

**İÇ MEKÂNLARDAKİ LED LAMBALARIN  
İÇ HAVA KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**



**DOKTORA TEZİ**

**Burcu KÖSE KHIDIROV**

**Anabilim Dalı: İç Mimarlık**

**Programı: İç Mimarlık**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Damla ALTUNCU  
Eş Danışman: Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN**

**MAYIS, 2020**



**İÇ MEKÂNLARDAKİ LED LAMBALARIN  
İÇ HAVA KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**



**DOKTORA TEZİ**

**Burcu KÖSE KHIDIROV**

**Anabilim Dalı: İç Mimarlık**

**Programı: İç Mimarlık**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Damla ALTUNCU  
Eş Danışman: Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN**

**MAYIS, 2020**



Burcu KÖSE KHIDIROV tarafından hazırlanan İç Mekanlardaki Led Lambaların İç Hava Kalitesi Üzerindeki Etkisi adlı bu tezin doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Damla ALTUNCU

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İç Mimarlık Anabilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Damla ALTUNCU

Eş Danışman : Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

Üye : Prof. Dr. Burçin Cem ARABACIOĞLU

Üye : Doç. Dr. Feride Pınar ARABACIOĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Armağan Seçil MELİKOĞLU EKE

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emel BAŞARIK AYTEKİN

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım klavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

Burcu KÖSE KHIDIROV





## ÖNSÖZ

Doktora eğitimim boyunca çalışmalarımı takip eden, her konuda bana yardım eden, yol gösteren ve cesaretlendiren değerli hocam Doç. Dr. Damla Altuncu'ya,

Doktora tezimi geliştirmem için bilmediğim bir alanda benden desteğini ve bilgi paylaşımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Ülkü Alver Şahin'e,

Tez izleme jürilerimde çalışmalarına katkı sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Burçin Cem Arabacıoğlu ve Doç. Dr. Feride Pınar Arabacıoğlu'na,

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İç Mimarlık Bölümü'ndeki saygıdeğer hocalarıma; buradaki eğitim ve çalışma hayatımı değerli kılan, birçok güzel hatıramı paylaştığım iş arkadaşlarıma ve dostlarıma,

Her zaman yanımda olan anneme, babama, ablama, ve özellikle bu dönemde manevi desteğini eksik etmeyen eşim Suhrob'a ve beni sabırla bekleyen sevgili kızım Asya'ya,

Yanımda olan herkese çok teşekkür ederim.

Burcu KÖSE KHIDIROV



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET .....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Amaç .....	2
1.2 Kapsam.....	3
1.3 Yöntem.....	4
1.4 Çalışmanın Gerekliliği ve Önemi.....	5
<b>2. GENEL TANIM VE KAVRAMLAR.....</b>	<b>6</b>
2.1 İç Mekanlarda Fiziksel Çevre Kalitesi .....	7
2.2 İç Hava Kalitesi.....	10
2.2.1 Hava Kalitesi Kavramı .....	12
2.2.2 İç Hava Kalitesinin Önemi.....	13
2.2.3 İç Hava Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	14
2.2.4 İç Hava Kirleticileri.....	18
2.2.5 İç Mekânlar için Havalandırma Standartları.....	21
2.2.6 İç Mekânlarda Hava Kalitesinin Sağlanması.....	23
2.3 Uçucu Organik Bileşikler (UOB).....	24
2.3.1 Uçucu Organik Bileşiklerin Çeşitleri ve Sınıflandırılması.....	26
2.3.2 Örneklem Yöntemleri.....	31
2.3.3 Uçucu Organik Bileşiklerin İç Hava Kalitesine Etkileri.....	32
2.3.4 Mevcut Literatürde Uçucu Organik Bileşikler.....	33
2.4 İç Mekanlarda Yapay Aydınlatma Kaynakları.....	36
2.4.1 İç Mekânlarda Kullanılan Elektrik Lambaları.....	36
2.4.2 İç Mekânlarda Kullanılan Yapay Aydınlatma Kaynaklarının Özellikleri.....	38
2.4.3 İç Mekanlarda Kullanılan Başlıca Lamba Çeşitleri.....	39
2.4.4 Yapay Aydınlatma Kaynaklarının İç Hava Kalitesine Potansiyel Etkileri.....	45
<b>3. METODOLOJİ .....</b>	<b>51</b>
3.1 Araştırma Sürecine Ait Genel Veriler .....	51
3.2 Çalışmanın Yapıldığı Mekanın Tanımı .....	51
3.3 Çalışmada Kullanılacak Lambaların Özellikleri ve Aydınlatma Hesabı .....	54
3.4 UOB Örneklem Süreci .....	57

<b>4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>60</b>
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>77</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>81</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>89</b>



## KISALTMALAR

<b>UOB</b>	: Uçucu organik bileşikler
<b>VOC</b>	: Volatile organic compounds
<b>VVOC</b>	: Very volatile organic compounds –çok uçucu organik bileşikler
<b>SVOC</b>	: Semi volatile organic compounds – yarı uçucu organik bileşikler
<b>LED</b>	: Light emitting diode – ışık yayan diyot
<b>GC-MS</b>	: Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization – Uluslararası Standartlar Örgütü
<b>ASHRAE</b>	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği
<b>ASHVE</b>	: American Society of Heating and Ventilating Engineers – Amerikan Isıtma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği
<b>EPA</b>	: Environmental Protection Agency – Çevre Koruma Ajansı
<b>WHO</b>	: World Health Organization – Dünya Sağlık Örgütü
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü
<b>EMO</b>	: Elektrik Mühendisleri Odası



## SEMBOLLER

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	: mikrogram/metreküp
$\text{NO}_2$	: Azot dioksit
$\text{NH}_3$	: Amonyak
$\text{SO}_2$	: Kükürt dioksit
$\text{CO}$	: Karbon monoksit
$\text{CO}_2$	: Karbon dioksit
$\text{PM}_{10}$	: 10 mikrondan küçük partiküllerin boyutları toplamı
$\text{PM}_{2.5}$	: 2.5 mikrondan küçük partiküllerin boyutları toplamı
$\text{ppm}$	: Parts per million – bir karışımda toplam madde miktarının milyonda 1 birimi
$\text{K}$	: Kelvin
$\text{Ra}$	: Renksel geriverim
$\text{W}$	: Watt





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1 : Bazı UOB'lerin kaynama noktaları ve buhar basınçları .....	24
Çizelge 2 : Bazı uçucu organik bileşikler için toksisite değerleri... ..	25
Çizelge 3 : Örnekleme Odasına Ait Detaylar. ....	54
Çizelge 4 : Oda Verim Tablosu. ....	55
Çizelge 5 : Örnekleme sürecine ait detaylar. ....	58
Çizelge 6 : İklim Verileri.....	60
Çizelge 7 : UOB Değerleri. ....	61
Çizelge 8 : Dış Hava UOB Değerleri.....	63
Çizelge 9 : Günlere göre etil asetat değerleri.....	63
Çizelge 10 : Zamanla etil asetat değişimi.....	64
Çizelge 11 : Günlere göre toluen değerleri.....	64
Çizelge 12 : Zamanla toluen değişimi.....	65
Çizelge 13 : Günlere göre butil asetat değerleri.....	65
Çizelge 14 : Zamanla butil asetat değişimi.....	66
Çizelge 15 : Günlere göre n-dekan değerleri.....	67
Çizelge 16 : Zamanla n-dekan değişimi.....	67
Çizelge 17 : Günlere göre 1,3-Diklorobenzen değerleri.....	68
Çizelge 18 : Zamanla 1,3-Diklorobenzen değişimi.....	68
Çizelge 19 : Günlere göre 1,4-Diklorobenzen değerleri.....	69
Çizelge 20 : Zamanla 1,4-Diklorobenzen değişimi.....	69
Çizelge 21 : Günlere göre 1-bütanol değerleri.....	70
Çizelge 22 : Zamanla 1-bütanol değişimi.....	70
Çizelge 23 : 1. gün ölçümleri.....	71
Çizelge 24 : 2. gün ölçümleri.....	72
Çizelge 25 : 3. gün ölçümleri.....	72
Çizelge 26 : 4. gün ölçümleri.....	73
Çizelge 27 : 5. gün ölçümleri.....	73
Çizelge 28 : 6. gün ölçümleri.....	74



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1 : Araştırma Modeli. ....	4
Şekil 2 : İç Çevre Kalitesinin Bileşenleri. ....	9
Şekil 3 : Aktif Karbon Tüpü ve GC-MS Sistemi.....	32
Şekil 4 : Akkor Telli Lambalar.....	40
Şekil 5 : Halojen Lambalar.....	40
Şekil 6 : Flüoresan Lambalar.....	42
Şekil 7 : LED lambalar.....	44
Şekil 8 : LED’lerde UOB’lerin çoğalarak ana lense nüfuzu.....	48
Şekil 9 : Farklı Lamba Türlerinin Verimsel Karşılaştırılması.....	49
Şekil 10 : Farklı Lamba Türlerinin Isınma Karşılaştırılması .....	50
Şekil 11 : Çalışma mekanının konumu.....	52
Şekil 12 : Çalışma mekanı ve çevresi.....	52
Şekil 13 : Çalışmanın yapıldığı bina ve örnekleme odası.....	53
Şekil 14 : Örnekleme odası.....	55
Şekil 15 : Lambaların örnekleme odası içerisindeki konumu.....	56
Şekil 16 : Örnekleme Odası Plan ve Kesiti.....	57
Şekil 17 : İç ve Dış Örnekleme Noktalarının Konumu.....	57
Şekil 18 : Örnekleme Düzenneği ve Sorbent Tüpü.....	59



## İÇ MEKÂNLARDAKİ LED LAMBALARIN İÇ HAVA KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

### ÖZET

Kullanıcıların sağlığı ve çalışma performansları ile yakından ilişkili olan iç hava kalitesi, iç mekanda geçirilen sürenin de artmasıyla giderek önem kazanmıştır. İç hava kalitesini etkileyen kirleticilerden biri olan uçucu organik bileşimler (UOB), farklı disiplinlerin çalıştığı, ortak bir konu haline gelmiştir. Maruz kalındığında çeşitli rahatsızlıklara sebep olabilen UOB'lerin, binalarda ve iç mekanlarda farklı kaynakları mevcuttur. Yapı malzemeleri, mobilyalar, elektronik cihazlar, evsel ve kozmetik ürünler vb. en sık karşılaşılan UOB kaynaklarıdır. Bu kaynakların yanısıra, plastik içerikli malzemelerden ve ürünlerden de ortama yayılabilen bu maddeler, iç ortamın iklimsel koşullarından etkilenmekte ve fotokimyasal reaksiyonlar ile havadaki molekülleri dönüştürerek yeni maddelerin açığa çıkmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, yeni aydınlatma teknolojilerinden biri olan LED'lerin iç hava kalitesini olumsuz etkileyen UOB emisyonuna sebep olup olmadığı araştırılmıştır. Kullanım aktiviteleri bulunmayan boş bir odada, toplam 120 saat boyunca lambalar aralıksız çalıştırılarak, tam UOB taraması için hava örnekleri toplanmıştır. Örnekler, 4-9 Kasım 2019 tarihleri arasında aktif örnekleme yöntemiyle, odadaki iki farklı noktadan alınmıştır. Örnekleme süresi 180 dakika olarak belirlenmiştir. Arka plan ölçümlerinin yapıldığı birinci gün iç mekandan 2, bina dışından 1 adet; diğer günler ise sadece iç mekandan 2 adet örnek olmak üzere toplam 13 tüp, gaz kromatografisi / kütle spektrometresi (GC/MS) ile analiz edilmiştir.

Çalışmanın sonucunda, ortamda toplam 9 adet farklı UOB türüne rastlanmıştır. Bunların 6 adeti arka plan ölçümünde de görülürken, 3 tanesi lambalar çalışmaya başladıktan sonra ortaya çıkmıştır. Analizlere göre iç mekanda elde edilen etil asetat değerleri 28.13 µg/m<sup>3</sup> – 86.53 µg/m<sup>3</sup>, toluen değerleri 47.5 µg/m<sup>3</sup> – 193.5 µg/m<sup>3</sup>, butil asetat değerleri 26.71 µg/m<sup>3</sup> – 49.37 µg/m<sup>3</sup>, n-dekan değerleri 31.1 µg/m<sup>3</sup>- 53.95 µg/m<sup>3</sup>, 1,3-diklorobenzen değerleri 28.86 µg/m<sup>3</sup> – 89.81 µg/m<sup>3</sup>, 1,4-diklorobenzen değerleri 98.09 µg/m<sup>3</sup> – 283.3 µg/m<sup>3</sup>, 1-bütanol değerleri 36.36 µg/m<sup>3</sup> – 56.52 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. LED lambaların çalıştırılmasıyla en yüksek artış, toluen ve 1,4-diklorobenzen bileşiklerinde görülmüştür.

Bulunan değerler ciddi sağlık sorunlarına neden olabilecek düzeylerde olmasa da, LED'lerin iç mekandaki potansiyel kullanımları için önem taşımaktadır. Bu çalışmanın ile iç mekanlarda LED lambaların hava kalitesini etkilediği belirlendiğinden, farklı iç mekan tasarımları için LED lambaların kullanımıyla ilgili düzenlemeler yapılması olumsuz sonuçları önleyecektir.

**Anahtar Kelimeler:** İç hava kalitesi, Uçucu organik bileşikler, İç mekân, Yapay aydınlatma, Emisyon



# THE EFFECT OF LED LAMPS IN INTERIOR SPACES ON INDOOR AIR QUALITY

## SUMMARY

Indoor air quality, which is closely related to the health and working performances of the users, has become quite significant as the time spent in the interiors increase. Volatile organic compounds (VOC), one of the pollutants that affect indoor air quality, have become a common subject in which different disciplines study. VOCs, which can cause various disturbances when exposed, have different sources in buildings and interiors. Building materials, furniture, electronic devices, household and cosmetic products, etc. are the most common VOC resources. In addition to these resources, these substances, which may also be spread from plastic-containing materials and products, are affected by the climatic conditions of the indoor environment and cause the emergence of new substances by transforming molecules in the air with photochemical reactions.

In this study, it has been investigated whether LEDs, one of the new lighting technologies, cause VOC emissions that negatively affect indoor air quality. In an empty room without usage activities, the lamps were operated continuously for a total of 120 hours, and air samples were collected for full VOC scanning. Samples were taken from two different points in the room with active sampling method between 4-9 November 2019. Sampling time was determined as 180 minutes. On the first day of background measurements, 2 samples from the interior and 1 from the outside of the building; on other days, 2 samples from the interior, a total of 13 tubes were analyzed by gas chromatography / mass spectrometry (GC / MS).

As a result of the study, totally 9 different VOC types were found in the indoor air samples. While 6 of them are also seen in background measurement, 3 of them appeared after the lamps started operating. According to the analyzes, ethyl acetate values obtained indoors varies between 28.13  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  - 86.53  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , toluene values 47.5  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  - 193.5  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , butyl acetate values 26.71  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  - 49.37  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , n-decan values 31.1  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ - 53.95  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , 1,3-dichlorobenzene values 28.86  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  - 89.81  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , 1,4-dichlorobenzene values 98.09  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  - 283.3  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , 1-butanol values 36.36  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  - 56.52  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ . The highest increase in the operation of LED lamps was observed in toluene and 1,4-dichlorobenzene compounds.

Although the values found are not at a level that can cause serious health problems, they are important for the potential use of LEDs in interior spaces. Since this study has been determined to affect the air quality of LED lamps in interiors, making arrangements for the use of LED lamps for different designs will prevent negative consequences.

**Key Words:** Indoor air quality, Volatile organic compounds, Interior space, Artificial lighting, Emission





## 1. GİRİŞ

Toplumunu oluşturan bireylerin yaşama hakkı, özgürlüğü ve refahı sağlıklı bir çevrenin oluşumu ile başlar. Dolayısıyla yaşam kalitesi, kişilerin sağlığı ve buldukları ortamdaki memnuniyetleri çevrenin tasarımı ile yakından ilgilidir. Her geçen gün hızla çoğalan ve yoğunlaşan nüfus nedeniyle insanlar kapalı mekânlarda, giderek kalabalıklaşan topluluklar halinde yaşamaya başlamış, bu mekanlarda geçirilen zamanın da artmasıyla fiziksel çevre parametreleri de önem kazanmıştır. Yapılan çalışmalar fiziksel çevrenin kullanıcıların psikolojilerinin yanı sıra beden sağlıklarında da problemlere yol açabileceğini göstermektedir.

