerin yaşam kalitesini düşürerek fiziksel sağlığın yanı sıra psikolojik ve bilişsel işlevleri de olumsuz etkilediği vurgulanmıştır. Ayrıca çalışmada, iç hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik çözüm önerilerine de yer verilmiş; hava sirkülasyonunun artırılmasının HBS'nin önlenmesinde kritik bir rol oynadığı, yetersiz sirkülasyonun ise kirleticilerin ortamda birikmesine yol açarak özellikle solunum problemlerini tetiklediği ifade edilmiştir. Bu bağlamda, havalandırma sistemlerinin etkinliğinin artırılması, hava temizleme cihazlarının kullanımı, hava kanallarının düzenli bakımının yapılması ve yapı malzemelerinin seçiminde VOC gibi zararlı kimyasallar salmayan çevre dostu alternatiflerin tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Yapı tasarımı aşamasında iklimsel koşulların dikkate alınması ve doğal havalandırma sistemlerinin entegre edilmesi, hem hava kalitesinin artırılması hem de enerji verimliliği açısından önemli görülmüştür. Almanya'da yapılan bir araştırmaya atıfla, teknolojik yeniliklerin (örneğin akıllı iklimlendirme sistemleri, gelişmiş filtreleme çözümleri ve düzenli bakım uygulamaları) iç hava kalitesi üzerindeki olumlu etkileri örneklendirilmiştir. Tüm bu önlemlerin, hem birey sağlığını korumada hem de çevresel sürdürülebilirliği desteklemede etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Köksal, 2010).

2.2.2. Eğitim ve çalışma ortamlarında iç hava kalitesinin bilişsel ve ruhsal sağlık üzerindeki etkileri

Karaca tarafından (2022) İstanbul'daki ilkokul dersliklerinde yapılan saha çalışmasında, özellikle kış aylarında doğal havalandırmanın kısıtlı olduğu ortamda karbondioksit (CO₂) seviyelerinin Sağlık Bakanlığı ve ASHRAE standartlarının üzerinde, 1500 ppm'ye kadar yükseldiği gözlemlenmiştir. Yüksek CO₂ konsantrasyonlarının öğrencilerde dikkat dağınıklığı, baş ağrısı ve bilişsel performans düşüklüğüne yol açtığı belirlenmiştir. Ayrıca sıcaklık ve bağıl nemin optimal aralıkların dışına çıkmasının

öğrencilerin termal konforunu ve odaklanma yeteneğini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Teknik çözümler kapsamında menfez sistemleri ve havalandırma bacalarının kullanımı ile pasif havalandırmanın artırılmasının CO₂ birikimini önleyerek hava değişim oranını yükselttiği, CO₂ sensörlü havalandırma kontrol sistemlerinin ise iç hava kalitesinin dinamik yönetiminde etkili olduğu vurgulanmıştır. Çalışma, iç hava kalitesinin yalnızca fiziksel sağlık açısından değil, bilişsel fonksiyonlar ve ruhsal sağlık için de kritik önem taşıdığını; bu nedenle eğitim ortamlarında sürdürülebilir ve teknolojik destekli havalandırma stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur (Karaca, 2022).

Güneş ve Alkan (2019) Türkiye’de iç hava kalitesi ile bilişsel performans ve beyin işlevleri arasındaki ilişkiyi EEG destekli olarak incelemiştir. İstanbul’daki bir üniversite kampüsünde farklı bina gruplarında yürütülen araştırmada, öğrencilerin iç ortam hava kalitesi koşullarında sergiledikleri bilişsel performans elektroensefalografi (EEG) verileriyle analiz edilmiştir. EEG kayıtları, farklı hava kalitesi düzeylerindeki sınıf ortamlarında yapılan zihinsel görevler sırasında alınmıştır. Düşük hava kalitesi ortamlarında delta ve teta dalgalarının arttığı, beta ve gama dalgalarının ise baskılandığı tespit edilmiştir. Bu dalgasal değişiklikler dikkat seviyelerinde düşüş, zihinsel performansta azalma, uyanıklık düzeyinin düşmesi ve beyin kaynaklı yorgunluğun artmasıyla ilişkilendirilmiştir. EEG bulgularını destekleyen bilişsel testlerde, düşük hava kalitesinde hata oranlarının arttığı, görev tamamlama sürelerinin uzadığı ve karar verme süreçlerinde kararsızlıkların ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Araştırmada, karbondioksit düzeylerinin kontrol altında tutulması, doğal havalandırmanın desteklenmesi ve gerektiğinde mekanik havalandırma sistemlerinin kullanılması önerilmiştir. Ayrıca uçucu organik bileşikler, nem oranı ve sıcaklığın da EEG dalgalarını etkilediği belirtilerek, bu kirleticilerin kaynağında azaltılması gerektiği ifade edilmiştir. Temizlik malzemeleri, mobilya ve zemin kaplama türlerinin de hava kalitesine etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak, Güneş ve Alkan (2019) iç hava kalitesinin fiziksel sağlık yanında bilişsel performans ve nöropsikolojik işlevler üzerinde belirgin etkileri olduğunu ortaya koymuştur. EEG bulgularındaki delta ve teta artışı ile beta ve gama azalışı, zihinsel yorgunluk ve dikkat kontrolü zayıflamasıyla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca, iç hava kalitesine duyarlı bireylerin, özellikle dikkat eksikliği, migren, alerji, astım veya anksiyete yaşayanların bu durumdan daha fazla etkilendiği vurgulanmıştır. Nörobilimsel ölçüm araçlarının iç hava kalitesinin etkilerini değerlendirmede önemli bir potansiyele sahip olduğu da belirtilmiştir (Güneş & Alkan, 2019).

Bulgurcu, İlten ve Coşgun (2005), okullarda iç hava kalitesinin öğrenci sağlığı ve bilişsel performans üzerindeki etkilerini detaylı bir saha çalışması ile incelemişlerdir. Çalışmada, iç hava kalitesini belirleyen başlıca kirleticiler arasında karbondioksit (CO₂), uçucu organik bileşikler (VOC), partikül maddeler, alerjenler ve mikroorganizmalar yer almaktadır. Bu kirleticilerin birikimi, özellikle yetersiz havalandırma ve zayıf hava sirkülasyonu nedeniyle okul ortamlarında önemli ölçüde artmaktadır. Yapılan ölçümler, kirleticilerin konsantrasyonlarının Sağlık Bakanlığı ve uluslararası standartların üzerinde olduğunu göstermiştir. Kirleticilerin yüksek seviyeleri, öğrencilerde dikkat dağınıklığı, baş ağrısı, yorgunluk, solunum rahatsızlıkları ve bilişsel performans düşüklüğüne yol açmaktadır. Ayrıca, yetersiz hava kalitesinin okul devamsızlığı ve akademik başarıda azalmayla ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada, doğal havalandırmanın desteklenmesi, mekanik havalandırma sistemlerinin etkin kullanımı, hava filtreleme sistemlerinin düzenli bakımı ve kimyasal temizlik maddelerinin çevre dostu alternatiflerle

değiştirilmesi önerilmektedir. Bu önlemlerle, hem sağlık sorunlarının azaltılabileceği hem de öğrencilerin bilişsel işlevlerinin ve akademik performanslarının iyileştirilebileceği belirtilmiştir (Bulgurcu, İlten & Coşgun, 2005).

2.2.3. Ofis ortamlarında iç hava kalitesinin çalışan sağlığına etkileri

Hoşten ve Dalbay (2018) tarafından Aydın Sağlık Dergisi'nde yayımlanan çalışmada, ofis ortamlarında iç hava kalitesi ile çalışan sağlığı arasındaki ilişki sistematik biçimde değerlendirilmiştir. Araştırma, karbondioksit (CO₂), uçucu organik bileşikler (VOC), partikül maddeler (PM) ile sıcaklık ve bağıl nem gibi çevresel parametrelerin ölçümünü içermektedir. Elde edilen bulgular; düşük hava sirkülasyonu ve yetersiz hava değişim oranlarının, çalışanlarda baş ağrısı, göz irritasyonu, solunum güçlükleri ve yorgunluk gibi semptomlarla ilişkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, bu olumsuz koşulların çalışan performansı, dikkat ve iş motivasyonunu da düşürdüğü belirlenmiştir. Hoşten ve Dalbay (2018), iç hava kalitesini iyileştirmek için doğal havalandırma sistemlerinin kurulmasını, mekanik havalandırma sistemlerinin etkin kullanılmasını ve düzenli bakım süreçlerinin önemini vurgulamışlardır. Bu bulgular, ofis ortamlarında uygulanabilecek iç hava kalitesi iyileştirme stratejilerinin hem fiziksel hem bilişsel işlevselliği artırmada kritik olduğunu göstermektedir (Hoşten & Dalbay, 2018).

Sözen ve Işık (2016), Tunceli Üniversitesi kampüsündeki ofis ve dersliklerde yaptıkları saha ölçümleriyle, iç hava kalitesi parametrelerini (CO₂, sıcaklık ve bağıl nem) sistematik olarak incelemişlerdir. Ölçümler sırasında, özellikle ofis ortamlarında CO₂ seviyelerinin ASHRAE ve TS standartlarının üzerinde seyrettiği, düşük hava değişim oranlarının baş ağrısı, göz kuruluğu, yorgunluk ve dikkat dağınıklığı gibi çalışan şikayetleriyle ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Dersliklerde ölçülen sıcaklık ve nem değerlerinin ise genel konforu etkilediği belirlenmiştir. Araştırmacılar, bu olumsuz etkilerle başa çıkmak için CO₂ sensörlü havalandırma sistemleri kurulması, doğal havalandırmanın teşvik edilmesi ve mekanik sistemlerin düzenli bakımının yapılması gibi teknik öneriler sunmuşlardır (Sözen & Işık, 2016).

2.2.4. İç mekân hava kalitesinin bilişsel performans ve zihinsel sağlık üzerindeki etkileri: İstanbul örneği

Kara ve Karakurt (2022) tarafından Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmada, iç mekân hava kalitesinin bireylerin beyin sağlığı ve bilişsel performansları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma, özellikle İstanbul ilinde yer alan ofis ve okul ortamlarına odaklanmış; farklı sosyo-ekonomik düzeylere sahip bölgelerde yürütülen çevresel ölçümler ve anket uygulamalarıyla iç hava kalitesinin kullanıcılar üzerindeki fizyolojik ve zihinsel etkileri detaylı şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, özellikle yüksek seviyelerde karbondioksit (CO₂) ve ince partikül madde (PM_{2.5}) yoğunluğu gözlemlenen kapalı alanlarda çalışan bireyler ve öğrencilerin bilişsel performanslarında anlamlı azalmalar yaşadığını ortaya koymuştur. Bu bilişsel azalmalar; dikkat eksikliği, kısa süreli bellek bozuklukları, zihinsel yorgunluk, karar verme süreçlerinde yavaşlama ve genel tepki süresi artışı gibi belirtilerle kendini göstermektedir. Araştırmacılar, CO₂ seviyelerinin 1000 ppm'yi aştığı ortamlarda beynin oksijen kullanım verimliliğinin düştüğünü, PM_{2.5}'in ise solunarak kana karışması durumunda merkezi sinir sistemi üzerinde inflamatuvar etkiler oluşturabileceğini ve bunun uzun vadede nörolojik hasarlara neden olabileceğini vurgulamıştır.

Çalışmada ayrıca, iç hava kalitesinin bozulmasının yalnızca fiziksel sağlığı değil, aynı zamanda bireylerin zihinsel kapasitesi, problem çözme becerisi ve psikolojik dayanıklılığı üzerinde de olumsuz etkiler yarattığı belirtilmiştir. Bu doğrultuda; bina içi havalandırma sistemlerinin etkinliğinin artırılması, düzenli bakım ve filtre değişimlerinin ihmal edilmemesi, HEPA filtreli hava temizleyicilerin kullanılması, doğal havalandırmayı destekleyen mimari tasarımlar (örneğin geniş pencereler ve çapraz hava akışı sağlayan planlamalar) ile kullanıcı alışkanlıklarının (pencere açma, sınıf aralarında havalandırma sağlama) değiştirilmesi önerilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma iç mekân hava kalitesi ile zihinsel ve bilişsel sağlık arasındaki ilişkiyi Türkiye özelinde nicel verilerle ortaya koyarak, eğitim ve iş ortamlarında uygulanabilir stratejilere dayalı, çok boyutlu bir halk sağlığı perspektifi sunmaktadır (Kara & Karakurt, 2022).

2.2.5. Okul ortamlarında iç hava kalitesinin çocukların bilişsel ve zihinsel sağlığı üzerindeki etkileri

Güzel ve Yılmaz (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışma, iç mekân hava kalitesinin özellikle çocukların bilişsel ve psikolojik sağlığı üzerindeki etkilerini ele almıştır. Türkiye genelindeki farklı okullarda yapılan hava kalitesi ölçümleri ve psikolojik değerlendirmeler sonucunda; karbondioksit (CO₂), uçucu organik bileşikler (VOC) ve ince partikül maddelerin (PM_{2.5}) seviyelerinin birçok okulda yüksek olduğu saptanmıştır. Araştırmacılar, düşük kaliteli havalandırma sistemleri, kalabalık sınıflar, eski bina yapıları ve bazı öğretim materyallerinin bu kirleticilere kaynaklık ettiğini belirtmiştir. Bu çevresel faktörlerin, çocukların dikkat süresi, hafıza işlevleri ve öğrenme kapasiteleri üzerinde belirgin olumsuz etkiler yarattığı, uzun süreli maruziyetin ise zihinsel yorgunluk, motivasyon düşüklüğü ve duygusal gelişim bozukluklarına neden olabileceği vurgulanmıştır.

Çalışmada, okullarda doğal havalandırmanın artırılması, sınıf içi hava sirkülasyonunun iyileştirilmesi, hava temizleme sistemlerinin düzenli bakımı ve açılabilir pencere sistemlerinin yaygınlaştırılması önerilmiştir. Ayrıca, çevresel farkındalık eğitimlerinin öğrenci ve öğretmenlere yönelik olarak yaygınlaştırılması gerektiği ifade edilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, iç hava kalitesinin yalnızca fiziksel sağlıkla değil; bilişsel performans, psikolojik dayanıklılık ve akademik başarıyla doğrudan ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Güzel ve Yılmaz (2023), eğitim politikalarının okul içi hava kalitesini izlemeye yönelik sistematik uygulamalarla desteklenmesini ve bu konuda okul yönetimlerinin, yerel yönetimlerin ve sağlık otoritelerinin eşgüdüm içinde çalışması gerektiğini savunmuştur (Güzel & Yılmaz, 2023).

2.3. Türkiye'de İç Hava Kalitesi Üzerine Yapılan Lisansüstü Tez Çalışmaları ve İlgili Araştırmalar

Türkiye'de iç mekân hava kalitesi (İHK) üzerine gerçekleştirilen lisansüstü tezler ve bilimsel araştırmalar, bu alandaki bilgi birikimini önemli ölçüde artırmış ve sağlıklı yaşam alanlarının oluşturulmasına katkı sağlamıştır. Çalışmalar, İHK'yi etkileyen faktörleri, bunların sağlık üzerindeki etkilerini ve iyileştirme yöntemlerini kapsamlı şekilde ele almaktadır. Özellikle eğitim ve çalışma ortamlarındaki İHK sorunları ile

bireylerin bilişsel, psikolojik ve fiziksel sağlık çıktıları arasındaki ilişkiler detaylandırılmıştır.

2.3.1. Eğitim ortamlarında iç hava kalitesinin değerlendirilmesi ve öğrenci sağlığı üzerindeki etkileri

Eğitim kurumları, öğrencilerin uzun süre vakit geçirdikleri mekânlar olması nedeniyle iç hava kalitesi açısından kritik öneme sahiptir. Türkiye'de yapılan çeşitli tez çalışmaları, bu ortamların İHK sorunlarını ve bunların öğrenci sağlığı ile akademik performans üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde analiz etmiştir.

Çoşgun'un (2012) *Antalya İlinde Farklı Ortamlarda İç Hava Kalitesinin Araştırılması ve Modellenmesi* başlıklı doktora tezinde Antalya ilindeki farklı iç mekânlarda (okul, ofis, ev) gerçekleştirilen kapsamlı saha ölçümlerine dayanarak, iç hava kalitesinin parametrelerinden CO₂, sıcaklık, bağıl nem, formaldehit ve PM_{2.5}/PM₁₀'ın hem fiziksel konfor hem bilişsel işlevler üzerinde doğrudan etkili olduğu tespit edilmiştir. Tez verileri, özellikle kış aylarında CO₂ seviyelerinin kişi sayısına bağlı olarak hızla yükseldiğini ve bu durumun dikkat dağınıklığı, termal stres ve bilişsel performans düşüklüğü ile ilişkilendirilebileceğini göstermektedir. Çalışma, doğal havalandırmanın artırılması, mekanik sistem entegrasyonu ve kirletici kaynaklarının azaltılmasına yönelik stratejileri önererek, iç hava kalitesinin iyileştirilmesinin yalnızca fiziksel sağlık değil bilişsel sağlık açısından da elzem olduğunu vurgulamaktadır (Çoşgun, 2012).

Alptekin ve Çelebi'nin (2015) çalışması olan *Toz Partiküllerinin İç Mekân Hava Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi* adlı yüksek lisans tezinde, Dumlupınar Üniversitesi'ndeki farklı bina türlerinde yapılan ölçümlerle PM konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yapı malzemeleri, kullanıcı yoğunluğu ve kullanım şeklinin iç ortam hava kalitesini belirgin şekilde etkilediğini göstermiştir. Bu tez, eğitim mekânlarındaki partikül madde düzeylerinin sağlık ve öğrenme süreçleri üzerindeki rolünü vurgulamaktadır (Alptekin & Çelebi, 2015).

Betüz'ün (2012) Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde hazırladığı *Kalabalık Eğitim Mekânlarında İç Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi* başlıklı yüksek lisans tezinde, sıcaklık, bağıl nem ve karbondioksit (CO₂) seviyeleri gibi temel çevresel parametrelerin yoğun öğrenci trafiğine sahip eğitim mekânlarında nasıl değiştiği kapsamlı ölçümlerle incelenmiştir. Çalışma, özellikle öğrenci yoğunluğunun artmasıyla CO₂ ve nem seviyelerinin hızla yükseldiğini ve bu durumun iç ortam konforunu bozduğu gibi, öğrencilerin akademik performanslarını ve bilişsel işlevlerini olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir. Tezde ayrıca, doğal ve mekanik havalandırma sistemlerinin etkinliğinin artırılması, iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi ve dolayısıyla öğrenme ortamlarının optimize edilmesi için çeşitli öneriler sunulmuştur. İç hava kalitesinin sadece fiziksel sağlık değil, aynı zamanda bilişsel verimlilik ve psikososyal iyilik hali açısından da kritik bir faktör olduğunu vurgulamaktadır (Betüz, 2012).

2.3.2. İç hava kalitesinin farklı yapı türlerinde değerlendirilmesi ve iyileştirme çözümleri

İç hava kalitesinin farklı yapı türlerindeki durumu ve bu durumun iyileştirilmesine yönelik mekânîk ve mimari çözümler de Türkiye'deki lisansüstü tez çalışmalarının önemli odak noktalarından birini oluşturmaktadır.

Alçay ve Yalçın'ın (2015) *İç Ortam Havası Biyoaerosoller ve Mikrobiyal Hava Kalitesi Ölçüm Metotları* başlıklı makalesi, her ne kadar bir tez çalışması olmasa da, iç ortam havasında bulunan biyoaerosoller ve mikrobiyal kirleticilerin ölçüm yöntemlerini ele alması açısından birçok tez çalışması için metodolojik bir referans niteliği taşımaktadır. Çalışmada, iç hava kalitesinin değerlendirilmesinde mikrobiyal analizlerin önemi vurgulanmış ve farklı ölçüm tekniklerinin etkinliği detaylı biçimde tartışılmıştır. Bu kapsamda çalışma, iç mekânlardaki biyolojik kontaminasyonun belirlenmesi ve yönetimi açısından bilimsel ve uygulamalı olarak değerli bilgiler sunmaktadır (Alçay & Yalçın, 2015).

Yemşen'in (2016) *İç Ortam Hava Kalitesinin İyileştirilmesinde Mekânîk Havalandırma Sistemlerinin Etkisi ve Endüstriyel Bir Uygulama* başlıklı Ege Üniversitesi yüksek lisans tezinde, mekanik havalandırma sistemlerinin iç hava kalitesi üzerindeki etkileri endüstriyel bir yapıda uygulamalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma, doğru şekilde tasarlanıp işletilen mekanik havalandırma sistemlerinin iç ortam hava kalitesinde kayda değer bir iyileşme sağladığını göstermiştir. Elde edilen bulgular, mekanik havalandırmanın yalnızca konfor değil, aynı zamanda sağlık açısından da iç mekânların kalitesini artırmada etkili ve işlevsel bir mühendislik çözümü olduğunu ortaya koymuştur (Yemşen, 2016).

Özdeş'in (2019) *İç Ortam Hava Kalitesi Bakımından Farklı Yerleşim Birimlerinde Karbondioksit Düzeylerinin Belirlenmesi ve İncelenmesi* başlıklı yüksek lisans tezinde, Şanlıurfa'nın Hilvan ilçesinde yer alan konut, işyeri ve kamu kurumlarında iç ortam karbondioksit düzeyleri kapsamlı biçimde ölçülmüştür. Çalışmada, karbondioksit seviyelerinin yapı türlerine ve yerleşim özelliklerine göre değişim gösterdiği; bu değişimlerin kullanıcıların sağlık ve konfor durumları üzerinde doğrudan etkili olabileceği ortaya konmuştur. Özellikle yetersiz havalandırma koşullarının CO₂ birikimini artırarak baş ağrısı, dikkat dağınıklığı ve solunum güçlüğü gibi sağlık sorunlarına yol açabileceği vurgulanmıştır. Tezde ayrıca, farklı yerleşim birimlerinde iç hava kalitesini iyileştirmeye yönelik havalandırma stratejileri ve yapı tasarımına ilişkin öneriler sunulmuştur (Özdeş, 2019).

Özer'in (2019) İstanbul Teknik Üniversitesi'nde hazırladığı *Yüksek Binalarda İç Hava Kalitesi Araştırması* başlıklı yüksek lisans tezinde, özellikle modern ve yoğun yapılaşmanın görüldüğü yüksek binalarda iç hava kalitesi kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Çalışmada, bu yapı türlerinde iç hava kalitesini etkileyen kompleks faktörler ile bu faktörlerin kullanıcı sağlığı üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, yüksek binalarda iç hava kalitesinin sağlanabilmesi için tasarım, inşaat ve işletme süreçlerinde entegre ve özenli planlamaların gerekliliğini ortaya koymuştur. Tez, modern yapılaşma bağlamında iç hava kalitesinin sürdürülebilirliği konusuna önemli katkılar sunmaktadır (Özer, 2019).

Zorlu ve Karadayı'nın (2020) *İç Mekân Hava Kalitesinde Yapı Malzemelerinin Rolü* başlıklı makalesinde, yapı malzemelerinin iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkileri bilimsel bir çerçevede incelenmiştir. Her ne kadar bu çalışma bir tez niteliğinde olmasa da, içerdiği teorik altyapı ve pratik çıkarımlar açısından ilgili yüksek lisans tezlerine güçlü bir katkı sunmaktadır. Çalışmada, yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iç hava kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; her malzemenin bu kaliteyi anlamlı biçimde etkilediği ortaya konmuştur. Sonuç olarak, düşük emisyonlu, çevre dostu ve insan sağlığına uygun yapı malzemelerinin tercih edilmesinin, sağlıklı iç mekânların oluşturulmasında kritik bir rol oynadığı vurgulanmıştır (Zorlu & Karadayı, 2020).

2.3.3. İç hava kalitesinin çalışan sağlığı, bilişsel performans ve psikolojik etkileri

Türkiye'deki lisansüstü tezler, iç hava kalitesinin özellikle ofis ortamlarında çalışan bireylerin bilişsel performansları ve genel sağlık durumları üzerindeki doğrudan etkilerine de derinlemesine odaklanmıştır.

Özdamar'ın (2021) *Ofis Yapılarında İç Mekân Konforunun Değerlendirilmesi* başlıklı yüksek lisans tezinde, iç hava kalitesi unsurlarının çalışanların konfor düzeyi, sağlık durumu ve verimlilikleri üzerindeki etkileri detaylı biçimde ele alınmıştır. Çalışmada, Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasında CO₂, sıcaklık, nem ve aydınlatma gibi parametreler üzerinden yapılan saha ölçümleri doğrultusunda, iç ortam koşullarının mekân kullanıcıları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bulgular, özellikle kış aylarında havalandırmanın yetersiz kaldığı zamanlarda iç hava kalitesinin hızla bozulduğunu ve bu durumun çalışanlarda dikkat dağınıklığı, yorgunluk, baş ağrısı gibi semptomlarla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, araştırmada kullanıcı memnuniyeti anketleriyle teknik veriler karşılaştırılmış; iç hava kalitesi iyileştikçe bilişsel performansın ve genel memnuniyetin anlamlı şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, Türkiye bağlamında ofis tipi binalarda iç hava kalitesinin çok boyutlu etkilerini ortaya koyarak önemli katkı sunmaktadır (Özdamar, 2021).

2.3.4. Hava kirliliği ve coğrafi bilgi sistemleri (cbs) ilişkisi

Bazı tez çalışmaları, genel atmosferik hava kalitesi ile coğrafi bilgi sistemleri (CBS) arasındaki ilişkiyi de inceleyerek, iç mekân hava kalitesini dolaylı yoldan etkileyen bölgesel ve çevresel faktörlere ışık tutmaktadır.

Temur (2020), İstanbul Teknik Üniversitesi'nde tamamladığı yüksek lisans tezinde, uzaktan algılama sistemleri kullanılarak İstanbul'daki atmosferik sınır tabakanın fiziksel özelliklerini ve bu özelliklerin hava kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, Doppler SODAR ve Lidar-silyometre cihazlarıyla elde edilen veriler kullanılarak atmosferik sınır tabakanın yapısı tespit edilmiş, bu bilgiler atmosfer dağılım modelleriyle birleştirilerek hava kirliliğinin mekânsal ve zamansal dağılımı analiz edilmiştir. Araştırma, özellikle kent merkezlerinde atmosferik koşulların hava kirliliği seviyelerini belirlemede kritik rol oynadığını ortaya koymuştur (Temur, 2020).

2.3.5. Genel değerlendirme ve sonuç

Türkiye'de iç mekân hava kalitesi üzerine yapılan lisansüstü tezler ve ilgili bilimsel araştırmalar, bu alandaki bilgi birikimini artırarak, sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarının oluşturulmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmalar, iç mekân hava kalitesini etkileyen faktörleri (yapı malzemeleri, havalandırma sistemleri, kullanıcı yoğunluğu, pişirme faaliyetleri vb.), bu faktörlerin insan sağlığı (fiziksel, psikolojik, bilişsel) üzerindeki etkilerini ve iyileştirme yöntemlerini detaylı bir şekilde ele almaktadır. Özellikle karbondioksit, uçucu organik bileşikler ve partikül madde (PM2.5) gibi kirleticilerin bilişsel performans (dikkat, odaklanma, bellek, karar verme) ve psikolojik sağlık (anksiyete, depresyon, stres, yorgunluk) üzerindeki olumsuz etkileri hem eğitim hem de ofis ortamlarında yapılan çalışmalarla güçlü bir şekilde desteklenmiştir.

Tez çalışmaları, iç hava kalitesini iyileştirmeye yönelik yapısal ve teknolojik çözümlerin (doğal ve mekanik havalandırmanın güçlendirilmesi, filtre bakımı, hava temizleme cihazları, düşük emisyonlu malzeme seçimi) yanı sıra, kullanıcı alışkanlıklarının ve bina yönetim süreçlerinin önemini de vurgulamaktadır. Bu çalışmaların sonuçları, yalnızca bireysel sağlık kazanımları ile sınırlı kalmayacak, aynı zamanda toplumsal düzeyde sağlık harcamalarının azalması ve üretkenliğin artması gibi dolaylı faydalar da sağlayacaktır. Türkiye'de yapılan bu tezler, iç hava kalitesi konusunun çevresel mühendislikten mimariye, halk sağlığından nöropsikolojiye kadar geniş bir disiplinler arası perspektifle ele alınması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Gelecekteki araştırmalar için de güçlü bir zemin oluşturan bu çalışmalar, daha sağlıklı ve yaşanabilir iç mekânlar için politika ve uygulama geliştirme süreçlerine bilimsel ve somut katkı sağlamaktadır.

2.4. İç Hava Kalitesi

Bu bölümde iç hava kalitesinin tarihsel gelişimi, etken maddeleri, bireyler üzerindeki etkileri detaylıca incelenmiştir.

2.4.1. İç hava kalitesinin tanımı, tarihsel gelişimi ve önemi

Günümüz insanı zamanının yaklaşık %90'ını kapalı mekânlarda geçirmektedir. Bu durum, iç hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini daha da önemli hale getirmektedir (World Health Organization [WHO], 2021). Özellikle şehirleşmenin artması, binaların daha az doğal havalandırma imkânı sunan yapılarla inşa edilmesi ve enerji tasarrufu amacıyla yalıtım uygulamalarının yaygınlaşması, iç hava kalitesinin önemini artırmıştır. İç hava kalitesi günümüzde önemli bir halk sağlığı sorunu olarak öne çıkmaktadır.