Özellikle, fiziksel çevre bileşenlerinden iç hava kalitesi, kullanıcı sağlığı üzerinde direkt olarak etkili bir unsurdur. İç ortam havasında toz, gaz ya da buhar şeklinde görülebilen solunabilir maddelerin artışı, iç hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu maddelerin –dolayısıyla kirliliğin- miktarı ve çeşitliliği ortamın karakteristik özelliklerine, var olan malzemelere ve kullanıcıların alışkanlık ve davranış biçimlerine göre farklılık göstermektedir. Örneğin bir deterjan fabrikasında ürünlerdeki kimyasallardan ve kullanılan makinelerden kaynaklı bir kirlilik söz konusuysa, bir ofis mekânında ekipmanlardan, cihazlardan, malzeme ve mobilyalardan kaynaklı bir hava kirliliği ön plandadır.

Bu tez çalışması kapsamında, uçucu organik bileşik emisyonlarının ölçümü yapılarak, iç mekanlarda kullanılan yapay aydınlatma kaynaklarının hava kalitesine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Düşük miktarlarda dahi kalp, akciğer, göz, cilt, solunum yolları ve sinir sistemi üzerinde rahatsızlıklara neden olan, devamlı maruziyette ise kanser gibi çok ciddi sağlık sorunlarına neden olabilen uçucu organik bileşikler (UOB) en önemli hava kirleticilerindedir. Uçucu organik bileşikler plastik içeren her türlü madde başta olmak üzere; boya, vernik, yapıştırıcı, yapı malzemeleri, fotokopi, faks makineleri gibi ofis cihazları ile temizlik malzemelerinden ortama yayılırlar ve iklimsel koşullardan etkilenirler. Yapay aydınlatma kaynakları olan lambaların içeriğinde kullanılan malzemelerin de, ortaya çıkan yüksek ısıdan etkilenerek veya fotokimyasal reaksiyonlar ile havadaki molekülleri dönüştürerek uçucu organik bileşiklere neden olma ve havayı kirletme potansiyeli mevcuttur. Çalışmada bu

potansiyeller araştırılmış, yapay aydınlatma kaynaklarından LED'lerin pratikte iç mekâna ve dolayısıyla kullanıcıya etkileri sorgulanmıştır.

## 1.1 Amaç

Çalışmanın ana amacı, iç mekânda kullanılan yapay aydınlatma kaynaklarından olan LED lambaların iç hava kalitesi üzerindeki etkisini araştırmaktır. İç mekân hava kalitesi üzerinde, mekân aydınlatmasında kullanılan LED lambaların etkisi sorgulanmış, lambalarda kullanılan malzemelerden/maddelerden ya da lambaların yaydığı ısıdan/neme etkisinden kaynaklanabilecek UOB emisyonlarının ölçümü yapılarak, ışık kaynaklarının iç mekân havasındaki UOB düzeylerinde ne derece etkili olduğu irdelenmiştir.

Çalışmada “iç mekânlarda kullanılan en ileri teknolojiye sahip yapay aydınlatma kaynaklarından biri olan LED'ler, ortam havasındaki uçucu organik madde düzeyini etkilemekte; lambanın çalışma süresine göre UOB'lerin türü ve emisyon miktarı değişmektedir” hipotezi sorgulanacaktır. Lambaların elektrik enerjisinin büyük bir bölümünü ısı enerjisine çevirmesi, aydınlatma elemanlarında kullanılan malzemeler/maddeler ve bunların ortaya çıkan ısı ve ışıkla etkileşiminin havadaki UOB'ler üzerinde belirleyici olduğu öngörülmektedir.

Bu doğrultuda çalışmanın ana sorusu:

-İç mekânda kullanılan LED ışık kaynakları UOB emisyonuna neden olarak iç hava kalitesini etkiler mi?

Çalışmanın alt soruları:

-LED aydınlatma kaynakları hangi uçucu organik maddeleri tetiklemektedir?

-LED lambaların hangi özelliği/malzemesi uçucu organik madde emisyonlarına sebep olmaktadır?

-Uçucu organik bileşiklerin iç hava kalitesini minimum düzeyde etkilemesi için iç mekânlarda yapay aydınlatma anlamda ne gibi önlemler alınabilir?

olarak belirlenmiştir.

## 1.2 Kapsam

Çalışma dâhilinde iç mekân havasındaki UOB'ler LED ışık kaynaklarının etkisi altında ölçülmüştür. Ölçümler İstanbul, Üsküdar, Kuzguncuk'ta yer alan, yaklaşık 20 yıllık, şu an mimarlık ofisi olarak kullanılan bir binada gerçekleşmiştir. Ölçümler için 6 adet, 1521 lümen, 14 watt, 2700 K değerinde klasik LED ampul kullanılmıştır. Aktif karbon tüplerine, aktif örnekleme yöntemiyle toplanan hava örnekleri İstanbul'da bulunan özel bir laboratuvar da analiz ettirilerek, gazların tür tayini ve miktarları tespit edilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde problemin tanımı, çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi açıklanmış, hipotez ve araştırma sorularıyla ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, iç mekanlarda fiziksel çevre kalitesi, iç hava kalitesi, uçucu organik bileşikler ile iç mekanlarda kullanılan yapay aydınlatma kaynakları konularında, irdelenen literatür ışığında kavramsal alt yapı aktarılmıştır.

Üçüncü bölümde, tezin metodoloji kısmı sunulmuştur. Bu kapsamda, saha çalışmasına dair genel veriler, ölçümler için seçilen mekânın fiziksel çevre özellikleri, etkisi araştırılacak lambaların özellikleri, kullanılan ekipmanların tanıtımı, hava örneği alma prosedürü (aktif karbon tüpü ile toplanan aktif örnekleme metodu) – süreci ve örneklerin laboratuvar analizi aşaması anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, ölçümlerin 'gaz kromatografisi-kütle spektrometresi/GC-MS' yöntemi ile belirlenen laboratuvar analizleri sunulmuştur. Ölçüm zamanlarında takip edilen sıcaklık ve nem değerleri ve ölçüm günlerine göre değişimleri belirtilmiştir. Aydınlatma elemanlarının çalışma süreleri, günlere göre UOB emisyonları belirtilmiştir. Tüm sonuçlar toplandıktan sonra elde edilen UOB değerleri, toplandıkları örnekleme noktasına ve zamana göre olarak değerlendirilmiştir.

Son bölümde çalışmada elde edilen sonuçlar aktarılmış, iç mekân tasarımında nasıl kullanılabileceği tartışılmıştır.

### 1.3 Yöntem

Bu çalışmada, değişkenler arasında ilişki olup olmadığını saptamak amacıyla 'bağıntısal teknik' kullanılmıştır. Veri toplama yöntemi olarak da 'aktif örnekleme' yönteminden faydalanılmıştır. Çalışmadaki *bağımsız değişkenler* UOB emisyonunda etkisi araştırılacak olan LED lambalardır. *Bağımlı değişkenler* ise iç mekân havasındaki uçucu organik bileşiklerdir. Şekil 1'de çalışmanın araştırma modeli görülmektedir.



Çalışma 3 temel kısımdan oluşmaktadır:

#### 1. Literatür Taraması

Çalışmada öncelikle, fiziksel çevre kalitesi, iç mekan hava kalitesi, hava kalitesini etkileyen faktörler, iç hava kirleticileri, lambalar ve fiziksel özellikleri, uçucu organik bileşikler ve bunların hava kalitesine etkileri vb. konularda literatür taraması yapılmıştır. Kaynaklar genel olarak ulusal ve uluslararası makaleler, doktora tezleri, standartlar ile özel sektör destekli projelerden oluşmaktadır. Yapılan uluslararası akademik çalışmalar, çevre mühendisliği, makine mühendisliği, enerji mühendisliği, inşaat mühendisliği ve kimya mühendisliği alanlarında çalışan uzman ve akademisyenler tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, ölçüm yöntemleri ve metodolojinin geniş bir şekilde detaylandırılması dikkat çekmektedir. Ulusal çalışmalar ise kimya ve çevre mühendisliği bölümlerinde yoğun olarak yapılmıştır. Mimarlık alanında genel anlamda, fiziksel çevre ve iç hava kalitesi konularında çalışmalar yapılmış olsa da, spesifik kirleticileri inceleyen çalışmaların sayısı fazla değildir. İç mimarlık alanında ise bu tür çalışmalar oldukça sınırlıdır; genellikle

'konunun önemi vurgulanması' şeklinde yapılmış olup, kullanılan ölçüm yöntemlerinin çok çeşitli olmadığı saptanmıştır. Taranan uluslararası kaynaklar science direct, google scholar, springer, scopus, jstor gibi web sayfalarından araştırılmıştır. Ulusal kaynaklar için ise dergi park, Tr dizin ve Yök ulusal tez merkezinden faydalanılmıştır. Erişilen tüm kaynakların, kaynakçaları da taranmış, en çok kaynak olarak kullanılan ve alıntı oranı yüksek olanlar seçilmiştir.

### *2. Veri Toplama*

Çalışmada, yüzey boyalarının belirli bir süre çalışan lambaların etkisi altında havaya yaydıkları UOB'leri belirlemek ve miktarlarını ölçmek için, peşpeşe 6 gün boyunca her gün (24 saatte bir) aktif örnekleme metoduyla, aktif karbon tüplerine hava numuneleri toplanmıştır. Bu örnekler -4 °C'de muhafaza edilerek, analiz için belirlenen özel kimya laboratuvarına gönderilmiştir.

### *3. Verilerin Analizi*

Veriler laboratuvar ortamında gaz GC-MS yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, lambaların çalıştığı süre zarfında malzeme-madde-ısı etkileşiminden kaynaklanan UOB türleri, miktarları ve bu verilerin ölçüm sırasında mekânın nem miktarı ve sıcaklık derecesi ile etkileşimine ulaşılmıştır. Elde edilen veriler ile her UOB türü ve ölçüm günü için farklı diyagramlar oluşturulmuştur. Verilerin bağımsız değişkenlere göre değişimleri ayrıntılı çizelgelerle açıklanmıştır.

## **1.4 Çalışmanın Gerekliliği ve Önemi**

İç mekânların, kullanıcıların fiziksel çevreden beklentileri ve ihtiyaçları doğrultusunda planlı bir şekilde tasarlanması oldukça önemlidir. İnsanların eksikliğinde yaşamlarını sürdüremeyeceği, en temel gereksinimlerinden biri olan hava, iç mekânların fiziksel çevre kalitesinin belirlenmesinde önemli bir etkidir. İç mekânların hava kalitesi üzerine yapılan araştırmalar ve literatür taraması sonucunda çalışmaların bazılarının mekânın fiziksel koşullarının ölçümü, bazılarının ise bu koşulların kullanıcılar üzerindeki etkisi üzerine hazırlandığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda, fiziksel parametrelerden biri olan iç hava kalitesini etkileyen faktörlerin kullanıcıların sağlık durumu, mekân memnuniyeti ve mekân kullanımı üzerinde doğrudan ya da dolaylı olarak belirleyici olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Plastik esaslı maddelerde bulunan uçucu organik bileşik madde (benzen, tolüen, ksilen, etilbenzen vb.) emisyonlarını, sıcaklık, nem, hava akım hızı gibi termal parametreler hem ayrı ayrı, hem de ortamda birlikte var oldukları durumlarda farklı oranlarda etkilemektedir. İç mekân aydınlatmasında kullanılan ışık kaynakları da aldıkları elektrik enerjisinin bir bölümünü ısı enerjisine çevirmekte, mekânın sıcaklığını etkilemektedir. Dolayısıyla, yapay ışık kaynaklarında kullanılan malzemeler ve gazların bu malzemelerden ortaya çıkan ısı ve ışıkla etkileşimi; ortamdaki UOB emisyonları üzerinde artışa neden olabilir. Bu konu hakkında uluslararası literatürde halojen ve flüoresan lambalarla yapılan çalışmalar mevcuttur. Ayrıca LED lambaların içerikleri gereği ampullerinin içerisinde UOB ürettikleri, bunun da ampul içerisinde kararmaya sebep olarak lamba verimliliğini azalttığı bilinmektedir. Günümüzde diğer lamba türlerinin kullanımı giderek azaltmakta, yeni teknolojilerle her geçen gün gelişen LED aydınlatmaların kullanımı ise hızla artmaktadır. Bu nedenle, bu araştırma kapsamında gerçekleştirilecek olan, LED aydınlatma elemanlarıyla aydınlatılmış iç mekânda uçucu organik madde miktarlarının/türlerinin ölçülmesi ve elde edilen verilerin mekân tasarımı bağlamında etkilerinin değerlendirilmesi, mimarlık, iç mimarlık ve tasarım alanına katkı sağlayacak bir çalışma olacaktır. Ulaşılan bulgular fiziksel çevre alanına katkı sağlayacak, iç mekân kalitesinin iyileştirilmesi ve kullanıcı memnuniyetinin sağlanması konusunda önemli bir adım olacaktır. Çalışmada saptanacak olan LED aydınlatma kaynağının iç hava kalitesine etkisi, benzer kentsel, çevresel ve iklimsel karakteristiklere sahip bölgelerde yapılacak olan diğer araştırmalara da kaynak olacak, yapıların iç mimari ve aydınlatma tasarımlarına katkı sağlayacaktır.

## **2.GENEL TANIM VE KAVRAMLAR**

Mimarlıkta mekân kavramı “insanı çevreden belli bir ölçüde ayıran ve içinde eylemlerini sürdürmesine elverişli olan boşluk” olarak ifade edilebilir [1]. Bu bağlamda mekân oluşturmak için, etrafımızı kaplayan geniş doğadan, insan algısının kavrayabileceği bir kısım sınırlandırılır. Dolayısıyla mekânlar insanın onu algılamasına bağlı olarak şekillenir. Ching de benzer bir şekilde mekânın her zaman

kullanıcıyı sarmaladığını, ancak doğası itibari ile biçimsiz olduğunu, ancak sınırlanıp çevrelendikçe ve bir kalıba sokulup biçimsel elemanlar tarafından düzenlendikçe mimari varlık kazandığını belirtmektedir [2]. İnsan duyu organları vasıtasıyla hakkında deneyim sahibi olduğu mekânı kendi kişisel özellikleri ile yorumlayarak bir çıkarım yapar. Mekânın bu algısal anlamını büyük ölçüde etkileyen ve değiştiren bir de fiziksel anlamı vardır. Fiziksel anlam, fiziksel ortamdaki çevresel faktörler vasıtası ile oluşur.

İç mimarlık temelinde düşünüldüğünde, iç mekânların fiziksel öğeleri kullanıcı algısını, memnuniyetini ve sağlığını etkileyen, mekâna egemen tasarım katmanlarıdır. İç mekânın fiziksel çevre kalitesi ya da kısaca iç çevre kalitesi, iç mekândaki sıcaklık, hava, görsellik, ses gibi birincil konuların, kullanıcı odaklı düşünülerek mimari ve teknik anlamda çözümlenmesini kapsar. Çünkü kullanıcı faktörü her zaman mekân oluşumunda belirleyicidir ve mekânın kullanıcıyı maksimum düzeyde tatmin etmesi, onu sıkıntıya sokacak durumlara imkân vermemesi beklenir.

Bu bölümde tez çalışmasının konusunu oluşturan, iç mekânların fiziksel çevre kalitesi, iç hava kalitesi, uçucu organik bileşikler ve yapay aydınlatma kaynakları hakkında genel tanım ve kavramların yanı sıra, mevcut literatürde konu ile ilgili ulaşılan çalışmalara yer verilmiştir.

## **2.1 İç Mekânda Fiziksel Çevre Kalitesi**

Kalite kavramı, insanların hem kendilerinin hem de kurdukları sistemlerin hata yapmasını engelleme, dolayısıyla ulaşabilecekleri kadar mükemmelere ulaşabilme ve rakipleri arasında tercih edilme isteğinin bir sonucudur. Literatürdeki verilere göre kalite kavramı farklı kişiler ve kurumlar tarafından benzer şekillerde tanımlanmıştır. Juran'a göre kalite kullanıma, Crosby'e göre ise şartlara uygunluktur [3]. Amerika ve Avrupada'ki kurumlara ait tanımlamalarda kalite, konu olan ürün ya da hizmetin kullanıcıların gereksinimlerini karşılayabilme yeterliliği kapsamında değerlendirilirken [4], Uzak Doğu'da bu kapsama ekonomiklik de eklenmektedir [5]. Bu tanımlar ışığında kalite kavramının insanların talepte buldukları ihtiyaçlarının karşılanması ve hatta istek ve beklentilerinin ilerisine geçilmesi ile belirlendiği söylenebilir.

Mimari bağlamda düşünüldüğünde de kalite kavramı mimari çevrede ve mimari elemanlarla üretilen ürün, proje, tasarım ya da çevrelerin kullanıcıların ihtiyaç ve beklentilerini karşılmasını, onların kişisel ve karakter özelliklerine uygun olmasını ve kullanım sırasında ve sonrasında gerekli servisleri sağlamasını içermektedir. Mimari kapsamında kullanıcının algıladığı kaliteyi estetik, uygunluk, güvenilirlik, dayanıklılık, performans, sunulan ekstra özellikler ve hizmetler etkilemektedir. Feigenbaum'un üç aşamada açıkladığı ürün kalitesi konseptini mimari alanına da genellemek mümkündür [6]. Buna göre mimari ürün, proje, tasarım ya da çevrelerde kalitenin oluşturulmasında, kullanıcı ihtiyaçlarının ve taleplerinin belirlendiği tasarım aşaması, tasarım aşamasında verilen kararların uygulanarak sonuç ürünün ortaya konulduğu üretim aşaması, teslim sonrası verilen hizmetlerin ve varsa ek taleplerin değerlendirildiği kullanım aşaması gibi süreçlerden geçilmektedir.

Fiziksel çevre, insanların içinde yaşadıkları, varlığını, özelliklerini ve niteliklerini fiziksel olarak, 5 duyuları vasıtasıyla algıladıkları ortamlardır. Fiziksel çevreyi insanların oluşumuna katkıda bulunmadığı, hazır bulduğu ve kendisinin de bir parçası olduğu “doğal çevre”; ve insanın doğal çevrede bulunan kaynakları kullanarak oluşturduğu “yapılı çevre” olarak ikiye ayırmak mümkündür. Fiziksel çevre kalitesi kavramı, fiziksel çevreyi oluşturan temel faktörlerin var olan durumunun yapılı çevreye olan pozitif ya da negatif etkisini belirtmek için kullanılır. Bu faktörler kullanıcıların da mekân içerisindeki davranış ve performanslarını benzer şekillerde etkileyebilir. Kullanıcılar, fiziksel çevre kalitesinin derecesine göre mekânlarda daha az ya da daha sık olarak bulunmak isteyebilirler veya mekânı duruma göre daha verimli kullanabilirler.

Ishikawa (1985) fiziksel çevre kalitesinin “bir yapının ya da ortamın ne dereceye kadar cazip, güvenli, sağlıklı olduğu; hava kalitesi, sıcaklık, nem, aydınlatma ve akustik gibi ölçülebilen öğeler bakımından kullanıma ne kadar uygun olduğu; çevre dostu malzemeler kullanması ve enerji tasarrufu yapabilmesi” ile ilgili bir kavram olduğunu belirtmektedir. [7].

İç çevre kalitesi, mekânın renk, biçim, malzeme, doku gibi bileşenlerinin yanı sıra, yapıların içerisindeki fiziksel koşulları (hava kalitesi, aydınlatma, termal koşullar, akustik koşullar vb.) ve bunların kullanıcılar üzerindeki etkilerini kapsar [8]. İç çevre kalitesinin bileşenleri Şekil 2’de verilmiştir. Yapıların ve iç mekânların iç çevre kalitesi kapsamında belirli standartlar çerçevesinde planlanması ve tasarlanması



gereklidir. Bunun temel sebebi, insanların kendilerini rahat hissedecekleri, insan sağlığını koruyan, yaşam kalitesini artıran, stresi ve potansiyel rahatsızlıkları azaltan ortamlar oluşturmaqdır. Herhangi bir sebeple yapılı evre kullanıcı sağlığını ve refahını olumsuz etkiliyorsa, bu durum yapı sistemindeki bazı tasarımısal veya teknik sorunlara işaret ediyor olabilir, dolayısıyla dikkate alınması gereken ciddi bir konudur. Daha iyi bir i evre kalitesi, mekân kullanıcılarının yaşam koşullarını iyileştirip kolaylaştırırken, binaların maddi değerini de arttırır.



şekil 2: İ evre Kalitesinin Bileşenleri, TC. Mak. Müh.

İ evre kalitesi, yüksek performanslı bir binanın ön şartıdır; ve kullanıcı memnuniyeti ve verimliliğinin de yüksek olmasını sağlar. Kişiden kişiye değişe de, mekan kullanıcılarının büyük bir çoğunluğunun, psikolojik, fiziksel ve sosyal rahatsızlıklarını minimum düzeye indiren ortam, kaliteli bir i evre olarak tanımlanabilir. Bir mekânın konforlu olması, kullanıcıların ortama fiziksel açıdan asgari miktarda enerji sarfederek uyum sağlayabilmesi ve psikolojik açıdan oradan memnun olması olarak kabul edilir. ISO 7730 Standardı'nda konfor şartları, sağlanan koşulların, mekan kullanıcılarının en az % 80'i ve ASHRAE Standart 55'te % 90'ı tarafından kabul edildiği öngörüsüyle belirlenmektedir [9]. Yapılarda iyi bir i evre kalitesi için, dış hava kalitesinin ve taze hava miktarının artırılması, yapı malzemelerinde zararlı maddelerin kullanılmaması, iç ortam havasındaki kimyasal ve kirletici kaynaklarının denetiminin sağlanması, su ısıtıcı cihazların iç mekânlarda kullanılmaması, havadaki nemin kontrolünün yapılması, termal konfor sağlanması, gün ışığı sağlanması, gürültünün önlenmiş olması gibi faktörler önemli olmaktadır [10].

İnsanların yaşamlarının yaklaşık %80-90'ını iç mekânlarda geçirdikleri göz önünde bulundurulursa, iç çevre kalitesinin kullanıcılar için önemi daha net anlaşılabilir [11]. Kullanıcı sağlığı ve bina tasarımı ile ilgili literatürde ve uygulamalı çalışmalarda kullanıcı konforu ve sağlığının yapı özelliklerine büyük ölçüde bağlı olduğu; bu nedenle bu çalışma alanına ilginin arttığı söylenebilir. Çevre Koruma Ajansı'nın (Environmental Protection Agency/EPA) 2000 yılında yayınladığı raporda [12] iç mekân kaynaklı sıkıntıların çalışma performansında önemli azalmalara yol açtığı belirtilmiştir. Yapılarla ilgili var olan düzenlemeler, yönetmelikler, standartlar ile sürdürülebilirlik, ekolojik mimarlık, yeşil bina tasarımı gibi bir takım sistemler de genellikle konunun kullanıcı üzerindeki psikolojik ve mental etkilerini ve bunların sonuçlarını göz ardı etmektedir [13].

## 2.2 İç Hava Kalitesi

Görsel, işitsel, termal koşullar gibi fiziksel çevre parametrelerinden biri olan 'iç hava kalitesi' de çevresel kalite değerlendirmesinde önemli bir unsurdur. İç hava kalitesi kavramı, çeşitli iç mekânlarda iç mekân atmosferinde bulunan kirleticilerin düzeylerini ifade eder.

İç mekânda bulunan havada ne kadar az düzeyde kirletici varsa, hava o kadar yüksek kaliteli ve konfor koşulları bakımından yeterlidir. İç mekân hava kalitesi, havada bulunan uçucu organik ve kimyasal kirleticilerin, kokunun ve termal değerlerin, insan sağlığı ve ortam memnuniyeti için kabul edilebilir sınırlar dâhilinde tutulmasıyla sağlanır. Akal (2013) sağlıklı iç hava kalitesini "içerisinde, bilinen kirleticilerin, tehlikeli konsantrasyonlar düzeylerinde olmadığı ve bu havaya maruz kalan kullanıcıların en az %80'inin, hava kalitesiyle alakalı herhangi bir hoşnutsuzluk hissetmediği hava" olarak tanımlanmaktadır [14].

İç ortam hava kalitesi kavramı, 1970'li yıllarda yaşanan petrol ve enerji krizinin bir sonucu olarak konuşulmaya başlamış ve giderek önem kazanmıştır. Ortaya çıkan finansal sıkıntılardan dolayı pek çok alanda tasarruf yapılması gündeme gelmiştir. Bu durum, iç mekanların hava dolaşımının minimuma indirilmesi suretiyle havalandırma miktarlarının azaltılmasını; özellikle ofislerde dış ortama açılmayan pencerelerin olduğu, gün ışığı almayan mekanların ortaya çıkışını tetiklemiştir. İç hava kalitesinde ortaya çıkan bu sorunlara maliyeti düşük, sağlığa zararlı maddeler içeren yapı

malzemelerinin kullanımının artması da eklenince, yetersiz havalandırılan binalar kullanıcı sağlığını tehdit etmeye başlamıştır [15].

İç mekanların hava kalitesi ısı konfor, havalandırma, ortamdaki kirletici maddeler ve malzemelerden kaynaklanan gaz salınımlarıyla doğrudan ilgilidir. Bu nedenle yapıların havalandırma ve ısıtma sistemlerinin tasarlanması, kullanılan malzemeler ve mobilyalar iç hava kalitesi bakımından oldukça önemlidir [16].

Kapalı alanlarda geçirilen zaman miktarı giderek arttığından konutlar, işyerleri, okullar, ofis ve iş yerleri gibi endüstriyel olmayan ortamların iç mekanlarında son yıllarda havanın temizliği ve kalitesi ile ilgili birtakım kaygılar ortaya çıkmıştır. İçerisinde yaşanan binanın kendisinden kaynaklanan “hasta bina sendromu”, iç ortam hava kalitesini belirleyen etkenlerden bir tanesidir. Hasta bina sendromu “görünürde hiçbir hastalık nedeninin bulunmadığı bir yapıda, kullanıcıların yalnızca içeride geçirdikleri zamanla ilişkili olarak sağlık ve konfor şikâyetleri olması durumu”nu açıklamak için kullanılan bir kavramdır [17]. Kullanıcıların yapı ile ilgili yaşadıkları şikâyetler belirli bir bölge ile sınırlı kalabileceği gibi, tüm yapı dahilinde de görülebilir. Binalarda iç hava kalitesi ile ilgili diğer bir kavram ise, “bina bağlantılı hastalık”tır. Bina bağlantılı hastalıklarda, iç mekânda tespit edilen hastalıkların yapıdaki havalandırma sisteminden kaynaklandığı bellidir. Hasta bina sendromunun belirtileri, mekan kullanıcılarının birdenbire mide bulantısı, baş dönmesi, baş ağrısı, göz, burun ya da boğaz rahatsızlıkları, öksürük, cilt sorunları, konsantrasyon bozuklukları ve bazı kokulara karşı aşırı duyarlılık gibi rahatsızlıkların başlamasıdır. Bu belirtilerden şikâyet eden mekân kullanıcılarının çoğu binayı terk edişlerinden sonra rahatladıklarını belirtilmektedir [18] Bina bağlantılı hastalıkların belirtileri ise, benzer şekilde mekân kullanıcılarının çoğunda görülen nefes almada güçlük, baş ağrısı, öksürük, ateş ve titreme gibi şikâyetlerdir. Bu belirtilerin nedenleri tıbbi anlamda tamamen açıklanamamaktadır. Hasta bina sendromlu yapılarda kullanıcılar, mekânı terk ettikten sonra rahatsızlıklarında azalma görülürken; bina bağlantılı hastalıklarda kullanıcılar mekândan ayrılırlar dahi iyileşmeleri zaman almaktadır. İç ortamlardaki hava kalitesinin yetersiz oluşu, bir başka önemli hastalık olan lejyoner hastalığına da neden olabilmektedir. Bu hastalık, nemli ve sulu ortamlarda üreyen legionella bakterisi tarafından oluşturulan ve ölüme yol açabilen ciddi bir zatürre biçimidir [19]. En sık görülen bulaşma yolu ise yapıların sıhhi tesisat ve havalandırma tesisatıdır. Özellikle

büyük çaplı üretim tesisleri, oteller, hastaneler ve iş merkezleri gibi yapılarda vakit geçirenlerde görülebilmektedir.

Bu bölümde hava kalitesi, iç hava kalitesinin önemi, iç hava kalitesini etkileyen faktörler, iç hava kirleticileri, iç mekânlar için havalandırma standartları ve iç mekânlarda hava kalitesinin nasıl sağlanacağı konuları açıklanmıştır.

### **2.2.1 Hava Kalitesi Kavramı**

Türk Dil Kurumu güncel sözlüğünde hava, “yeryüzünü çevreleyen görünmez haldeki, bütün canlıların solunumuna yarayan, renksiz, kokusuz, akışkan gaz karışımı” olarak tanımlanmaktadır [20]. Deniz seviyesindeki kuru ve temiz havanın içerisinde gaz bileşenleri olarak yaklaşık olarak %21 oksijen, %78 azot, %1 argon ve %0.03 karbondioksit ve %0.069 kripton, ksenon, argon, metan, kükürt dioksit ile değişken miktarlarda su buharı ve sürekli atmosferik kirletici maddeler adı verilen mikroskobik veya daha küçük katı maddeler bulunur [21].

Hava kalitesi, insanların, hayvanların veya bitkilerin sağlıklı kalması için havanın yeterince uygun veya temiz olma derecesidir [22]. Başka bir deyişle, hava kompozisyonunun ne kadar kirletici içerdiğidir. Havadaki başlıca kirleticiler duman, sis, buhar, partikül maddeler, gaz kirleticiler (azot oksitler, kükürt oksitler, karbon monoksit, karbondioksit, metan, ozon ve UOB gibi) ve (kötü) kokulu maddelerdir. Havanın içeriğinde bulunan 0,04 ppm'den (ppm:parts per million/milyonda bir) fazla hidrokarbon buharları, ozon, ve karbon monoksit kirletici özellik gösterir [23]. Hava kirliliği, açık veya kapalı ortamlarda bir veya daha fazla türden kirleticinin insan, bitki ve hayvan yaşamı ile ticari, toplumsal veya kişisel nesnelere ve hayata, çevre kalitesine zarar veren miktarda belli bir sürenin üstünde etki etmesidir [24]. Tüm canlıların her anlamda sağlıkla yaşaması için hem iç hem dış hava kalitesi oldukça önemlidir ve uygun sınırlarda tutulmalıdır. Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği, havanın sağlıklı olması için günlük ortalama sınır değerleri kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) için 125 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub> (10 mikrondan küçük partikül boyutlarının toplamı) için 50 µg/m<sup>3</sup> olarak belirlemiştir [25]. EPA (Çevre Koruma Ajansı) ise ortam hava kalitesi standartlarını uzun süreli maruziyetler için SO<sub>2</sub> konsantrasyonunu 80 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub>'u 50 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub>'i (2.5 mikrondan küçük partiküllerin toplamı) 15 µg/m<sup>3</sup>, nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>) 100 µg/m<sup>3</sup>,

kurşun  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak; kısa süreli maruziyet için ise  $\text{SO}_2$ 'i  $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{PM}_{10}$ 'u  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ 'i  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , karbonmonoksit'i (CO)  $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  şeklinde belirlemiştir [26].

### 2.2.2 İç Hava Kalitesinin Önemi

Bir insan hayat döngüsü boyunca yaklaşık 400-500 milyon litre hava solumaktadır. Dünyada her yıl gerçekleşen toplam ölümlerin (ortalama 55 milyon) yaklaşık 7 milyon'u (%12'si) hava kirliliği kaynaklıdır [27]. Dolayısıyla temiz hava yaşamın devamı için en temel gereksinimdir.

Günümüzde vaktimizin çoğunu geçirdiğimiz iç mekânlarda giderek zararlı kirleticilerin artması, kullanıcıları ve fiziksel çevreyi olumsuz etkilemektedir. Dış hava kirliliğinin, daha fazla zararlı etkisinin olabileceği düşünülse de, son çalışmalar iç hava kirliliğinin de insan sağlığı üzerinde ciddi sonuçları olduğunu ortaya çıkarmıştır. Avrupa Birliğinin, İtalya'nın Ispra kentinde kurmuş olduğu İç Hava Kalitesi Laboratuvarı Indoortron'da yapılan ölçümler, insanların iç mekânlarda, dışarıda olduklarından 2-5 kat arası daha fazla hava kirliliğine maruz kaldıklarını göstermektedir [28]. Bu nedenle, iç mekân hava kalitesi yapıların fiziksel anlamda tasarım ve planlamasında belirleyici bir rol oynamakta, akademik alanda yapılan çalışmalarda da üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 1984 yılında yayınladığı raporda, dünya üzerindeki yapıların %30'undan fazlasında iç hava kalitesiyle ilgili sıkıntıların bulunduğu, bu sıkıntıların kullanıcıların iç mekânda geçirdikleri süreyle ve mekânın ortam özellikleriyle ilgili olduğu belirtilmiştir [29]. İç mekânlarda zararlı solunabilir maddelerin niceliğinin artmasıyla oluşan iç hava kirliliği, Dünya Bankası'nın 1992 yılında yayınladığı 'Dünya Gelişim Raporu'nda gelişmiş ülkelerin en kritik dört çevre sorunundan biri olarak tanımlanmıştır [30]. İç mekânlarda hava kirliliğine maruz kalınması, kullanıcılar üzerinde birtakım rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Bu rahatsızlıkların başında çeşitli alerjik reaksiyonlar, astım, ateş, mikotoksin/endotoksin zehirlenmeleri, baş, boğaz, göğüs ağrıları, psikolojik sıkıntılar ve ileri seviye maruziyetlerde kanser gelmektedir [31]. İç hava kirliliğinin nedenleri yetersiz havalandırma, iç veya dış ortamdan kaynaklanan kimyasal kirleticiler, biyolojik kirleticiler, tozlar, tanecikler ve çeşitli lifli maddeler olabilir. İç hava kalitesini düşürerek kirliliğe neden olan maddelerin konsantrasyonu ve çeşitliliği, iç mekânın

fiziksel özelliklerine, kullanılan malzemelere ve mekân kullanıcıların günlük faaliyet ve alışkanlıklarına göre değişebilmektedir. Ayrıca kirlilik oranını, dış ortamdan giren kirleticiler ile iç mekândaki sıcaklık, nem vb. parametreler de etkilemektedir.