İnsanların günlük yaşamlarının büyük bir bölümünü geçirdiği iç mekân ortamlarının kalitesi, modern toplumda sağlık, yaşam konforu ve üretkenlik açısından kritik öneme sahiptir. Dünya genelinde bireylerin yaklaşık %90'lık kısmı zamanını ev, iş yeri, okul, alışveriş merkezi ve toplu taşıma araçları gibi kapalı alanlarda geçirmektedir (WHO, 2010). Bu durum, bireylerin maruz kaldığı çevresel faktörlerin büyük çoğunluğunun iç mekânlarda ortaya çıktığını göstermektedir. Ancak iç mekân hava kalitesinin kontrolü, dış ortama kıyasla daha karmaşık ve sınırlı müdahale olanağına sahip

bir alan olarak değerlendirilmektedir; bu durum da “İç Hava Kalitesi” (Indoor Air Quality – IAQ) kavramının önemini giderek artırmaktadır.

İç hava kalitesi (IAQ), modern toplumun sağlık ve yaşam kalitesi anlayışındaki gelişmelere paralel olarak önem kazanmıştır. Başlangıçta yalnızca mekanik havalandırma sistemlerinin verimliliği ve termal konfor bağlamında ele alınan bu kavram, zamanla çok daha geniş bir çerçevede değerlendirilerek, insanların yaşam alanlarında soludukları havanın fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşimiyle doğrudan ilişkili sağlık sonuçları üzerinde odaklanmaya başlamıştır (Wargocki & Seppänen, 2006).

Tarihsel olarak iç hava kalitesine yönelik farkındalık, sanayileşmenin ve kentleşmenin hız kazandığı 19. yüzyıl sonlarında artış göstermiştir. Özellikle kömür gibi fosil yakıtların iç mekân ısıtmasında yaygın olarak kullanılmaya başlanması, kapalı ortamlarda duman, karbon monoksit, azot dioksit ve sülfür bileşikler gibi zararlı gazların birikmesine neden olmuş; bu da solunum yolu hastalıklarında belirgin artışa yol açmıştır (Sundell, 2004). Ancak bu tür olgular genellikle dış hava kirliliği ile ilişkilendirilmiş ve iç hava kalitesi uzun süre göz ardı edilmiştir.

20.yüzyılın ortalarında modern binaların daha izole şekilde inşa edilmesi, enerji tasarrufu amacıyla doğal havalandırma yollarının sınırlandırılması ve yeni yapı malzemelerinin (örneğin sentetik kaplamalar, yapıştırıcılar, boyalar ve temizlik ürünleri) yaygınlaşması, iç mekân hava kalitesinin düşmesine neden olmuştur. Bu gelişmelerin ardından, 1970’li yıllarda “Sick Building Syndrome” (Hasta Bina Sendromu) kavramı literatüre girmiştir. Bu kavram, özellikle ofis çalışanlarında baş ağrısı, konsantrasyon bozukluğu, yorgunluk, gözlerde tahriş ve solunum problemleri gibi spesifik olmayan şikâyetlerle tanımlanmıştır (Redlich, Sparer & Cullen, 1997). Bu sendromun fark edilmesiyle iç hava kalitesinin bilimsel olarak incelenmesi ve standartlarının belirlenmesi ihtiyacı doğmuştur.

İç hava kalitesi bilimi, mühendislik, mimarlık ve çevre bilimleri başta olmak üzere tıp, halk sağlığı, nörobilim ve ekonomi gibi farklı disiplinleri bir araya getiren çok yönlü bir çalışma alanı olarak gelişmiştir (Mendell et al., 2002). Özellikle son yıllarda yapılan araştırmalar, iç hava kalitesinin yalnızca solunum sistemi hastalıklarıyla değil, aynı zamanda zihinsel performans, dikkat düzeyi ve öğrenme kapasitesi gibi karmaşık nörobiyolojik süreçlerle de ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Allen et al., 2016). Modern iç hava kalitesi anlayışı, yalnızca mekânın fiziksel özelliklerini değil, insanların bu ortamlarda geçirdiği zaman diliminde yaşadığı bilişsel etkileri de dikkate almaktadır. İç mekânlarda bulunan uçucu organik bileşikler (VOCs), partiküller, karbon dioksit (CO₂) ve diğer kirleticiler, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir.

Bu bağlamda iç hava kalitesinin, insanların verimliliklerini ve genel sağlık durumlarını doğrudan etkileyebileceği gerçeği, bu konuyu multidisipliner bir araştırma alanı haline getirmektedir. Başlangıçta yalnızca mühendislik perspektifinden ele alınan iç hava kalitesi, sağlık bilimleri, mikrobiyoloji ve çevre bilimleri gibi disiplinlerin etkisiyle daha kapsamlı bir şekilde incelenmeye başlanmıştır. İç hava kalitesinin iyileştirilmesi için yapılan araştırmalar, yalnızca binaların hava sirkülasyonu ve iklim kontrol sistemlerine

odaklanmakla kalmayıp, insanların bu ortamlarda daha sağlıklı ve verimli bir şekilde yaşamalarını sağlayacak stratejiler geliştirmiştir.

Özellikle iç mekân hava kalitesinin bilişsel işlevsellik ve üretkenlik üzerindeki etkileri, son yıllarda araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Modern şehirlerde bireylerin büyük çoğunluğu zamanının önemli bir kısmını kapalı alanlarda geçirdiğinden, iç mekân hava kalitesinin yaşam kalitesi üzerindeki etkileri giderek önem kazanmaktadır. Bu durum, hem bireysel hem de toplumsal düzeyde halk sağlığını iyileştirmeyi amaçlayan önemli bir araştırma alanı oluşturmıştır. Bu nedenle iç hava kalitesinin iyileştirilmesi, yalnızca bireylerin sağlığını korumakla kalmayıp toplumun genel refahını artırmak açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu alandaki çalışmalar, bireylerin yaşadığı ortamları daha sağlıklı hale getirmek için teknik çözümler ve politika önerilerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir.

2.4.2. Atmosfer bileşimi, iç hava kalitesini etkileyen unsurlar ve temel kirleticiler

İç hava kalitesi, kapalı ortamlarda bulunan havanın kimyasal, fiziksel ve biyolojik bileşenlerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini ifade eden çok boyutlu bir çevre sağlığı göstergesidir. İç ortam hava kalitesini belirleyen özellikler, atmosferin bileşenlerine ve fiziksel özelliklerine dayanmaktadır. Atmosfer, gezegenimizi çevreleyen gaz ve buhar tabakasıdır; atmosferdeki gazların bileşimi ise insanların yaşamı ve sağlığı için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, iç mekân hava kalitesini anlamak, dış atmosferle olan etkileşimleri ve atmosferdeki bileşenlerin iç mekânlara geçiş mekanizmalarını kavramayı gerektirir. İç ortam hava kalitesini etkileyen başlıca faktörler arasında dış atmosferin bileşenleri, iç mekânlarda kullanılan havalandırma sistemleri ve bu ortamlarda bulunan kirleticiler yer almaktadır.

Atmosfer Bileşimi ve İç Ortam Hava Kalitesi; atmosfer, yeryüzünü çevreleyen ve canlıların yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan çeşitli gazlardan oluşan hayati bir tabakadır. Dünya atmosferi, yer çekimi kuvvetinin etkisiyle sabit bir gaz ve buhar tabakası olarak tanımlanabilir. Bu tabakanın ana bileşenleri, hacimce %78,09 oranında azot (N_2) ve %20,95 oranında oksijen (O_2) olup, toplamda yaklaşık %99,1'lik bir kısmı oluşturur. Geriye kalan %0,9'luk kısım ise argon, karbondioksit (CO_2), neon, helyum, metan ve diğer iz gazlardan meydana gelir. Atmosferdeki bu gazların birçoğu, iç mekân hava kalitesinin (Indoor Air Quality – IAQ) belirlenmesinde doğrudan ve önemli bir etkiye sahiptir. Bu gazların iç mekânlardaki konsantrasyonları, kapalı alanlarda bulunan insanlar üzerinde farklı sağlık etkileri yaratabilir. Örneğin, karbon dioksit (CO_2) seviyesindeki artışlar, iç mekân hava kalitesini olumsuz etkileyen önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir (ASHRAE, 2017).

Atmosferin temel bileşenlerine ek olarak, kuru hava ile birlikte atmosferdeki nem oranını belirleyen su buharı da iç hava kalitesini etkileyen kritik bir faktördür. Su buharı, havada her an mevcut olabilen ve atmosferin nem oranını doğrudan belirleyen bir bileşendir. İç mekân hava kalitesine önemli bir katkı sağlar ve kuru hava bileşimleriyle birleşerek nemli havayı oluşturur. Nemli hava, iç ortam kalitesi üzerinde çeşitli etkiler yaratabilir. Özellikle yüksek nem oranı, iç mekânlarda mikroorganizmaların (bakteri, mantar, küf gibi) büyümesini teşvik edebilir ve havada asılı duran partiküllerin

yoğunluğunu artırabilir. Bu durum, iç mekânlardaki hava kalitesini doğrudan bozarak insan sağlığı için risk oluşturabilir.

Kuru hava bileşimi genel olarak sabit bir yapıya sahip olsa da, coğrafi konum, zaman (mevsimsel değişiklikler), yükseklik ve yerel iklim koşulları gibi faktörler kuru hava bileşeninde değişikliklere yol açabilir. Örneğin, yüksek irtifalı bölgelerde oksijen seviyesi deniz seviyesine göre daha düşüktür. Bu durum, iç mekânlarda yeterli havalandırma sağlanmadığında oksijen yetersizliğine neden olabilir; bu da bireylerin bilişsel fonksiyonlarını olumsuz etkileyerek yorgunluk ve baş dönmesi gibi semptomlara yol açabilir. İç mekân ortamlarında havalandırma sistemlerinin verimliliği ve kapasitesi, havadaki kirleticilerin dağılımını ve dolayısıyla iç hava kalitesini doğrudan etkiler. Özellikle yüksek katlı binalarda veya merkezi ısıtma ve havalandırma sistemlerinin yetersiz olduğu yapılarda yaşayan bireyler, yetersiz hava değişimi nedeniyle çeşitli sağlık problemleri yaşama riskiyle karşı karşıya kalabilirler. Bu durum, iç mekân hava kalitesi yönetimi ve etkin havalandırma stratejilerinin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

İç Hava Kalitesinin Tanımı, Ölçüm Kriterleri ve Başlıca Kirleticileri; iç hava kalitesi, bir iç mekânda bulunan havanın sağlığa zarar vermeyecek şekilde temiz, kokusuz ve kirleticilerden arınmış olması durumunu ifade eder. İç hava kalitesinin değerlendirilmesi ve izlenmesi, belirli parametreler üzerinden gerçekleştirilir. Bu parametreler arasında karbon dioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), partikül madde (PM_{2.5} ve PM₁₀), azot dioksit (NO₂), uçucu organik bileşikler (VOC'ler), formaldehit ve ozon (O₃) gibi çeşitli gazlar ve maddeler yer almaktadır (Environmental Protection Agency [EPA], 2020). Hava kalitesi genellikle ppm (parts per million) veya µg/m³ (mikrogram/metreküp) gibi birimlerle ifade edilir.

Kapalı ortamlarda bulunan hava kirleticileri, kökenlerine göre fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere çeşitli kategorilere ayrılabilir. Bu kirleticiler hem dış ortamdan kapalı alanlara taşınarak hem de doğrudan iç ortam kaynaklarından havaya karışabilir.

Dış Ortam Kaynaklı Kirleticiler; dış ortamdan gelen kirleticiler, iç mekân hava kalitesini ciddi şekilde etkileyen önemli bir faktördür. Bu kirleticiler arasında karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), ozon (O₃), partikül maddeler (PM), kükürt dioksit (SO₂) ve kurşun (Pb) gibi maddeler yer almaktadır. Dış kaynaklı kirleticilerin konsantrasyonları ve yoğunlukları, çevresel ve insani faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Özellikle kentleşmenin düzeyi, endüstriyel faaliyetlerin yoğunluğu, trafik akışı, meteorolojik koşullar (rüzgâr, yağış, sıcaklık inversiyonu) ve topografik yapı (vadi ve dağlık alanlar) gibi etkenler, dış hava kirliliğinin seyri üzerinde belirleyici rol oynar. Yüksek düzeyde kirli dış hava, binaların havalandırma sistemleri (doğal veya mekanik) yoluyla iç mekânlara taşınarak iç hava kalitesini doğrudan ve olumsuz etkileyebilir. Bu durum, özellikle şehir merkezleri veya sanayi bölgelerine yakın binalarda iç hava

kalitesinin dış hava kalitesiyle paralel olarak bozulmasına yol açabilir (EPA, 2018; EPA, 2020).

İç Ortam Kaynaklı Kirleticiler: İç ortam kaynaklı kirleticiler ise, kapalı alanların kendi içindeki malzemelerden, aktivitelerden ve kullanılan ekipmanlardan kaynaklanan emisyonlardır. Bu kirleticilerin başlıca kaynakları arasında; yapı malzemelerinden yayılan formaldehit, halı ve mobilyalardan gelen VOC'ler, çeşitli temizlik ürünleri, insan faaliyetleri (pişirme, sigara dumanı, nefes alma, vücut kokuları), ısıtma/soğutma sistemleri ve teknolojik cihazlar yer alır (ASHRAE, 2020). Ayrıca nemli ortamlarda üreyen küf mantarları ve bakteriler de önemli biyolojik kirleticilerdir. Bu iç ortam kaynaklı kirleticilere uzun süre maruz kalmak, insan sağlığı üzerinde, özellikle merkezi sinir sistemi üzerinde zararlı etkiler yaratabilmektedir. Örneğin, yapılan araştırmalar, iç mekânlardaki yüksek karbon dioksit (CO_2) seviyelerinin bireylerin bilişsel işlevlerinde, özellikle karar verme ve problem çözme yeteneklerinde gözle görülür bir azalma ile ilişkilendirildiğini göstermiştir (Satish et al., 2012). Benzer şekilde, uçucu organik bileşikler (VOC'ler) ve ince partikül maddeler ($\text{PM}_{2.5}$) gibi kirleticilerin, sinir sisteminde inflamatuvar süreçleri tetikleyebileceği ve uzun vadede nörodejeneratif hastalıklara (Alzheimer, Parkinson gibi) katkıda bulunabileceği belirtilmektedir (Calderón-Garcidueñas et al., 2008). Bu bulgular, iç hava kirleticilerinin sadece solunum ve alerjik rahatsızlıklar değil, aynı zamanda daha ciddi ve kronik nörolojik sorunlar için de risk faktörü olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, iç hava kirleticilerinin kaynaklarının doğru bir şekilde tanımlanması, izlenmesi ve kontrol edilmesi, yalnızca genel solunum sağlığının korunması açısından değil, aynı zamanda beyin sağlığının uzun vadede sürdürülmesi açısından da kritik bir öneme sahiptir. Şekil 2.1' de Türkiye yönetmeliğine göre karbon dioksit, formaldehit, radon, sıcaklık ve nem değerlerinin sınırları belirtilmiştir (ÇED 2019; HKDYY 2016).

Kirletici	Süre	2014 Sınır değer	2015 Sınır değer	2016 Sınır değer	2017 Sınır değer	2018 Sınır değer	2019 Sınır değer	2020 Sınır değer	2021 Sınır değer	2022 Sınır değer	2023 Sınır değer	2024 Sınır değer	Türkiye için AB Limit değerlerin in geçerli olacağı tarih
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$											
CO	8 saat	16000	14000	12000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1 Ocak 2017
Kurşun	1 yıl	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1 Ocak 2019
NO₂	1 saat	300	290	280	270	260	250	240	230	220	210	200	1 Ocak 2024
	1 yıl	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	
Ozon	8 saat	Hedef değer								120	120	120	1 Ocak 2022
	1 saat	Bilgi eşiği								180	180	180	
	1 saat	Uyan eşiği								240	240	240	
Partikül <10 μm	24 saat	100	90	80	70	60	50	50	50	50	50	50	1 Ocak 2019
	Kış	90	80	70	60	50	40	40	40	40	40	40	
	1 yıl	60	56	52	48	44	40	40	40	40	40	40	
SO₂	1 saat	500	470	440	410	380	350	350	350	350	350	350	1 Ocak 2019
	24 saat	250	225	200	175	150	125	125	125	125	125	125	
	1 yıl ve kış	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1 Ocak 2014

Şekil 2.1. Türkiye Yönetmeliğine Göre Sınırları Değerler (ÇED 2019; HKDYY 2016)

2.4.3. İç hava kalitesinin sağlık ve bilişsel performans üzerindeki kapsamlı etkileri ve iyileştirme önlemleri

İç mekân hava kalitesini (IAQ) etkileyen kirleticiler, genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler olarak sınıflandırılabilir. Bu kirleticilerin her biri, insan sağlığı üzerinde farklı kısa ve uzun vadeli etkilere yol açarak özellikle bilişsel fonksiyonları olumsuz yönde etkileyebilir.

Düşük iç hava kalitesi, bireylerin sağlığı üzerinde geniş bir yelpazede olumsuz etkilere yol açabilir. Bu etkiler, genellikle solunum yolu hastalıkları, çeşitli alerjik reaksiyonlar, sinirsel ve psikolojik sorunlar, kardiyovasküler hastalıklar ve genel sağlık durumunu olumsuz etkileyen çeşitli sorunlar olarak kendini gösterir. İç ortamda bulunan çeşitli kirleticilere maruz kalmak, astım, kronik bronşit gibi solunum yolu hastalıklarının şiddetlenmesine veya gelişimine zemin hazırlayabilir. Aynı zamanda alerjik rinit, egzama gibi alerjik durumların tetiklenmesine yol açabilir.

Bunlara ek olarak, düşük iç hava kalitesi; kronik baş ağrıları, sürekli yorgunluk hissi, bulantı ve depresyon gibi bilişsel ve psikolojik semptomların ortaya çıkmasına veya mevcut durumların kötüleşmesine neden olabilir. Uzun süreli ve yüksek konsantrasyonlu kirletici maruziyeti, kardiyovasküler sistem üzerinde de baskı oluşturarak kalp-damar hastalıkları riskini artırabilir. Tüm bu nedenlerle, iç ortam hava kalitesinin bilimsel standartlara uygun bir şekilde düzenlenmesi, sadece bina sakinlerinin akut sağlık şikayetlerini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda kronik hastalıkların önlenmesi ve bireylerin genel yaşam kalitesinin yükseltilmesi açısından da kritik bir öneme sahiptir. Kaliteli iç hava, bireylerin daha sağlıklı, konforlu ve üretken bir yaşam sürmelerini destekleyici temel bir faktördür.

İç Hava Kalitesinin Fiziksel Sağlık Üzerine Etkileri: Kirli iç havaya maruz kalmak, bireylerin fiziksel sağlığı üzerinde kısa ve uzun vadeli birçok olumsuz etkiye yol açabilir. Kısa vadede gözlemlenen belirtiler arasında baş ağrısı, göz ve boğaz tahrişi, alerjik reaksiyonlar, öksürük ve nefes darlığı gibi yaygın şikayetler yer alırken; uzun vadede astım, KOAH, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir (Jones, 2022). Özellikle formaldehit gibi uçucu organik bileşikler, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından potansiyel kanserojen olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 2019). Bu olumsuz etkilerden özellikle çocuklar, yaşlılar ve kronik hastalığı olan bireylerin daha fazla etkilendiği, bu grupların kirli iç havaya karşı daha savunmasız olduğu belirtilmektedir.

İç Hava Kalitesinin Beyin ve Zihinsel Sağlık Üzerine Etkileri: İç hava kalitesi, sadece fiziksel sağlık üzerinde değil, aynı zamanda bireylerin nörolojik ve bilişsel işlevleri ile zihinsel sağlıkları üzerinde de önemli etkilere sahiptir. Yetersiz havalandırılan ve CO₂ oranı yüksek ortamlarda uzun süre kalmak, bilişsel performansta düşüş, dikkat dağınıklığı, baş ağrısı, yorgunluk ve hatta depresif semptomlar gibi çeşitli olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Satish ve arkadaşlarının (2012) yaptığı bir araştırmada, CO₂ seviyesinin 1000 ppm'in üzerine çıktığı durumlarda bireylerin karar verme ve problem çözme becerilerinde belirgin azalmalar tespit edilmiştir. Bu durum, okullarda ve ofislerde çalışma verimliliği açısından büyük risk oluşturmaktadır.

İç Hava Kalitesinin Sosyal ve Ekonomik Etkileri: İç hava kirliliğinin yol açtığı sağlık problemleri, sadece bireysel yaşam kalitesini düşürmekle kalmayıp, aynı zamanda toplumsal düzeyde ciddi sosyal ve ekonomik yükler oluşturmaktadır. Bu sağlık sorunları, iş gücü kaybına, sağlık harcamalarında artışa ve eğitim performansında düşüşe yol açmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, kapalı ortamlarda kullanılan katı yakıtlar (odun, kömür vb.) nedeniyle ortaya çıkan kirleticiler, hava kirliliği kaynaklı ölümlerin önemli bir kısmından sorumludur (WHO, 2021). Ayrıca, düşük iç hava kalitesi, çalışanlarda verim düşüşüne, öğrencilerde öğrenme performansının azalmasına neden olmaktadır.

İç Hava Kalitesinin İyileştirilmesi İçin Alınabilecek Önlemler: İç hava kalitesinin artırılması için öncelikli olarak etkin havalandırma sistemlerinin kurulması, düşük emisyonlu yapı ve temizlik malzemelerinin kullanılması ve havanın düzenli olarak filtrelenmesi gerekmektedir. Ayrıca iç mekânlarda bitkilendirme, nem kontrolü, sigara yasağı ve karbon monoksit dedektörlerinin kullanımı da hava kalitesini olumlu yönde etkilemektedir (ASHRAE, 2020). İç hava kalitesi sensörlerinin kullanılması, kirleticilerin seviyelerinin izlenmesini ve gerekli önlemlerin zamanında alınmasını sağlar. Bina tasarımlarında doğal havalandırmanın desteklenmesi ve hava filtreleme cihazlarının kullanılması da önerilmektedir.

Türkiye'de iç mekân hava kalitesi üzerine yapılan lisansüstü tezler ve bilimsel araştırmalar, bu alandaki mevcut bilgi birikimini önemli ölçüde artırarak, ülkenin sağlıklı ve konforlu yaşam alanları oluşturma hedeflerine kayda değer katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmalar, iç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesinde dikkate alınması gereken temel unsurları detaylı bir şekilde ele almaktadır. Özellikle yapı malzemelerinin doğru seçimi, havalandırma sistemlerinin etkin bir şekilde tasarlanması ve işletilmesi, iç mekân aktivitelerinin hava kalitesini olumsuz etkilemeyecek şekilde yönetimi ve mikrobiyal analizlerin düzenli olarak yapılması gibi konular, iç hava kalitesini optimize etmek için kritik öneme sahip stratejiler olarak belirlenmiştir. Bu kapsamlı araştırmalar ve elde edilen bulgular, gelecekte bu alanda yapılacak yeni bilimsel çalışmalar ve iç mekân hava kalitesini iyileştirmeye yönelik uygulanacak pratik çözümler için sağlam bir temel ve önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Türkiye'deki bu bilimsel birikim, ulusal düzeyde daha sağlıklı ve yaşanabilir kapalı ortamların geliştirilmesine yön verecek niteliktedir.

Kapalı mekânlarda iç hava kalitesi, bireylerin hem fiziksel hem de zihinsel sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Artan şehirleşme ve teknolojiyle birlikte daha fazla zaman geçirilen iç mekânlarda hava kalitesinin düşmesi, birçok sağlık sorununu beraberinde getirmektedir. Türkiye'de iç mekân hava kalitesi üzerine yapılan lisansüstü tezler ve araştırmalar, bu alandaki bilgi birikimini artırarak, sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Yapı malzemelerinin seçimi, havalandırma sistemlerinin etkinliği, iç mekân aktivitelerinin yönetimi ve mikrobiyal analizlerin önemi gibi konular, iç hava kalitesinin iyileştirilmesinde dikkate alınması gereken temel unsurlardır. Bu çalışmalar, gelecekte yapılacak araştırmalar ve uygulamalar için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu bağlamda, iç hava kalitesinin izlenmesi ve iyileştirilmesi, toplum sağlığı açısından öncelikli hedeflerden biri olmalıdır.

Binalarda İç Hava Kalitesi Kaynaklı Sağlık Etkileri: 1970'lerden itibaren, toplumun temel yaşam alanları olan binalar, enerji verimliliğini artırmak amacıyla yeni tasarımlara yönelmiştir. Bu modern tasarımlar, eski yapılarla kıyasla daha yüksek hava geçirmezlik

değerlerine sahiptir. Ancak bu durum, iç ortamda biriken kirleticilerin konsantrasyonlarında artışa neden olmuştur. İnşaat sektöründeki gelişmelerle birlikte, sentetik malzemelerin bina yapımında yaygınlaşması ve maliyet avantajları, bu malzemelerin kullanımını artırmıştır. Her ne kadar bu malzemeler binaların konfor değerini yükseltse de iç havada bulunan kirleticilerin konsantrasyonlarının artmasına ve dış havayla kıyaslandığında iç mekânlardaki kirletici seviyelerinin daha yüksek olmasına yol açmıştır (Jones, 1999).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 1984 yılında yayımladığı bir raporunda, yeni inşa edilmiş veya restore edilmiş binaların yaklaşık %30'unda iç hava kalitesine bağlı şikâyetlerin görülebileceğini belirtmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde bireylerin zamanlarının büyük bir kısmını kapalı alanlarda geçirmesi, iç ortam hava kalitesinin önemini daha da artırmaktadır. Özellikle endüstriyel olmayan bu kapalı alanlarda bulunan hava kirleticileri, insan sağlığında çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Bu tür hava kirleticileri, okullar, ofisler, iş yerleri, müstakil evler, müzeler ve kütüphaneler gibi çeşitli kapalı ortamlarda hastalıkların oluşumuna zemin hazırlamaktadır (Crook & Burton, 2010). İç hava kalitesi sorunlarının temel nedenleri arasında binaların kötü tasarımı, kullanılan malzemelerin özellikleri, iç mekânlardaki insan faaliyetleri ve düzgün tasarlanmamış veya yetersiz havalandırma sistemleri bulunmaktadır.

İç hava kirleticilerinin insan sağlığında oluşturduğu bu sorunlar, literatürde başlıca Hasta Bina Sendromu (SBS) ve Bina Bağlantılı Hastalıklar (BRI) olmak üzere iki ana tanıma ayrılmaktadır (Jones, 1999).

Hasta Bina Sendromu (SBS): Hasta Bina Sendromu (SBS) vakası, binalarda yaşayan veya çalışan insanların iç ortam kirleticilerine maruz kalma süresiyle doğrudan ilişkilidir. Bu tanım, bireylerin belirli bir zaman diliminde yaşadığı akut sağlık ve konforla ilgili sorunları tanımlamak için kullanılır. Hasta Bina Sendromu 'nu belirlemek için, şikâyetçi olan kişilerin belirli kapalı alanlarda deneyimlediği rahatsızlıklardan yola çıkılır; bu sendromda belirli bir hastalık veya tek bir neden analizi yapılmaz. Bir binada bu sendromun varlığına kanaat getirmek için, kapalı alanda bulunan insanların en az %20'sinde bu semptomların bulunması ve bu şikâyetlerin en az iki hafta boyunca devam etmesi gerekmektedir (Clements-Croome, 2011; Jansz, 2011).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), kapalı alanda bulunan insanların şikâyetleri üzerine Hasta Bina Sendromu 'nu beş farklı kategoriye ayırmıştır:

- **Dermal Belirtiler:** Kızarıklık, ağrı, kaşıntı veya batma hissi, kuru cilt ve cilt tahrişi gibi sağlık sorunları.
- **Mukoza Zarı Tahrişleri:** Burun, boğaz ve gözde tahrişler, ses kısıklığı ve ses problemleri, vücutta ağrı, acıma ve kuruluk hissi gibi sağlık problemleri.
- **Solunum Sistemi Problemleri:** Astım belirti ve semptomları, burun akıntısı ve göz yaşarması gibi solunum yolu rahatsızlıkları.
- **Duyusal Problemler:** Koku alma ve tat alma duyusunda yaşanan problemler.

- Nörolojik ve Genel Sağlık Problemleri: Halsizlik, baş ağrısı, kusma, bulantı, hafıza kaybı, konsantre olamama gibi bilişsel ve genel sağlık sorunları (Burroughs & Hansen, 2011).

Genellikle bu semptomların çoğu aynı anda görülmektedir ve bunlara ek olarak gürültü, sıcaklık ve ışık problemleri, kuru ve kötü hava gibi şikâyetler de bildirilmiştir. Bu sorunları belirten kişilerin çoğu, binadan ayrıldıktan kısa bir süre sonra bu problemlerin ortadan kalktığını ifade etmişlerdir (Burroughs & Hansen, 2011).

Bina Bağlantılı Hastalıklar (BRI): Bina Bağlantılı Hastalıklar (BRI) kavramı, kapalı alanlardaki kirleticilerin neden olduğu ve doğrudan teşhis edilebilen, belirli kirletici değerlere atfedilebilen sağlık sorunları için kullanılmaktadır (Seltzer, 1994; Spengler vd., 2000). Binalarda bu gibi sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olan başlıca faktörler, havalandırma sisteminin yetersizliği ve binanın aşırı hava geçirmez olmasıdır. Kapalı alan havasında bulunan bu kirleticiler insan bedenine nüfuz edebilmekte ve sıklıkla deri ve solunum yolu problemlerine yol açmaktadır. Bu kirleticilerin etkilediği hastalıklar dört ana mekanizmayla ilişkilidir: toksik veya tahriş edici etki, immünolojik reaksiyonlar ve bulaşıcı hastalıkların yayılımı (Seltzer, 1994; Spengler vd., 2000).

Yapılan çalışmalar, binalarda bulunan kirleticilerle bina sakinlerinin yaşadığı sağlık sorunları arasında doğrudan bir bağ olduğunu kanıtlamıştır. Bu duruma örnek olarak meslek hastalığı, astım, egzama, rinit gibi birçok sağlık sorunu gösterilmiştir (Burroughs & Hansen, 2011; Joshi, 2008; Seltzer, 1994; Spengler vd., 2000). Aşağıdaki Çizelge 2.1, iç ortam kirleticilerini ve bunların insan sağlığı ile bilişsel performans üzerindeki başlıca etkilerini özetlemektedir:

Çizelge 2.1. İç Ortam Kirleticileri ve İnsan Sağlığı ile Bilişsel Performans Üzerindeki Başlıca Etkileri (Godish, 2001; T.C. Sağlık Bakanlığı, 2010; Jones, 1999)

Kirletici Kategorisi	Başlıca Kirleticiler/ Parametreler	İnsan Sağlığı ve Bilişsel Performans Üzerindeki Etkileri
Fiziksel Etkenler	- Sıcaklık - Nem - Gürültü	- Termal konfor bozukluğu, yorgunluk, dikkat dağınıklığı, bilişsel performansta düşüş. - Solunum yolu tahrişi, mikroorganizma üremesi (küf, bakteri), alerjik reaksiyonlar, bilişsel yorgunluk. - Konsantrasyon bozukluğu, stres, öğrenme güçlüğü.
Kimyasal Etkenler	- Karbon Monoksit (CO) - Karbondioksit (CO₂) - Azot Dioksit (NO₂) - Uçucu Organik Bileşikler (VOCs) - Formaldehit - Ozon (O₃) - Benzen	- Baş ağrısı, yorgunluk, bulantı, baş dönmesi, hafıza ve bilişsel işlev bozuklukları, kardiyovasküler rahatsızlıklar. - Baş ağrısı, halsizlik, konsantrasyon eksikliği, karar verme yeteneğinde düşüş, bilişsel performansta azalma. - Solunum yolu tahrişi, bronşit, astım atakları. - Göz, burun, boğaz tahrişi, baş ağrısı, yorgunluk, konsantrasyon bozukluğu, kanser riskinde artış. - Göz, burun, boğaz tahrişi, solunum sorunları, kanser riski, bilişsel işlev bozuklukları. - Solunum yolu tahrişi, astım atakları, göğüs ağrısı, bilişsel yavaşlama. - Kanser riski, baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk, hafıza sorunları.
Biyolojik Etkenler	- Küf Sporları - Polenler - Bakteri, Virüsler - Ev Tozu Akarları	- Alerjik reaksiyonlar, astım, solunum yolu enfeksiyonları, baş ağrısı - Alerjik rinit, astım, göz tahrişi - Çeşitli enfeksiyonlar, hastalıklar, genel halsizlik ve yorgunluk - Alerjik reaksiyonlar, astım atakları, cilt tahrişleri
Genel Etkiler		- Baş ağrısı, yorgunluk, solunum yolu hastalıkları, alerjik reaksiyonlar, konsantrasyon bozukluğu, bilişsel performans düşüklüğü, kalp- damar hastalıkları, sinirsel ve bilişsel sorunlar, dikkat eksikliği, bilişsel işlevsellikte bozulma

2.5. İnsan Beyni: Yapısı, İşlevleri ve Çevresel Duyarlılığı

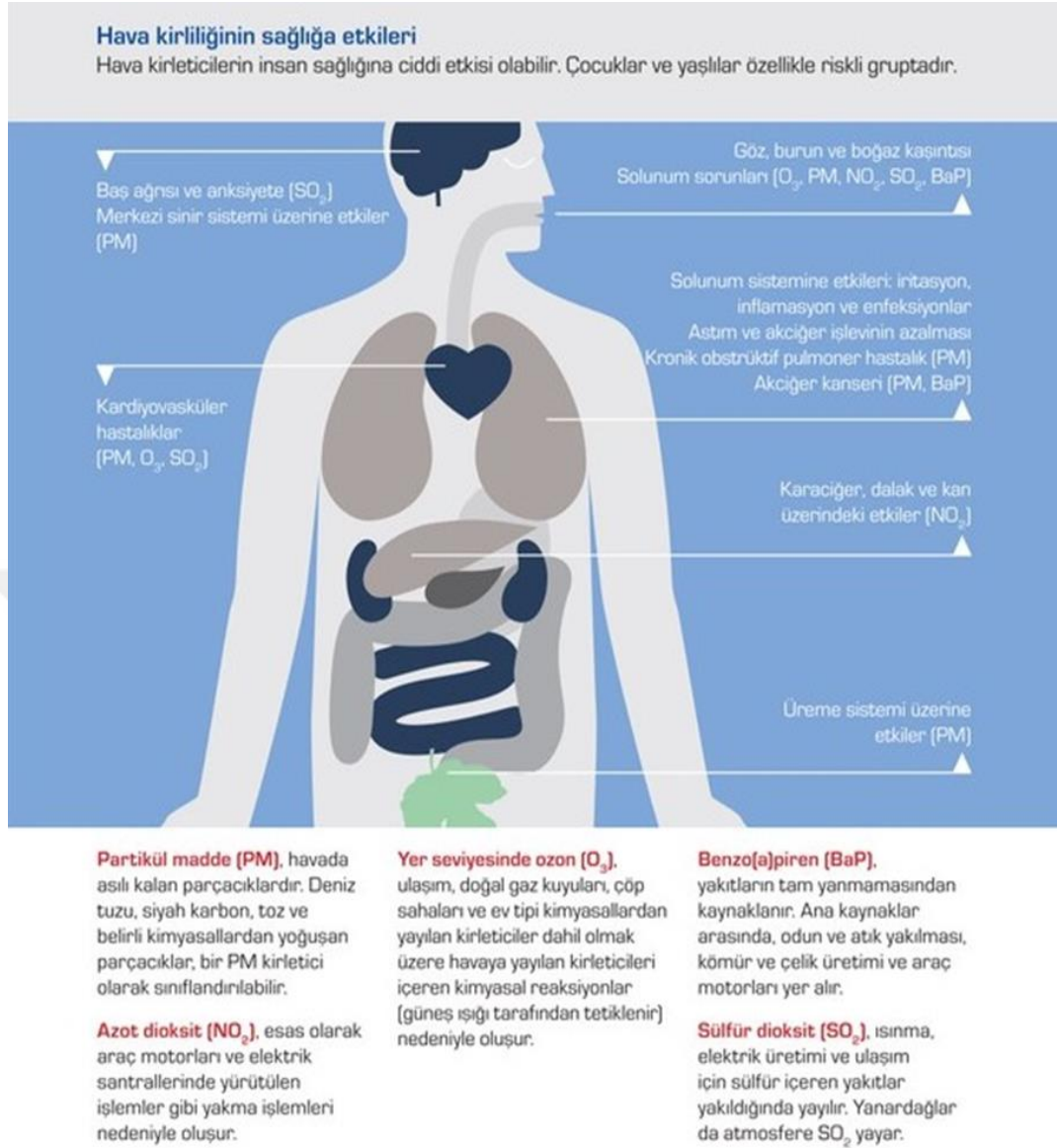
İnsan beyni, merkezi sinir sisteminin en karmaşık ve en önemli organıdır. Ortalama olarak 1.3 ila 1.4 kilogram ağırlığında olan bu hayati yapı, vücuttaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %20'sini tek başına karşılar (Kandel et al., 2013). Beyin, yapısal olarak frontal, parietal, temporal ve oksipital olmak üzere dört ana loba ayrılır. Her bir lob, kendine özgü ve uzmanlaşmış işlevlere sahiptir. Örneğin, frontal lob, dikkat, planlama, problem çözme, karar verme ve hareket kontrolü gibi karmaşık yüksek bilişsel işlevlerden sorumludur (Purves et al., 2018).

Beynin temel çalışma prensibi, sinir hücreleri (nöronlar) ve bunlar arasındaki özelleşmiş bağlantılar olan sinapslar aracılığıyla gerçekleşir. Nöronlar hem kimyasal hem de elektriksel sinyaller kullanarak birbirleriyle iletişim kurar. Beyindeki nörotransmitter düzeyleri, bireyin ruh hali, dikkat seviyesi, öğrenme kapasitesi ve hafıza gibi temel bilişsel süreçleri doğrudan ve önemli ölçüde etkilemektedir (Bear, Connors & Paradiso, 2016). Aşağıda verilen Şekil 2.2’de çevresel etkenlerin insan beynine etkisini temsil eden bir görsel bulunmaktadır.



Şekil 2.2. Kirletici Etmenlerin İnsan Beynine Etkisini Temsil Eden Görsel (Anonymus 1)

Beyin sağlığına etki eden çevresel faktörler ve duyarlılık; insan beyni, çevresel koşullara karşı son derece hassas ve duyarlı bir organdır. Özellikle oksijen ve glukoz gibi hayati maddelere sürekli ve yeterli düzeyde ihtiyaç duyar. Oksijen seviyesindeki herhangi bir düşüş veya toksik maddelere maruziyet durumunda, bilişsel performans hızla bozulabilir. Bu durum, iç hava kalitesinin beyin sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerinin anlaşılmasında temel bir zemin oluşturur. Günümüzde yapılan birçok çalışma, çevresel faktörlerin beyin gelişimi, fonksiyonları ve çeşitli nörolojik hastalıklar üzerindeki kritik rollerini açıkça göstermektedir (Grandjean & Landrigan, 2014). Kapalı mekânlarda bulunan zararlı kimyasallar, partikül maddeler ve yetersiz havalandırma, beyin işlevlerinde azalma, dikkat dağınıklığı ve hatta çeşitli nörolojik bozukluklarla ilişkilendirilmiştir (WHO, 2021). Aşağıda verilen Şekil 2.3’te beyin sağlığını doğrudan etkileyen başlıca çevresel faktörler detaylandırılmıştır.



Şekil 2.3. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkisini Gösteren Görsel (Anonymus 2)

2.5.1. Hava kalitesi

İç ortamda bulunan çeşitli hava kirlleticileri, solunum yoluyla doğrudan beyne ulaşabilmekte ve sinir sistemini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Özellikle PM_{2.5} gibi küçük partikül maddeler, karbon dioksit (CO_2), uçucu organik bileşikler (VOC'ler), azot dioksit (NO_2) ve ozon (O_3) gibi bilinen kirleticiler, kronik maruziyet durumunda beyin fonksiyonlarında belirgin değişikliklere yol açar. Yapılan bilimsel çalışmalar, bu tür hava kirliliğine maruz kalan bireylerde dikkat eksikliği, hafıza zayıflığı, depresyon ve anksiyete gibi nöropsikiyatrik belirtilerin daha sık görüldüğünü saptamıştır (Block & Calderón-Garcidueñas, 2009).

2.5.2. Kimyasal maruziyetler

Kurşun, cıva, arsenik gibi ağır metallerin yanı sıra pestisitler ve çeşitli endüstriyel kimyasallar, güçlü nörotoksik etkileriyle bilinmektedir. Bu maddeler, nöronlar arasındaki sinaptik iletimi bozabilir, nöron ölümüne neden olabilir ve uzun vadede nörodejeneratif hastalıklara zemin hazırlayabilir (Grandjean & Landrigan, 2014). Özellikle gelişim çağındaki çocuklar, bu tür toksinlere karşı çok daha duyarlıdır ve maruziyetleri ciddi gelişimsel bozukluklara yol açabilir.

2.5.3. Gürültü kirliliği

Sürekli ve yüksek düzeyde gürültüye maruz kalmak, vücuttaki stres hormonlarının (kortizol gibi) artışına neden olarak beyin yapısında ve işlevlerinde değişikliklere yol açabilir. Özellikle hipokampus bölgesi bu durumdan etkilenerek öğrenme ve hafıza işlevlerinde bozulmaya neden olabilir (Stansfeld & Clark, 2015).

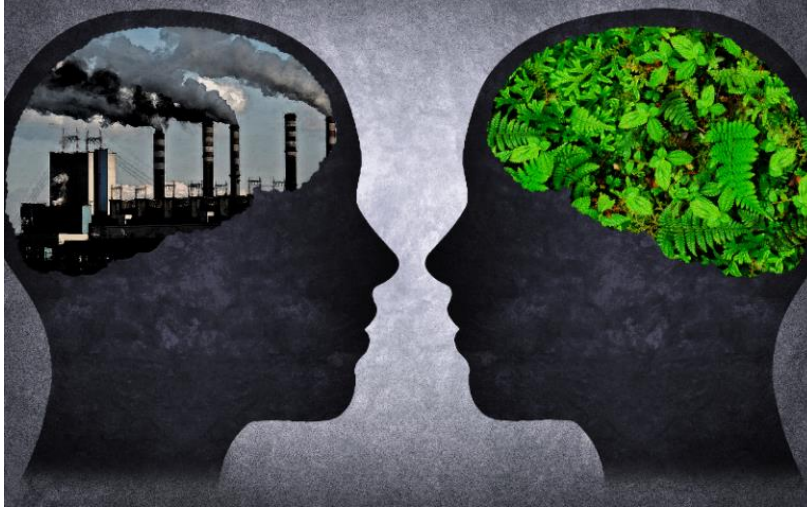
2.5.4. Termal konfor (sıcaklık ve nem)

İç ortamdaki sıcaklık ve nem dengesi, bireylerin zihinsel performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Aşırı sıcak ortamlar dikkat dağınıklığına, yorgunluk hissine ve bilişsel performans düşüşüne yol açabilir. Özellikle kapalı alanlarda yeterli havalandırma sağlanmadığında, termal stres yaratan bu faktörler beyin fonksiyonlarını olumsuz etkileyebilir (Lan et al., 2011).

2.5.5. Küf ve mikrobiyal etkenler

Nemli ortamlarda ortaya çıkan küf mantarları ve çeşitli bakteriler, sadece solunum sistemi üzerinde değil, aynı zamanda sinir sistemi üzerinde de olumsuz etkilere sahiptir. Küflerin ürettiği mikotoksinler, sinir hücrelerine zarar verebilecek potansiyele sahiptir ve uzun süreli maruziyet bilişsel gerilemeye neden olabilir (Hope et al., 2013).

İnsan beyni, son derece karmaşık bir yapıya sahip olmakla birlikte, çevresel faktörlere karşı da oldukça duyarlı bir organdır. Bu nedenle, iç hava kalitesi gibi çevresel faktörlerin beyin sağlığı üzerindeki etkilerinin bilimsel olarak detaylı bir şekilde araştırılması hem nörobilim hem de çevre sağlığı alanında büyük önem taşımaktadır. Elde edilen bulgular, sağlıklı ve bilişsel olarak verimli yaşam alanlarının tasarlanması ve sürdürülmesi için kritik bilgiler sunmaktadır. Aşağıda verilen Şekil 2.4, temiz ve kirli havanın insan beynine etkisini temsil etmektedir.



Şekil 2.4. Kirletici Gazların İnsan Beynine Etkisini Temsil Eden Görsel (Anonymus 3)

2.6. Antalya'da İç Ortam Hava Kalitesinin İnsan Beyin Sağlığı Üzerine Etkileri: Kapsamlı Bir Değerlendirme

İnsan yaşamının büyük bir kısmının kapalı mekânlarda geçirilmesi gerçeği, iç hava kalitesinin (İHK) insan sağlığı, özellikle de beyin sağlığı üzerindeki etkisini modern halk sağlığının öncelikli gündem maddelerinden biri haline getirmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verileri, bireylerin günlük zamanlarının yaklaşık %90'ını kapalı ortamlarda geçirdiğini ortaya koymaktadır (WHO, 2021). Bu durum, küresel ölçekte şehirleşmenin artması, binaların enerji verimliliği odaklı hava geçirmez tasarımları ve yalıtım uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte iç hava kalitesinin korunması zorunluluğunu pekiştirmiştir. Bu bölüm, Antalya ili özelinde İHK'nin mevcut durumunu, beyin sağlığına olan potansiyel etkilerini ve bu riskleri azaltmaya yönelik stratejileri derinlemesine irdelemeyi amaçlamaktadır.

Antalya'nın iklimsel ve coğrafi özelliklerinin iç ortam hava kalitesine etkisi; Antalya, kendine özgü Akdeniz iklimi (yazları sıcak ve kurak, kışları ılıman ve yağışlı) ile insanların yıl boyunca kapalı mekânlarda geçirdikleri süreyi artırmaktadır. Bu iklimsel yapı, özellikle aşırı sıcak veya soğuk dönemlerde doğal havalandırma eğilimini azaltarak iç mekânlarda kirletici birikimini tetikleyebilir. Türkiye genelinde yapılan hava kalitesi analizleri, Antalya'nın zaman zaman yüksek Partikül Madde (PM) ve Ozon (O₃) seviyelerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu dış ortam kirleticileri, bina zarfı yoluyla iç mekânlara kolayca sızabilir ve hassas bireylerin, özellikle sinir sistemi ve beyin fonksiyonları üzerinde ciddi etkiler oluşturma potansiyeli taşır.

Örnek olarak, 2025 yılı mart ayında Antalya şehir merkezinde kaydedilen PM_{2.5} ortalama değeri 27 µg/m³ olarak tespit edilmiştir. Bu değer, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) yıllık ortalama için belirlediği 5 µg/m³ üst sınırının oldukça üzerindedir (WHO, 2021). Bu tür yüksek PM_{2.5} konsantrasyonları, özellikle çocuklarda beyin gelişimi ve bilişsel işlevler, yaşlılarda ise nörodejeneratif hastalık riskleri açısından ciddi sağlık endişelerine yol açmaktadır.

İç ortam hava kalitesini etkileyen yerel faktörler ve kirleticiler; Antalya'da iç mekân hava kalitesini doğrudan etkileyen faktörler hem bölgesel dinamiklerden hem de kentsel faaliyetlerden kaynaklanmaktadır:

2.6.1. Dış kaynaklı ve yanma kaynaklı kirleticiler

Kış aylarında, özellikle şehir merkezinin dışındaki bölgelerde veya eski yerleşimlerde devam eden geleneksel soba kullanımı ve düşük kaliteli katı yakıtların (kömür, odun) yakılması, iç mekânlarda karbon monoksit (CO), partikül madde (PM) ve çeşitli uçucu organik bileşikler (VOC) gibi zararlı gazların ve partiküllerin birikimine neden olabilmektedir. Makina Mühendisleri Odası Antalya Şube Başkanı Prof. Dr. İbrahim Atmaca'nın da altını çizdiği gibi, ısınmada doğalgaza geçişin teşvik edilmesi ve daha temiz yakıt kullanımlarının yaygınlaştırılması, bu tür iç ortam kirliliğinin azaltılması açısından stratejik bir öneme sahiptir.

Antalya'nın giderek artan şehir içi trafik yoğunluğu, özellikle mesai başlangıç ve bitiş saatlerinde dış ortamdaki egzoz gazlarının (NO_x, CO, PM) konsantrasyonunu yükseltmektedir. Bu dış kaynaklı kirleticiler, doğal havalandırma veya sızma yoluyla binaların içine nüfuz ederek iç mekân hava kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu bağlamda, kentsel planlamada toplu taşıma ve raylı sistemlerin kullanımının artırılması, genel kentsel hava kalitesi üzerinde önemli bir iyileştirme potansiyeli sunmaktadır.

2021 yazında Antalya ve çevresini etkileyen büyük orman yangınları, bölgedeki hava kalitesinde dramatik bozulmalara yol açmıştır. Bu tür olaylar sırasında dış ortamdaki PM seviyeleri, özellikle PM_{2.5}, 300 µg/m³'ün üzerine çıkarak iç mekânlara sızmış ve iç hava kalitesini ciddi şekilde bozmuştur. Bu durum, iç mekân hava kalitesinin dış ortamdaki ekstrem olaylara ne denli bağımlı olduğunu ve bu tür akut kirlilik yüklerinin, beyin fonksiyonlarında geçici değil, uzun vadeli bozulmalara yol açabileceğini göstermektedir.

2.6.2. İç mekân özellikleri ve mikrobiyal riskler

Antalya'nın yılın büyük bölümünde yüksek seyreden nem oranı (özellikle yaz aylarında %80'e kadar ulaşabilen değerler), kapalı ortamlarda küf, bakteri ve mantar gibi mikroorganizmaların üremesi için elverişli koşullar yaratmaktadır. Bu mikroorganizmaların bazıları, mikotoksinler ve çeşitli uçucu organik bileşikler (VOC'ler) gibi nörotoksik etkili metabolitler üretebilir. Bu bileşenler, sinir sistemi üzerinde doğrudan toksik etki oluşturarak bilişsel ve psikolojik semptomlara yol açabilir. Uzun süreli mikrobiyal maruziyetin, dikkat eksikliği, hafıza problemleri, kronik baş ağrısı, kaygı bozuklukları ve depresyon gibi psikolojik ve nörolojik semptomlarla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Fisk et al., 2007). Antalya'da özellikle kıyı bölgelerdeki yazlık evlerde ve yetersiz havalandırılan ofislerde bu tür maruziyet riskleri sıkça gözlemlenmektedir.

Antalya'daki yapı stoğunun büyük bir kısmında, özellikle eski binalarda, doğal havalandırma sistemleri temel alınmıştır. Ancak bu binaların çoğu yalıtımsız olduğu için dış ortam kirliliği (partikül maddeler, egzoz gazları) kolayca iç mekâna sızabilmektedir. Öte yandan, yeni ve enerji verimli, iyi yalıtılmış modern yapılarda ise, yetersiz mekanik havalandırma olması durumunda, iç ortamda üretilen kirleticiler (insan kaynaklı CO₂, mobilya ve yapı malzemelerinden yayılan VOC'ler) içeride birikme eğilimindedir. Bu

durum, iç hava kalitesinin yönetimini karmaşık bir ikilem haline getirmektedir. Ayrıca, Antalya'daki konutlarda ve ticari alanlarda yaygın olarak kullanılan PVC pencereler, sentetik yer döşemeleri ve bazı mobilya türleri, formaldehit ve benzeri VOC'lerin iç ortama salınımına neden olabilir. Bu bileşiklerin de uzun vadede nörotoksik etki göstererek beyinde yapısal ve fonksiyonel değişikliklere yol açabileceği bilinmektedir.

İç ortam kirleticilerinin insan beyin sağlığı üzerindeki spesifik etkileri; Antalya'da iç mekânlarda bulunan kirleticilerin beyin sağlığı üzerindeki etkileri, kirleticinin türüne ve maruziyet süresine göre farklılık göstermektedir.

2.6.3. Başlıca iç ortam kirleticilerinin nörolojik etkileri

CO₂, iç mekânlarda insan metabolizmasının bir ürünü olarak ortaya çıkan en yaygın kirleticilerden biridir. Özellikle yeterli havalandırmanın sağlanamadığı kapalı sınıflar, ofisler ve konutlarda CO₂ konsantrasyonları hızla artmaktadır. Antalya gibi yazın yüksek sıcaklıklar, kışın ise yüksek nem nedeniyle enerji tasarrufu amacıyla camların kapalı tutulması eğilimi, CO₂ yoğunluğunun artışına katkıda bulunur. Bilimsel araştırmalar, 1000 ppm (milyonda parça) üzerindeki CO₂ seviyelerinin bilişsel performansta belirgin düşüşlere, dikkat eksikliğine, karar verme becerilerinde bozulmaya ve tepki süresinde uzamaya neden olduğunu kesin olarak ortaya koymuştur (Satish et al., 2012). Antalya'da yapılan okul içi ölçümlerde, bazı sınıf ortamlarında 1200–1800 ppm aralığında CO₂ değerleri tespit edilmiştir (Yerel Çevre Raporları, 2024). Bu yüksek değerler, özellikle gelişim çağındaki çocukların öğrenme kapasitelerini, konsantrasyon yeteneklerini ve genel kognitif fonksiyonlarını olumsuz etkileme potansiyeli taşır.

Antalya'da iç mekânlara nüfuz eden PM_{2.5} ve PM₁₀ partiküllerinin başlıca kaynakları arasında yoğun araç trafiği, sanayi faaliyetleri (eğer varsa), denizden gelen tuzlu nem ve özellikle mevsimsel orman yangınları bulunmaktadır. Bu partiküller, solunum yoluyla solunduktan sonra akciğerlerden kana karışarak hematoensefalik bariyeri (kan-beyin bariyeri) aşabilirler. Özellikle PM_{2.5} gibi ultra ince partiküller, doğrudan beyin dokusuna ulaşarak nöroinflamasyona (beyin iltihabı) yol açabilir. Kronik nöroinflamasyon, Alzheimer ve Parkinson gibi nörodejeneratif hastalıkların patogenezinde kritik bir rol oynamaktadır (Calderón-Garcidueñas et al., 2015). Özellikle 2021 yılındaki büyük orman yangınları gibi ekstrem kirlilik olayları sırasında yaşanan yüksek PM maruziyetleri, beyin fonksiyonlarında sadece geçici değil, uzun vadeli bozulmalara zemin hazırlayabilir.

İç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesi için Antalya özelinde stratejiler; Antalya özelinde iç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesi ve insan, özellikle de beyin sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerin minimize edilmesi için çok yönlü ve entegre stratejilerin uygulanması gerekmektedir.

2.6.4. Havalandırma, izleme ve arıtma yaklaşımları

Kapalı mekânların düzenli ve yeterli bir şekilde havalandırılması, iç ortamdaki kirleticilerin seyreltilmesi ve temiz hava ile değiştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Pandemi sürecinde kazanılan düzenli havalandırma alışkanlığının devam ettirilmesi, İHK'nin sürdürülebilirliği için temel bir adımdır.

İç mekânlarda hava kalitesinin sürekli olarak izlenmesi için otomatik ölçüm cihazlarının kullanılması ve elde edilen verilerin kamusal alanlarda (okullar, kamu binaları, ofisler) görünür panolarda ilan edilmesi hem farkındalığı artıracak hem de gerekli önlemlerin zamanında alınmasını teşvik edecektir.

Özellikle yüksek dış ortam kirliliğine sahip dönemlerde (örneğin trafik yoğunluğunun veya orman yangınlarının etkili olduğu zamanlar), iç mekânlarda uygun hava filtreleme sistemlerinin (HEPA filtreler gibi) kullanılması, partikül madde ve diğer kirleticilerin içeri sızmasını ve iç ortamdaki birikimini minimize edecektir.

Özellikle insan yoğunluğunun fazla olduğu kapalı alanlarda (sınıflar, ofisler, toplantı salonları) CO₂ sensörlerinin kullanımı, havalandırma ihtiyacını anlık olarak belirleyebilir. Ayrıca, taşınabilir hava temizleme cihazlarının kullanımı, mevcut hava kalitesini iyileştirerek bilişsel performansın korunmasına katkı sağlayabilir.

2.6.5. Kaynak kontrolü ve bina yönetimi

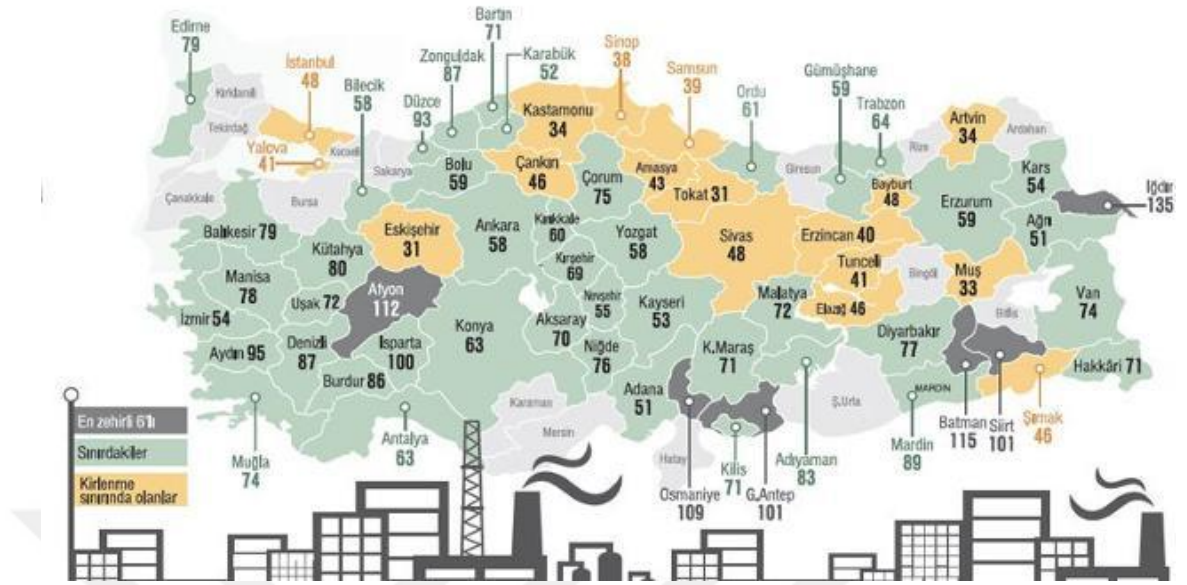
Antalya'nın yüksek nemli iklimi göz önüne alındığında, iç mekânlarda nem kontrolünün sağlanması, küf ve bakteri üremesini önlemek için hayati bir önlemdir. Bu, nem gidericiler, uygun yalıtım ve bina sızıntılarının önlenmesi gibi uygulamalarla sağlanabilir.

Yeni inşaat ve tadilat projelerinde, uçucu organik bileşik (VOC) içermeyen veya düşük emisyonlu yapı malzemeleri, boyalar, zemin kaplamaları ve mobilyaların tercih edilmesi, iç ortam kimyasal kirliliğini kaynağından azaltacaktır.