Fiziksel etkilerinin yanı sıra, iç hava kalitesinin konfor ve performans üzerine etkilerine dair çalışmalar da mevcuttur. Chatzidiakoui, Mumovic ve Dockrell tarafından farklı ülkelerdeki 6-16 yaş aralığındaki öğrenciler üzerine yapılan çalışmaların derlendiği makalede hava sıcaklığı, havalandırma oranı ve CO<sub>2</sub> miktarının bilişsel performans üzerinde güçlü etkileri olduğu saptanmıştır [32]. İç hava kalitesinin insanlar üzerindeki etkilerinin derlendiği başka bir çalışmada ise, iç havadaki kirliliğin çalışma performansı ve başarı üzerindeki etkilerinin yüksek olduğuna değinilmiştir [33]. Çalışmada ayrıca refah seviyesi yükselen orta sınıfın benimsediği sosyal trendler, kent merkezlerinde giderek artan nüfus yoğunluğu, yeni sentetik materyallerin kullanımı vb. durumlar, kullanıcıların iç hava kirliliğine daha fazla maruz kalmasına yol açtığı, ancak iklim değişikliğine karşı alınan önlemlerin, etkin enerji kullanımı, tasarrufu ve sürdürülebilirliği ile ilgili stratejilerin iç ortamların hava kirliliğini azaltmada henüz pozitif bir etki göstermediği belirtilmiştir. Yine de hava dağıtımında, hava temizlemede, iç ortamdaki cihazların / sistemlerin modülerleştirilmesi ve geleneksel performans göstergeleri ile iç mekân hava kalitesini optimize eden algoritmaları içeren akıllı teknolojiler ve algılama sistemlerinden yararlanılan yenilikler, bütünsel bir çözüm için önemli ilerlemeler sağlamaktadır. Kullanıcı entegrasyonu bu tarz inovasyonlarla birlikte düşünüldüğünde, toplum temelli ölçütlerin ve mevcut tanımların ötesinde bireylerin ihtiyaç duyduğu ve tercih ettiği biçimde bir iç hava kalitesine ulaşmak için faydalı olacaktır.

### **2.2.3 İç Hava Kalitesini Etkileyen Faktörler**

İç mekânların hava kalitesini etkileyen pek çok faktör vardır. Bu faktörlerin başında nem, sıcaklık, hava akım hızı, termal radyasyon gibi fiziksel durumlar, doğal ve mekanik iç ve dış ortam hava değiştiricileri, dış ortam kaynakları, kullanılan yapı malzemeleri, oda spreylere, temizlik ürünleri, mobilyalar, elektronik veya mekanik eşyalar ile binada yaşayan canlılar gelmektedir.

*Nem:* Nem, özellikle iklimlendirme sistemlerinin bulunduğu mekânlarda hava kalitesini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Hava içerisindeki nem %20 ya da

daha düşük seviyede ise, bu oran yetersizdir ve kullanıcılarda bazı sıkıntılara yol açabilir. Düşük bağıl nem, ciltte, burunda ve boğazda kurumaya neden olarak, birtakım sağlığa zararlı partiküllerin solunum kanalıyla vücuda girmesine sebebiyet verebilir. Mekânların nem oranını artırmak için buhar tercih edilmesi mikrobik bulaştırmacılık riskini azaltır. Suyla nemlendirme nispeten daha risklidir; sulu ortamdaki yüksek bağıl nem oranı çeşitli organizmaların çoğalmasına neden olabilir. Bu nedenle bağıl nem oranı %40 ile %60 arasında tutulmalıdır. Termal konforun sağlanması için kullanılan klimalardaki nem alma işlemi soğutucu serpantinlerle yapılır. Serpantinlerde mikrop oluşumunu engellemek için de gerekli bakımların yapılması ve bazı teknik tedbirlerinin alınması gerekir. Nemlendirme ile nem alma sistemleri zararlı organizmaların oluşumunu önlemek için temiz tutulmalıdır. Ortam havasındaki bağıl nem oranının artması, elektrostatik birikimi azaltır; bağıl nem oranının %45'lerde seyretmesi durumunda, birçok malzemedeki elektrostatik etki azalmaktadır [34]. İç mekân havasında nemin hızla değişimi özellikle elektronik cihazları olumsuz yönde etkileyebilir. Genellikle, bilgisayar, yazıcı, tarayıcı gibi aletlerin sıklıkla kullanıldığı ofislerde, iç ortam havası için önerilen bağıl nem oranı %40-60 arasındadır.

*Sıcaklık:* İç mekânların sıcaklık değerleri, termal konforun yanı sıra iç hava kalitesi açısından da en önemli parametrelerindedir. İnsanlar belirli sıcaklık aralıklarında kendilerini rahat hissederler. Bu aralığın dışında kalan sıcak ya da soğuk hava kullanıcılara rahatsızlık verir. Özellikle yüksek sıcaklıkta ve düşük nemli havalarda vücut hızla sıvı kaybettiğinden sıkıntı hissedilerek sık sık su içme ihtiyacı duyulabilir. Yaz koşullarında iç mekânların sıcaklık değerleri genellikle dış hava sıcaklığına göre ayarlanır. Kış koşullarında ise iç havanın sıcaklığı mekânın kullanım amacına, tasarımına ve fonksiyonuna göre belirlenmektedir. Literatürde iç mekânlar için tavsiye edilen hava sıcaklığı farklı ortamlar için 15-26°C arasındadır [35].

*Hava Akım Hızı:* İç mekânlarda oluşan kirli havanın tahliye edilerek, içeriye temiz havanın alınması için uygun havalandırmanın sağlanması gerekir. Havalandırma sistemi ile mekânda makul bir hava akımı oluşturulur. Hava akımının belirli bir sınırı aşması durumunda kullanıcıları rahatsız eden ceryanlar oluşabilir. İç mekândaki ideal hava akımı yaklaşık 150 mm/sn'dir; bu değer 510 mm/sn seviyesine çıktığında hava esintili, 100 mm/sn seviyesine düştüğünde ise havasız olarak algılanır [36]. Ancak ortam havasının sıcaklığı arttıkça hava akımı kontrollü bir şekilde artırılabilir.

*Termal Radyasyon:* Termal radyasyon yani radyan ısı, emici bir yüzeye çarpmadıkça, ısı meydana getirmeyen elektromanyetik bir enerjidir [37]. Çeşitli ısı kaynaklarından ışıma yolu ile yayılır. İç mekândaki hava akımları radyan ısıyı etkilememektedir. Eğer mekânın fonksiyonu gereği sıcak yüzeyler varsa ve termal radyasyon oluşuyorsa, kullanıcılarla kaynak arasına ısı geçirmeyen ve ısıyı emmeyen yüzeyler kullanılabilir.

*Havalandırma:* İç mekânları çok sayıda kullanıcının kullanması, üretim mekânlarını ise gerçekleştirilen uygulamalar ve işlemler sebebiyle kirlenen ortam havası sürekli ya da belirli zamanlarda yenilenmelidir. Havalandırma sistemleri iç mekân havasının hem sıcaklık hem bağıl nem değerlerini uzun süreler boyunca, dış hava şartlarından bağımsız olarak sabit tutmayı amaçlar. Havalandırma yöntemleri, hava hareketini kaynağına göre doğal, doğal-mekanik ve mekanik havalandırma olmak üzere üçe ayrılabilir. Doğal havalandırma yönteminde hava hareketi ve mekândaki sirkülasyonu sıcaklık farkına ve rüzgâr etkisine tabidir. Bina açıklıklarından (kapı, pencere vb.) ya da doğal havalandırma için açılan bölümlerden sağlanan hava akımı ile iç mekânlarda uygun sıcaklık değerleri sağlanarak havadaki kirletici maddeler ortamdaki çıkarılabilir. Doğal-mekanik (hibrit) havalandırma yöntemi mekanik girişli doğal çıkışlı (vantilatörlü) ve doğal girişli mekanik çıkışlı (aspiratörlü) olmak üzere ikiye ayrılır [38]. Vantilatörlü sistemler, iç mekândaki kirlenen havanın mekanik egzoz yöntemiyle uzaklaştırılması, temiz havanın pencere ve kapı derzlerinden sızıntı (enfiltrasyon) ile girmesi mantığına dayanır [39]. Böylece emiş yapılan iç mekânlar içerisinde negatif basınç oluşturulur. Aspiratörlü sistemlerde ise mekanik beslemeyle temiz hava girişi yapılırken, hava çıkışı doğal yöntemlerle gerçekleştirilir. Bu yöntemde yapılan hava dağılımı uygun olmayabilir. Bu nedenle, besleme fanı ya da kanal girişine filtre yerleştirilerek mekâna giren temiz havanın, kirleticilerin bir bölümünden temizlenmesi sağlanır. Bu yöntemde havalandırılan ortamda pozitif basınç oluşacağından, diğer mekânlardan kirletici maddelerin ortam havasına girmesi de engellenmiş olur [40]. Tamamen mekanik havalandırma ise temiz havanın mekanik yöntemlerle mekâna verildiği, kirli havanın da mekanik olarak emildiği sistemdir. Sağlanan havanın dağılımı ve mekân içindeki sirkülasyonu tasarıma bağlı olarak en etkin şekilde yapılabilir. Bu havalandırma sisteminin enerji masrafları diğer yöntemlere göre fazladır.

*Dış Ortam Havası:* Normal olarak dış havada, farklı boyut ve sayılarda bitki tozları, virüs ve bakteriler, ölü ya da canlı mikroorganizmalar, erozyon sebebiyle ortaya çıkan



partiküller, buharlaşan sulardan çıkan birtakım maddeler bulunmaktadır [41]. Dış havada kirleticileri, partikül ya da gaz, zehirli ya da zehirsiz, organik ya da inorganik, gözle görülebilir ya da görülemez halde bulunabilir. Ayrıca bu maddeler katı (toz, metal buharı, partiküllü dumanlar vb.), sıvı (az yoğun sisler, sıvı damlacıklı dumanlar vb.) ya da gaz (buhar ve gazlar) halinde bulunabilir. İş yeri ve üretim tesislerinin hijyen durumları ile ilgili çalışan araştırmacılar, genellikle akciğerlerde tutunabilme olasılığı yüksek olan 2 µm (mikrometre) çapından küçük partiküller ile ilgili araştırmalar yaparlar. Yaklaşık 8 µm çapından büyük olan tanecikler üst solunum yolları tarafından tutulduğundan akciğere inemezler. Ara boyutta olanlar ise genellikle akciğere indikten sonra orada temizlenir ya da öksürükle vücuttan atılır. Solunan havadaki taneciklerin yaklaşık olarak %50'si ya da azı solunum yollarında çöker. [42].

*Yapı Malzemeleri:* Yapıların inşasında ve donatımında kullanılan yapı malzemeleri, içerikleri nedeniyle mekânların hava kalitesini etkilemektedir. Özellikle iç mekânlarda kullanılan, boya, vernik, cila, ahşap kaplama, parke, halı, perde, borular, yapıştırıcı içeren malzemeler, plastik esaslı malzemeler vb. çeşitli kimyasal emisyonlara sebep olabilirler. Emisyon miktarları malzemenin kullanıldığı iç mekânın sıcaklık, nem ve havalandırma düzeyine göre değişmektedir. Ayrıca iç mekânlardaki baca, şömine, gaz lambası gibi elemanlar ile soba tarzı ısıtıcılar da hava kalitesini düşürmektedir.

*Mobilyalar:* Mobilyalar önemli formaldehit ve uçucu organik bileşik kaynaklarıdır. Mobilyalardan açığa çıkan bu maddeler plastik, sentetik kumaş, işlem görmüş ahşap ve yapay ahşap gibi malzemelerden kaynaklıdır. Yeni üretilen mobilyalar kapalı ortama yerleştirildiğinde ortam sıcaklığı koşullarına bağlı olarak üretimi sırasında kullanılan vernik ve yapıştırıcı vb. solventler nedeniyle de sürekli iç ortama uçucu organik bileşen salımı olacaktır. Bu emisyon oluşumu zamanla azalma gösterecektir.

*Elektronik Ekipmanlar:* Özellikle ofis gibi iç mekânlarda çok fazla ve çeşitli elektronik donanım kullanılması sebebiyle hava kalitesi düşmektedir. Bilgisayar, tarayıcı, yazıcı, fotokopi ve faks makinesi gibi cihazlar ozon ve uçucu organik bileşik emisyonlarına sebep olabilirler [43]. Eğer bu cihazların yoğun olarak kullanıldığı iç mekânlarda uygun havalandırma şartları bulunmuyorsa, bu maddeler kullanıcı sağlığına zarar verebilirler.

*Evsel Ürünler:* İç mekânlarda kullanılan her türlü temizlik malzemesi, yağ çözücü, ilaçlama ürünleri, yumuşatıcı, oda kokusu, bakım ürünleri vb. katı, sprey ya da sıvı

ürünler çok sayıda kimyasal içermektedir. Özellikle organik kimyasal içeren bu ürünlerden bazıları oldukça zehirliyen, bazılarının ise içeriğinin sağlığa etkileri tam olarak bilinmemektedir. Bu ürünler doğal maruziyet süresine bağlı olarak göz ve solunum yolu tahrişi, baş ağrısı, baş dönmesi, görme bozukluğu ya da mental bulanıklıklara neden olabilirler. İç mekânlarda gerçekleştirilen çeşitli hobi aktiviteleri ve bunlar için kullanılan araç, gereç ve malzemeler de kimyasal madde yayarak hava kirliliğine etki edebilmektedir [44].

*Binada Yaşayan Canlılar:* Mekân kullanıcıların alışkanlıkları, hobileri ve mekânda gerçekleştirilen aktiviteler ve bu esnada kullanılan malzemeler hava kalitesini etkilemektedir. Aynı zamanda mekânda yaşayan hayvan ya da bitkiler de farklı şekillerde hava kalitesini etkileyebilir. İnsanlardan kaynaklı iç hava kirliliğinin en önemli sebebi sigara ve benzeri tüketimler olarak gösterilebilir. Canlılar yaşamlarını sürdürüebilmek için solunum yaparken, havada oksijen azalması ve karbondioksit artışıyla birlikte iç hava kalitesi düşmektedir, ancak bu sorun düzenli bir havalandırma sistemi ile çözülebilir. Kullanıcıların mekân içindeki aktiviteleri ve hareketleri nedeniyle, mekânın çeşitli bölümlerinde yer alan potansiyel kirleticiler mekâna yayılarak hava kalitesini azaltabilir.

İç mekân havasında bu kirleticilerin görülme oranı, mekânın türüne, kullanım amacına, içerisinde gerçekleştirilen aktiviteye, kullanılan malzemeye, kullanıcıların alışkanlıklarına ve yapının özelliğine bağlı olarak değişir. Havada kirleticilerin bulunma oranına ve kullanıcıların bu havayı soluma süresine göre kirleticilerin kullanıcılar üzerindeki etkisi de değişmektedir. İç mekanlar pek çok katmana sahip kompleks yapılar olduğundan, bu mekanların hava kalitesi de kirleticilerin türlerine, düzeylerine ve etki oranlarına göre sürekli değişen, karmaşık faktörlerin etkileşiminden oluşur.

#### **2.2.4 İç Hava Kirleticileri**

İç hava kirleticilerinin tespit edilmesi ve kirleticilere karşı alınan önlemler mekân kullanıcıları açısından oldukça önemlidir. İç mekânlarda pek çok hava kirleticisi bulunmaktadır. Bunlar, yapıların bulunduğu çevreye, yapıların kendisine, yapı içerisindeki farklı birimlere göre değişiklik göstermektedir. Burada, kullanılan malzemeler, binada bulunan kullanıcılar ve onların aktiviteleri etkili olmaktadır. İç

hava kirleticilerinin olumsuz etkileri, mekânda geçirilen süreler göre değişebilmektedir. İç mekân havasında karşılaşılabilecek başlıca kirleticiler ve potansiyel kaynakları aşağıda belirtilmiştir:

*Uçucu Organik Bileşikler:* İç ortam havasında çok sayıda uçucu organik bileşik vardır, bazen bunların konsantrasyonları zararlı olabilir. Çok yaygın olarak bilinen uçucu organik bileşikler; benzen, toluen, etilbenzen, ksilen, stiren, formaldehit, metilklorit, trikloretilen ve tetrakloretileni kapsar. Plastik esaslı malzeme içeren ürünler, spreylere (saç spreylere, deodorant, parfüm vb.), temizlik solventleri, mobilya cilaları, işlem görmüş ahşaplar, yapay ahşap kaplamalar, kuru temizlenmiş elbiseler, hobi ve sanat malzemeleri, halı ve ip boyaları, tutkal, yapıştırıcı ve sızdırmazlık malzemeleri, boyalar, vernikler, yapıştırıcı bantlar, ahşap koruyucular, böcek ilaçları, hava tazeleyici kokular, pestisitler, depolanmış yakıtlar, otomotiv ürünleri, kirlenmiş sular, sentetik kumaşlar, yalıtım malzemeleri başlıca uçucu organik bileşik kaynaklarıdır. Bu konuya daha detaylı olarak ilerleyen başlıklarda değinilecektir.

*Formaldehit:* Formaldehit, yapı malzemeleri, endüstriyel ve evsel ürünlerin üretiminde kullanılan oldukça önemli bir kimyasaldır. Aynı zamanda yanma gibi bazı doğal süreçlerin sonucu olarak meydana gelir. Renksiz, yoğun kokulu bir çeşit gaz olduğundan uzun süre maruz kalındığında canlılarda bir takım ciddi rahatsızlıklara neden olabilir. Kontra plaklar, mobilyalar, çeşitli yalıtım malzemeleri ve katkıları, kumaşlar ve halılar başlıca formaldehit kaynaklarıdır.

*Pestisitler:* Pestisitler mantar, bakteri gibi organizmalarla, sinek ve kemirici hayvan cinslerini etkisiz hale getirmek ya da kontrol etmek için kullanılan kimyasal maddelerdir. Pestisitlerin çoğu zehirlidir ve uçucu organik bileşikler içerir. Sağlık üzerindeki etkileri maruz kalınan pestisit türüne, uygulanan yere, alınan miktara ve maruz kalan kişinin bünyesinin hassasiyetine göre değişebilir.

*Kurşun:* Kurşun oldukça tehlikeli, zehirli bir maddedir. Kurşun metaline kirlenmiş toprak, toz ve hava gibi çeşitli kaynaklardan maruz kalınabilir. Ayrıca kurşun bazı boyaların içeriğinde de yer aldığından tehlike teşkil etmektedir. Özellikle beyin, sinir sistemi, böbreklere ve kan hücrelerine zarar verme riski yüksektir.

*Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)/Karbon monoksit (CO)/Azot dioksit (NO<sub>2</sub>):* Araçların egzozları, bakımsız ve hatalı çalıştırılan yağ ve gaz kazanları, su ısıtıcıları, sobalar, gazlı sobalar, kerosen ısıtıcılar, ocaklar ve tütün ürünleri başlıca kaynaklardır. CO<sub>2</sub> karbonun tam

yanma ürünü olup; tatsız, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Dış ortamda bulunan CO<sub>2</sub> miktarı 300-500 ppm arasında iken, iç ortamda bu değerin çoğunlukla 1000 ppm'den daha büyük olduğu görülmektedir. ASHRAE 62.1-2013'de iç-dış ortamlar arasında CO<sub>2</sub> konsantrasyon farkının 700 ppm'i geçmemesi önerilmektedir. Buna karşın yapılan araştırmalarda CO<sub>2</sub> seviyesi 1000 ppm düzeyine geldiğinde o ortamda yaşayanlarda yakınmaların başladığı bildirilmektedir. Baş ağrısı, iştahsızlık, göz, burun ve boğaz irritasyonu, üst solunum yolu irritasyon belirtileri ortaya çıkmaktadır [45, 46]. CO'de benzer şekilde renksiz ve kokusuzdur. Karbonun eksik yanmasıyla ortaya çıkar. CO gazı ortam havasında yüksek değerlerde olduğunda kandaki O<sub>2</sub>'in yerini alır ve CO zehirlenmesi oluşur. Düşük dozlara maruz kalındığında temiz havaya çıkmak kandaki O<sub>2</sub> nin geri kazanılması sağlanmış olur. Yüksek dozlara maruz kalındığında ise CO zehirlenmesine neden olacağından öldürücüdür [45, 46]. Ortaya çıkma potansiyelinin olduğu mekânlarda mutlaka uygun havalandırma yapılarak bu gazlar kontrol edilmelidir. NO<sub>2</sub> canlılar için oldukça zararlı, yüksek konsantrasyonlarda zehirli bir gazdır. Gözlerde, boğazda, sinir sisteminde, üst solunum yolları ve akciğerlerde tahrişlere ve fonksiyon bozulmalarına neden olabilir. NO<sub>2</sub> çoğunlukla yanma ortamındaki yakıcı gaz olan hava içindeki N<sub>2</sub> gazının yüksek sıcaklıkta parçalanması ile oluşur. Çoğunlukla dış ortam hava kirleticisi olarak değerlendirilir ve en önemli kaynağı trafiktir, ortalama şehir atmosferinde 30-100 µg/m<sup>3</sup> seviyelerinde bulunur. İç ortam havasında çoğunlukla dış ortam havalandırması kaynak olarak görülür.

*Solunabilir Parçacıklar:* Sobalar, ocaklar, gaz ısıtıcıları, kerosen ısıtıcılar ve tütün ürünleri gibi maddeler gazların yanı sıra, insanların soluyabileceği ve akciğerlere kaçabilecek boyutlarda parçacıklar yayarlar. Solunabilir partikül madde boyutu 10 mikron ve altıdır. İnsan sağlığına esas zarar veren ve dolaşım ve solunum yolu hastalıklarının en önemli etkeni ise 2.5 mikron ve altındaki partiküllerdir. Nano boyutlu partiküller solunum sisteminin en dip noktalarına kadar ulaşırlar ve içeriğindeki toksik bileşikler nedeni ile önemli sağlık sorunlarına neden olabilirler. İç mekânlarda çoğunlukla materyallerden oluşan kaba boyutlu partikül zerrelere yanında dış ortamdan gelen çoğunlukla yanma veya gaz (SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> gibi) yoğunlaşması sonucu oluşmuş ince partiküller olarak bulunurlar.

*Çevresel Tütün Dumanı:* Çevresel tütün dumanı, yanan sigaradan çıkan duman, sigara içen kişinin nefesiyle dışarı çıkan duman ile sigaranın ucunun yanmasından oluşan

dumanın karışımından oluşur. Formaldehit, nikotin, arsenik, benzen, vinil klorür, amonyak, karbon monoksit, kadmiyum, aseton gibi yüzlerce farklı maddeden oluşan karmaşık yapıda bir dumandır ve kanser, kalp hastalıkları, bronşit, amfizem gibi ciddi rahatsızlıklara neden olabilir. Tütün dumanına hem sigara içenler hem de sigara içilen mekanlarda bulunarak o havayı soluyanlar maruz kalır.

*Biyolojik Kirleticiler:* İç havada bulunan biyolojik kirleticiler bitkiler, hayvanlar, insanlar, bazı ev eşyaları, ev tozları, ıslak veya nemli malzemeler, polenler, bakteriler, küfler, virüsler, böcekler, durgun sular vb. kaynaklanabilir. Özellikle iç mekân havası nemli ve ılık ise, bu kirleticilerin yayılması daha kolaydır, bu nedenle ortam havasındaki bağıl nem seviyesi kontrol edilmelidir. Bu tür kirleticiler öksürük, nefes darlığı, uyuşukluk, göz irritasyonu gibi problemlere neden olabilir.

*Asbest:* Asbest yüksek gerilme dayanımı ve yanma direncine sahip bir grup doğal silikatın (silikat, oksijen ve silisyum içeren bir mineral) genel adıdır. Asbest endüstrinin pek çok alanında kullanılır. Tekstil, çimento, inşaat malzemeleri, kimya (boya, dolgu, sentetik reçine, bazı plastikler, kauçuk vb.), yalıtım malzemeleri, kâğıt üretimi, gemi ve tren yapımı gibi sektörler asbestin en çok kullanıldığı, dolayısıyla bu maddeye en çok maruz kalınan yerlerdir.

*Radon:* Radon, yapılaşmanın çok görüldüğü, inşaatların fazla yapıldığı zeminlerde (kaya, toprak vb.) görülen uranyumdur. Uranyum doğal yollarla parçalandığında radyoaktif bir asal gaz olan radon salınımı açığa çıkar. Bu gaz iç mekanlara kirli ve çatlamış duvar ve zeminlerden, drenajlardan, boşluklardan, toprak ve kaya esaslı yapı malzemelerinden, yer altı sularından girebilir. Özellikle akciğer kanseri için tetikleyici, oldukça zararlı bir maddedir.

### **2.2.5 İç Mekânlar için Havalandırma Standartları**

Tredgold'un 1836'da insanın metabolik taze hava ihtiyacını belirlemesinden itibaren, kullanıcıların iç mekânlarda rahatsızlık hissetmemesi için kişi başına düşen gerekli taze hava miktarının tespit edilmesine ilişkin çalışmalar yapılmıştır [47]. Binalarda uygulanmak üzere ilk standartlar ise 1800'lerin sonuna gelindiğinde Amerikan Isıtma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği (ASHVE) tarafından oluşturulmuştur [48].

1970'lere kadar enerji ve doğal kaynaklara erişim kolay ve ucuz olduğundan, yapılarla ilgili enerji tasarrufuna gidilmemiş, havalandırma ve sızıntı yoluyla binaya giren dış havanın kontrolü ve iç hava kalitesi gibi konular gündemde tutulmamıştır. Ancak 1973 petrol krizinden sonra yükselen fiyatlar enerji hususunda kontrollü gidilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Bu yıllarda, havalandırma ve iç hava kalitesi ile ilgili ilk standart, Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) tarafından yayınlanmıştır (Standart 62). Sonraki yıllarda bu standart üzerinde koşullara göre bazı değişiklikler yapılmıştır. 1981 senesinde yapılan değişiklikle, binalardaki taze hava ihtiyacı sigara kullanan ve kullanmayanlar için ayrı ayrı belirlendi; ancak sigara içenlerin yaşadığı ya da çalıştığı mekânlarda havalandırma maliyeti daha fazla öngörüldüğünden, bu değişiklik yönetmeliklere girmemiştir [49]. 1989 senesindeki revizde ise, binalardaki kabul edilebilir taze havanın, mekânda bulunan insanların %80'inin memnuniyetsizlik belirtmeyeceği miktarda olması kabul edilmiştir. Yani memnuniyetsizlik oranı, mekândaki insanların %20'sine kadar çıkabilmesi normal karşılanmıştır [50].

ASHRAE standart 62 daha çok kişi başına düşen temiz hava ihtiyacıyla ve mekânların havalandırma hesaplarını yaparken dış havanın temiz olduğu varsayımı ile yola çıkmaktadır. ISO'nun (Uluslararası Standartlar Teşkilatı) ise konuya bakış açısı biraz farklıdır; öncelikle var olan ortam kalite sınırlarına ayırmakta bunlara göre havalanma miktarını belirlemektedir [51]. ISO'nun konuyla ilgili standardı 16814:2008 numaralı "İç Hava Kalitesi-İnsan Yaşamı için İç Hava Kalitesinin Belirlenmesi"dir. Türk Standartları Enstitüsü de konuyla ilgili yaklaşım olarak ISO'yu temel almaktadır (ilgili standart TSE TS CR 1752). Buna göre, iç mekân hava kalitesinin belirlenmesinde dış hava kalitesinin de kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Dış hava kirli ise önce bu hava uygun havalandırma sistemlerinde filtrasyon ile temizlenmelidir. Daha sonra havalandırılacak iç mekân kalite standartlarına ayrılmalıdır; A sınıfı en yüksek seviye, B sınıfı orta seviye, C sınıfı minimumda makul seviyeye karşılık gelmektedir. Ortamın ihtiyacına göre havalandırma veya iklimlendirme sistemi tasarlanmalıdır. Tasarımcı, sistemin tasarımını gerçekleştirmek için şartları belirlemeli ve bina içi ortam özelliklerini de kapsayan kabuller yapmalıdır. Bu kabuller yapılırken kullanıcı sayısı, mobilyalar, malzemeler, cihazlar, tütün dumanı vb. faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. İç mekânda hava kirleticileri yükselirse, mekâna sağlanan taze hava miktarı artırılıp, içerideki karışım hava azaltılmalıdır.

## 2.2.6 İç Mekânlarda Hava Kalitesinin Sağlanması

İç hava kalitesi, kirletici kaynağının kontrolü, havadaki kirleticilerin temizlenmesi ve iç mekân havasında bulunan kirletici konsantrasyonlarının daha düşük konsantrasyonlu dış hava kullanılarak azaltılması metotlarından bir veya birkaçının birlikte kullanılmasıyla sağlanabilir.

İlk yöntem olan kaynak kontrolünün en etkili yöntem olduğu söylenebilir. Çeşitli kaynak kontrolü teknikleri mevcuttur. En yaygın olarak kullanılanı ise kirleticiye sebep olan işlem, malzeme ve ürünlerin kontrol altına alınmasıdır. Örnek olarak, iç mekânda sigara içilmesinin önüne geçilmesi, yapı malzemesi olarak havaya minimum düzeyde tehlikeli madde yayabilecek ürünlerin tercih edilmesi, nispeten doğal içerikli kimyasal ve evsel ürünlerin kullanılması verilebilir. Bir diğer teknik ise, belirli bir kaynaktan üretilen kirleticiler, genel mekânın havasına dahil olmadan lokal olarak havalandırmayla dışarı atılmasıdır. Özellikle konut mutfaklarında, profesyonel mutfaklarda, soba, fırın, şömine gibi yanmanın gerçekleştiği mekanlarda, aspiratör benzeri cihazlarla iç ve dış hava arasındaki basınç ayarlanarak gerekli havalandırma sağlanmalıdır.

İç mekânlarda hava kalitesinin sağlanması için ikinci yöntem kirleticilerin temizlenmesidir. Bu durum ya kirletici gazların uzaklaştırılması ya da partiküllerin uzaklaştırılması ile gerçekleşir. Gazların uzaklaştırılması çoğunlukla adsorpsiyon tekniği kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemde aktif karbon adsorbantı kullanılır ve gaz kirleticiler aktif karbon gözeneklerinde fiziksel bağlanma ile tutulur [52]. Buradaki en belirleyici etmen havadaki kirletici konsantrasyonunun miktarıdır. Havadaki partikül kirleticilerin uzaklaştırılması ise en etkin olarak filtreler ile sağlanır. Filtre malzemesi gözenek yapısına bağlı olmakla birlikte çoğunlukla kullanılan filtre sistemleri kaba partikülleri (>2.5 mikrometre) tutmakta etkilidir. Daha ince tozları tutmak için Hepafiltreler tercih edilmektedir. Ancak yinede iç mekanlarda nanopartiküllerin tutulması için filtrelemenin etkili olduğu söylenemez.

Üçüncü yöntem ise iç mekânlarda havalandırma ile kirletici konsantrasyonlarının azaltılmasıdır. İç havada bulunan kirleticilerin konsantrasyonları daha düşük konsantrasyona sahip bir havayla seyreltilebilir ve genellikle bunun için dış ortam havası kullanılır. Ancak, dışarının havası yeteri kadar temiz değilse iç mekâna verilmeden önce temizlenmesi gerekir.

## 2.3 Uçucu Organik Bileşikler (UOB)

Uçucu organik bileşikler yapılarında karbon ve hidrojen bulunan genellikle renksiz ve kokusuz, sıvı veya gaz formda bulunan, normal şartlar altında çok çabuk buharlaşabilen kimyasal maddelerdir. Bazı uçucu organik bileşiklerin karbon atomuna brom, flor, klor ve kükürt atomlarından biri veya birkaçı bağlanabilir [53]. En çok bilinenleri benzen, ksilen, etilbenzen, toluen, etilen, diklorobenzen, stirendir. Uçucu organik bileşiklerin kaynama noktaları, 35 ile 260 °C arası değişmektedir. Bazı temel UOB'lerin kaynama noktaları ve buhar basınçları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu maddeler düşük kaynama noktaları nedeniyle iç ortam havasında kolayca buharlaşabilirler.