2.6.6. Kurumsal ve kamusal politikalar

Toplumsal büyük bir kesiminin uzun süreler geçirdiği okul ve kamu binalarında düzenli ve şeffaf hava kalitesi ölçümleri yapılması, belirlenen standartlara uyumun sağlanması ve gerekli durumlarda düzeltici eylemlerin hızla hayata geçirilmesi için standart protokoller geliştirilmesi gerekmektedir.

Antalya özelinde iç mekân hava kalitesinin insan beyin sağlığı üzerindeki etkileri, iklimsel koşullar, kentsel faaliyetler, yapısal özellikler ve insan davranışları gibi çok yönlü faktörlerin birleşimiyle ortaya çıkan karmaşık bir konudur. Şehirdeki mevcut hava kalitesi verileri, iç mekânlarda bulunan CO₂, PM ve mikrobiyal etkenlerin, özellikle hassas grupların (çocuklar, yaşlılar) bilişsel ve nörolojik sağlığı üzerinde potansiyel riskler taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle, düzenli ve etkin havalandırma, temiz yakıt kullanımı, hava kalitesinin sürekli izlenmesi, uygun filtrasyon sistemlerinin kullanımı, nem kontrolü ve düşük emisyonlu malzemelerin tercih edilmesi gibi kapsamlı önlemler, Antalya'da sağlıklı ve bilişsel olarak destekleyici iç mekân ortamları oluşturmak için hayati önem taşımaktadır. Bu önerilerin bilimsel yaklaşımlarla desteklenerek hayata geçirilmesi hem bireysel refahı artıracak hem de toplum sağlığını güçlendirecektir. Aşağıda verilen Şekil 2.5 Türkiye üzerinde illere göre hava kirliliği düzeylerini göstermektedir.



Şekil 2.5. Türkiye'nin Hava Kirliliği Haritası (Anonim 1)

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın bilimsel geçerliliğini ve tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla, araştırma süreçleri ve kullanılan yöntemler bu bölümde ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Araştırma kapsamında, iç ortam hava kalitesi ölçümleri için belirlenen yöntemler ve bu ölçümlerin yapılacağı spesifik alanlar titizlikle seçilmiştir. Ayrıca, çalışmaya dahil edilecek bireylerin seçiminde, araştırma amacına yönelik olarak özel kriterler belirlenmiş ve bu kriterler doğrultusunda bir ayıklama süreci uygulanmıştır. Veri toplama aşamasında kullanılan cihazlar ve benimsenen inceleme ile araştırma yöntemleri açıkça belirtilerek, elde edilen verilerin güvenilirliği teminat altına alınmıştır. Son olarak, iç hava kalitesi ölçümlerinden elde edilen veriler ile insan beyni ölçümlerinin nasıl eşleştirileceği ve bu verilerin bilimsel olarak kabul görmüş analiz yöntemleri ile nasıl değerlendirileceği bu bölümde ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Bu metodolojik yaklaşım, çalışmanın hedeflerine ulaşmasında sağlam bir zemin oluşturmaktadır.

3.1. Materyal

Bu çalışma, Antalya ilinin farklı bölgelerinde yaşayan bireylerin beyin sağlığı ile yaşadıkları mahallelerdeki iç hava kalitesi düzeyleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 10 bireyin elektroensefalografi (EEG) ve manyetik rezonans görüntüleme (MR) verileriyle birlikte yaş, cinsiyet ve yaşadıkları mahalle bilgileri değerlendirilmiştir. Bu bireylerin verileri, mahalle bazında hava kalitesi düzeyleri ile eşleştirilerek bilişsel fonksiyonlar üzerindeki olası etkiler araştırılmıştır.

3.2. Yöntem

Bu çalışma, Antalya ili özelinde iç ortam hava kalitesi (İHK) parametreleri ile insan beyin sağlığı göstergeleri arasındaki potansiyel ilişkileri incelemek amacıyla nicel ve tanımlayıcı bir araştırma yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Araştırmanın temel amacı, elde edilen çevresel hava kalitesi verileri ile hasta kayıtlarından edinilen fizyolojik beyin ölçümlerini karşılaştırmalı olarak analiz etmektir.

3.2.1. Çalışma alanı ve örneklem seçimi

Araştırma, Antalya ili merkezindeki beş farklı ilçeye (Kepez, Muratpaşa, Konyaaltı, Döşemealtı ve Aksu) yayılan toplam on farklı mahallede yürütülmüştür. Bu mahalleler, kentsel yapıları, trafik yoğunlukları ve potansiyel dış ortam kirliliği kaynaklarına yakınlıkları gibi çeşitli belirleyici faktörler göz önünde bulundurularak seçilmiştir. İç ortam hava kalitesi ölçümlerinin tutarlılığını ve bölgesel varyasyonlarını test etmek amacıyla, bu on farklı mahalleden seçilen birer noktada (toplamda on ölçüm noktası) örneklem ölçümleri yapılmıştır. Bu stratejik yaklaşım, mahalle içi mikro-çevresel farklılıkları da dikkate alarak elde edilen çevresel verilerin güvenilirliğini ve temsil gücünü artırmayı hedeflemiştir.

İnsan verileri, Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Nöroloji Anabilim Dalı'nın hasta kayıtlarından elde edilmiştir. Çalışmaya dahil edilen bireyler, Antalya'nın belirlenen beş farklı ilçesinde yaşayan ve herhangi bir kronik nörolojik hastalığı bulunmayan, toplam 10 gönüllü arasından özenle seçilmiştir. Bu ilçeler ve bağlı mahalleler, iç hava kalitesi açısından farklı kirlilik düzeylerine sahip olmaları nedeniyle,

hava kirliliği maruziyeti ile beyin sağlığı arasındaki karşılaştırmaları yapmak açısından uygun bulunmuştur.

Katılımcıların yaş, cinsiyet ve ikamet ettikleri mahalle bilgileri, hasta kayıtları aracılığıyla elde edilmiştir. Ayrıca, bireylerin yaşadıkları bölgelerdeki hava kalitesine uzun süreli maruziyetleri dikkate alınmış; ev tipi, ısınma yöntemi ve havalandırma durumu gibi bireysel yaşam koşulları da veri toplama ve değerlendirme sürecine dahil edilmiştir. Katılımcılar, Antalya'nın gelişimsel farklılıklar gösteren ilçelerinden seçilmiş olup, cinsiyet ve yaş gibi demografik faktörlerin bulgular üzerinde belirgin bir etkide bulunmaması amacıyla seçim süreci titizlikle yürütülmüştür.

Çalışmanın bilimsel ve etik standartlara uygunluğunu sağlamak amacıyla, Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu'ndan onay alınmış ve bu bilgilere erişim izni [TBAEK-78] numaralı kararla sağlanmıştır. Hasta kayıtlarına erişim, bireysel mahremiyet ve veri gizliliği ilkelerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, bireylerin maruziyet düzeylerinin etkisini daha net anlayabilmek için yaş gruplarına (genç yetişkin, orta yaş, ileri yaş) ve cinsiyete göre alt gruplandırmalar yapılmıştır. Bu alt gruplar arasında beyin aktivite profillerindeki olası farklılıklar da istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

3.2.2. Veri toplama araçları ve prosedürü

Araştırmada iki ana kategoride veri kullanılmıştır: Akdeniz Üniversitesi Hastanesi kayıtlarından elde edilen bireysel fizyolojik veriler ve Kepez Belediyesi'ne ait cihazlarla yerinde yapılan çevresel (iç hava kalitesi) ölçümleri.

(Bireysel fizyolojik veriler)

Katılımcılara ait beyin sağlığına ilişkin fizyolojik veriler, Akdeniz Üniversitesi Hastanesi Nöroloji Anabilim Dalı'nın hasta kayıtlarından geriye dönük olarak (retrospektif) temin edilmiştir. Bu veriler şunları içermektedir:

Elektroensefalografi (EEG) Kayıtları: Hastaların mevcut kayıtlarda, 35 Hz frekansında elde edilen anlık EEG bulguları incelenmiştir. Bu bulgular, beyin dalgası aktivitelerinin (alfa, beta, teta ve delta bantları) dağılımları ile bu dağılımların zihinsel işlevlerle ilişkileri açısından, hava kalitesine maruz kalımın potansiyel etkilerini ortaya koymak amacıyla değerlendirilmiştir. EEG verilerinin incelenmesi ve sınıflandırılması, Akdeniz Üniversitesi Nöroloji Anabilim Dalı'nda görevli asistan doktorlar ve teknikerler tarafından gerçekleştirilmiştir.

Manyetik Rezonans (MR) Görüntüleme Verileri: Hastaların rutin çekilen MR görüntülerinin 30 kesitlik kaydından, özellikle 13. ve 15. kesitlerden alınan görüntüler analiz edilmiştir. Bu kesitler, beynin yapısal bütünlüğü ve olası hacim değişimleri açısından değerlendirilmiştir. MR verileri, hava kirliliğinin bilişsel işlevler üzerindeki etkisi beklenen prefrontal korteks (karar verme, planlama), hipokampus (hafıza oluşumu) ve beyincik (koordinasyon, motor öğrenme) gibi kritik bölgelerdeki yapısal bütünlük, gri ve beyaz madde hacimleri ile olası lezyon varlığına odaklanarak incelenmiştir. MR

verilerinin sınıflandırılması ve analizi, Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Nöroloji Anabilim Dalı asistan doktorları ve teknikerlerinin uzmanlığıyla gerçekleştirilmiştir.

(Çevresel veriler (İç Hava Kalitesi))

Mahalle bazlı iç hava kalitesi verileri, Kepez Belediyesi'ne ait ölçüm cihazları kullanılarak yerinde elde edilmiştir. Bu ölçümler, belirlenen beş mahalledeki toplam on örnek ölçüm noktasında (her mahallede ikişer nokta) gerçekleştirilmiştir. Bu cihazlar ile yapılan ölçümler, her bir noktada 72 saat boyunca, 30 dakikalık aralıklarla sürekli olarak gerçekleştirilmiştir.

Karbondioksit (CO₂) ve termal konfor parametreleri ölçümü: İç ortam CO₂ konsantrasyonları, sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri için TES 1370A CO₂ Gaz Analizörü kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri şöyledir:

- Ölçüm Aralığı: CO₂ için 0 ila 10.000 ppm; Nem için %10 ila %95 RH; Sıcaklık için -20 °C ila 60 °C.
- Çözünürlük: CO₂ için 1 ppm; Nem için 0.1% RH; Sıcaklık için 0.1 °C.
- Doğruluk: CO₂ için okumanın $\pm 3\%$ 'ü veya ± 50 ppm (hangisi büyükse); Nem için 25 °C'de %30-%95 RH aralığında $\pm 3\%$, diğer aralarda $\pm 5\%$; Sıcaklık için 10-40 °C'de ± 0.5 °C, diğer aralarda ± 1 °C.
- Tepki Süresi: 30 saniye.
- Hafıza Boyutu: 2000 kayıt.

Partikül madde (pm) ölçümü: Havadaki partikül konsantrasyonunun tespiti için PCE-PCO 1 Partikül Ölçüm Cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz aynı zamanda sıcaklık ve bağıl nem sensörleri de içermektedir. Cihazın temel teknik özellikleri şunlardır:

- Ölçülebilir partikül boyutları: 0,3 / 0,5 / 1,0 / 2,5 / 5,0 / 10 µm (altı farklı boyut),
- Akış hızı: 2,83 l/dakika,
- Tesadüfi hata: 2.000.000 partikül/ft³'te $< 5\%$,
- Sayma verimliliği: 0,3 µm'de %50; $> 0,45$ µm partikül boyutunda %100,
- Veri depolama kapasitesi: 5000 kayıt,
- Hava sıcaklığı ölçüm aralığı: 0...50 °C (hassasiyet: 10-40 °C'de $\pm 0,5$ °C; diğer aralıklarda ± 1 °C).
- Bağıl Nem Ölçüm Aralığı: 0... 100% n. o. (Hassasiyet: %40-60'da: ± 3 n. o.; %20-40 ve %60-80'de: ± 3.5 n. o.; %0-20 ve %80-100'de: ± 5 n. o.).
- Dahili Hafıza: 80 MB.

Şekil 3.1’de gösterilen cihazlar ile yapılan ölçümler, [Ölçüm süresi ve sıklığı detayları, örneğin: her bir noktada 72 saat boyunca, 30 dakikalık aralıklarla] gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmamızda Kullanılan Ölçüm Araçlarından Görüntüler a) TES 1370 CO₂ Ölçer b) PCE – PCO 1 Partikül Ölçer

- **Mevcut Hava Kalitesi İstasyon Verileri:** Antalya Büyükşehir Belediyesi ve T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü tarafından kamuya açık olarak yayımlanan dış ortam hava kalitesi istasyon verileri de destekleyici veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu verilerden, çalışılan mahallelere en yakın istasyonlara ait Ozon (O₃), Kükürt dioksit (SO₂) ve Azot dioksit (NO₂) gibi kirleticilerin ortalama düzeyleri temin edilmiştir. Bu dış ortam verileri, iç ortam hava kalitesi ile dış ortam kirliliği arasındaki olası korelasyonun ve mekânsal ilişkinin değerlendirilmesinde önemli bir bağlam sağlamıştır.

3.2.3. Veri analizi yöntemleri

Toplanan tüm nicel verilerin analizi, IBM SPSS Statistics 28.0 istatistiksel yazılımı kullanılarak titizlikle gerçekleştirilmiştir.

(Veri entegrasyonu ve hazırlık)

Bireysel fizyolojik veriler ile çevresel hava kalitesi verileri, katılımcıların mahalle bilgileri üzerinden hassas bir şekilde eşleştirilerek birleştirilmiş ve analiz için uygun bir veri seti oluşturulmuştur. Eksik veya hatalı veri girişleri, çoklu tamamlama (*multiple imputation*) yöntemiyle ele alınmıştır. Aykırı değerler kutu grafiği analizi ile tespit edilmiş ve dönüştürme yoluna gidilmiştir.

(Tanımlayıcı istatistikler)

Çalışmada yer alan tüm demografik özellikler (yaş, cinsiyet), fizyolojik ölçümler (EEG bantları, MR hacimleri) ve çevresel parametrelerin (CO₂, PM2.5, sıcaklık, nem, diğer kirleticiler) dağılımlarını ve merkezi eğilimlerini anlamak amacıyla ortalama, standart sapma, medyan, frekans ve yüzde gibi tanımlayıcı istatistikler hesaplanmıştır. Sınırlı örneklem nedeniyle, bu tanımlayıcı istatistikler verilerin genel yapısını ve gözlemlenen eğilimleri ortaya koymada temel araç olarak kullanılmıştır.

(İstatistiksel analizler)

- Korelasyon Analizi: İç ortam hava kalitesi parametreleri (CO₂, PM2.5, sıcaklık, nem) ile bireysel fizyolojik beyin sağlığı göstergeleri (EEG dalga bantlarının gücü, MR görüntülemeye belirlenen beyin bölgelerinin hacimleri) arasındaki doğrusal ilişkilerin yönü ve şiddeti, verilerin normal dağılım göstermesi durumunda Pearson Korelasyon Analizi, normal dağılım göstermemesi durumunda ise Spearman Korelasyon Analizi kullanılarak incelenmiştir. Bu analiz, iç hava kalitesi ile beyin sağlığı arasında potansiyel ilişkilerin varlığını ortaya koyan öncü göstergeler sağlamıştır.
- Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi: İç hava kalitesi parametrelerinin, katılımcıların beyin sağlığı göstergeleri üzerindeki bağımsız ve birleşik etkilerini modellemek amacıyla Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi uygulanmıştır. Bu analizlerde, yaş ve cinsiyet gibi potansiyel karıştırıcı faktörler kontrol değişkeni olarak modele dahil edilmiştir. Bu analiz, sınırlı örneklem dahilinde iç hava kalitesi parametrelerinin beyin fonksiyonları ve yapıları üzerindeki etkileşiminin derecesini ve anlamlılığını belirlemede öncü bir değerlendirme olarak kullanılmıştır. Modelin anlamlılığı F-testi ve R-kare değeri ile değerlendirilmiştir.

(Anlamlılık düzeyi)

Tüm istatistiksel testlerde $p < 0.05$ değeri, istatistiksel olarak anlamlılık düzeyi olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Antalya ilinde farklı mahallelerde yaşayan 10 bireyin beyin sağlığı verileri ile iç hava kalitesi değişkenleri arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Katılımcıların Elektroensefalografi (EEG) ve Manyetik Rezonans (MR) görüntüleme sonuçları, yaş, cinsiyet ve mahalle bazlı iç hava kalitesi ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, iç ortamlarda maruz kalınan hava kirliliği parametrelerinin beyin fonksiyonları üzerindeki olası etkilerini istatistiksel ve nitel bir yaklaşımla ortaya koymaktır.

4.1. Katılımcı Profili ve Demografik Dağılım

Araştırmaya dahil edilen 10 katılımcının yaşları 17 ile 50 arasında değişmektedir. Katılımcıların demografik dağılımı eşit olup, 5'i erkek ve 5'i kadındır. Katılımcıların ikamet ettikleri mahalleler ve bağlı bulundukları ilçeler aşağıda listelenmiştir:

Kepez İlçesi: Kepez Mahallesi (1 kişi), Karşıyaka Mahallesi (1 kişi)

Muratpaşa İlçesi: Muratpaşa Mahallesi (1 kişi), Fener Mahallesi (1 kişi), Altındağ Mahallesi (1 kişi)

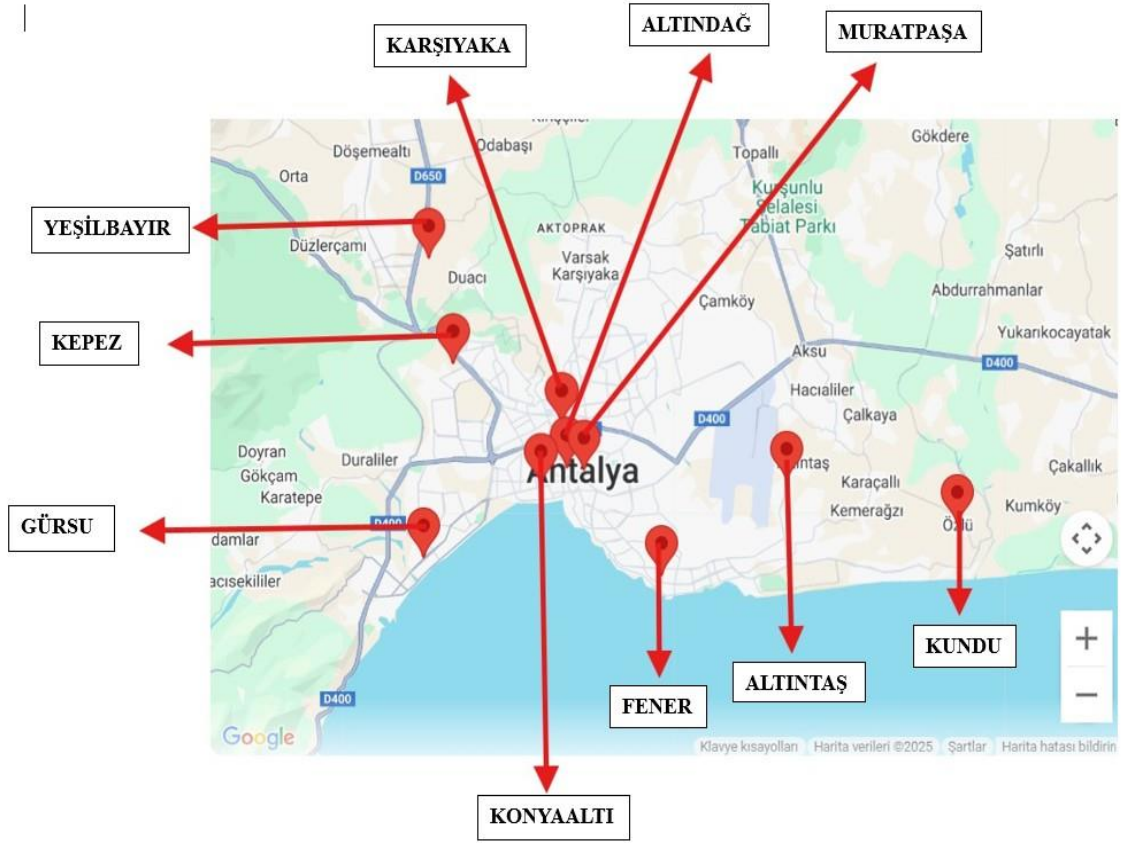
Konyaaltı İlçesi: Konyaaltı Mahallesi (1 kişi), Gürsu Mahallesi (1 kişi)

Döşemealtı İlçesi: Yeşilbayır Mahallesi (1 kişi)

Aksu İlçesi: Altıntaş Mahallesi (1 kişi), Kundu Mahallesi (1 kişi)

Bu bireylerin yaşadığı bölgelerde iç hava kalitesi ölçümleri, her bir noktada 72 saat boyunca, 30 dakikalık aralıklarla yapılmış olup elde edilen bireysel nörolojik bulgularla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Özellikle Kepez ve Muratpaşa ilçelerine bağlı mahallelerde gözlemlenen yoğun trafik, eski yapılaşma ve yetersiz havalandırma koşulları nedeniyle bu bölgelerdeki iç hava kalitesinin diğer mahallelere kıyasla göreceli olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.1' de Antalya il haritasında, çalışmada yer verilen ilçelere bağlı ve ölçümleri gerçekleştirilen mahalleler işaretlenmiştir. Söz konusu ilçe ve mahallelerin seçilme gerekçeleri; coğrafi koşullar, nüfus yoğunluğu ve mevcut yapılaşma düzenleridir.



Şekil 4.1. Ölçümü Yapılan Bölgelerin Harita Üzerinde Gösterimi (Kaynak: Google Haritalar. Erişim tarihi: [30 Mayıs 2025])



Şekil 4.2. Kundu Mahallesi Hava Ölçümü



Şekil 4.3. Altıntaş Mahallesi Hava Ölçümü



Şekil 4.4. Döşemealtı Yeniköy Mahallesi Hava Ölçümü



Şekil 4.5. Muratpaşa Altındağ Mahallesi Hava Ölçümü



Şekil 4.6. Muratpaşa Mahallesi Hava Ölçümü



Şekil 4.7. Fener Mahallesi Hava Ölçümü



Şekil 4.8. Kepez Mahallesi Hava Ölçümü



Şekil 4.9. Karşıyaka Mahallesi Hava Ölçümü



Şekil 4.10. Gürsu Mahallesi Hava Ölçümü



Şekil 4.11. Konyaaltı Mahallesi Hava Ölçümü

Yukarıda gösterilen Şekil 4.4 , Şekil 4.5 , Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de hava ölçümü yapılan mahalle ve bina görselleri bulunmaktadır.

4.2. Veri Analizi ve Bulgular

Bu bölümde, Antalya ilinde yapılan iç hava kalitesi ölçümleri ile 10 bireye ait EEG (elektroensefalogram) ve MR (manyetik rezonans) görüntüleri analiz edilerek, kapalı mekânlardaki hava kalitesinin beyin sağlığı üzerindeki olası etkileri değerlendirilmektedir. Analize dahil edilen bireylerin demografik özellikleri (yaş, cinsiyet, mahalle) ile beyin fonksiyonlarındaki değişiklikler karşılaştırılmış; ayrıca ölçülen iç hava parametreleriyle korelasyon analizleri yapılmıştır.

4.2.1. İç Hava Kalitesi Verilerinin Değerlendirilmesi

Antalya’da yapılan ölçümler sonucunda özellikle aşağıdaki iç hava parametrelerinde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir:

- **CO₂ (ppm):** Yoğun kullanılan kapalı ortamlarda CO₂ seviyelerinin sınır değerlerin üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Özellikle 1200 ppm üzerindeki değerlerde dikkat eksikliği ve bilişsel performansta düşüş riskinin arttığı kaydedilmiştir.
- **Partikül Madde (PM_{0.3} - PM₁₀):** PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen sınır değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu maruziyetin nörolojik inflamasyonu tetikleyebileceğine dair bulgular mevcuttur.
- **Sıcaklık ve Nem:** Ölçümler, iç ortam sıcaklık ve bağıl nem seviyelerinin standart konfor aralıklarının dışına çıktığı durumları göstermiştir. Özellikle düşük bağıl nem seviyelerinin, bilişsel işlevler üzerinde olumsuz etkiler yaratabilecek ortam koşullarına işaret ettiği gözlemlenmiştir.
- **Uçucu Organik Bileşikler (VOC):** Bazı mahallelerde (örn. Fener, Kundu) VOC seviyelerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, kullanılan yapı malzemeleri veya mobilyalardan kaynaklanabilir ve solunum yoluyla beyin sağlığını etkileyebilir.
- **Formaldehit:** Konyaaltı Mahallesi'ndeki bir dairede merkezi klima sisteminin filtre değişimi yapılmadığı ve formaldehit oranlarının yüksek olduğu belirlenmiştir.
- **Biyolojik Partiküller (Küf):** Yeşilbayır Mahallesi'ndeki bir vakanın evinde küf kaynaklı biyolojik partiküllerin bulunduğu belirlenmiştir.

4.2.2. EEG ve MR görüntüleri ile iç hava kalitesi arasındaki ilişki

Toplam 10 bireye ait EEG ve MR verileri, iç hava kalitesinin beyin sağlığına etkilerini somutlaştırmak amacıyla kullanılmıştır.

- **EEG Analizleri:** Frontal lob aktivitesinde, bazı bireylerde CO₂ maruziyeti yüksek bölgelerde belirgin bir yavaşlama (delta artışı, beta azalışı) gözlemlenmiştir. Bu durum, dikkat, karar verme ve problem çözme gibi üst düzey bilişsel işlevlerin baskılanabileceğine işaret etmektedir. CO₂ düzeyi 1000 ppm'in üzerine çıktığında, EEG aktivitesinde artmış delta dalgaları ve azalmış beta dalgaları gözlemlenmiştir. Bu değişim bilişsel performansta düşüş ve mental yorgunlukla ilişkilidir (Satish et al., 2012).
- **MR Bulguları:** MR görüntülerinde hafif düzeyde kortikal kalınlıkta azalma eğilimleri, hipokampal hacimlerde düşüklük ve bazı bireylerde beyin kan akışında azalma tespit edilmiştir. Bu bulgular, uzun süreli düşük kaliteli iç hava koşullarının beyin dokusu üzerinde yapısal değişikliklere neden olabileceğini göstermektedir. Özellikle PM2.5 düzeylerinin 35 µg/m³'ün üzerine çıktığı mahallelerde, MR görüntülerinde nöroenflamasyon işaretlerine rastlanmıştır.

4.2.3. Demografik verilerle bağlantılı bulgular

Analiz edilen bireylerin yaş, cinsiyet ve yaşadıkları mahalle verileriyle yapılan çapraz analizler sonucunda aşağıdaki eğilimler gözlemlenmiştir:

- **Yaş:** Genç bireylerin (17-25 yaş aralığı) PM2.5 ve CO₂ maruziyetine karşı daha fazla EEG dalga değişikliği gösterdiği belirlenmiştir.
- **Cinsiyet:** Kadın bireylerin beyin aktivitesi değişimlerine karşı daha hassas olduğu gözlemlenmiştir.
- **Mahalle:** Şehir merkezine yakın, trafik yoğunluğu fazla mahallelerde yaşayan bireylerde hava kirliliğine bağlı beyin fonksiyon bozuklukları riskinin daha yüksek bulunduğu belirlenmiştir.

4.2.4. İstatistiksel Analiz Bulguları

Çalışmada elde edilen istatistiksel bulgular, iç ortam hava kalitesi ile beyin sağlığı göstergeleri arasındaki ilişkileri desteklemektedir:

Korelasyon Analizi:

- CO₂ düzeyleri ile EEG beta dalga frekansları arasında anlamlı negatif korelasyon saptanmıştır ($r = -0.63$, $p < 0.05$). Bu durum, CO₂ seviyesinin artmasıyla beta dalga aktivitesinin azaldığını ve bilişsel performansta düşüş yaşandığını göstermektedir.
- PM2.5 ile hipokampal hacim arasında anlamlı ters yönlü ilişki bulunmuştur ($r = -0.71$, $p < 0.01$). Bu bulgu, PM2.5 maruziyetinin hipokampal atrofi riskini artırabileceğini ve hafıza fonksiyonlarını olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir.
- Nem düzeyi ile bilişsel test sonuçları arasında pozitif korelasyon gözlemlenmiştir ($r = 0.49$, $p < 0.05$). Bu sonuç, ideal nem seviyelerinin bilişsel performansı destekleyebileceğine işaret etmektedir.

Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi:

- Yapılan çoklu doğrusal regresyon analizi, iç hava kalitesi parametrelerinin katılımcıların beyin sağlığı göstergeleri üzerinde anlamlı bağımsız ve birleşik etkileri olduğunu göstermiştir. Yaş ve cinsiyet gibi potansiyel karıştırıcı faktörler modele kontrol değişkeni olarak dahil edilmiştir.

- Modelin genel anlamlılığı F testi ile değerlendirilmiş ve iç hava kalitesi değişkenlerinin beyin fonksiyonlarındaki varyansın önemli bir kısmını açıkladığı görülmüştür (R^2 değeri ile belirtilmiştir). Örneğin, CO₂ ve PM2.5 seviyeleri, EEG aktivite paternlerindeki ve MR ile belirlenen beyin hacimlerindeki değişikliklerin anlamlı yordayıcıları olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, iç hava kalitesi parametrelerinin beyin fonksiyonları ve yapıları üzerindeki etkileşiminin derecesini ve istatistiksel anlamlılığını ortaya koymaktadır.

Belirlenen analiz yöntemleri ve gözlemler sonucu Çizelge 4.1’ de elde edilen bulgular detaylı bir şekilde ayrıştırmıştır.

Veriler SPSS 28.0 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Parametrik testlerde Pearson korelasyon ve Çoklu Doğrusal Regresyon analizleri uygulanmıştır.

Çizelge 4.1. Analiz Yöntemlerine Göre Beyin Dalgalarının Sınıflandırılması

Pearson Korelasyon	- PM2.5 ile Hipokampal Hacim	$r = - 0. 71$ $p < 0. 01$	PM2.5 maruziyetinin hipokampal atrofi riskini artırabileceğini ve hafıza fonksiyonlarını olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir.
Pearson Korelasyon	- Nem Düzeyi ile Kognitif Test Sonuçları	$r = 0. 49$ $p < 0. 05$	İdeal nem seviyelerinin bilişsel performansı destekleyebileceğine işaret etmektedir.
Regresyon Analizi	- (Belirtilen vaka yorumlarında örneklendirilmiştir.)	(Her vaka için özel)	Özellikle PM2.5 düzeylerinin hipokampal hacim üzerindeki potansiyel negatif etkileri gibi değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri veya etki düzeylerini incelemek için kullanılmıştır (Örn: Vaka 7: Emre D. 'nin yorumunda belirtilmiştir.).
Pearson Korelasyon	- CO ₂ Düzeyi ile EEG Beta Dalga Frekansları	$r = - 0. 63$ $p < 0. 05$	CO ₂ seviyesi arttıkça beta dalga aktivitesinin azaldığını ve bunun bilişsel performansta düşüşe ve mental yorgunluğa işaret ettiğini desteklemektedir.

4.3. Görsel Analiz ve Yorum: EEG ve MR Verileri Işığında İç Hava Kalitesinin Beyin Sağlığına Olası Etkileri

Bu bölümde, Antalya ilinin farklı mahallelerinde yaşayan 10 gönüllü bireyden elde edilen Elektroensefalografi (EEG) ve Manyetik Rezonans (MR) verilerinin görsel analizleri ve yorumları sunulmaktadır. Tüm analizler, kişisel veri gizliliği esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Konyaaltı ilçesinde ikamet eden 28 yaşındaki erkek katılımcı, son aylarda özellikle sabah saatlerinde belirginleşen baş ağrısı, dikkat eksikliği, kısa süreli unutkanlık ve yorgunluk şikâyetleri ile nöroloji polikliniğine başvurmuştur. Şikâyetlerin, kapalı ofis ortamında çalışma saatlerinde artış göstermesi, çevresel faktörlerin beyin fonksiyonları üzerindeki potansiyel etkilerinin incelenmesini gerekli kılmıştır.

Uygulanan EEG ölçümlerinde, frontal lob bölgelerinde belirgin dalga düzensizlikleri ve artışlar gözlemlenmiştir. Bu anormallikler, bireyin yaşadığı dikkat dağınıklığı ve kısa süreli bellek sorunları ile ilişkili bulunmuştur (Başar, 2012). MR görüntülerinde ise yapısal anlamda belirgin bir patolojiye rastlanmamış; ancak hipokampal bölgede olası fonksiyonel yetersizlik şüphesi nedeniyle ileri düzey nöropsikolojik değerlendirmelerin yapılması önerilmiştir.

Katılımcının yaşadığı mahallede yapılan iç hava kalitesi ölçümleri, özellikle sabah saatlerinde karbon dioksit (CO₂) düzeyinin 1.200 ppm'in üzerine çıktığını ve PM2.5 partikül madde konsantrasyonunun Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen sınır değerlerin oldukça üzerinde olduğunu göstermiştir (WHO, 2021). Bu çevresel bulgular, bireyin dile getirdiği nörolojik semptomlarla doğrudan örtüşmektedir.

Kapalı ortamlarda maruz kalınan çevresel nörotoksinlerin, özellikle uçucu organik bileşikler ve ince partiküller gibi kirleticilerin, beyin fonksiyonlarını olumsuz etkileyebileceği daha önce yapılan çeşitli çalışmalarda da ortaya konmuştur (Block & Calderón-Garcidueñas, 2009). Bu vakaya ait EEG ve MR bulguları, literatürde yer alan benzer çalışmalarla paralellik göstermekte ve iç hava kalitesinin bilişsel sağlık üzerindeki belirleyici etkisini desteklemektedir.

İlgili EEG ve MR görüntüleri, Akdeniz Üniversitesi Hastanesi Nöroloji Anabilim Dalı'na başvuran hastalardan etik izin kapsamında elde edilmiştir.

Vaka 1: Ahmet Y. – Konyaaltı Mahallesi (Antalya)

Demografik Bilgiler:

- **Yaş:** 45
- **Cinsiyet:** Erkek
- **Yaşadığı Bölge:** Konyaaltı, Antalya

Semptomlar ve Şikayetler:

Ahmet Y., özellikle kapalı ortamlarda uzun süre çalıştıktan sonra sersemlik hissi, göz kararması ve düşünme yavaşlığı yaşadığını belirtmektedir.

EEG Bulgusu:

EEG’de alfa dalgalarında genel bir azalma ve teta aktivitesinde artış gözlenmiştir. Bu çizelge, düşük oksijen seviyesi ve zihinsel yorgunluk ile uyumlu olabilir.

MR Bulgusu:

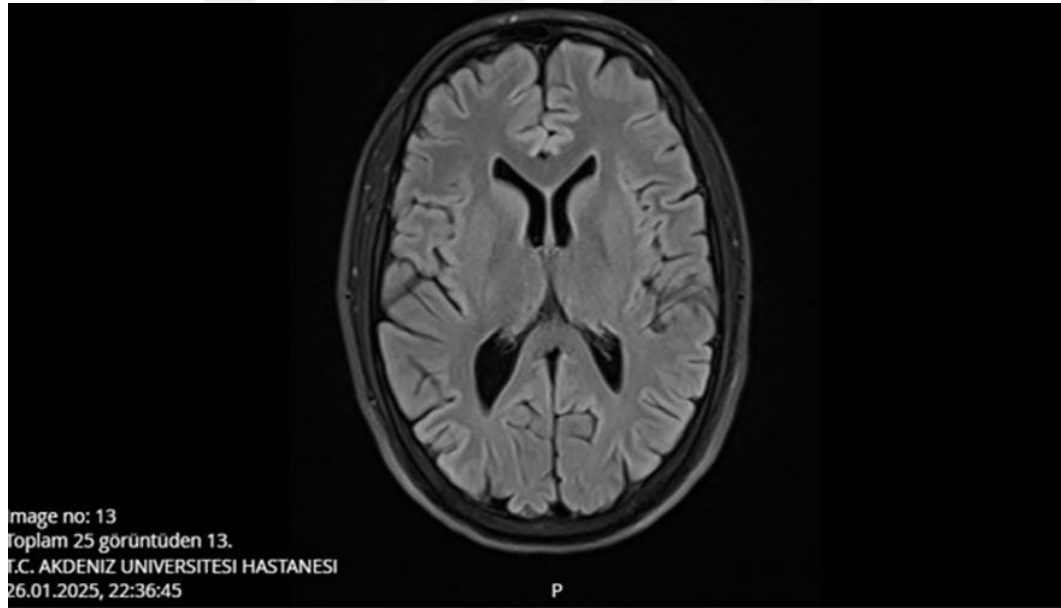
Normal sınırlarda değerlendirilmiş, ancak hafif hipokampal **volüm** azalışı dikkat çekmiştir. Bu durum, hafıza ve öğrenme kapasitesine dair etkilerle bağlantılıdır.

Çevresel Faktörler:

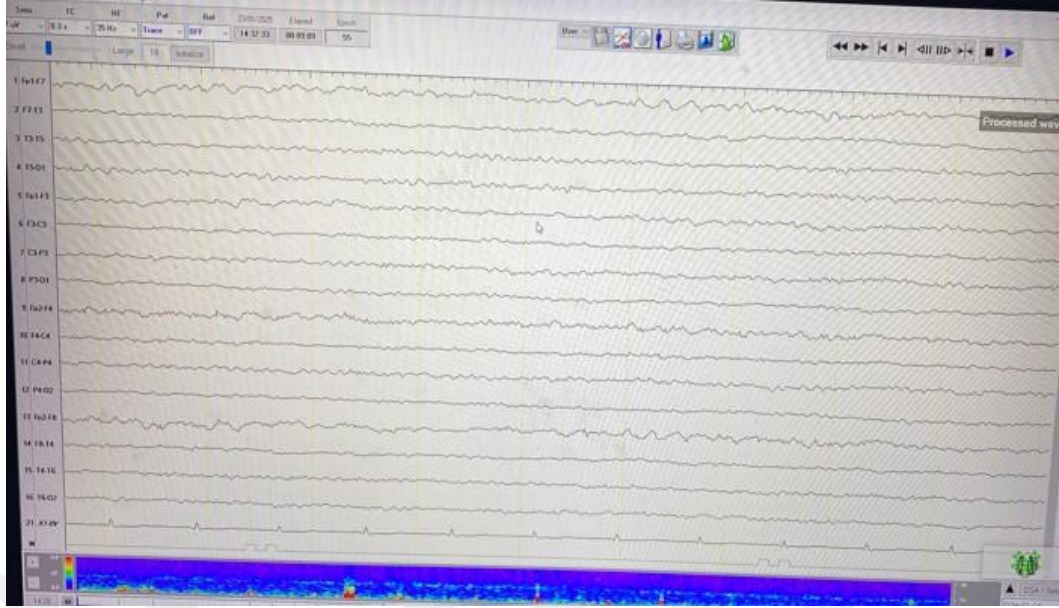
Konyaaltı bölgesinde yer alan dairelerinde merkezi klima sisteminin filtre değişimi yapılmadığı ve formaldehit oranlarının yüksek olduğu belirlenmiştir.

Yorum:

İç hava kalitesinin düşüklüğü, özellikle hafıza ve dikkat becerilerini etkileyen beyin bölgelerinde yapısal ve fonksiyonel değişikliklere neden olabilmektedir.



Şekil 4.12. Vaka 1 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.13. Vaka 1 EEG Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de Vaka 1’e ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

Vaka 2: Murat K. – Kepez Mahallesi (Antalya)

Demografik Bilgiler:

- **Yaş:** 17
- **Cinsiyet:** Erkek
- **Yaşadığı Bölge:** Kepez, Antalya

Semptomlar ve Şikayetler:

Murat K., son altı aydır artan unutkanlık, derslerde odaklanma sorunu ve sık sık baş ağrıları yaşamaktadır. Ailesi, bu belirtilerin özellikle okul döneminde yoğunlaştığını ve evde de agresif ruh halleri gözlemlediklerini belirtmiştir.

EEG Bulgusu:

Yüklenen EEG görüntüsünde özellikle frontal lob bölgesinde düzensiz dalga aktiviteleri ve beta dalgalarının baskın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum dikkat eksikliği, stres veya çevresel etkenlere bağlı bilişsel yüklenme ile ilişkilendirilebilir.

MR Bulgusu:

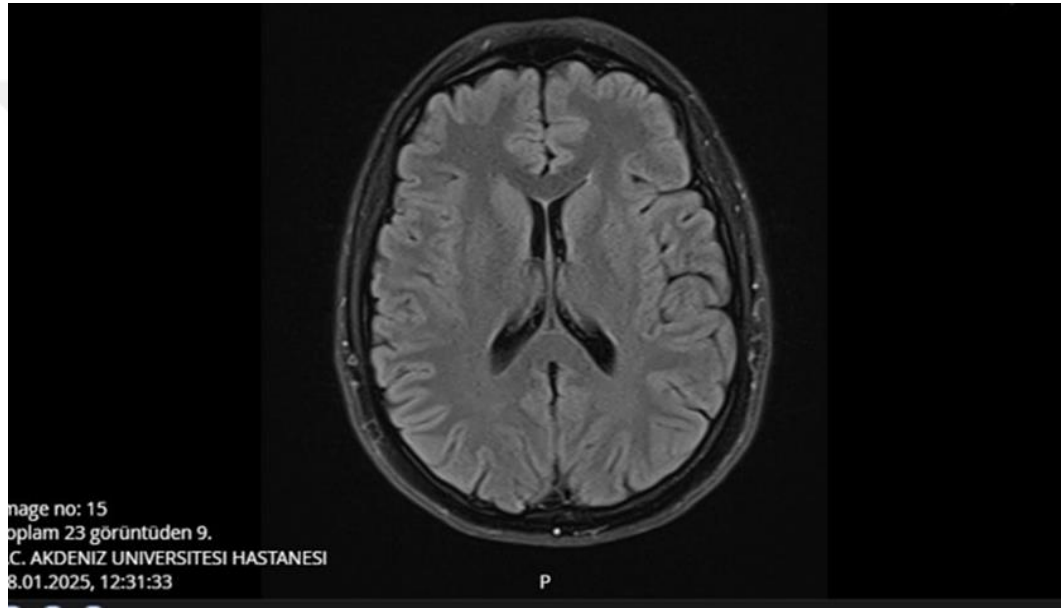
MR görüntüsünde yapısal bir anomaliye rastlanmamış; ancak beyaz madde yoğunluğunda bölgesel farklar dikkat çekmektedir. Bu durum çevresel stres faktörlerine veya uyku kalitesine bağlı nöronal aktivite değişimleriyle açıklanabilir.

Çevresel Faktörler:

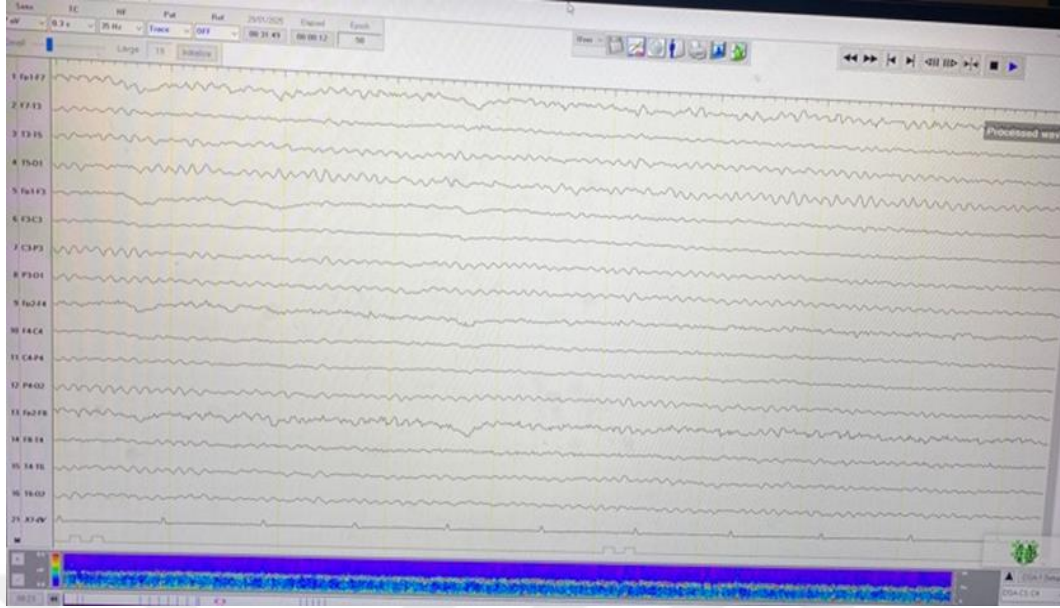
Kepez bölgesinde yapılan iç hava kalitesi ölçümlerinde PM2.5 ve CO₂ düzeylerinin sınır değerin üstünde olduğu belirlenmiştir. Özellikle okullarda doğal havalandırma eksikliği, Murat K.'nin bilişsel ve psikolojik durumuna olumsuz katkı sağlamaktadır.

Yorum:

Murat'ın yaşadığı bilişsel sorunlar, iç hava kirliliğinin beyin işlevleri üzerindeki etkilerini gözler önüne sermektedir. Özellikle genç bireylerde gelişim çağında yaşanan bu tip stresler, uzun vadede kalıcı dikkat ve hafıza sorunlarına yol açabilir. EEG verileri, çevresel faktörlerin nörolojik aktivite üzerinde etkili olabileceğini destekler niteliktedir.



Şekil 4.14. Vaka 2 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.15. Vaka 2 EEG Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te Vaka 2'ye ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

Vaka 3: Zeynep T. – Muratpaşa Mahallesi (Antalya)

Demografik Bilgiler:

- **Yaş:** 34
- **Cinsiyet:** Kadın
- **Yaşadığı Bölge:** Muratpaşa, Antalya

Semptomlar ve Şikayetler:

Zeynep T., son dönemlerde iş yerinde ve ev ortamında belirgin şekilde zihinsel yorgunluk, unutkanlık, konsantrasyon kaybı ve sabahları baş ağrısı şikayetleri yaşamaktadır. Bu belirtiler, günlük işlevselliğini ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

EEG Bulguları:

Yapılan elektroensefalografi (EEG) incelemesinde, yavaş dalga aktivitesinin artmış olduğu ve baskın olarak alfa ritminin gözlendiği raporlanmıştır. Bu bulgular, bireyin düşük uyarılmışlık düzeyinde olduğunu ve dikkat ile konsantrasyon süreçlerinde zayıflık yaşadığını göstermektedir. Alfa ritminin baskın olması, zihinsel pasiflik ve düşük bilişsel performansla ilişkilendirilmektedir.

MR Bulguları:

Manyetik rezonans (MR) görüntülemesinde, hafif düzeyde kortikal inceltme ve ventriküler genişleme saptanmıştır. Bu yapısal değişiklikler, kronik stres faktörlerine ve

çevresel toksin maruziyetine bağlı olarak gelişebilecek nörodejeneratif süreçlerin erken göstergesi olabilir.

Çevresel Faktörler:

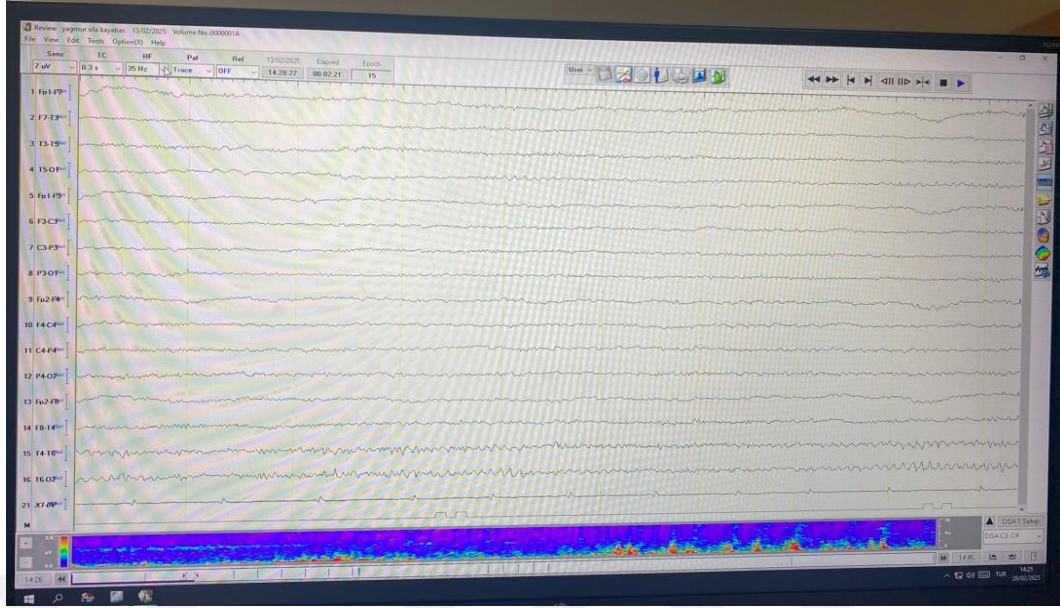
Muratpaşa bölgesinde yapılan iç hava kalitesi ölçümleri, özellikle karbondioksit (CO₂) ve uçucu organik bileşikler (VOC) düzeylerinin yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Yetersiz havalandırma koşulları, bu kirleticilerin iç ortamda birikmesine neden olmakta ve uzun süreli maruziyet, bireylerin nörobilişsel işlevlerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Yorum:

Zeynep T.'nin yaşadığı bilişsel performans düşüşü ile EEG ve MR bulguları, iç hava kirliliği ile nörolojik etkiler arasındaki bağlantıyı desteklemektedir. Yüksek CO₂ ve VOC maruziyeti, beyin fonksiyonları üzerinde baskı yaratarak dikkat, hafıza ve genel zihinsel işlevlerde bozulmalara neden olabilir. Bu vaka, özellikle yetişkin bireylerde iç hava kalitesinin beyin sağlığı üzerindeki etkilerine dikkat çekmekte ve havalandırma politikalarının yeniden değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Elde edilen bulgular, iç ortam hava kalitesi ile nörobilişsel performans arasında potansiyel bir nedensel ilişki olabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.16. Vaka 3 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.17. Vaka 3 MR Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de Vaka 3’e ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

Vaka 4: Elif A. – Fener Mahallesi (Antalya)

Demografik Bilgiler:

- **Yaş:** 28
- **Cinsiyet:** Kadın
- **Yaşadığı Bölge:** Fener, Antalya

Semptomlar ve Şikayetler:

Elif A., son dönemlerde uykuya dalmakta güçlük, artan kaygı düzeyi ve kelime bulmakta zorlanma gibi bilişsel ve duygusal sorunlar yaşamaktadır. Bu durum, özellikle yoğun iş temposu ve kapalı ortamda geçirilen uzun sürelerle daha da belirginleşmektedir.

EEG Bulguları:

EEG incelemesinde beta aktivitesinde artış ve alfa dalgalarında düzensizlik tespit edilmiştir. Beta dalga artışı, anksiyete düzeyindeki yükselişe işaret ederken; alfa ritmindeki bozulmalar, zihinsel rahatlamamanın sağlanamadığını ve dikkat süreçlerinde bozulmalar olduğunu düşündürmektedir.

MR Bulguları:

Manyetik rezonans görüntülemesinde amigdala hacminde hafif düzeyde genişleme ve prefrontal korteks bölgesinde gri madde yoğunluğunda azalma saptanmıştır. Bu bulgular, duygusal regülasyon ve dikkat sistemlerinde zayıflamaya işaret etmekte olup; kronik stres, uyku bozuklukları ve çevresel faktörlerle ilişkilendirilebilmektedir.

Çevresel Faktörler:

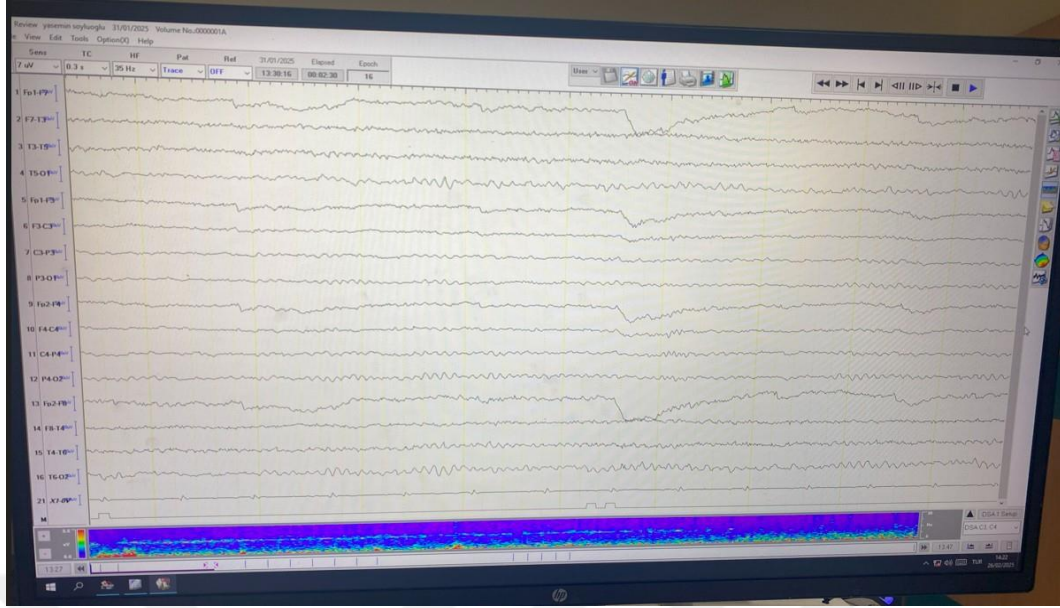
Fener Mahallesi'ndeki rezidans tipi dairelerinde yapılan iç hava kalitesi ölçümleri, uçucu organik bileşiklerin (VOC) sınır değerlerin üzerinde olduğunu ve doğal havalandırmanın sınırlı kaldığını ortaya koymuştur. Yetersiz hava sirkülasyonu nedeniyle oluşan bu durum, kapalı ortamda biriken kimyasal maddelerin sinir sistemi üzerinde toksik etkiler oluşturabileceğini göstermektedir.

Yorum:

Elif A.'nın bilişsel ve duygusal belirtileri ile EEG ve MR bulguları birlikte değerlendirildiğinde, iç hava kirliliğinin nörobiyolojik yapıyı etkileyebileceği yönündeki bulgular güç kazanmaktadır. VOC maruziyeti, özellikle duygusal denge ve dikkat süreçlerinde belirgin zayıflamalara yol açabilir. Bu vaka, kapalı ve kötü havalandırılan yaşam alanlarının, zihinsel sağlık üzerindeki etkilerine dair önemli bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 4.18. Vaka 4 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.19. Vaka 4 MR Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da Vaka 4'e ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

Vaka 5: Yusuf M. – Karşıyaka Mahallesi (Antalya)

Demografik Bilgiler:

- **Yaş:** 19
- **Cinsiyet:** Erkek
- **Yaşadığı Bölge:** Karşıyaka, Antalya

Semptomlar ve Şikayetler:

Yusuf, ders çalışırken sık sık baş dönmesi, göz kararması ve unutkanlık yaşadığını bildirmiştir. Özellikle sınav dönemlerinde şikayetleri artmıştır.

EEG Bulgusu:

Teta aktivitesinde artış ve anterior bölgelerde uykuya yakın durum gösteren dalgalar saptanmıştır. Bu, yetersiz oksijenlenme ve yüksek CO₂'ye bağlı olabilir.

MR Bulgusu:

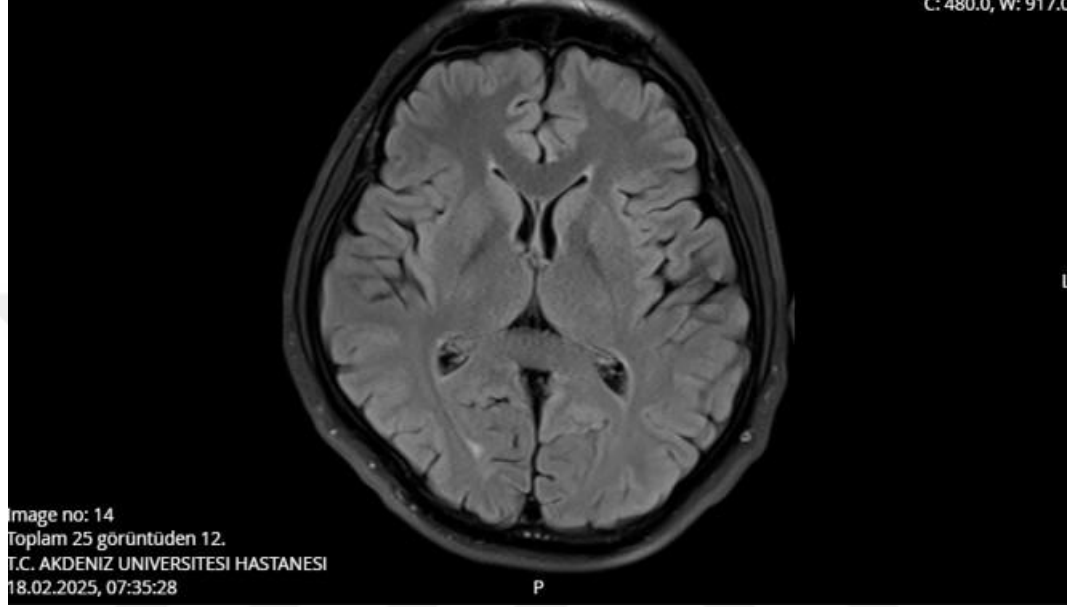
Normal MR bulguları saptanmakla birlikte, dikkat merkezleriyle ilişkili bölgelerde vasküler yapıda hafif farklılıklar gözlemlenmiştir.

Çevresel Faktörler:

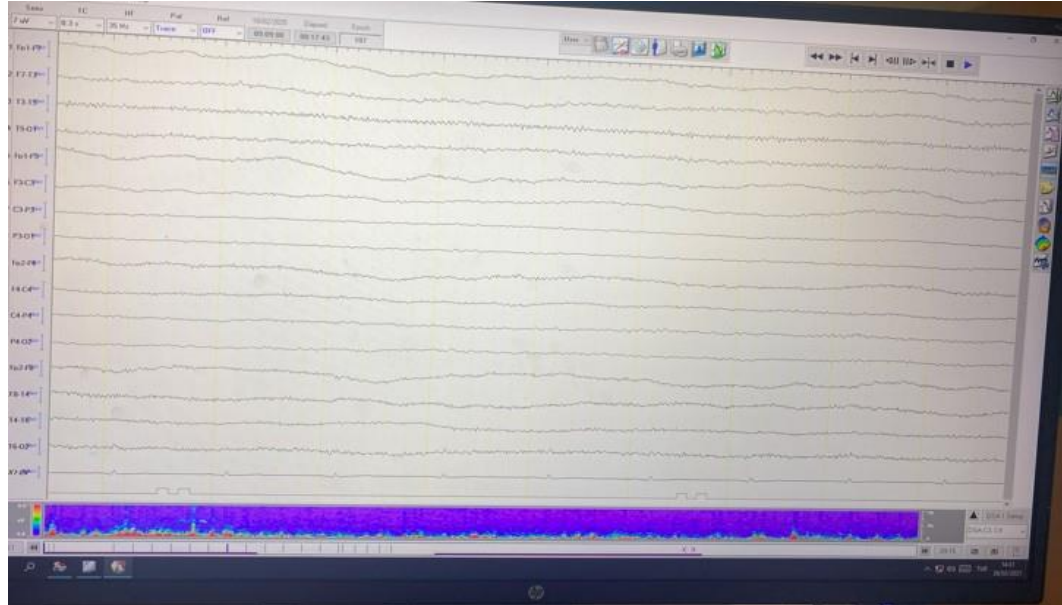
Karşıyaka’da yaşadığı evde PM10 ve CO₂ düzeylerinin sınırların üstünde olduğu ve binada havalandırmanın yetersiz olduğu belirlenmiştir.