**Çizelge 1:** Bazı UOB'lerin kaynama noktaları ve buhar basınçları, kaynak: Agency for Toxic Substances and Registry, 1997.

Uçucu Organik Bileşik	Kaynama Noktası (°C)	Buhar Basıncı (mmHg)
Benzen	80.1	95.2 (25°C)
Toluen	111	22 (20°C)
Kloroform	62	160 (20°C)
o-ksilen	144	7(20°C)
1,1,1 Trikloroetan	74.1	10 (20°C)
1,2,4- Trimetilbenzen	169	2.03 (25°C)
p-ksilen	138	9 (20°C)
1,2,4- Trimetilbenzen	136	10 (20°C)
Stiren	145	5 (20°C)
Karbon tetra klorür	76.8	91.3 (20°C)
Dikloro benzen	174	10 (55°C)
Metil klorür	39.8	350 (20°C)
Etilen dibromür	131.5	11.0 (25°C)

Sıcaklık, nem ve havalandırma oranı gibi etkenler uçucu organik bileşiklerin iç mekân havasındaki konsantrasyonunu etkileyen önemli faktörlerdir [54]. Yapı malzemelerinden kaynaklanan uçucu organik bileşik maruziyetini minimuma indirmek için iç mekânlarda sıcaklığın 17-28°C aralığında tutulması önerilmektedir; ayrıca havalandırma oranı arttıkça iç mekândaki uçucu organik konsantrasyonları düşmektedir [55].



İç ortam havasında bulunan uçucu organik bileşikler, plastiklerden, boyalardan, yapıştırıcı malzemelerden, yalıtım malzemelerinden, oda kokularından, kişisel bakım ürünlerinden, temizlik malzemelerinden, sigara dumanından, döşeme ve kumaşlardan, yapı malzemelerinden, mobilyalardan, plastik içeren herhangi bir eşya veya üründen ya da yoğun trafiğe sahip bir dış mekândan kaynaklı olabilir. Yapılan araştırmalarda bu malzeme ve ürünlerin kullanıldığı binalarda uçucu organik bileşiklerine sıkça rastlanıldığı belirtilmiştir [56]. Bunların yanı sıra ofis mekânlarında kullanılan yazıcı, fotokopi makinesi vb. cihazlar da iç hava kalitesini etkileyen önemli uçucu organik bileşik kaynaklarıdır. Yapılan araştırmalarda, fotokopi çekme eylemi sırasında, havaya ozon gazıyla birlikte yaklaşık 60 farklı uçucu organik bileşiğin yayıldığı belirlenmiştir [57].

UOB'ler, kullanıldıkları süre zarfında iç mekân havasına yayılmakta ve orada belirli miktarlarda birikebilmektedir. Bu kirleticileri oluşturan solvent kimyasal maddeleri tek başlarına ya da diğer kimyasallarla birleştirilerek birçok yapı malzemesinin ve endüstri ürünlerinin üretiminde çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu nedenle özellikle boyut olarak küçük ve yetersiz havalandırılan iç mekânlarda, uçucu organik bileşiklerin konsantrasyonunun yüksek ve buradaki havanın zararlı olabileceği öngörülmelidir. Kullanılan malzemelerin yeni olduğu mekanlarda sıcaklığın ve nemin de yüksek olması uçucu organik bileşik emisyonlarını tetikleyerek havadaki kirletici konsantrasyonunu arttırmaktadır.

İç mekânlarda uçucu organik bileşikler, günlük hayatımızda faydalandığımız malzeme ve eşyalardan kaynaklandığından, insanların sürekli maruz kaldığı bir kirletici türüdür. Bu maddelerin insan sağlığına büyük oranda zararlar verdiği bilinmektedir [58].

**Çizelge 2:** Bazı uçucu organik bileşikler için toksisite değerleri (US EPA).

<b>Kimyasal</b>	<b>Referans doz (mg/kg/gün)</b>	<b>Kanser faktörü (mg/kg/gün)<sup>-1</sup></b>	<b>US EPA kanser sınıflandırması</b>
Benzen	0,004	0,035	A (Kanserojen)
Toluen	0,08	-	-
Etilbenzen	0,1	-	-
Ksilen	0,2	-	-
Stiren	0,2	-	-
Kloroform	0,02	0,02	B2 (Kanserojen olma olasılığı yüksek)

Benzen, toluen, stiren, ksilen ve etilbenzen yüksek zehirlilik oranları ile sağlığa en zararlı uçucu organik bileşenlerdendir. Düşük miktarlarına maruz kalındığında yorgunluk, uyuşukluk, hafıza kaybı, göz ve ciltte tahriş ve baş ağrısı gibi rahatsızlıklara neden olabilir. Devamlı maruziyette ise kanser yapıcı etkiler görülebilir. Çizelge 2’de bazı uçucu organik bileşiklerin toksisite değerleri verilmiştir [59]. Uçucu organik bileşiklerin kanser riskini saptamak için deney hayvanları üzerinde yapılan araştırmalar, bu maddelerin bazılarının yüksek konsantrasyonlarda oldukça tehlikeli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Özellikle benzen, metil klorür, kloroform, vinil klorür gibi uçucu organik bileşiklerin ortalama düzeylerdeki konsantrasyonlarının dahi kanser riskini en az 10 kat arttırdığı görülmüştür [60]. Uçucu organik bileşiklere maruziyet sonucu oluşabilen rahatsızlıklara sonraki bölümlerde değinilmiştir.

### **2.3.1 Uçucu Organik Bileşiklerin Çeşitleri ve Sınıflandırılması**

İç mekân havasında dış havaya göre çok daha fazla olası kirletici bulunduğundan, bu mekânlarda farklı çeşitlerde uçucu organik bileşiklere rastlamak mümkündür. Burada bahsedilen iç-dış havadaki konsantrasyon oranı endüstriyel olmayan mekanlarda iç havada daha yüksekken; endüstriyel üretim yapan tesislerin ve iş yerlerinin etrafındaki dış havada da yüksek değerlerde çıkabilmektedir. Endüstriyel mekânlar için kabul edilen standartlar; toplumdaki genel nüfus için belirlenen maruziyet değerlerinden çok daha yüksektir [61].

Tüm çevrelerde bulunabilen ve hava kirliliği yaratan uçucu organik bileşiklerin (VOC), çok uçucu (very volatile organic compounds/VVOC) ve yarı uçucu (semi volatile organic compounds/SVOC) gibi çeşitleri vardır.

Uçucu organik bileşikler EPA (Environmental Protection Agency – Çevre Koruma Ajansı) tarafından normal iç hava koşulları dahilinde tanımlanan sıcaklık ve basınçta dahi, gaz halde bulunabilen kimyasal maddeler olarak tanımlanmıştır [62]. İç mekân havasında farklı çeşitlerde uçucu organik bileşik, farklı miktarlarda bulunabilmektedir. Bunlardan en yaygın olarak görülenler, benzen ve kloroflorokarbon temelli olanlardır. İç mekân havasında sıklıkla rastlanan bir diğer kirletici olan formaldehit de çokça çalışılmış ve araştırılmış bir maddedir. Formaldehit de bir uçucu organik birleşik olmasına rağmen, ölçümü diğerlerinden farklı şekilde yapılabilmektedir. Ortam

havasındaki UOB'ler özellikle iç mekanlarda yoğun kokuya neden olarak hava kalitesini düşürmektedir.

Çok uçucu organik bileşikler grubuna asetaldehit, akrolein, formaldehit, izopren gibi maddeler girmektedir. Bu maddelerin kaynama noktası 0-50 °C arasında değişmektedir.

Yarı uçucu organik bileşikler grubuna ise polisiklik aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu dibenzodioxinler, poliklorlu dibenzofuranlar ve poliklorlu bifeniller girmektedir [63]. Bu maddelerin kaynama noktası 50-260 °C arası değişmektedir ve yanmadan, alev geciktirici maddelerden, kişisel bakım ürünlerinden, böcek öldürücülerden, plastikleştiriciler ve bazı evsel ürünlerden kaynaklı olabilirler.

İç ortamda bulunan başlıca uçucu organik bileşikler aşağıda verilmiştir:

*N-dekan (C<sub>10</sub>H<sub>22</sub>):* N-dekan renksiz ve kokusuz bir sıvıdır. Yoğunluğu sudan azdır ve suda çözünmeyen bu maddenin, gaz hali yüksek konsantrasyonlarda narkotik etki yapabilir. Meyan kökü, kekik gibi bazı bitkilerde doğal olarak bulunduğu gibi, çam, meşe vb. ağaç türlerinden de salınır [64]. Ayrıca ham petrolde, doğal gazda, araç egzozlarında volkanik dumanlarda ve tütün dumanında bulunur. N-dekan önemli bir ticari kimyasaldır. Motor yakıtının, pek çok çözücünün ve diğer kimyasalların içeriğinde yer alır [65]. Dış havada kolaylıkla bulunduğundan insanların çoğuna solunum yoluyla nüfuz edebilir. Bunun dışında, n-dekan üreten tesislerde çalışanlara solunum ya da temas yoluyla, benzin ürünleri kullanılırken cilt temasıyla, balık ve kabuklu deniz ürünlerinden ya da içme suyundan bulaşabilir. Bazı gıda maddelerinde de çok az miktarda kullanılmaktadır. Havaya salınan n-dekan yağış olarak tekrar toprağa düşer; toprak ve yeryüzündeki su kaynaklarından tekrar havaya karışır. Güneş ışığından etkilenmeyen bir maddedir. N-dekan buharlarına maruz kalan kişilerde burun, boğaz, göz ve akciğerlerde rahatsızlar, yüksek konsantrasyonlarda ise baş ağrısı, baş dönmesi, bayılma, boğulma gibi durumlar görülebilir [66].

*Benzen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>):* Benzen, benzine benzer bir kokuya sahip berrak, renksiz, oldukça yanıcı ve uçucu, sıvı aromatik bir maddedir. Havaya çok çabuk buharlaşır ve suda az miktarda çözünebilir. Oldukça yanıcıdır ve hem doğal süreçlerden hem de insan faaliyetlerinden ortaya çıkar. Kaynakları arasında volkanlardan ve orman yangınlarından kaynaklanan gaz emisyonları, ham petrol, benzin ve sigara dumanı bulunmaktadır. Benzen, plastik, reçine, naylon ve sentetik elyaf yapmak için kullanılan diğer kimyasalların, kauçukların, bazı yağların, boyaların, deterjanların,

ilaçların ve böcek ilaçlarının, yapıştırıcıların üretiminde kullanılır [67]. Herkes düzenli olarak benzene maruz kalır. İnsanlar kirli hava, sigara dumanı solumaktan ve benzin istasyonlarında buharlaşmadan dolayı bu maddeye maruz kalabilirler. Havada, benzen diğer kimyasallarla reaksiyona girer ve birkaç gün içinde bozulur; ya da kar veya yağmur olarak toprağa düşer. Toprak ve sudaki benzen daha yavaş parçalanır; bu madde suda az çözüldüğünden ve topraktan yeraltı suyuna geçerek tehlike yaratabilir. Bu maddeye maruziyet nörolojik semptomlara neden olur ve kemik iliğini etkiler. Benzen kanserojendir. Havada yüksek düzeyde benzene kısa süre maruz kalmak uyuşukluk, baş dönmesi, hızlı kalp atış hızı, baş ağrısı, titreme ve bilinç kaybıyla sonuçlanabilir. Çok yüksek seviyelerde ise ölüme neden olabilir [68].

*Toluen (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>):* Toluen renksiz, kokusu benzene benzeyen bir maddedir. Doğal olarak volkanlardan, orman yangınlarından ve ham petrolden çıkan dumanlarda, bazı bitki ve baharatlarda bulunur. Toluen, kanserojen olmadığından sanayide sıklıkla kullanılır. Benzin katkısı olarak, benzen ve ksilen üretiminde ve diğer kimyasalların, naylon ve plastiklerin, poliüretan yapmak için kullanılan polimerlerin, patlayıcıların, boyaların ve verniklerin, mürekkeplerin, parfümlerin yapımında kullanılan önemli bir ticari kimyasaldır [69]. Toluen vücuda solunum yoluyla ya da ciltle temas ile alınır. Bu maddeye sigara dumanı, benzin buharı, egzoz, yapıştırıcılar, boyalar, çözücüler, yiyecek ve su tüketimi yoluyla da maruz kalınabilir. Toluen maruziyeti merkezi sinir sisteminde hasarlara, uyuşukluk, halsizlik, hafıza kaybı, bulantı, iştahsızlık gibi sorunlara yol açabilir. Yüksek konsantrasyonlarda ya da karıştırılmaması gereken kimyasalların karıştırılması durumunda ise bilinç kaybı, kalıcı beyin hasarları, böbrek ve kalp yetmezlikleri, kan bozuklukları, hamilelikte düşük riski ve doğumsal anomalilere neden olabilir [70].

*Etil benzen (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>):* Etilbenzen benzin gibi kokan, berrak, renksiz bir sıvıdır. Çözücü olarak ve stiren gibi diğer kimyasalların yapımında kullanılır. Kömür katranı ve petrol gibi ürünlerde, tütün ve tütün dumanında doğal olarak bulunur. Etilbenzen, önemli bir ticari kimyasaldır. Otomotiv ve havacılık yakıtlarının bir bileşenidir. Boyalar, vernikler, mürekkep, böcek öldürücüler, yalıtım malzemeleri ve otomotiv ürünlerinde de kullanılır. Etil benzen solunum ve cilt teması yoluyla maruz kalınabilir. Yüksek seviyede etil benzen maruziyeti, göz ve burun tahrişi, göğüste sıkışma, baş dönmesi, akciğer/karaciğer rahatsızlıkları, işitme kaybı gibi rahatsızlıklara neden olur, düşük seviyede maruziyette herhangi bir olumsuzluğa neden olduğu tespit edilmemiştir [71].

*Ksilen (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>):* Ksilen, tatlı bir kokuya sahip renksiz bir sıvıdır. Doğal olarak petrol ve kömür katranında görülür. Ksilen orman yangınları sırasında oluşur ve doğal olarak bazı tahıllardan salınır. Ksilen, vitamin ve böcek öldürücü üretiminde ve boya ve boya ürünlerinde, polyester reçineleri ve liflerin yapımında kullanılan önemli bir ticari kimyasaldır [72]. Ksilene solunum havası, yemek ve içme suyu sigara ve ksilen içeren ürünlerle (benzin, boyalar, vernikler, tiner, vb.) temas yoluyla maruz kalınabilir. Ksilenler cilt, göz, burun ve boğaz tahrişine, sinir sistemi problemlerine (baş ağrısı, baş dönmesi, konfüzyon, koordinasyon bozukluğu, denge bozukluğu, unutkanlık vb.), çok yüksek seviyelerde ise solunum zorluğu, bulantı, akciğerler, karaciğer ve böbrek rahatsızlıkları, bilinç kaybı ve hatta ölümlere neden olabilir [73].

*Etil Asetat (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>):* Etil asetat, meyvemsi bir koku ve tada sahip, renksiz uçucu bir sıvıdır. Suda çözünür ve su ve toprak yüzeylerinden hızla buharlaşır. Tahıl ürünlerinde, bazı kuruyemiş ve sebzelerde, meyve sularında, bazı peynir çeşitlerinde, tütün ve tütün dumanında doğal olarak bu maddeye rastlanır [74]. Sanayide güçlü bir çözücü olması nedeniyle sık üretilen bir maddedir. Alkollü içecek üretiminde, kafeinsiz çay-kahve üretiminde, gıda boyalarında, yapay meyve aromalarında kullanılır. Ayrıca, imitasyon deri ve ipek, parfüm, fotoğraf filmi, kontakt lens üretiminde, boyalarda (aktivatör ve sertleştirici), yapıştırıcılarda, böcek ilaçlarında, linolyum, PVC gibi malzemelerde, ilaçlarda da etil asetatın yararlanılır [75]. Etil asetata yeme ve içme, nefes alma, sigara içme ve parfüm gibi ürünler kullanılarak maruz kalınır. Etil asetat buharları genel olarak zehirli olmamakla birlikte, 400 ppm'nin üzerindeki konsantrasyonlarda hafif göz, burun ve boğaz tahrişine neden olabilir. Çok yüksek konsantrasyonlarda etil asetat buharı solunmak halsizlik, uyuşukluk ve bilinç kaybına neden olabilir [76].

*Butil Asetat (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub>):* Butil asetat, meyveli bir kokuya sahip berrak renksiz bir maddedir. Bazı meyve ve bitkilerde doğal olarak bulunur; ayrıca pek çok kimyasalın, tütün ve tütün dumanının bir bileşenidir [77]. Şeker, dondurma, peynir, fırınlanmış gıdalarda sentetik meyve aroması olarak kullanılır. Butil asetat önemli bir ticari kimyasaldır. Cilalarda, suni deri üretiminde, fotoğraf filmlerinde, gıda ambalajlarında, plastiklerde, boya ve verniklerde, yapıştırıcılarda, bazı yapı malzemelerinde ve birçok üründe çözücü olarak kullanılır [78]. Solunması halinde insanlarda göz, burun ve boğaz tahrişi, cilt tahrişi, öksürük, baş dönmesi ve baş ağrısına; çok yüksek dozlara maruziyette ise nefes almada güçlük, halsizlik, uyuşukluk ve bilinç kaybı gibi ciddi sorunlara yol açabilmektedir [79].

*Diklorobenzen (C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>):* Diklorobenzen, suda çözünmeyen ve eter, kloroform, benzen, alkol ve asetonda çözünebilen sentetik, beyaz kristalli bir maddedir. Üç adet diklorobenzen izomeri (izomer, aynı oranda birleşmiş aynı element oluşumunda rol alan ama farklı özellik taşıyan bileşik) 1,2 diklorobenzen, 1,3 diklorobenzen ve 1,4 diklorobenzen mevcuttur. Diklorobenzenler doğal olarak oluşmaz. 1,2 diklorobenzen ve 1,3 diklorobenzen renksiz ya da soluk sarı bir sıvıdır. Üç kimyasalın en yaygın olanı 1,4 diklorobenzen ise, güçlü, keskin bir kokuya sahip renksiz ya da beyaz katı bir maddedir [80]. Havayla temas ettiğinde, yavaşça katı fazdan buhara dönüşür. Naftalin gibi bir kokusu vardır. Diklorobenzen önemli bir ticari kimyasaldır. Yabani bitki ve böcek ilacı, ilaç ve boya yapımında, çöp kutusu ve tuvaletler için koku kontrol ürünlerinde, reçine üretiminde, tekstil sektöründe, baskı işlerinde ve PPS gibi plastiklerin üretiminde (polifenilen sülfid, yüksek performanslı bir mühendislik plastiğidir, kaplamalarda, elektrikli/elektronik devrelerde, cerrahi cihazlarda, elektrikli cihazlarda, kaput altı otomobil parçalarında, kablolarda vb.) kullanılır [81]. Diklorobenzen burun, cilt ve gözde tahriş edicidir. Yüksek konsantrasyonlarına dayanılması çok güçtür ve solunum güçlüğü, sinir sisteminde birtakım sorunlar, bulantı ve kusma, iştahsızlık, kan bozuklukları, karaciğer ve böbrekte hasarlara neden olabilir [82].

*Bütanol (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O):* Bütanol, 1-bütanol veya butil alkol, 4 karbonlu bir yapıya sahip bir alkoldür. Öncelikle bir çözücü, kimyasal sentezde bir ara madde ve bir yakıt olarak kullanılır. Bütanol için farklı izomerik yapıları vardır, bunlar sek-bütanol (2-bütanol), izobütanol, tert-bütanol'dür [83]. Bütanol renksiz, meyve aromalı sert bir kokusu olan bir sıvıdır. Şeker ve bazı karbonhidratların fermantasyon sürecinde ortaya çıkan bu madde, doğal olarak da birçok doğal yiyecek ve içecekte bulunur. Tereyağı, krema, meyve aromaları, alkollü içecekler, dondurma, şekerleme gibi gıda ürünlerinde kullanılır. Endüstriyel anlamda ise vernik, inşaat ve kumaş boyası, kozmetik ürünleri, fren yağı, antibiyotik ilaç, yağ çözücü, böcek ilacı gibi pek çok kimyasalın üretiminde ve bazı kimyasalların plastikleştirilmesinde kullanılır [84]. Bütanol maruziyeti göz tahrişi, bulanık görme, göz yaşarması, ışığa duyarlılık ve yanma, ciltte ve üst solunum yollarında tahriş; yüksek konsantrasyonlarda ise merkezi sinir sistemi sorunları ve hamileler için düşük ve doğum anomalilerine neden olabilir [85].

### 2.3.2 Örneklemeye Yöntemleri

Genel olarak iç mekânlarda havadaki uçucu bileşiklerin örneklemeye yöntemleri pasif örneklemeye ve aktif örneklemeye olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır.

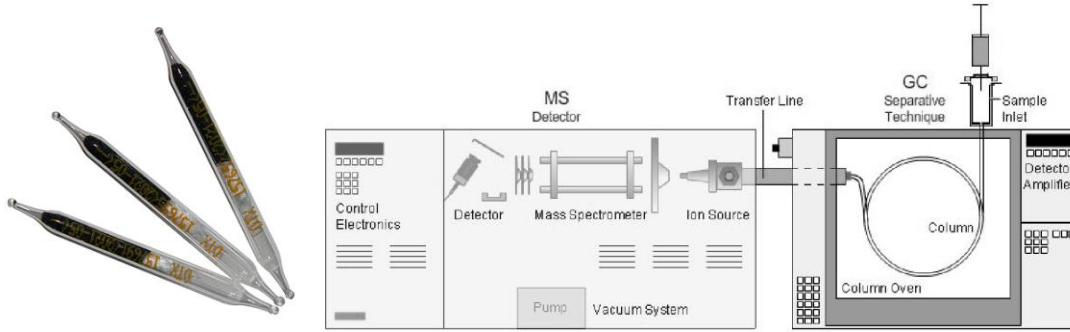
#### Pasif Örneklemeye Tekniği

Pasif örneklemeye tekniği pompa sistemi kullanılmadan, emici bir yüzeye gazın difüzyonu ile gerçekleşir. Gaz molekülleri havadaki diğer moleküllerin arasından difüzyona uğrayarak emici yüzey üzerinde tutunurlar [86]. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, uçucu organik bileşikler ve ozon gibi birçok gaz için pasif örneklemeye kullanılabilir. Bu tekniğin maliyeti düşüktür ve elektriksel bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan çalışabildiğinden yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçülmek istenen havadaki ortalama kirlilik konsantrasyonları belirlemek, ölçüm süreci uzun araştırmalar için kolay erişilebilen ve ucuz pasif örnekleyiciler ideal bir araçtır [87]. Pasif örneklemeye, kimyasal olarak stabil maddelerin ölçümü için uygun görülmektedir [88]; ve genellikle pasif örnekleyiciler için aktif karbondan faydalanılır [89].

#### Aktif Örneklemeye Tekniği

Aktif örneklemeye tekniği havadaki kirleticileri belirlemek için kullanılan geleneksel bir yöntemdir [90]. Bu yöntemde hava pompası veya vakum yardımıyla belirli sürede, ihtiyaç duyulan hacimlerde alınan hava örneği, toplayıcı bir tüp ya da kap içerisine çekilir. Vakum yardımıyla gerçekleştirilen uygulamalarda polimer torbalar veya metal örneklemeye kapları kullanılır, bu uygulama oldukça hızlı gerçekleşir. Ancak örneklemeye kabı içerisinde oluşabilecek tepkimeler veya kabın malzemesinden kaynaklı fiziksel emilim nedeniyle ölçülen kirleticilerde kayıp gözlenebilir [91]. Pompa kullanılan uygulamalarda ise gaz molekülleri, örneğin emici bir ortamdan geçirilmesiyle cam veya paslanmaz çelik tüplere toplanmaktadır. Buradaki amaç, kirleticileri tüpteki sorbentler üzerinde tutmaktır. Aktif örnekleyicilerde kullanılan debi oranı 5- 200 ml/dk. arasındadır [92]. Uçucu organik bileşikleri yakalamak için gerekli süre ölçüm yapılan mekânın büyüklüğüne, ulaşılmak istenen kirletici maddenin öngörülen konsantrasyonuna göre değişmektedir. Belirli bileşikler tespit etmek için gereken sorbent kapasitesi, kirleticinin sorbente tutunma hacminin ölçülmesiyle belirlenir; en verimli örneklemeye, minimum emici kaybıyla toplanan en yüksek düzeyde uçucu organik bileşik karışımı içeren hava hacmidir [93]. Şekil 3'te aktif örneklemeye ile hava

toplamak için kullanılan aktif karbon tüpleri ve analiz için kullanılan GC-MS sistemi yer almaktadır.



Şekil 3: Aktif karbon tüpü ve GC-MS sistemi.

Literatürde geçen en popüler sorbentler, geçirimli polimer bazlı sorbentler (Tenax ve Kromosorb) ve karbon bazlı sorbentlerdir (aktif karbon, grafit karbon, anasorb) [94].

### 2.3.3 Uçucu Organik Bileşiklerin İç Hava Kalitesine Etkileri

İç mekânda pek çok nedenden kaynaklanabilen uçucu organik bileşikler hava kalitesini düşürerek kullanıcılara rahatsızlık verebilirler. Uçucu organik bileşiklerin iç mekân konsantrasyonları, kullanılan malzemelerin miktarı, uygulamadan sonra geçen süre, havalandırma şartları, sıcaklık ve nem vb. bağlı olarak değişebilmektedir.

Uçucu organik bileşiklerin iç ortamdaki konsantrasyonu ve maruziyetin süresi, bu bileşiklerin sağlık üzerindeki etkilerini belirlemektedir. Konsantrasyon ve süre arttıkça ortaya çıkan etkilerin şiddeti de artmaktadır. Düşük dozlardaki uçucu organik bileşikler, astım gibi bazı solunumla ilgili hastalıklarına sebep olabilir. İsveç'te bir üniversite tarafından yürütülen bir çalışmada, 20-45 yaşları arasındaki astım hastalarında bu maddelere maruziyet nedeniyle nefes darlığı şikayetlerinde artış gözlenmiştir [95]. Yüksek konsantrasyonlarda ise, merkezi sinir sistemi üzerinde olumsuz etki yaparken, kanserojen etki de gösterebilirler [96,100]. Sürekli bu maddelerle çalışanlarda gözlerde ve soluk borusunda iritasyonlar olabilmektedir. Deneklerin belli bir miktardan fazla konsantrasyondaki 22 uçucu organik bileşiklerden oluşan karışıma maruz bırakıldığı bir çalışmada, kişilerin soluk borusu mukozasında bozulmalar görülmüştür [97]. Bazı UOB türleri ise ekstrem konsantrasyonlara ulaştıklarında sinir sistemine ait fonksiyonlarda bozulmalara neden olmakta [98]; uyuşukluk, baş ağrısı, baş dönmesi, zihinsel karışıklık ve yorgunluk gibi şikayetlerine



neden olabilmektedir [99]. Bu rahatsızlıklar, istemsiz kasılmalara, komaya kadar ilerleyebilir ve hatta aşırı değerlere yükseldiğinde ölümlerle sonuçlanabilir [100].

Yeni ortaya konan bir teoriye göre ise, uçucu organik bileşiklerin kimyasal reaksiyonları ile oluşan ürünler, kendilerine maruziyetten daha önemli olabilirler [101]. İç mekan havasında bulunan uçucu organik bileşiklerin ozonla etkileşime girmesi sonucu rahatsızlık edicilik düzeyi son derece yüksek kimyasalların oluştuğu görülmüştür [102]. Bu bileşiklerin ozonla etkileşime girme süreleri her madde için farklıdır ve mevcut UOB ve ozon konsantrasyonuna göre değişebilir. Ozonun iç mekan havasındaki d-limonen maddesi ile reaksiyonun araştırıldığı bir çalışmada, etkileşim sonunda kararlı türlerin yanı sıra serbest radikallerin de ortaya çıktığı saptanmıştır. Ortaya çıkan bu serbest radikallerin havadaki diğer maddeler ile tepkimeye girmesiyle de aldehitler ile organik asitlerin oluştuğu görülmüştür. Ara katmanlarda oluşan ikincil ürünler, d-limonenin kendisinden daha çok rahatsızlık verici etkiye sahiptir [103].

#### **2.3.4 Mevcut Literatürde Uçucu Organik Bileşikler**

Türkiye’de konut ve ofis bazında UOB bileşenlerinin tespiti ile ilgili çalışmalar kısıtlı olsa da, uluslararası literatürde bu konuda pek çok kaynak mevcuttur. Bu çalışmalar genel olarak UOB’lerin tür tayini, konsantrasyonlarının belirlenmesi, iç/dış hava kalitesine etkisinin incelenmesi, farklı değişkenlerin UOB emisyonlarına etkileri, UOB’lerin sağlık riski değerlendirmeleri gibi konular üzerine hazırlanmıştır. Bu tez çalışmasında yapılan ölçümler, LED lambaların potansiyel UOB emisyonlarını mekandan bağımsız olarak belirlemeyi amaçladığından, mekanın fonksiyonu önemli değildir. Ancak, ölçüm için seçilen boş odanın bulunduğu bina, uzun yıllar konut, ölçümlerin yapıldığı dönemde ise ofis olarak kullanıldığından bu bölümde konut ve ofisleri içeren çalışmalar sunulmuştur.

Bari ve arkadaşları Edmonton, Kanada’da bulunan 50 adet sigara içilmeyen konutun iç ve dış havasında bulunan UOB kaynaklarını ve miktarlarını incelemiştirler [104]. Peşpeşe 7 gün, 24 saat boyunca (kışın, Ocak-Nisan; yazın, Haziran-Ağustos aylarında) hava örnekleri toplanmıştır. Sonuç olarak, iç ortam havasındaki UOB oranları her iki mevsimde de dış mekân seviyelerine göre büyük ölçüde fazla saptanmıştır. UOB emisyon kaynakları olarak konut eşyaları (%44), yanma ve havadaki tütün dumanı (%10.5), parfümler (%8.4), yapı malzemeleri (%5.9) olarak bulunmuştur. En önemli

dış kaynaklar ise petrol endüstrisi, trafik emisyonları ve biyolojik emisyonlardır. Dış havada bulunan başlıca değerler, benzen (kışın 2.7-3.9, yazın 0.10-2.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), dodekan (kışın 0.02-11, yazın 0.02-3.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), etan (kışın 2.8-306, yazın 1.2-12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ve propan (kışın 1.1-93, yazın 0.78-139  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) olarak belirlenmiştir. İç havada bulunan başlıca UOB değerleri ise, benzen (kışın 0.41-10, yazın 0.15-7.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), toluen (kışın 0.39-383, yazın 0.50-82  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), etil asetat (kışın 0.11-108, yazın 0.07-1864  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 1,4 diklorobenzen (kışın 0.01-0.5, yazın 0.01-0.81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) şeklindedir.

Japonya ve Çin'de konutların iç ve dış havasındaki UOB'lerin karşılaştırıldığı bir çalışmada, aynı enlemde bulunan ve benzer büyüklükteki Japonya'da Shizuoka ve Çin'de Hangzhou kentlerinde belirlenen noktalarda örnekler toplanmıştır [105]. Çalışmada, konut iç mekânlarında (salon, yatak odası ve mutfak) ve dış mekânlarında 2006-2007 yaz ve kış döneminde UOB ölçümleri yapılmıştır. Shizuoka'da örnekler Ağustos-Eylül ayları arası ve Ocak-Mart ayları arası 27 konutta; Hangzhou'da ise Ağustosta ve Ocak ayında 14 konutta toplanmıştır. Bu ölçümlere göre Japonya'da ve Çin'de UOB emisyonlarının etki güçleri arasında farklılıklar saptanmıştır. Araç emisyonları, sanayi ve insan aktiviteleri gibi dış kaynakların da iç havadaki UOB kirliliğinde önemli miktarda neden olabileceği görülmüştür. Ayrıca, birim risklerden ve kanserojen UOB'lerin iç mekan konsantrasyonlarının geometrik ortalamalarından tahmin edilen kanser riski Japonya'da  $2.3 \times 10^{-5}$  Çin'de  $21 \times 10^{-5}$  bulunmuştur. Çin'deki maruziyet riski Japonya'dan yaklaşık 10 kat daha fazladır. Çalışmada Japonya'da bulunan başlıca değerler (konutların ana yaşam alanlarında) benzen (yaz 0.08-1.14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kış 0.91-3.72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), toluen (yaz 1.03-24.54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kış 2.75-28.62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), etilbenzen (yaz 0.27-10.23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kış 0.48-7.29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) şeklindedir. Çin'de bulunanlar ise benzen (yaz 4.57-91.48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kış 2.45-36.13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), toluen (yaz 7.73-106.97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kış 6.56-104.36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), etilbenzen (yaz 2.14-131.12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kış 1.53-24.46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) olarak bulunmuştur.