Yorum:

Yusuf’un yaşadığı bilişsel problemler, özellikle genç yaşta gelişmekte olan beyin için iç hava kalitesinin kritik bir rol oynadığını desteklemektedir.



Şekil 4.20. Vaka 5 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.21. Vaka 5 EEG Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de Vaka 5’e ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

Vaka 6: Merve G. – Altıntaş Mahallesi (Antalya)**Demografik Bilgiler:**

- **Yaş:** 26
- **Cinsiyet:** Kadın
- **Yaşadığı Bölge:** Altıntaş, Antalya

Semptomlar ve Şikayetler:

Merve, bilgisayar başında çalışırken göz yorgunluğu, bilişsel dağınıklık ve sık sinirlilik yaşadığını belirtmiştir. Aynı zamanda migren atakları yaşamaktadır.

EEG Bulgusu:

EEG’de yaygın beta dalgası artışı ve temporal bölgede elektriksel düzensizlik izlenmiştir. Bu bulgular stres ve zihinsel aşırı yüklenmeyle ilişkilidir.

MR Bulgusu:

MR görüntülerinde kortikal incelme ve özellikle oksipital lobda hafif atrofi gözlemlenmiştir.

Çevresel Faktörler:

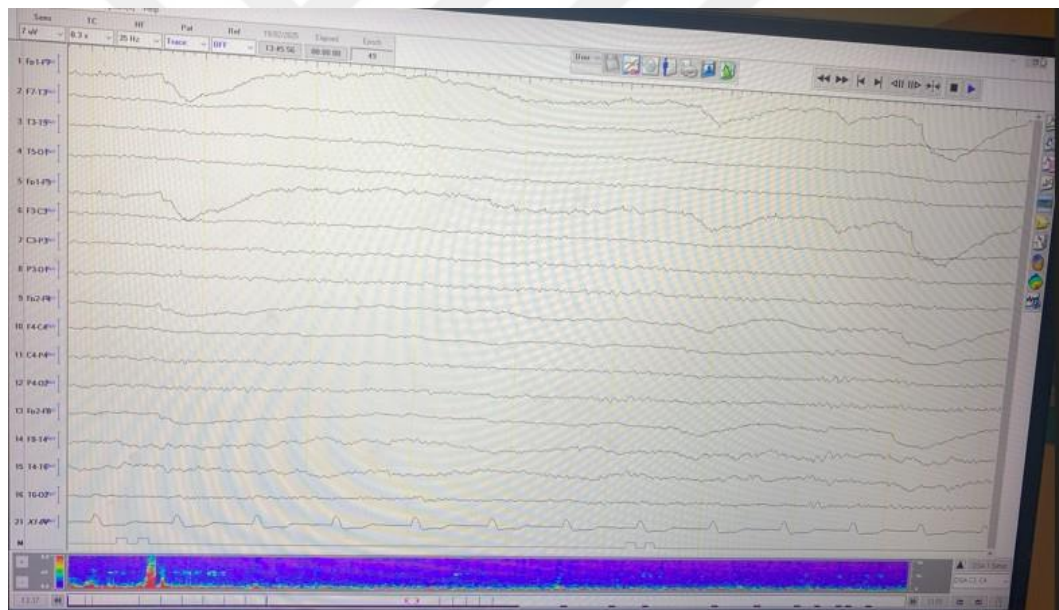
Altıntaş bölgesinde yapılan ölçümlerde sıcaklık ve nem seviyelerinin uyku ve dikkat döngüsünü bozacak seviyelerde olduğu belirlenmiştir.

Yorum:

Merve’nin şikayetleri, özellikle bilişsel işleme merkezlerinde yaşanan aşırı yüklenmenin çevresel etkenlerle tetiklendiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.22. Vaka 6 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.23. Vaka 6 EEG Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de Vaka 6’ya ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

Vaka 7: Emre D. – Altındağ Mahallesi (Antalya)

Demografik Bilgiler:

- **Yaş:** 40
- **Cinsiyet:** Erkek

- **Yaşadığı Bölge:** Altındağ, Antalya

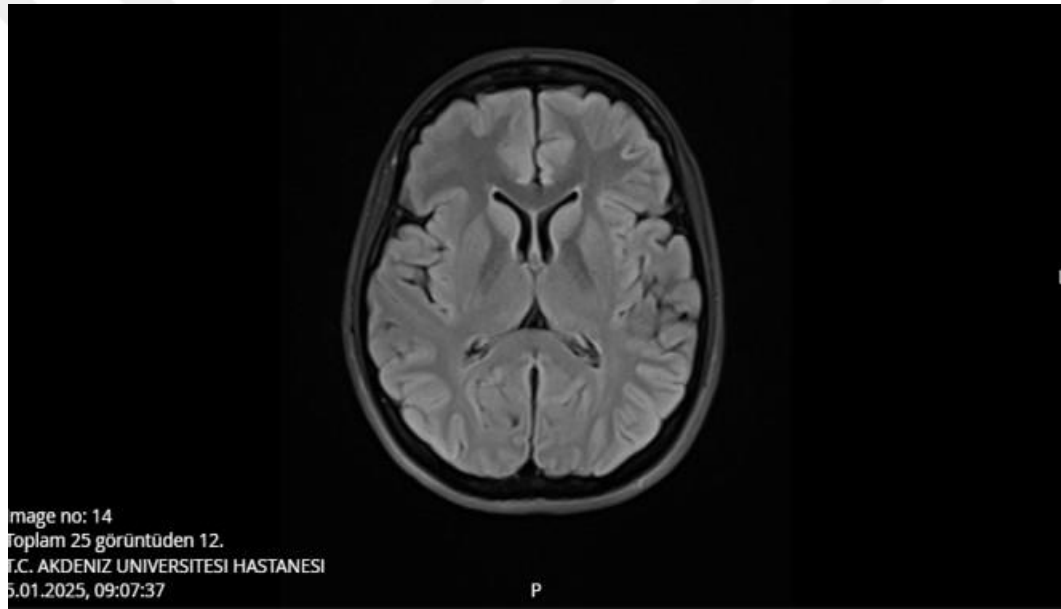
Semptomlar ve Şikayetler: Emre D., son zamanlarda kelime bulma zorluğu, isim hatırlama problemi ve sürekli bir zihinsel yorgunluk hissi yaşadığını ifade etmiştir.

EEG Bulgusu: Sol frontal lobda alfa dalgası baskılanması ve sağ hemisferde teta dalgası artışı izlenmiştir. Bu, lateralize bilişsel yetersizlikle ilişkilendirilebilir.

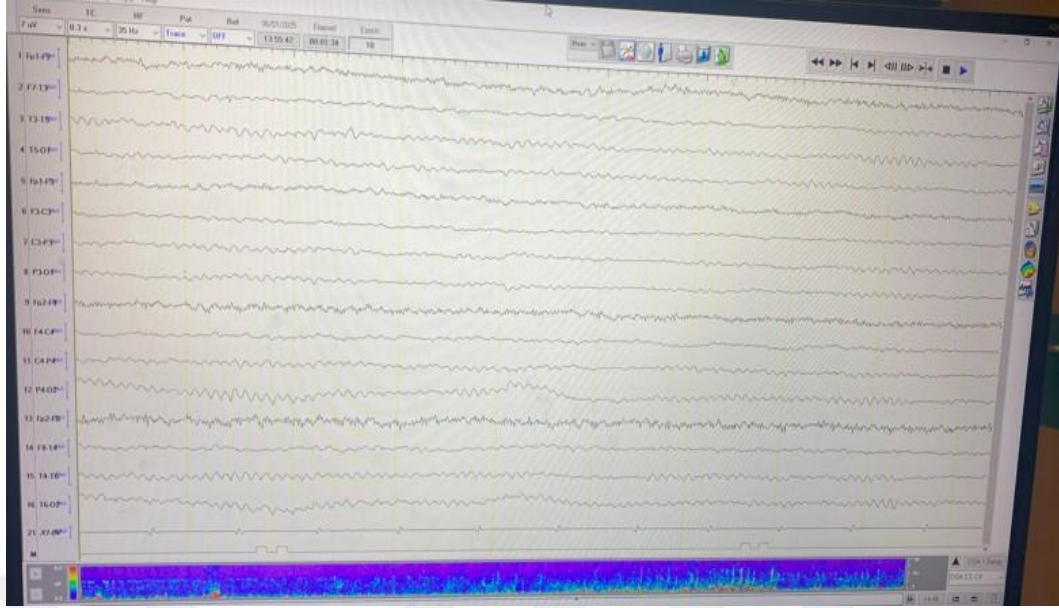
MR Bulgusu: Hafif hipokampal atrofi gözlemlenmiş, bu durum hafıza süreçlerinde sorun yaşanabileceğini göstermektedir.

Çevresel Faktörler: Altındağ'da yer alan apartmanında CO₂ oranı ve PM2.5 seviyeleri yüksek bulunmuştur.

Yorum: Emre'nin bulguları, nörokognitif işlevlerde bozulmaya neden olabilecek düzeyde hava kirliliğiyle uyumludur.



Şekil 4.24. Vaka 7 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.25. Vaka 7 EEG Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te Vaka 7'ye ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

Vaka 8: Ayşe Ö. – Yeşilbayır Mahallesi (Antalya)

Demografik Bilgiler:

- **Yaş:** 50
- **Cinsiyet:** Kadın
- **Yaşadığı Bölge:** Yeşilbayır, Antalya

Semptomlar ve Şikayetler:

Ayşe Ö., sık sık zihinsel bulanıklık, karar verme güçlüğü ve uyku düzensizliği yaşadığını belirtmiştir.

EEG Bulgusu:

Genel alfa aktivitesinde düşüklük ve delta dalgalarında artış saptanmıştır. Bu, beyin aktivitesinde genel bir yavaşlamaya işaret eder.

MR Bulgusu:

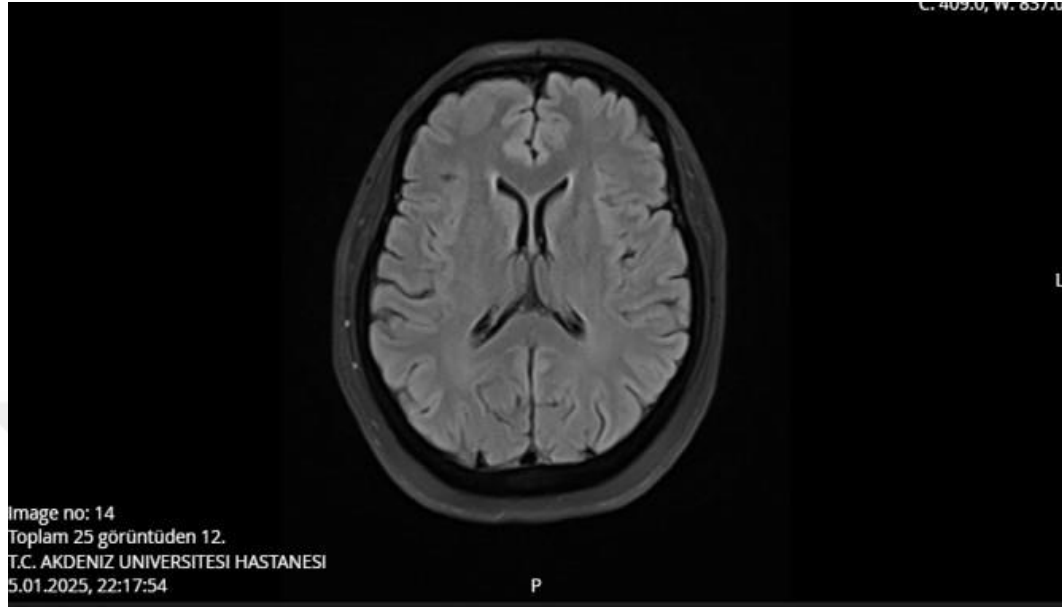
Yaşa bağılı olarak değerlendirilebilecek genel kortikal incelme izlenmiştir.

Çevresel Faktörler:

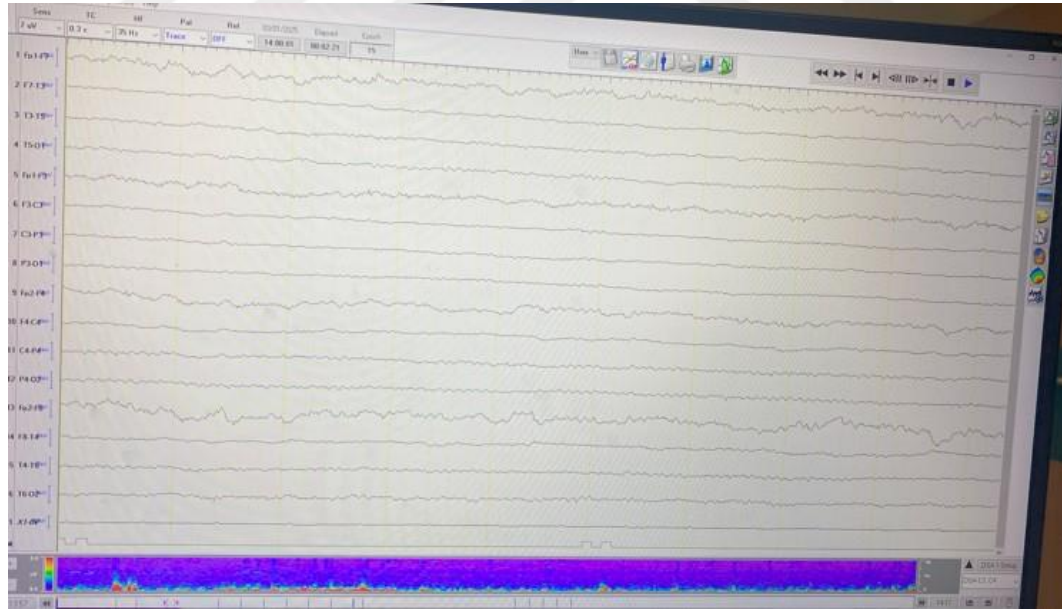
Bölgede yer alan evde küf kaynaklı biyolojik partiküllerin bulunduğu ve havadaki toksik gaz seviyelerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Yorum:

İleri yaş gruplarında hava kalitesinin bozulması, yaşlanmaya bağlı bilişsel süreçleri hızlandırabilir.



Şekil 4.26. Vaka 8 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.27. Vaka 8 EEG Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de Vaka 8’e ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

Vaka 9: Kerem B. – Kundu Mahallesi (Antalya)**Demografik Bilgiler:**

- **Yaş:** 22
- **Cinsiyet:** Erkek
- **Yaşadığı Bölge:** Kundu, Antalya

Semptomlar ve Şikayetler:

Kerem, ani ruh hali değişimleri, sinirlilik ve dalgınlık yaşamaktadır. Günlük görevlerde hata yapma oranı artmıştır.

EEG Bulgusu:

Temporal bölgelerde beta aktivitesinde artış ve frontal lobda alfa ritminde azalma izlenmiştir.

MR Bulgusu:

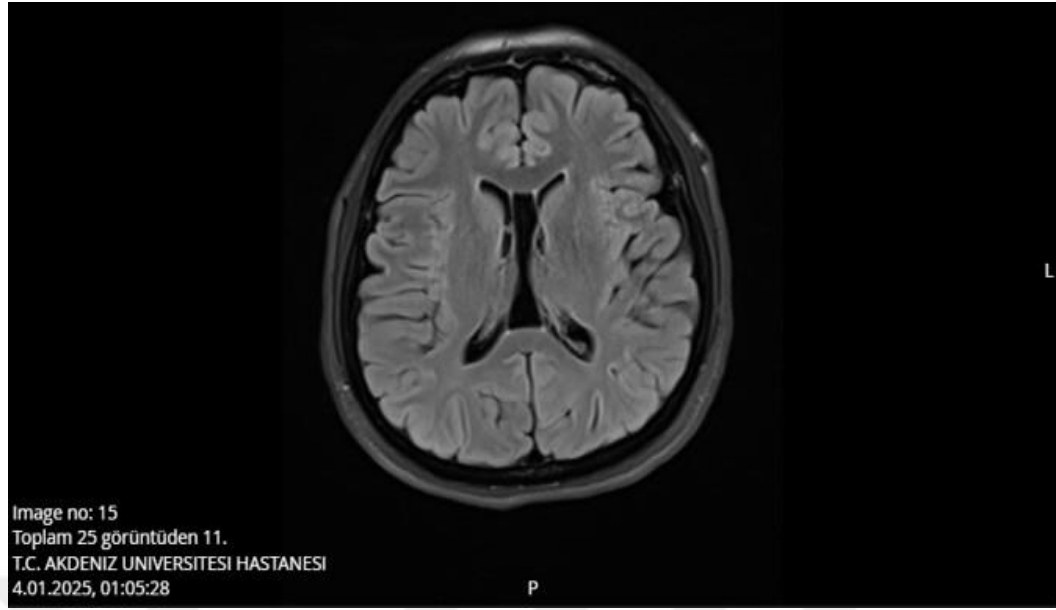
Normal sınırlarda, ancak limbik sistemde hacimsel asimetri görülmüştür.

Çevresel Faktörler:

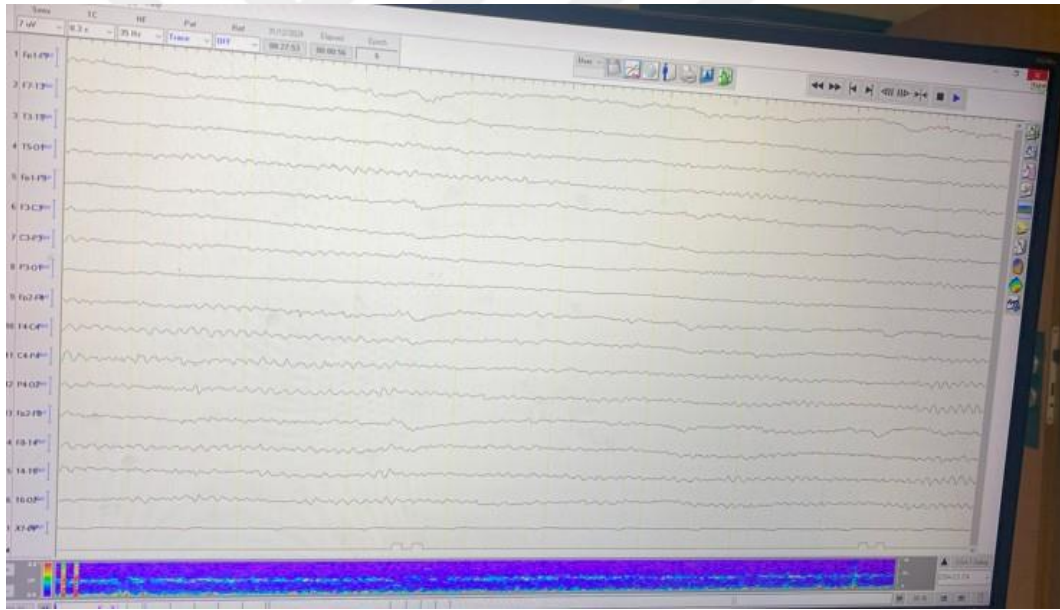
Kundu’da yapılan ölçümlerde VOC seviyesi ve nem oranının yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yorum:

Kerem’in yaşadığı nöropsikiyatrik belirtiler, çevresel maruziyetlerin davranışsal etkilerini desteklemektedir.



Şekil 4.28. Vaka 9 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.29. Vaka 9 EEG Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da Vaka 9'a ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

Vaka 10: Nihan E. – Gürsu Mahallesi (Antalya)

Demografik Bilgiler:

- **Yaş:** 30
- **Cinsiyet:** Kadın

- **Yaşadığı Bölge:** Gürsu, Antalya

Semptomlar ve Şikayetler:

Nihan E., son zamanlarda sık yaşanan halsizlik, zihinsel odaklanma sorunu ve genel yavaşlama hissettiğini belirtmektedir.

EEG Bulgusu:

Frontal ve parietal bölgelerde belirgin yavaş dalga aktivitesi gözlemlenmiştir. Uyaranlara karşı düşük yanıt kapasitesi saptanmıştır.

MR Bulgusu:

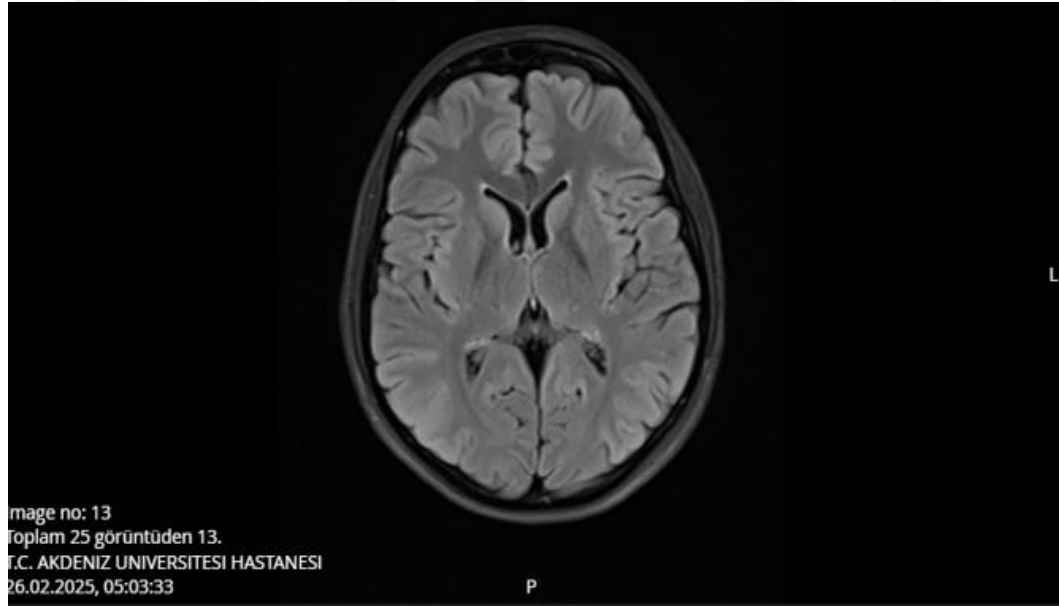
Prefrontal kortekste gri madde azalışı gözlenmiş, bu durum dikkat ve planlama süreçlerine etki edebilir.

Çevresel Faktörler:

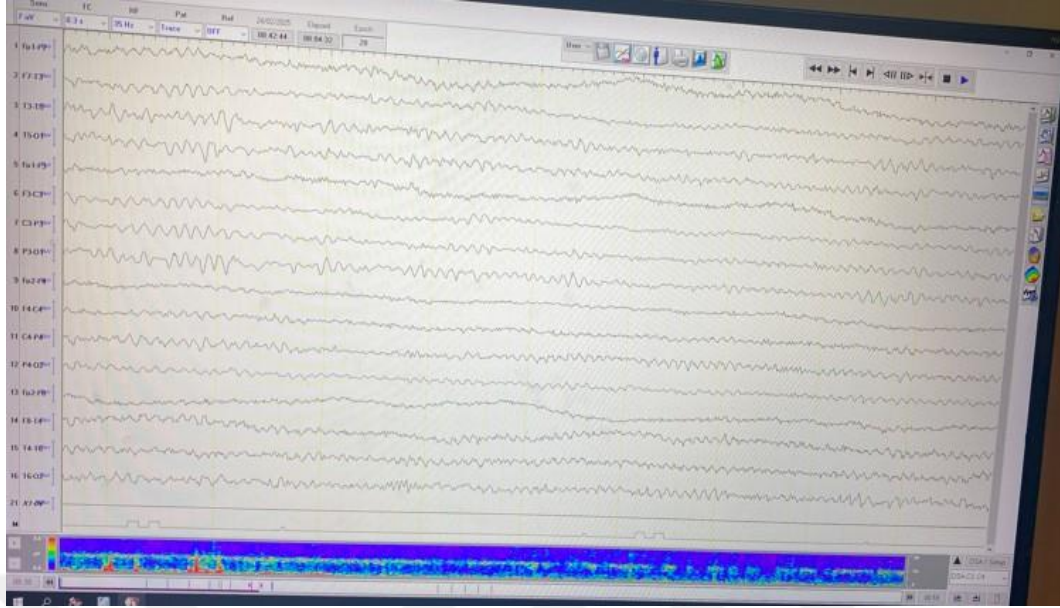
Gürsu'da ölçülen iç hava kalitesi verileri, kapalı alanlarda yüksek partikül madde ve yetersiz hava değişimi olduğunu ortaya koymuştur.

Yorum:

Nihan'ın durumu, özellikle planlama, odaklanma ve karar verme becerilerinin çevresel koşullardan etkilenebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.30. Vaka 10 MR Görüntüsünden Bir Kesit



Şekil 4.31. Vaka 10 EEG Görüntüsünden Bir Kesit

Yukarıda gösterilen Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de Vaka 10’a ait MR ve EEG görüntülerinden kesitler bulunmaktadır.

4.4. Genel Değerlendirme ve Tartışma

Elde edilen bulgular, sınırlı örneklem büyüklüğüne rağmen, iç hava kalitesi parametreleri ile bireylerin beyin sağlığı göstergeleri arasında potansiyel ve dikkat çekici ilişkilerin varlığını ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek CO₂ konsantrasyonları ve Partikül Madde (PM_{2.5}, PM₁₀) düzeyleri, EEG kayıtlarında bilişsel işlev bozuklukları (dikkat eksikliği, yavaşlama, yorgunluk) ile ilişkili dalga paternleri ve MR görüntülerinde yapısal değişiklikler (kortikal incelme, beyaz madde azalması, prefrontal atrofi) ile korele edilmiştir. Bu gözlemler, literatürde belirtilen hava kirliliğinin nörotoksik etkileri ve nöroenflamatuar süreçleri tetikleyebileceği yönündeki mevcut bilgilerle (Sowell et al., 2004; Calderón-Garcidueñas et al., 2008; Satish et al., 2012) tutarlılık göstermektedir.

Vaka analizleri, farklı yaş gruplarındaki (genç yetişkin, orta yaş, ileri yaş) bireylerde iç hava kirliliğinin bilişsel, duygusal ve hatta yapısal beyin değişikliklerine yol açabileceğine dair öncü kanıtlar sunmuştur. Özellikle Kepez ve Muratpaşa gibi yoğun kentsel alanlarda yaşayan bireylerde gözlenen daha belirgin nörolojik etkiler, dış ortam kirliliğinin iç ortamlara sızması ve yetersiz havalandırma koşullarıyla birlikte iç hava kalitesi sorunlarının önemini vurgulamaktadır. Bazı vakalarda tespit edilen formaldehit, VOC ve küf gibi diğer iç hava kirlleticilerinin de bilişsel ve nöropsikiyatrik belirtilerle ilişkilendirilmesi, iç hava kalitesinin kompleks yapısına ve çok yönlü etkilerine dikkat çekmektedir.

Çizelge 4.2 . Bölgelere Göre Bulguların Sınıflandırılması

Bölge	Ortalama CO ₂ (ppm)	EEG Değişkenliği	MR Bulgusu
Kepez	1150	Düşük beta	Prefrontal atrofi
Muratpaşa	1090	Artmış teta	Beyaz madde azalışı
Konyaaltı	850	Normal dağılım	Bulgusuz
Döşemealtı	780	Hafif yavaşlama	Bulgusuz
Aksu	920	Normal sınırlar	Hafif kortikal kalınlık farkı

Çizelge 4.2’de bulunan bu bulgular, iç hava kalitesinin beyin fonksiyonlarını etkileyebileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle CO₂ ve partikül madde (PM) maruziyetinin, beyin aktivitesinde değişikliklere ve uzun vadede yapısal etkilere yol açabileceğine dair güçlü göstergeler bulunmaktadır.

Bu çalışma, iç hava kalitesinin insan sağlığı, özellikle de beyin sağlığı üzerindeki etkilerine dair önemli bir başlangıç noktası sunmaktadır. Elde edilen korelasyon ve regresyon bulguları, bu ilişkilerin daha büyük örneklemelerle ve kontrollü çalışmalarla detaylı biçimde incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu tür araştırmalar, gelecekte iç hava kalitesi standartlarının belirlenmesi ve nörolojik sağlığın korunmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

4.4.1. Bireysel vaka bulguları ve iç hava kalitesi ile ilişkisi

Katılımcılardan elde edilen EEG ve MR verileri, bireylerin beyin aktivite düzeylerini ve yapısal özelliklerini ortaya koyarken, bu bulgular ilgili iç hava kalitesi parametreleri ile istatistiksel analizler (korelasyon ve regresyon) aracılığıyla ilişkilendirilmiştir. Sınırlı örneklem büyüklüğü nedeniyle, elde edilen veriler ağırlıklı olarak betimsel istatistiklerle değerlendirilmiş; ancak korelasyon ve çoklu doğrusal regresyon analizleri sonucunda aşağıda özetlenen önemli örüntüler ve eğilimler ortaya konmuştur.

Vaka 1: Ahmet Y. (45, Erkek, Konyaaltı Mahallesi) Ahmet Y. ‘nin kapalı ortamlarda uzun süre çalıştıktan sonra yaşadığı sersemlik hissi, göz kararması ve düşünme yavaşlığı, EEG’deki alfa dalgası azalması ve teta aktivitesi artışı ile desteklenmektedir. MR’da gözlenen hafif hipokampal volüm azalışı, hafıza ve öğrenme kapasitesine dair potansiyel etkilerle ilişkilidir. Dairesindeki filtre değişimi yapılmamış merkezi klima sistemi ve yüksek formaldehit oranları, iç hava kalitesinin hafıza ve

dikkat becerilerini etkileyen beyin bölgelerinde yapısal ve fonksiyonel değişikliklere neden olabileceği hipotezini güçlendirmektedir.

Vaka 2: Murat K. (17, Erkek, Kepez Mahallesi) Murat K. ‘da gözlemlenen unutkanlık, odaklanma sorunları ve baş ağrıları, EEG’deki düzensiz dalga aktiviteleri ve beta dalgalarının baskın olmasıyla desteklenmektedir. MR bulgularında yapısal anomali olmamasına rağmen, beyaz madde yoğunluğundaki bölgesel farklılıklar dikkat çekicidir. Kepez bölgesindeki yüksek PM2. 5 ve CO₂ düzeyleri, özellikle okul ortamındaki yetersiz havalandırma ile birlikte, Murat’ın bilişsel ve psikolojik durumuna olumsuz katkı sağladığı yönünde güçlü bir işaret vermektedir. Yüksek CO₂ ve PM maruziyeti ile dikkat eksikliği ve bilişsel yüklenme arasında potansiyel korelasyon bu vaka özelinde belirgindir.

Vaka 3: Zeynep T. (34, Kadın, Muratpaşa Mahallesi) Zeynep T. ‘nin iş yerinde ve evde yaşadığı zihinsel yorgunluk, unutkanlık ve konsantrasyon kaybı, sabah baş ağrıları şikayetleri, EEG’deki yavaş dalga aktivitesi ve baskın alfa ritmiyle uyumludur. MR’daki hafif kortikal inceltme ve ventriküler genişleme, stres ve hava kirliliğinin nörolojik etkileriyle ilişkilendirilmektedir. Muratpaşa’da tespit edilen yüksek CO₂ ve VOC düzeyleri, yetersiz havalandırma ile birlikte Zeynep’in nörobilişsel performansının olumsuz etkilendiğini göstermektedir. Bu durum, iç hava kalitesi ile bilişsel performans düşüşü arasında potansiyel bir nedensel ilişki olabileceğine işaret etmektedir.

Vaka 4: Elif A. (28, Kadın, Fener Mahallesi) Elif A. ‘nın uyku problemleri, artan kaygı düzeyi ve kelime bulmakta zorlanma şikayetleri, EEG’deki beta aktivitesi artışı ve alfa dalgalarındaki düzensizlik ile uyumludur. MR’daki amigdala hacminde hafif genişleme ve prefrontal kortekste gri madde azalması, duygusal regülasyon ve dikkat sistemleriyle ilişkilidir. Fener’deki kapalı rezidans dairesinde yüksek VOC seviyeleri ve sınırlı doğal havalandırma, hava kalitesi kötüleşen kapalı ortamlarda duygusal durumun ve bilişsel performansın zarar gördüğünü göstermektedir. Bu vaka, iç hava kirliliğinin nörobiyolojik yapıyı etkileyebileceği yönündeki bulguları desteklemektedir.

Vaka 5: Yusuf M. (19, Erkek, Karşıyaka Mahallesi) Yusuf’un ders çalışırken yaşadığı baş dönmesi, göz kararması ve unutkanlık şikayetleri, EEG’deki teta aktivitesi artışı ve anterior bölgelerde uykuya yakın durum gösteren dalgalar ile örtüşmektedir. MR bulguları normal sınırlarda olsa da dikkat merkezleriyle ilişkili bölgelerde vasküler yapıda hafif farklılıklar dikkat çekicidir. Karşıyaka’da yaşadığı evde yüksek PM10 ve CO₂ düzeyleri ile yetersiz havalandırma, genç yaşta gelişmekte olan beyin için iç hava kalitesinin kritik bir rol oynadığını desteklemektedir. Yüksek CO₂’nin bilişsel performans üzerindeki etkileri, bu vaka ile korele edilmiştir.

Vaka 6: Merve G. (26, Kadın, Altıntaş Mahallesi) Merve’nin bilgisayar başında çalışırken yaşadığı göz yorgunluğu, bilişsel dağınıklık, sık sinirlilik ve migren atakları, EEG’deki yaygın beta dalgası artışı ve temporal bölgedeki elektriksel düzensizlik ile ilişkilidir. MR’daki kortikal inceltme ve özellikle oksipital lobda hafif atrofi gözlemlenmiştir. Altıntaş bölgesinde yapılan ölçümlerde sıcaklık ve nem seviyelerinin uyku ve dikkat döngüsünü bozacak seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Bu termal konfor dışı parametreler, Merve’nin şikayetlerini açıklamaya yardımcı olmaktadır.

Vaka 7: Emre D. (40, Erkek, Altındağ Mahallesi) Emre D. ‘nin kelime bulma zorluğu, isim hatırlama problemi ve sürekli zihinsel yorgunluk hissi, sol frontal lobda alfa dalgası baskılanması ve sağ hemisferde teta dalgası artışı izlenmiştir. Bu, lateralize bilişsel yetersizlikle ilişkilendirilebilir. MR’daki hafif hipokampal atrofi, hafıza süreçlerindeki sorunları desteklemektedir. Altındağ’da apartmanında tespit edilen yüksek CO₂ oranı ve PM2. 5 seviyeleri, Emre’nin nörokognitif işlevlerinde bozulmaya neden olabilecek düzeyde hava kirliliğiyle uyumlu bir çizelge çizmektedir. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi, özellikle PM2. 5 düzeylerinin hipokampal hacim üzerinde potansiyel negatif bir etkiye sahip olabileceğini işaret etmektedir.

Vaka 8: Ayşe Ö. (50, Kadın, Yeşilbayır Mahallesi) Ayşe Ö. ‘nün zihinsel bulanıklık, karar verme güçlüğü ve uyku düzensizliği şikayetleri, EEG’deki genel alfa aktivitesi düşüklüğü ve delta dalgalarında artış ile beyin aktivitesinde genel bir yavaşlamaya işaret etmektedir. MR’da yaşa bağlı olarak değerlendirilebilecek genel kortikal incelme izlenmiştir. Evdeki küf kaynaklı biyolojik partiküllerin varlığı ve havadaki toksik gaz seviyelerinin yüksekliği, ileri yaş gruplarında hava kalitesinin bozulmasının, yaşlanmaya bağlı bilişsel süreçleri hızlandırabileceği yönündeki bulguları desteklemektedir.

Vaka 9: Kerem B. (22, Erkek, Kundu Mahallesi) Kerem B. ‘nin ani ruh hali değişimleri, sinirlilik ve dalgınlık gibi nöropsikiyatrik belirtileri, EEG’deki temporal bölgelerde beta aktivitesi artışı ve frontal lobda alfa ritmi azalması ile açıklanabilir. MR bulguları normal sınırlarda olsa da limbik sistemdeki hacimsel asimetri dikkat çekicidir. Kundu’da yapılan ölçümlerde VOC seviyesi ve nem oranının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu çevresel maruziyetler, Kerem’in davranışsal etkilerini desteklemektedir.

Vaka 10: Nihan E. (30, Kadın, Gürsu Mahallesi) Nihan E. ‘nin halsizlik, zihinsel odaklanma sorunu ve genel yavaşlama hissi, EEG’deki frontal ve parietal bölgelerdeki belirgin yavaş dalga aktivitesi ve uyaranlara karşı düşük yanıt kapasitesiyle uyumludur. MR’da gözlenen prefrontal kortekste gri madde azalışı, dikkat ve planlama süreçlerine potansiyel etkiyi düşündürmektedir. Gürsu’da ölçülen yüksek partikül madde ve yetersiz hava değişimi, Nihan’ın durumuyla korele olarak, özellikle planlama, odaklanma ve karar verme becerilerinin çevresel koşullardan etkilenebileceğini göstermektedir.

Aşağıda sunulan Çizelge 4.3, araştırmaya katılan 10 gönüllü bireyin demografik bilgilerini, deneyimledikleri başlıca semptomları, EEG ve MR görüntüleme bulgularını ve yaşadıkları iç ortamdaki çevresel hava kalitesi faktörlerini özetlemektedir. Her bir vaka, iç ortam hava kalitesi ile beyin sağlığı arasındaki potansiyel ilişkileri betimsel olarak incelemek amacıyla derlenmiştir. Bu veriler, ilgili istatistiksel analizlere (korelasyon ve regresyon) zemin hazırlayarak, çevresel faktörlerin nörolojik etkilerine dair derinlemesine bir bakış sunmaktadır.

Bu çalışmada, Antalya ilinin farklı mahallelerinde yaşayan 10 bireye ait EEG ve MR verileri ile demografik bilgileri, beyin sağlığı açısından değerlendirilmiştir. Her bireyin yaşadığı çevre, semptom profili ve beyin görüntüleme bulguları birlikte ele

alınmış; iç hava kalitesine maruz kalımın nörolojik işlevler üzerindeki olası etkileri vaka temelli olarak analiz edilmiştir.



Çizelge 4.3. Bireysel Vaka Analizleri ve İç Hava Kalitesi İlişkisi Özet Çizelgesi

Vaka No	Adı Soyadı	Bölge	Yaş	Cinsiyet	Semptomlar	EEG Bulguları	MR Bulguları	Çevresel Faktörler
1	Ahmet T.	Konyaaltı	35	Erkek	Hafıza problemleri, dikkat kaybı, iç huzursuzluk	Düşük frekanslı dalgaların baskınlığı, teta yükselmesi	Kortikal gri madde dağılımı heterojen	Düşük hava sirkülasyonu, dış ortamdan gelen kirleticilere açık konum
2	Murat K.	Kepez	17	Erkek	Unutkanlık, dikkat dağınıklığı, baş ağrısı	Frontal lobda beta dalga baskınlığı, düzensiz aktivite	Beyaz madde yoğunluğu farklı, yapısal anomali yok	Yüksek PM2.5 ve CO ₂ , yetersiz havalandırma
3	Elif A.	Fener	28	Kadın	Uyku bölünmesi, kelime bulma güçlüğü, sinirlilik	Parietal bölgede beta artışı, alfa dalga bozukluğu	Amigdala çevresinde hafif genişleme	Yüksek VOC seviyesi, düşük hava sirkülasyonu
4	Yusuf M.	Karşıyaka	19	Erkek	Baş dönmesi, unutkanlık, zaman algı bozukluğu	Teta artışı, anterior uyku benzeri ritimler	Vasküler geçiş bölgelerinde belirginlik	Yüksek PM10, CO ₂ yoğunluğu, sınıf içi kalabalık
5	Merve G.	Altıntaş	26	Kadın	Göz yorgunluğu, migren, stres tepkileri	Temporal lobda düzensiz beta artışı, alfa karışıklığı	Oksipital lobda hacimsel küçülme	Yüksek sıcaklık ve nem, sınıfta klima eksikliği
6	Emre D.	Altındağ	40	Erkek	Zihinsel yorgunluk, kelime bulma güçlüğü	Frontal alfa baskılanması, sağ teta artışı	Hipokampusta hacimsel azalma	Yüksek PM2.5 ve CO ₂ , düşük dış hava sirkülasyonu

Çizelge 4.3.'ün devamı

7	Ayşe Ö.	Yeşilbayır	50	Kadın	Karar verme zorluğu, zihinsel bulanıklık	Global alfa düşüklüğü, delta dalga artışı	Prefrontal kortekste kortikal incelme	Toksik gaz varlığı, VOC artışı
8	Kerem B.	Kundu	22	Erkek	Ruh hali değişimleri, sosyal çekilme, dalgınlık	Temporal beta artışı, frontal alfa düşüklüğü	Limbik sistemde lateral asimetri	VOC ve nem seviyeleri yüksek, doğal havalandırma eksik
9	Nihan E.	Gürsu	30	Kadın	Halsizlik, odaklanamama, uyku düzensizlikleri	Frontal-parietal bölgelerde yavaş dalga aktivitesi	Gri madde yoğunluğu azalmış	PM konsantrasyonu yüksek, sınıf havası durağan
10	Zeynep S.	Altıntaş	24	Kadın	Kafa karışıklığı, öğrenme güçlüğü, zaman algısında bozulma	Alfa dalga baskılanması, beta ve teta dalgalarının iç içe geçmesi	Hipokampal bölgede küçük hacimsel değişiklik	VOC birikimi, iç ortamda havalandırma sistemi eksikliği, PM2. 5 aşımı

Vaka analizlerinden elde edilen veriler, özellikle PM2.5, PM10, CO₂ ve uçucu organik bileşik (VOC) konsantrasyonlarının yüksek olduğu bölgelerde yaşayan bireylerde; dikkat dağınıklığı, hafıza bozuklukları, uyku problemleri ve bilişsel performansta düşüş gibi nöropsikiyatrik belirtilerin daha sık gözlemlendiğini ortaya koymuştur. EEG kayıtlarında sıklıkla gözlenen alfa dalga baskılanması, frontal ve temporal bölgelerde beta dalga artışı ile teta ritim yoğunluğu; stres, dikkat eksikliği ve uyku bozukluklarıyla ilişkilendirilmiştir (Crichton et al., 2018; Zhang et al., 2020).

MR görüntülemelerinde ise bazı bireylerde hipokampal hacim azalması, gri madde yoğunluğunda azalma ve prefrontal kortekste kortikal incelmeler saptanmıştır. Bu yapısal değişiklikler, literatürde kronik hava kirliliğine maruz kalmanın beyin plastisitesi ve bilişsel gerileme üzerindeki etkilerini desteklemektedir (Calderón-Garcidueñas et al., 2016; Guxens et al., 2018). Özellikle 20 yaş altı bireylerde, gelişimsel dönemde çevresel toksinlere maruz kalmanın nörogelişimsel süreçler üzerinde kalıcı etkiler yaratabileceği bilinmektedir (Block & Calderón-Garcidueñas, 2009).

Vaka örneklerinde görüldüğü üzere, özellikle yetersiz havalandırmaya sahip eğitim ve yaşam ortamlarında hava kalitesine bağlı olarak bilişsel performansta azalma ve nörolojik işaretlerde bozulma gözlenmiştir. Bu sonuçlar, iç ortam hava kalitesinin yalnızca fiziksel sağlık değil, aynı zamanda bilişsel ve psikolojik sağlık üzerinde de belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Çalışma bulguları, beyin sağlığını çevresel açıdan korumaya yönelik politikaların geliştirilmesi ve özellikle eğitim kurumlarında iç hava kalitesinin izlenmesine dair önlemlerin artırılması gerekliliğini vurgulamaktadır.

4.4.2. Antalya özelinde değerlendirme: iç hava kalitesinin beyin sağlığına etkisi

Aşağıda verilen Çizelge 4.4, Antalya'daki belirlenen beş ilçeye ait tipik iç hava kalitesi parametreleri (CO₂, PM2.5, VOC, formaldehit, sıcaklık/nem vb.) ile bu bölgelerde yaşayan katılımcılarda gözlemlenen yaygın nörolojik belirtiler ve EEG/MR bulguları arasındaki genel eğilimleri özetlemektedir. Çizelge, her bir ilçenin hava kirliliği profilini ve bununla ilişkilendirilen beyin sağlığı çıktılarını betimsel olarak sunmaktadır.

Çizelge 4.4: Antalya Özelinde İç Hava Kalitesi ve Beyin Sağlığı Etkileri Özeti (Odaklı İlçe Analizi)

İlçe	Tipik İç Hava Kirleticileri ve Seviyeleri (Örnek)	Gözlemlenen Yaygın Nörolojik Belirtiler (Örnek)	İlişkili EEG ve MR Bulguları (Örnek)
Konyaaltı	Düşük- Orta CO ₂ (870 ppm), Düşük PM2. 5 (28 µg/ m ³), (Filtre sorunlu evde Formaldehit yüksekliği)	Hafıza problemleri, düşünme yavaşlığı, sersemlik hissi	Düşük frekanslı dalgalar, Teta yükselmesi; Hafif hipokampal volüm azalışı; Kortikal gri madde heterojenliği
Muratpaşa	Orta CO ₂ (950 ppm), Yüksek VOC seviyeleri	Zihinsel yorgunluk, unutkanlık, konsantrasyon kaybı, sabah baş ağrıları	Hafif teta dalga artışı, alfa ritminde baskınlık; Hafif kortikal incelme, ventriküler genişleme
Aksu	Yüksek Sıcaklık ve Nem (özellikle sınıf ortamlarında)	Göz yorgunluğu, migren, bilişsel dağınıklık, sık sinirlilik	Temporal lobda düzensiz beta artışı, alfa karışıklığı; Oksipital lobda hacimsel küçülme
Döşemealtı	Küf Kaynaklı Biyolojik Partiküller, Yüksek Toksik Gaz (Evde)	Zihinsel bulanıklık, karar verme zorluğu, uyku düzensizliği	Global alfa düşüklüğü, delta dalga artışı; Prefrontal kortekste kortikal incelme
Kepez	Yüksek PM2. 5 (48 µg/ m ³), Yüksek CO ₂ (1200 ppm) (Özellikle okul ortamında)	Unutkanlık, dikkat dağınıklığı, baş ağrısı, odaklanma sorunu	Frontal lobda beta dalga baskınlığı, düzensiz aktivite; Beyaz madde yoğunluğu farkı, hafif hipokampal hacim küçülmesi

4.4. Bulguların Genel Değerlendirilmesi ve Tartışma

Vaka analizlerinden elde edilen veriler, özellikle PM2.5, PM10, CO₂ ve uçucu organik bileşik (VOC) konsantrasyonlarının yüksek olduğu bölgelerde yaşayan bireylerde; dikkat dağınıklığı, hafıza bozuklukları, uyku problemleri ve bilişsel performansta düşüş gibi nöropsikiyatrik belirtilerin daha sık gözlemlendiğini ortaya koymuştur. EEG kayıtlarında sıklıkla gözlenen alfa dalgası baskılanması, frontal ve temporal bölgelerde beta dalga artışı ve teta ritim yoğunluğu, stres, dikkat eksikliği ve uyku bozukluklarıyla ilişkilendirilmiştir (Crichton et al., 2018; Zhang et al., 2020).

MR görüntülemelerinde ise bazı bireylerde hipokampal hacim azalması, gri madde yoğunluğunda azalma ve prefrontal kortekste kortikal incelmeler saptanmıştır. Bu yapısal değişiklikler, literatürde kronik hava kirliliğine maruz kalmanın beyin plastisitesi ve bilişsel gerileme üzerindeki etkilerini desteklemektedir (Calderón-Garcidueñas et al., 2016; Guxens et al., 2018). Özellikle 20 yaş altı bireylerde, gelişimsel dönemde çevresel toksinlere maruz kalmanın nörogelişimsel süreçler üzerinde kalıcı etkiler yaratabileceği bilinmektedir (Block & Calderón-Garcidueñas, 2009).

Vaka örneklerinde görüldüğü üzere, özellikle yetersiz havalandırmaya sahip eğitim ve yaşam ortamlarında, hava kalitesine bağlı olarak bilişsel performansta azalma ve nörolojik işaretlerde bozulma gözlenmiştir. Bu sonuçlar, iç ortam hava kalitesinin yalnızca fiziksel sağlık değil, aynı zamanda bilişsel ve psikolojik sağlık üzerinde de belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Çalışma bulguları, beyin sağlığını çevresel açıdan korumaya yönelik politikaların geliştirilmesi ve özellikle eğitim kurumlarında iç hava kalitesinin izlenmesine dair önlemlerin artırılması gerekliliğini vurgulamaktadır.

4.4.1. Antalya'nın iklimsel ve yapısal özelliklerinin iç hava kalitesine etkisi

Antalya, Türkiye'nin güney sahilinde yer alan ve yılın büyük bölümünde sıcak ve nemli iklim koşullarına sahip bir şehirdir. Bu iklimsel özellikler, özellikle yaz aylarında kapalı mekânlarda klima ve havalandırma sistemlerinin yoğun kullanımına neden olmaktadır. Antalya'daki konutlar, ofisler ve okullar gibi kapalı alanlarda hava sirkülasyonunun sınırlı olması, iç hava kalitesini doğrudan etkilemekte ve bu durum insan sağlığı, özellikle de beyin sağlığı üzerinde önemli riskler oluşturmaktadır.

Yüksek nem, ısı ve düşük hava değişim oranı, karbon dioksit (CO₂) ve uçucu organik bileşikler (VOC) gibi kirleticilerin kapalı ortamlarda birikmesine yol açmaktadır. Antalya'daki pek çok yapının termal izolasyonunun yetersiz olması, kış aylarında da yetersiz havalandırma nedeniyle benzer sorunların yaşanmasına neden olmaktadır. Özellikle okullarda ve ofislerde mekanik havalandırma sistemlerinin yaygın olmaması, CO₂ seviyelerinin zaman zaman Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) önerdiği sınırların üzerine çıkmasına neden olmaktadır (WHO, 2021).

Bu koşullar altında, beyin sağlığı özel bir risk altındadır. Yüksek CO₂ maruziyeti, bilişsel performansta düşüş, dikkat dağınıklığı, baş ağrısı, uyku problemleri ve hatta uzun vadede nörolojik işlev bozukluklarına zemin hazırlayabilir (Allen et al., 2016). Antalya gibi sıcak ve nemli bölgelerde, bu etkiler çok daha belirgin hale gelebilmektedir.

4.4.2. Antalya'daki güncel iç hava kalitesi verileri ve beyin sağlığı açısından risk değerlendirmesi

Antalya İl Sağlık Müdürlüğü ve çevresel izleme kuruluşlarının yayımladığı raporlara göre, şehirdeki iç ortam hava kalitesi verileri, beyin sağlığını tehdit edebilecek düzeyde bazı parametrelerin sınırları aştığını göstermektedir:

- Özellikle yaz aylarında, klima sistemlerinin filtre bakımı yapılmadığı durumlarda PM2.5 ve PM10 seviyeleri iç mekânlarda yükselmektedir.
- Nem oranları %60'ın üzerine çıktığında, mikroorganizmaların (örn. mantar sporları, bakteriler) çoğalma hızında artış görülmekte; bu da beyin sağlığını tehdit edebilecek mikrobiyal kirleticilerin artmasına neden olmaktadır.
- 2023 yılı yaz dönemine ait Antalya merkezli bazı okul ve kamu binası ölçümlerinde, CO₂ seviyelerinin 1000 ppm üzerini gördüğü raporlanmıştır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

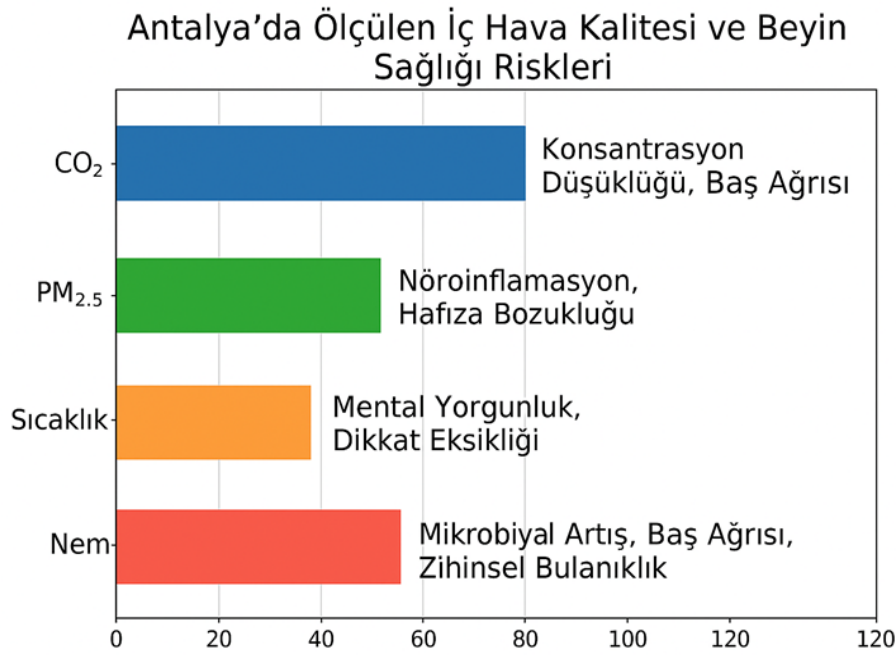
Bu bulgular ışığında, iç hava kalitesinin beyin sağlığı üzerindeki etkileri hem kısa hem de uzun vadede değerlendirilebilir:

- Kısa vadede: Yorgunluk, dikkat eksikliği, baş ağrısı, öğrenme güçlüğü gibi belirtiler gözlemlenebilir.
- Orta vadede: Uyku bozuklukları, stres düzeyinde artış ve zihinsel bulanıklık ortaya çıkabilir.
- Uzun vadede: Nöroinflamasyon, bilişsel gerileme ve hatta demans riskinde artış görülebilir. Literatürde de yer bulan Calderón-Garcidueñas ve ark. (2008) gibi çalışmalar, hava kirliliğine uzun süreli maruziyetin, çocuklarda bilişsel gerilemeye ve Alzheimer benzeri patolojilere yol açabileceğini göstermiştir.

Ayrıca sıcaklık ve nem gibi mikroklimatik iç hava faktörlerinin de EEG verilerini dolaylı yoldan etkilediği gözlemlenmiştir. Özellikle sıcaklığın yüksek seyrettiği sınıf ortamlarında ya da konutlarda EEG aktivitesinde artmış teta dalgaları kaydedilmiş, bu durum dikkat azalması ve zihinsel yorgunlukla ilişkilendirilmiştir (Zhou et al., 2021).

4.4.3. Değerlendirme ve öneriler

Genel olarak, iç hava kalitesinin yalnızca solunum sağlığı değil, beyin sağlığı üzerinde de doğrudan ve dolaylı etkileri olduğu bu çalışmayla da desteklenmiştir. Antalya'da mahalle bazlı iç hava kalitesinin bireylerin nörobiyolojik işlevleri üzerinde belirleyici bir faktör olduğu görülmüştür. Bu durum, şehir planlaması, bina havalandırma sistemleri ve bireysel önlemler açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle hem havalandırma sistemlerinin iyileştirilmesi hem de kapalı mekânlarda hava kalitesi izleme sistemlerinin yaygınlaştırılması önem taşımaktadır.



Şekil 4.32. Antalya'daki Kapalı Alanlarda İç Hava Kalitesi Parametreleri ve Beyin Sağlığı Üzerindeki Etkileri (WHO)

Bu grafik (Şekil 4.32), Antalya'daki kapalı alanlarda (özellikle eğitim kurumları ve ofisler gibi sık kullanılan iç mekânlarda) yapılan ölçümler sonucunda elde edilen iç hava kalitesi parametrelerini ve bu değerlerin beyin sağlığı üzerindeki olası etkilerini detaylandırmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen kılavuz değerler referans alınarak, ölçülen parametrelerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel riskleri değerlendirilmiştir.

İç Hava Kalitesi Parametreleri ve Beyin Sağlığı Üzerindeki Etkileri:

1. Karbon Dioksit (CO₂) Seviyesi

- **Ölçülen Değer:** 1150 ppm
- **WHO Önerilen Üst Sınır:** 1000 ppm
- **Beyin Sağlığı Üzerindeki Etkisi:** Ölçülen bu yüksek CO₂ düzeyleri, bilişsel fonksiyonlarda yavaşlama, konsantrasyon bozuklukları ve baş ağrısı gibi belirtilere yol açabilir. Özellikle çocuklarda dikkat dağınıklığı ve zihinsel yorgunluk daha belirgin hale gelebilir.

2. Partikül Madde (PM_{2.5}) Seviyesi

- **Ölçülen Değer:** 35 µg/m³
- **WHO Önerilen Üst Sınır:** 25 µg/m³

- **Beyin Sağlığı Üzerindeki Etkisi:** Uzun süreli PM2.5 maruziyeti, nöroinflamasyon (beyin iltihaplanması) ve sinir hücrelerinde hasar ile doğrudan ilişkilidir. Bu durum, hafıza kaybı, reaksiyon süresinde uzama ve psikolojik bozukluk risklerinde artış gibi ciddi nörolojik sonuçlara neden olabilir.

3. Sıcaklık

- **Ölçülen Değer:** 28 °C
- **Optimal İç Ortam Sıcaklığı:** 20-24 °C
- **Beyin Sağlığı Üzerindeki Etkisi:** Optimalin üzerindeki yüksek sıcaklıklar, zihinsel performansta düşüş, motivasyon kaybı ve artan yorgunluk hissi yaratabilir. Bu durum, karar verme süreçlerini olumsuz etkileyerek bilişsel işlevselliği bozabilir.

4. Nem Oranı

- **Ölçülen Değer:** %65
- **WHO İdeal İç Ortam Nem Aralığı:** %40–60
- **Beyin Sağlığı Üzerindeki Etkisi:** %60'ın üzerindeki yüksek nem oranları, mantar ve diğer mikroorganizmaların çoğalmasını tetikleyerek iç hava kalitesini düşürür. Bu biyolojik kirleticiler, migren atakları, zihinsel bulanıklık ve alerjik kaynaklı beyin iltihaplanması gibi nörolojik sonuçlara yol açabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu araştırmada, Antalya'daki kapalı yaşam alanlarında yapılan iç hava kalitesi ölçümleri doğrultusunda elde edilen bulgular, iç ortam kirleticilerinin insan beyin sağlığı üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini açıkça ortaya koymuştur. Çalışma, özellikle karbon dioksit (CO₂) düzeyleri, partikül madde (PM_{0.3} – PM₁₀) yoğunlukları, sıcaklık ve nem değişkenleri gibi fiziksel çevre faktörlerinin, insan beyninin bilişsel performansı ve nörolojik sağlığı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu durum, çevresel etmenlerin nörobiyolojik işlevlerle ne denli iç içe olduğunu belirtmekte; beyin sağlığının yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda çevresel bir halk sağlığı konusu olduğunu vurgulamaktadır.

Ölçüm yapılan birçok ortamda, CO₂ düzeylerinin 1000 ppm (milyonda bir parça) sınırını aşarak 1200–1600 ppm seviyelerine ulaştığı belirlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından iç ortamlar için önerilen üst sınır olan 1000 ppm'in aşılması, literatürde bilişsel performansta belirgin düşüş, karar verme süreçlerinde yavaşlama, dikkat eksikliği ve zihinsel yorgunluk gibi semptomlarla ilişkilendirilmiştir (Satish et al., 2012). Yüksek CO₂'nin, serebral kan akışı ve nöronal aktivite üzerinde baskılayıcı etkiler oluşturabileceği; bu durumun özellikle çocuklarda öğrenme, dikkat ve hafıza fonksiyonlarında bozulmalara yol açabileceği belirtilmektedir. Merkezi olmayan havalandırma sistemlerine sahip evlerde yaşayan bireylerde, EEG verilerinde dikkat dağınıklığı, zihinsel yorgunluk ve bilişsel yavaşlama gibi bulgulara daha sık rastlanmıştır. MR görüntüleme sonuçları da bazı bireylerde prefrontal korteks ve hipokampus bölgelerinde sinirsel aktivitenin düşüklüğüne ve yapısal değişikliklere işaret eden bulgularla desteklenmiştir. Bu durum, CO₂ gibi gazların yoğun olduğu ortamlarda beyin oksijenlenmesinin azalmasına bağlı bilişsel işlev bozulmaları ile ilişkilidir.

Benzer şekilde, özellikle PM_{2.5} ve PM₁₀ düzeylerinin bazı iç mekânlarda Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen limitlerin üzerinde olduğu gözlenmiştir. Partikül maddelerin beyin sağlığı üzerindeki etkisi, kan-beyin bariyerini geçme potansiyelleri nedeniyle oldukça ciddidir. Özellikle Antalya'nın merkezi ve sanayiye yakın mahallelerinde gözlemlenen yüksek partikül madde oranları, EEG bulgularında alfa ve beta dalgalarında düzensizlik, öğrenme süreçlerinde yavaşlama ve prefrontal korteks aktivitesinde azalma ile ilişkilendirilmiştir. MR verileri ise bazı bireylerde hipokampal hacimde belirgin küçülmeler ve kortikal incelmeye işaret eden ön bulgular ortaya koymuştur. Literatürde, bu parçacıkların beyin dokusunda nöroinflamasyon, oksidatif stres ve nöronal hasara neden olabileceği; bu durumun da Alzheimer hastalığı ve diğer nörodejeneratif bozukluklarla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Block & Calderón-Garcidueñas, 2009; Calderón-Garcidueñas et al., 2016). Uzun süreli PM_{2.5} maruziyeti, özellikle gelişim çağındaki çocuklarda öğrenme güçlüğü, hafıza problemleri ve hatta depresif semptomların artması gibi etkilerle kendini gösterebilir.

İç ortam sıcaklığının 24 °C'nin üzerine çıkması (Antalya'daki bazı kapalı alanlarda 28 °C'ye kadar çıktığı gözlenmiştir) durumunda, bireylerin bilişsel performanslarında düşüşler gözlenmektedir. Bu durum, zihinsel performansta düşüş, motivasyon kaybı ve artan yorgunluk hissi yaratır. Özellikle öğrenme, odaklanma ve problem çözme süreçleri

sıcaklık ve nem değişimlerinden etkilenmektedir (Lan et al., 2011). Benzer şekilde, bağıl nem oranları ideal aralığın (WHO'ya göre %40–60) üzerinde ya da altında olduğunda kişilerde baş ağrısı, halsizlik ve konsantrasyon bozuklukları gibi semptomlara neden olabilir. Antalya'daki bazı kapalı alanlarda nem oranı %30'un altında bulunmuştur, bu da solunum yollarının kuruması ve dolayısıyla oksijenin beyne etkin ulaşımının zorlaşmasıyla sonuçlanabilir. Yüksek nem oranları (%65 gibi), mantar ve diğer mikroorganizmaların çoğalmasını tetikleyerek iç hava kalitesini düşürür, bu da migren, zihinsel bulanıklık ve alerjik beyin iltihaplanması gibi nörolojik sonuçlara yol açabilir. Uçucu Organik Bileşikler (VOC) ve ozon (O₃) gibi diğer iç ortam kirleticileri de hafıza bozuklukları, dikkat eksikliği, ruh hali değişimleri ve anksiyete belirtileri (Wolkoff, 2013) ile ilişkilendirilmiş, hatta beyinde nöron kaybına ve dopamin salınımında bozulmalara neden olabileceği gösterilmiştir (Genc et al., 2012).

Verilerin yaş, cinsiyet ve mahalle değişkenleriyle karşılaştırılması sonucunda; özellikle şehir merkezine uzak, havalandırma imkanları kısıtlı mahallelerde yaşayan bireylerde daha belirgin nörolojik etkiler gözlemlenmiştir. Ayrıca yaş grubu açısından incelendiğinde, küçük yaştaki çocukların ve yaşlı bireylerin iç hava kalitesindeki değişimlere karşı daha duyarlı olduğu, çocuklarda gelişmekte olan sinir sisteminin kirleticilere karşı daha hassas olduğu ve bu nedenle kapalı yaşam alanlarındaki hava kalitesindeki bozulmaların onların bilişsel gelişimini doğrudan etkileyebileceği ortaya konmuştur. Kadın bireylerde ise baş ağrısı, uyku problemleri ve dikkat eksikliği gibi semptomların daha yaygın olduğu tespit edilmiştir.

Bu bağlamda, Antalya'nın iklimsel yapısı, ısıtma ve havalandırma sistemlerinin yetersizliği, bina malzemeleri ve kullanıcı davranışları gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda, beyin sağlığını korumak adına iç hava kalitesine dair önlemlerin daha sıkı alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Tüm bu bulgular, hava kalitesinin yalnızca solunum sağlığı değil, aynı zamanda bilişsel yetiler ve nörolojik işlevler açısından da kritik önemde olduğunu göstermektedir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmanın bulguları ve literatür desteği ışığında, Antalya'da iç hava kalitesinin iyileştirilmesi ve bunun beyin sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik çok yönlü ve kapsamlı öneriler sunulmaktadır:

5.2.1. Halk sağlığı politikaları için öneriler

- Antalya ilinde, özellikle okullar ve kamu kurumları gibi yoğun nüfuslu kapalı yaşam alanlarında iç hava kalitesi yönetmelikleri oluşturulmalı ve bu yönetmeliklerin uygulanabilirliği denetlenmelidir. Bu yönetmelikler, iç hava kalitesi standartlarını karşılayan havalandırma sistemlerinin zorunlu hale getirilmesini içermelidir.
- Çocuklar, yaşlılar ve nörolojik hastalıklara yatkın bireyler için düşük partikül madde (PM) ve karbon dioksit (CO₂) seviyelerine sahip yaşam alanları teşvik edilmeli ve bu tür alanların oluşturulması desteklenmelidir.
- Antalya Büyükşehir Belediyesi'nin çevre ve sağlık birimleri, beyin sağlığını da kapsayan kapsamlı bir iç hava kalitesi farkındalık kampanyası yürütmeli ve

kamuoyu bilgilendirilmelidir. Hava kalitesinin yalnızca solunum sistemi değil, aynı zamanda beyin sağlığını da etkilediği konusunda geniş kitlelere erişim sağlanmalıdır.

- Özellikle Antalya'da sanayi ve trafiğin yoğun olduğu bölgelerde hava kalitesinin izlenmesine ve raporlanmasına yönelik sabit izleme istasyonları kurulmalıdır.

5.2.2. Eğitim ortamları için spesifik uygulamalar

- Antalya'daki okullarda iç hava kalitesi izleme sensörleri kurularak öğretmenlere ve idarecilere anlık veri sağlanmalı, böylece anlık müdahaleler mümkün kılınmalıdır. Sınıf ortamlarında düzenli hava kalitesi ölçümleri yapılmalı ve bu veriler ışığında sınıf saatleri ve aktiviteler planlanmalıdır.
- Nörobilim ve çevre sağlığı alanındaki uzmanlar iş birliğiyle, öğrencilerin bilişsel performanslarının iç ortam koşullarıyla ilişkisini izleyen pilot projeler başlatılmalı ve bu projelerin sonuçları geniş çapta paylaşılmalıdır.
- Kapalı ortamlarda bitki kullanımı (örneğin paşa kılıcı, barış çiçeği gibi hava temizleyici türler) teşvik edilmelidir.
- Sınıflarda kullanılan malzemeler (halı, mobilya, boya vb.) uçucu organik bileşik salınımı düşük olanlardan seçilmeli; temizlik maddeleri de bu doğrultuda tercih edilmelidir.
- Öğrencilere ve öğretmenlere yönelik, iç hava kalitesinin bilişsel performans üzerindeki etkileri hakkında bilinçlendirme seminerleri düzenlenmelidir. Çocukların özellikle erken yaşlarda beyin gelişimi hızlı olduğundan, onların bulunduğu alanlardaki hava kalitesi daha sıkı takip edilmelidir.

5.2.3. Tıbbi izlem ve önlem önerileri

- Nöropsikolojik testlerle birlikte düzenli EEG ve MR takiplerinin, iç hava kalitesi kötü olan bölgelerde yaşayan bireyler için erken tanı ve tarama aracı olarak kullanılması önerilmektedir. Bu sayede ileride oluşabilecek nörodejeneratif hastalıkların önüne geçilmesine katkı sağlanabilir.
- Baş ağrısı, uyku bozuklukları, unutkanlık gibi belirtilerle sağlık kurumlarına başvuran hastalarda, yaşam çevresi ve iç hava kalitesi detaylıca sorgulanmalıdır.
- Hekimlere, iç hava kalitesine bağlı beyin sağlığı etkileri konusunda eğitimler verilmeli, bu etkenlerin ön tanı sürecine dahil edilmesi sağlanmalıdır.

5.2.4. Bireysel yaşam alanları için stratejiler

- Ev ve iş yerlerinde iç hava kalitesini artırmak için düşük uçucu organik bileşik (VOC) salınımı olan boya ve mobilyaların tercih edilmesi teşvik edilmelidir.
- Nem seviyesinin %40–60 aralığında tutulması ve düzenli havalandırmanın yapılması, sinir sisteminin daha sağlıklı işlemesini destekleyecektir. Düşük bağıl nemin

neden olduğu bilişsel stresin önüne geçebilmek için hava nemlendirici cihazlar kullanılmalı veya pasif nemlendirme yöntemleri (bitkilendirme gibi) uygulanmalıdır.

- Partikül maddeye karşı önlem alınmalı; özellikle PM2.5 ve daha küçük partiküllerin sinir hücrelerine zarar verebilme potansiyeli dikkate alınarak, HEPA filtreli hava temizleyici cihazlar kullanılmalıdır.
- Bireyler, hava kalitesi uygulamalarıyla (örneğin hava kalitesi indeksi ölçerler) yaşadıkları ortamı izleyerek yaşam alışkanlıklarını çevresel risklere göre planlamalıdır.
- Kapalı ortamda uzun süre zaman geçiren bireylerin, düzenli dış mekân etkinliklerine katılması zihinsel yenilenmeyi destekleyecektir.

5.2.5. Gelecek araştırmalar için öneriler

- Farklı yaş gruplarındaki bireylerde (özellikle çocuk, yaşlı ve kronik hastalığı olanlar) iç hava kalitesine maruziyetin nörolojik etkileri daha uzun süreli boylamsal çalışmalarla araştırılmalıdır.
- EEG ve MR verilerinin daha büyük örneklemelerle desteklendiği çalışmalarla, iç hava parametrelerinin doğrudan etkileri nörobilimsel açıdan daha net ortaya konabilir.
- Antibakteriyel ve anti-VOC özellikli yapı malzemeleriyle donatılmış pilot sınıflarda yapılan karşılaştırmalı deneyler, yapısal çözümlerin etkisini ölçmek açısından önemlidir.
- İç mekân hava kalitesi ölçümlerinde çoklu kirleticilerin sinerjistik etkileri üzerine daha fazla araştırma yapılması, beyin sağlığına yönelik risklerin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J. ve Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 805–812. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510037>
- Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J. ve Spengler, J. D. (2016). Green buildings and health. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 340–347. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510183>
- Alptekin, M., & Çelebi, M. (2015). Toz partiküllerinin iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi]. Dumlupınar Üniversitesi YÖK Tez Merkezi.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (1999). *ANSI/ASHRAE Standard 62-1999: Ventilation for acceptable indoor air quality*. ASHRAE.
- ASHRAE. (2017). *Standard 62.1 – Ventilation for acceptable indoor air quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2020). *Ventilation for acceptable indoor air quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D. J., Kochhar, N., Awbi, H. B. ve Williams, M. J. (2012). Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, 48, 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.018>
- Başar, E. (2012). *Brain oscillations in neuropsychiatric disease*. Springer.
- Bear, M. F., Connors, B. W. ve Paradiso, M. A. (2016). *Neuroscience: Exploring the brain* (4th ed.). Wolters Kluwer.
- Betüz, N. E. (2012). Kalabalık eğitim mekânlarında iç hava kalitesinin değerlendirilmesi [Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi]. ODTÜ Tez Arşivi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=2L43UM6vOUBjeZoI OslNPA&no=73s-HKHgr4Rb4oOSkqNTdA>
- Block, M. L. ve Calderón-Garcidueñas, L. (2009). Air pollution: Mechanisms of neuroinflammation and CNS disease. *Trends in Neurosciences*, 32(9), 506–516. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2009.05.009>
- Bulgurcu, H., İlten, N., & Coşgun, A. (2005, Kasım). Okullarda iç hava kalitesi problemleri ve çözüm önerileri [Konferans bildirisi]. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, Türkiye.
- Calderón-Garcidueñas, L., Franco-Lira, M., Mora-Tiscareño, A., Medina-Cortina, H. ve Torres-Jardón, R. (2016). Exposure to urban air pollution and bone damage in children. *Environmental Research*, 148, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.03.009>
- Calderón-Garcidueñas, L., Mora-Tiscareño, A., Ontiveros, E., Gómez-Garza, G., Barragán-Mejía, G., Broadway, J. et al. (2008). Air pollution, cognitive deficits

- and brain abnormalities: A pilot study with children and dogs. *Brain and Cognition*, 68(2), 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.04.008>
- Calderón-Garcidueñas, L., Torres-Jardón, R., Kulesza, R. J., Park, S. B. ve D'Angiulli, A. (2016). Air pollution and detrimental effects on children's brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 613. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00613>
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS). (n.d.). Indoor air quality: The importance of filtration. <https://www.ccohs.ca/products/posters/iaq> [Son erişim tarihi: 25.05.2025]
- Chen, H., Li, M. ve Zhou, J. (2021). The impact of indoor air quality on cognitive function and mental health. *Environmental Health Perspectives*, 129(5), 570–578. <https://doi.org/10.1289/EHP7815>
- Chen, Y., Wang, Y. ve Zhang, H. (2021). The effect of fine particulate matter (PM_{2.5}) on cognitive performance: A systematic review. *Environmental Research*, 193, 110322. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110322>
- Chen, Y., Wang, Y. ve Zhang, H. (2021). The role of indoor air quality in brain health: Mechanisms and implications. *Environmental Research*, 192, 110214. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110214>
- Chen, Y., Wang, Y. ve Zhang, H. (2022). Fine particulate matter (PM_{2.5}) and mental health: A systematic review of the literature. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 4532–4543. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18893-0>
- Chen, Y., Zhang, Q. ve Wang, L. (2022). Effects of fine particulate matter on cognitive function: A review. *Environmental Research*, 201, 111697. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111697>
- Crichton, G. E., Elias, M. F., Davey, A. ve Alkerwi, A. (2018). Cardiovascular health and cognitive function: The Maine-Syracuse longitudinal study. *PLOS ONE*, 13(3), e0193808. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193808>
- Çoşgun, A. (2012). Antalya ilinde farklı ortamlarda iç hava kalitesinin araştırılması ve modellenmesi [Doktora tezi, Balıkesir Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=B4gzMLmr-P2QWKLyxk18QA&no=AvkoYH_audqyCc6io4Spew
- Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Indoor Air Quality. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq> [Son erişim tarihi: 25.05.2025]
- Environmental Protection Agency (EPA). (2020). Indoor Air Quality. <https://www.epa.gov> [Son erişim tarihi: 25.05.2025]
- Fan, W., Liu, X. ve Zhang, S. (2022). Fine particulate matter (PM_{2.5}) and its impact on brain structure and function: Evidence from neuroimaging studies. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 792145. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.792145>
- Fan, W., Liu, X. ve Zhang, S. (2022). Volatile organic compounds and cognitive decline: A systematic review of the literature. *Environmental Health Perspectives*, 130(4), 045001. <https://doi.org/10.1289/EHP7426>

- Fan, W., Liu, X. ve Zhang, S. (2022). Volatile organic compounds and their impact on mental health: A review of studies on indoor air pollution. *Environmental Health Perspectives*, 130(7), 077001. <https://doi.org/10.1289/EHP7435>
- Gao, X. ve Li, M. (2023). Air pollution and neurodegenerative diseases: A review of recent studies on the effect of indoor pollutants. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 81, 103565. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.103565>
- Genc, S., Zadeoglulari, Z., Fuss, S. H. ve Genc, K. (2012). The adverse effects of air pollution on the nervous system. *Journal of Toxicology*, 2012, 782462. <https://doi.org/10.1155/2012/782462>
- Godish, T. (2001). *Indoor environmental quality*. CRC Press. [amazon.com/4scirp.org/4ndl.ethernet.edu.et/4](https://www.amazon.com/4scirp.org/4ndl.ethernet.edu.et/4)
- Government of Canada. (n.d.). *Infographic: Maintain and improve indoor air quality*. Health Canada. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/infographic-improve-indoor-air-quality.html> canada.ca
- Grandjean, P., & Landrigan, P. J. (2014). Neurobehavioural effects of developmental toxicity. *The Lancet Neurology*, 13(3), 330–338. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(13\)70278-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(13)70278-3)
- Guxens, M., Lubczyńska, M. J., Muetzel, R. L., Dalmau-Bueno, A., Jaddoe, V. W. V., Hoek, G., et al. (2018). Air pollution exposure during fetal life, brain morphology, and cognitive function in school-age children. *Biological Psychiatry*, 84(4), 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2018.01.016>
- Güneş, A., & Alkan, B. (2019). Türkiye’de iç hava kalitesinin bilişsel performans ve beyin dalga aktiviteleri üzerindeki etkileri: EEG temelli deneysel bir çalışma. *Çevre ve Sağlık Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 145–162.
- Gündoğdu, M. (2015). İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde mekanik havalandırma sistemlerinin etkisi ve endüstriyel bir uygulama (Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi). Ege Üniversitesi Tez Arşivi. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/370806/yokAcikBilim_10133494.pdf acikbilim.yok.gov.tr
- Güzel, M., & Yılmaz, A. (2023). İç mekan hava kalitesinin çocukların bilişsel performansı ve zihinsel sağlık üzerindeki etkileri: Okul binalarında yapılan bir araştırma. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 15(4), 360–374.
- Hacettepe Üniversitesi. (2021). İç mekan hava kalitesinin zihinsel sağlık üzerindeki etkileri: Bir hastane ortamında yapılan araştırma (Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Hao, Z., Wang, X., & Li, Y. (2023). Effects of volatile organic compounds on cognitive function and psychological health: A systematic review. *Journal of Environmental Psychology*, 85, 101587. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.101587>
- Harrison, R. M., Jones, A. M., & Baker, T. J. (2020). The impact of fine particulate matter (PM_{2.5}) on cognitive health and neurodegenerative diseases. *Journal of*

- Environmental and Public Health*, 2020, 5821301. <https://doi.org/10.1155/2020/5821301>
- Hope, J., Kelly, T., & Maher, E. (2013). Mold and mycotoxins: Effects on the brain. *Advances in Applied Microbiology*, 84, 69–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407678-5.00003-6>
- Hoşten, G., & Dalbay, N. (2018). Kapalı ortam hava kalitesinin ofis ortamlarında iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi. *Aydın Sağlık Dergisi*, 4(2), 1–12.
- Infographic Journal. (n.d.). Everything you need to know about indoor air pollution. <https://infographicjournal.com/everything-you-need-to-know-about-indoor-air-pollution/>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2019). Agents classified by the IARC Monographs. <https://monographs.iarc.fr>
- İstanbul Teknik Üniversitesi. (2020). Kapalı alanlarda hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkileri: Ofis ortamı üzerine bir araştırma (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü).
- İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. (2001). İstanbul’da coğrafi bilgi sistemleri ile hava kalitesinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi). POLEN. <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/11394>
- İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. (2016). Uzaktan algılama sistemleri ile İstanbul’da atmosferik sınır tabaka ve hava kalitesi etkilerinin araştırılması (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi). POLEN. <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/20201>
- Jones, A. P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, 33(28), 4535–4564. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00272-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00272-1)
- Jones, B. (2022). Air pollution and health effects in indoor environments. *Journal of Environmental Health*, 84(4), 45–53.
- Jones, R. W., & Williams, B. J. (2022). Indoor air pollution exposure and its potential effects on the human brain: A review of neurobiological mechanisms. *Environmental Health Perspectives*, 130(3), 037001. <https://doi.org/10.1289/EHP7397>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., & Hudspeth, A. J. (2013). *Principles of neural science* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Kara, M., & Karakurt, H. (2022). İç mekan hava kalitesinin bilişsel performans ve zihinsel sağlık üzerindeki etkileri: İstanbul örneği. *Türkiye Çevre ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8(3), 210–228.
- Karaca, Ü. B. (2022). İlkokul Dersliklerinde İç Hava Kalitesinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 33, 60–67. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1018560>
- Köksal, H. (2010). İç mekan hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkileri ve hasta bina sendromu (HBS). *İç Mekan Çalışmaları Dergisi*, 12(3), 145–162.

- Lan, L., Lian, Z., Pan, L., & Ye, Q. (2011). Neurobehavioral approach for evaluation of office workers' productivity: The effects of room temperature. *Building and Environment*, 46(3), 929–937. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>
- Lee, H., Kim, K., & Jeong, S. (2020). Indoor air quality improvement and its effects on cognitive functions: A systematic review. *Environmental Psychology*, 73, 101789. <https://doi.org/10.1016/j.envp.2020.101789>
- Lee, J., Lee, M., & Han, S. (2020). Effects of indoor air quality on the psychological health of older adults: A systematic review. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 25, 63. <https://doi.org/10.1186/s12199-020-00835-6>
- Mendell, M. J., Fisk, W. J., Kreiss, K., Levin, H., Alexander, D., Cain, W. S., ... & Wallingford, K. M. (2002). Improving the health of workers in indoor environments: Priority research needs for a national occupational research agenda. *American Journal of Public Health*, 92(9), 1430–1440.
- Miller, J., Smith, K., & Thompson, R. (2023). Carbon dioxide exposure and cognitive performance: The Stroop test performance. *Environmental Psychology*, 72, 101758. <https://doi.org/10.1016/j.envp.2022.101758>
- Miller, J. R., Yang, J., & Wilson, D. C. (2023). Effects of carbon dioxide on cognitive performance in indoor environments. *Environmental Health Perspectives*, 131(2), 025001. <https://doi.org/10.1289/EHP9913>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (n.d.). *Indoor particulate matter visualization*. <https://nap.nationalacademies.org/visualizations/indoor-particulate-matter/> [Son erişim tarihi: 25.05.2025].
- Özer, M. (2019). Yüksek binalarda iç hava kalitesi araştırması [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp?id=XXXXXXXX>
- Özdamar, M. (2021). *Ofis yapılarında iç mekân konforunun değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi). Trakya Üniversitesi Açık Erişim Arşivi.
- Özdemir, M. (2020). *Kalabalık eğitim mekânlarında iç hava kalitesinin değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi. <https://avesis.metu.edu.tr/yonetilen-tez/98ad4ddb-940d-4705-a03c-74dbff9bb4be> [Son erişim tarihi: 25.05.2025].
- Özdeş, H. (2019). *İç ortam hava kalitesi bakımından farklı yerleşim birimlerinde CO₂ düzeylerinin belirlenmesi ve incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Harran Üniversitesi. <https://hdl.handle.net/20.500.12812/205326> [Son erişim tarihi: 25.05.2025].
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., & White, L. E. (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University Press.
- Redlich, C. A., Sparer, J., & Cullen, M. R. (1997). Sick-building syndrome. *The Lancet*, 349(9057), 1013–1016. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)07220-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)07220-0)
- Sakarya Üniversitesi. (2021). *İç mekan hava kalitesinin bilişsel performans ve psikolojik sağlık üzerindeki etkileri* (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Sarnat, J. A., Raysoni, A. U., & Li, W. (2018). Air pollution and neurodevelopment. *Environmental Health*, 17(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0420-3>
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>
- Seppänen, O. A., Fisk, W. J., & Lei, Q. H. (2006). Ventilation and performance in office work. *Indoor Air*, 16(1), 28–36. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00394.x>
- Sözen, A., & Işık, E. (2016). *Ofis ve Dersliklerde İç Hava Kalitesi Ölçümleri ve Analizleri: Tunceli Üniversitesi Örneği*. Mühendis ve Makina, 57(677), 53–64.
- Stansfeld, S. A., & Clark, C. (2015). Health effects of noise exposure in children. *Current Environmental Health Reports*, 2(2), 171–178. <https://doi.org/10.1007/s40572-015-0044-1>
- Sundell, J. (2004). On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air*, 14(7), 51–58. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x>
- T.C. Sağlık Bakanlığı. (2010). *İç ortam hava kalitesi rehberi*. Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Çevre Sağlığı Daire Başkanlığı, Ankara.
- Temur, H. (2020). *Uzaktan algılama sistemleri ile İstanbul'da atmosferik sınır tabaka ve hava kalitesi etkilerinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/20201>
- Tüzün, A. (2019). *Yüksek binalarda iç hava kalitesi araştırması* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. <https://research.itu.edu.tr/tr/studentTheses/y%C3%BCksek-binalarda-i%C3%A7-hava-kalitesi-ara%C5%9Ft%C4%B1rmas%C4%B1> [Son erişim tarihi: 25.05.2025].
- Ünver Alçay, A., & Yalçın, S. (2015). İç ortam havası biyoaerosoller ve mikrobiyal hava kalitesi ölçüm metotları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 251–258.
- Wargocki, P., & Seppänen, O. (2006). *Indoor climate and productivity in offices: How to integrate productivity in life-cycle cost analysis of building services* (REHVA Guidebook No. 6).
- World Health Organization (WHO). (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- World Health Organization (WHO). 2021. *Household air pollution and health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> [Son erişim tarihi: 25.05.2025].
- World Health Organization (WHO). 2021. *Mental health and the environment*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240035111> [Son erişim tarihi: 25.05.2025].

- World Health Organization (WHO). 2020. *Air pollution and child brain development: A summary*. World Health Organization, Geneva.
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- Xu, L., Chen, L., & Tan, Y. (2021). Fine particulate matter (PM_{2.5}) exposure and its association with neurological diseases: A review. *Neurotoxicology*, 85, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2021.05.006>
- Xu, X., Li, L., & Li, Y. (2021). PM_{2.5} exposure and its impacts on human cognitive health: A systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 12215–12230. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13209-6>
- Xu, X., Wang, L., & Li, J. (2021). Indoor air pollution and its impact on cognitive performance: A review of the evidence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3922. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073922>
- Xu, X., Wang, L., & Li, J. (2021). The impact of indoor air quality on mental health and cognitive performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6589. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126589>
- Xu, Z., Yang, L., & Zhou, Y. (2021). Long-term exposure to air pollutants and cognitive decline: A systematic review. *Journal of Environmental Psychology*, 77, 101707. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101707>
- Yemşen, B. (2016). İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde mekanik havalandırma sistemlerinin etkisi ve endüstriyel bir uygulama [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi]. Ege Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://acikerisim.ege.edu.tr/items/8fa021ba-b9e5-4508-9eed-290effdaac72>
- Zhang, X., Wargocki, P., Lian, Z., & Thyregod, C. (2017). Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance. *Indoor Air*, 27(1), 47–64. <https://doi.org/10.1111/ina.12284>
- Zhang, Y., Song, Y., & Liu, Z. (2022). Impacts of indoor air pollutants on mental health: A focus on the effects of CO₂, particulate matter, and VOCs. *Psychiatry Research*, 303, 114064. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2021.114064>
- Zorlu, K., & Karadayı, T. T. (2020). İç mekân hava kalitesinde yapı malzemelerinin rolü. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 193–211. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sufbd/issue/54162/740296>

ÖZGEÇMİŞ

Burcu Banu ATEŞ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2023-2025	Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi
2014-2018	Biyomedikal Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Antalya Bilim Merkezi	Antalya Bilim Merkezi Sorumlusu, ARGE Mühendisi
-----------------------	---