Zhou ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Çin'in Xi'an ve Hangzhou kentlerinde Nisan 2014 ve Kasım 2015 tarihleri arası UOB emisyon ölçümleri yapılmıştır [106]. Örnekler her iki şehirde de konutlarda, salon, yatak odası, mutfak, çalışma odası ve balkonlardan toplanmıştır. Xi'an'da toplamda 340 konuttan 1063, Hangzhou'da ise toplam 300 konuttan 1610 örnek toplanmıştır. Ölçümden önce mekanlar 12 saat boyunca havalandırılmış ve herhangi bir insan aktivitesi gerçekleştirilmemiştir. Çalışmada iç mekân havasındaki UOB kirliliği yeni renove

edilmiş konutlarda, eski konutlardan 10-15 kat daha yüksek bulunmuştur. Genel olarak iki şehirde de UOB konsantrasyonlarının miktarı benzer çıkmıştır. Bu çalışmada iç ortam havasındaki UOB'ların karakteristik özellikleri ile sıcaklık ve nem etkisi altındaki değişimleri incelenmiştir. Yeni renove edilmiş konutlarda UOB kirliliğinin ısı ve nem kombinasyonundan daha fazla etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır. Analizler sonucu Xi'an'daki başlıca UOB'lerin değer aralığı benzen 0.000-0.217 mg/m<sup>3</sup>, toluen 0.000-3.864 mg/m<sup>3</sup>, etilbenzen 0.000-13.630 mg/m<sup>3</sup>, butil asetat 0.000-5.584 mg/m<sup>3</sup>, p, m-ksilen 0.000-18.25 mg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Hangzhou'da ise bu aralıklar benzen 0.0005-0.455 mg/m<sup>3</sup>, toluen 0.001-2.776 mg/m<sup>3</sup>, etilbenzen 0.000-2.528 mg/m<sup>3</sup>, butil asetat 0.0003-2.469 mg/m<sup>3</sup>, p, m-ksilen 0.000-1.794 mg/m<sup>3</sup> şeklindedir.

Avustralya'daki farklı iç mekanların UOB konsantrasyonlarını karşılaştıran bir çalışmada, 25 yıl boyunca (1991-2016) derlenen literatür taramaları sunulmuştur [107]. Buna göre, 11 ofiste yapılan karşılaştırmalı bir araştırmada çıkan başlıca VOC'ler ve değer aralıkları benzen 1-5 µg/m<sup>3</sup>, toluen 4-14 µg/m<sup>3</sup>, etilbenzen 2-8 µg/m<sup>3</sup>, o, p, m-ksilen 6-19 µg/m<sup>3</sup> şeklindedir. Başka bir ofis çalışmasında ise bu değer aralıkları benzen 2-18 µg/m<sup>3</sup>, toluen 9-220 µg/m<sup>3</sup>, etilbenzen 1.6-210 µg/m<sup>3</sup>, o, p, m-ksilen 5-770 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Ofislerdeki UOB değerlerini içeren başka bir çalışmada ise, Avustralya'daki Melbourne Üniversitesi'nin çeşitli iç mekanlarında UOB'lerin değerleri saptanmıştır [108]. Üniversitesi'nin kampus servisleri, tuvaletler, ofisler, yeşil bina, toplantı alanları ve derslikler olmak üzere toplam 20 mekanında, 41 farklı türde UOB ölçümü yapılmıştır. Ofislerde bulunan başlıca değerler etanol 127 µg/m<sup>3</sup>, toluen 13.9 µg/m<sup>3</sup>, n-butan 61.7 µg/m<sup>3</sup> iken; toplantı alanlarında etanol 22 µg/m<sup>3</sup>, n-butan 3.6 µg/m<sup>3</sup>, toluen 1.7 µg/m<sup>3</sup>, n-butan 3.6 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Konut, okul, ofis ve alışveriş merkezlerindeki UOB seviyelerini araştıran bir çalışmada, benzen, kloroform, m,p-ksilen, o-ksilen ve toluen değerleri iç ve dış havada karşılaştırmalı olarak incelenmiştir [109]. Bulunan değerler konutlarda (iç mekan) benzen 4.5 µg/m<sup>3</sup>, kloroform 143.2 µg/m<sup>3</sup>, m,p-ksilen 110, o-ksilen 19.3, toluen 35.5 µg/m<sup>3</sup>'tür. Ofislerde ise benzen 1.09 µg/m<sup>3</sup>, kloroform 1.59 µg/m<sup>3</sup>, m,p-ksilen 1.40, o-ksilen 3.52, toluen 1.45 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Dış havadaki toluen değerleri hem konut hem de ofisler için iç mekana göre daha azdır.

Kocaeli ilinde iç mekan ve dış mekan UOB konsantrasyonlarını belirlemeyi hedefleyen bir çalışmada, yaz ve kış aylarında 15 konut, 10 ofis ve 3 okuldan hava örnekleri alınmıştır [110]. Yaz aylarında bulunan bazı UOB değerleri (ortalama değerler) konutlarda benzen 8.88 µg/m<sup>3</sup> (dış:10.03), toluen 44.19 µg/m<sup>3</sup> (dış:30.72), etilbenzen 13.07 µg/m<sup>3</sup> (dış:4.49), n-dekan 4.74 µg/m<sup>3</sup> (dış:2.70); ofislerde benzen 11.95 µg/m<sup>3</sup> (dış:7.83), toluen 53.98 µg/m<sup>3</sup> (dış:33.73), etilbenzen 5.57 µg/m<sup>3</sup> (dış:4.49), n-dekan 3.92 µg/m<sup>3</sup> (dış:3.83); okullarda ise benzen 7.50 µg/m<sup>3</sup> (dış:4.77), toluen 55.05 µg/m<sup>3</sup> (dış:18.15), etilbenzen 11.11 µg/m<sup>3</sup> (dış:6.10), n-dekan 5.42 µg/m<sup>3</sup> (dış:6.09)'tür. Kış aylarında yapılan ölçümlerde ise konutlarda benzen 13.06 µg/m<sup>3</sup> (dış:7.82), toluen 72.44 µg/m<sup>3</sup> (dış:19.96), etilbenzen 16.90 µg/m<sup>3</sup> (dış:5.31), n-dekan 5.09 µg/m<sup>3</sup> (dış:1.57); ofislerde benzen 15.09 µg/m<sup>3</sup> (dış:9.25), toluen 72.44 µg/m<sup>3</sup> (dış:19.96), etilbenzen 16.90 µg/m<sup>3</sup> (dış:5.31), n-dekan 5.09 µg/m<sup>3</sup> (dış:1.57); okullarda ise benzen 19.77 µg/m<sup>3</sup> (dış:16.41), toluen 77.77 µg/m<sup>3</sup> (dış:41.96), etilbenzen 12.40 µg/m<sup>3</sup> (dış:8.81), n-dekan 2 µg/m<sup>3</sup> (dış:0.60) olarak belirlenmiştir.

N-dekan üzerine yapılmış çalışmalarda, bu maddenin yeni inşa edilmiş betonarme yapılarda ya da hemen çevrelerinde yüksek çıktığı belirlenmiştir [111]. Danimarka'da konutlarda yapılan bir çalışmada ortalama n-dekan miktarı 8-14 µg/m<sup>3</sup>'ken dış havada 0.6-5 µg/m<sup>3</sup> ölçülmüştür. Helsinki'de 150 adet betonarme ofis binasını kapsayan bir çalışmada ortalama UOB konsantrasyonu 150 µg/m<sup>3</sup> bulunmuştur. Dış hava bazında incelendiğinde ise Avrupa kentlerini kapsayan bir çalışmada n-dekanın otoparklarda 140 µg/m<sup>3</sup>, otoyollarda ise 1060 µg/m<sup>3</sup>'e çıktığı görülmüştür.

## **2.4 İç Mekânlarda Yapay Aydınlatma Kaynakları**

Bu bölümde özellikle iç mekânlarda en sık kullanılan aydınlatma kaynaklarının özellikleri ve çeşitleri anlatılmıştır. Tez kapsamında yapılan çalışmanın çıkış noktası olan yapay aydınlatma kaynaklarının iç hava kalitesine potansiyel etkileri konusu da mevcut literatürden yola çıkılarak irdelenmiştir.

### **2.4.1 İç Mekânlarda Kullanılan Elektrik Lambaları**

Thomas Edison'un 1879'da enkandesan lambayı geliştirmesiyle fiziksel çevrenin görsellikle ilgili bölümlerine ciddi değişimler yaşanmıştır. Önceden imkânsız olarak kabul edilen görsel işler ve görevler kolaylıkla yapılabilmeye başlanması şüphesiz ki

mimarlık ve iç mimarlık alanlarını da etkilemiştir. Yapıların dış mekânları, cepheleri ve iç mekânları birçok farklı yöntemle, farklı algılara ve beğenilere hitap edebilecek biçimde, her geçen gün daha da gelişen teknolojiler ve yenilikçi fikirlerle aydınlatılabilmektedir.

Günümüze elektrik lambaları değişen pek çok boyutta, optik özellikte, renkte, mum gücünde, verimlilikte, montaj koşulunda vs. üretilmektedir. Lambalara ışık üretimi için dört temel yöntemden bahsedilebilir. Bunlar ısıtma yöntemi, gaz deşarjı yöntemi, uyarma ile ışımaya yöntemi ve doğrudan elektrik enerjisini ışığa çevirme yöntemidir. Isıtma yönteminde, bir flaman (lamba teli) üzerinden elektrik geçmesi sağlanarak tel ısıtılır, akkor hale gelen flamandan görülebilir ışık ortaya çıkar (akkor telli lambalar, halojen lambalar gibi). Gaz deşarjı yönteminde içerisindeki hava boşaltılıp, metal buharı ile doldurulan tüpe gerilim uygulanır; böylece buhar üzerinden geçen akımın ışık üretmesi sağlanmış olur (cıva buharlı lambalar, sodyum buharlı lambalar, metal buharlı halojen lambalar gibi). Uyarma ile ışımaya yönteminde ise, alçak basınçlı cıva buharlı lambalarda gözle görülmeyen morötesi ışık ile lambanın içerisindeki fosfor katmanı uyarılarak görülebilen ışık ortaya çıkarılır, buna lüminesan ışık üretimi de denilmektedir (flüoresan lambalar gibi). Sonraki süreçte, temel ışık üretim yöntemlerine elektrik enerjisinin doğrudan ışığa dönüştürülmesi anlamına gelen 'elektro lüminesan' ışık üretimi de dahil olmuştur. Katı hal aydınlatma (solid state lighting-SSL) de denilen bu yöntemde katı bir cisim içerisinde bulunan elektronların uyarılması ile görülebilen ışık elde edilir. 1960'ların başında elektronik cihazlarda kullanılmaya başlanan, 1990'lı yıllarda ise oldukça geliştirilen ve verimlilikleri arttırılan LED lambalar bu gruba girer.

Tam bir aydınlatma ünitesi birtakım elemanlardan oluşmaktadır. Bu üniteye iki eleman, görünür ışığı üreten lamba ile ışığın dağılımını düzenlemeye, süzmeye ya da yönlendirmeye, aynı zamanda lambaları monte etmeye ve korumaya yarayan aydınlatma aygıtı/ışıklıktır. Ayrıca, lambanın çalışması için sağlanan elektrik enerjisi harekete geçirmek ve akımı kontrol etmek için balast gereklidir. Lambanın çalışmasını başlatmak veya sonlandırmak için çeşitli aydınlatma kontrolleri mevcuttur, voltaj değişimi için ise transformatöre ihtiyaç vardır [112].

Yapay aydınlatma kaynakları aracılığıyla enerji açılıp kapatılabilir, ışığın parlaklığı arzu edilen şekilde değiştirilebilir. İstenilen mekâna istenilen zamanda uygulanan, doğru miktarda ve tipte ışık, yapay aydınlatma kaynaklarının önemli bir avantajıdır.

Yapay aydınlatmanın toplam maliyeti ilk malzeme ve üretim maliyetini, elektriğin kullanım ve bakım maliyetini, elektrik üretiminden kaynaklanan çevre kirliliğinin maliyetini ve ömrünü tamamlamış lambaların imhasını kapsar [113]. Tüm bu konular mimari ve tasarım alanlarının da bir parçasıdır; bu maliyetler ve faydalar gözetilerek daha doğru aydınlatılmış ortamların oluşturulması teşvik edilmelidir.

#### **2.4.2 İç Mekânlarda Kullanılan Yapay Aydınlatma Kaynaklarının Özellikleri**

Yapay aydınlatma kaynakları olan lambalar farklı özelliklerine göre geniş çeşitlilik gösterirler. Lambaları birbirlerinden ayıran temel özellikler olarak güç, boyut, biçim, ışığı dağıtım şekli sayılabilir.

##### *Güç*

Lambaların ürettikleri ışık akısı (lümen) ve ışık yoğunluğun yönsel dağılımı (mumgücü, kandela) belirleyici özelliklerindedir. Lambanın ışıksal gücünün deseni mumgücü dağılım eğrisi ile gösterilir. Daha uzun mesafelerde daha fazla aydınlık sağlamak için ışıksal yeğinliği/ışıma gücü yani mumgücü/kandela değeri yüksek lambalar tercih edilmelidir. Bu, genellikle lambanın fiziksel boyutunun büyüklüğü anlamına gelmektedir. Bu nedenle sokak aydınlatması ya da spor karşılaşmaları için yaklaşık 60 cm (2 ft) çaplı yüksek yoğunluklu deşarj lambalar tercih edilmektedir [114].

##### *Boyut*

Kompakt lambalar üretme eğilimi, optik kontrol faktörü ve maliyetle ilgili fayda sağlama gibi konularla ilişkilidir. Boyut olarak küçük lambalar üretim için daha az malzeme gerektirir. Küçük kaynaklar daha pratiktir, kolaylıkla gizlenip kapalı yerlere monte edilebilirler. Ayrıca ışık kaynağı küçüldükçe lensler, yönlendiriciler ve yansıtıcılar yardımıyla ışığın dağılımını kontrol edilmesi de kolaylaşmaktadır.

##### *Biçim*

Lambanın fiziksel şekli, onun tasarlanan uygulamasıyla uyumlu olmalıdır. Örneğin, bir duvarın yatay şekilde aydınlatılması için çizgisel bir kaynak en iyi seçim olurken, bir duvar apliği için tüp formu bir kaynak uygun olabilir. Lambaların formları genellikle dairesel şekillere yakın olduğundan, noktasal, çizgisel ve düzlemsel aydınlatmalar ile uyumludur. Büyük bir noktasal kaynak düzlemsel bir aydınlatma gibi

görünebilirken, belirli bir mesafeden yan yana dizilmiş ufak noktasal kaynaklar da çizgisel bir aydınlatma olarak algılanabilir.

#### *Işığın Dağıtım Şekli*

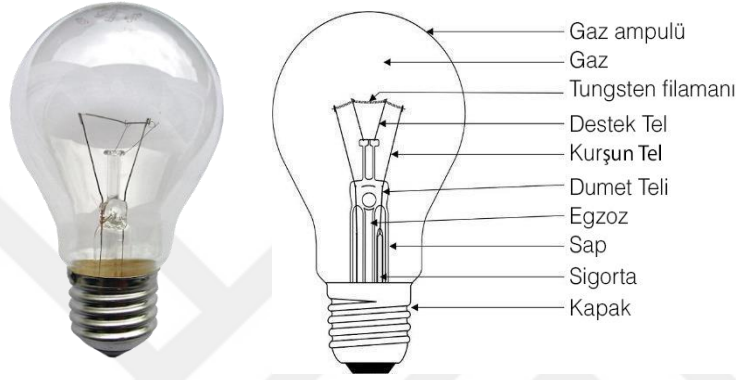
Lambalar eşit oranda yayılandan, fazla miktarda yönlendirici dar ışıklı olanlara kadar, geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Bir lambanın optik özellikleri, onun formu (noktasal, çizgisel, düzlemsel), ampulün özellikleri (içten buzlu, şeffaf, lensli), ve lambanın bir parçası olarak yansıtıcı kullanılması (çoklu yansıtıcı/MR, parabolik alüminyum kaplı yansıtıcı/ PAR ve yansıtıcı/R) ile belirlenir [115]. Hassas yansıtıcılara sahip lambalar başka ek ışık kontrolüne ihtiyaç duymazken, optik kontrolü olmayan lambalarda ışığı kontrol etmek ve dağıtmak için ışıklığa (aydınlatma aygıtına) gerek olabilir.

#### **2.4.3 İç Mekanlarda Kullanılan Başlıca Lamba Çeşitleri**

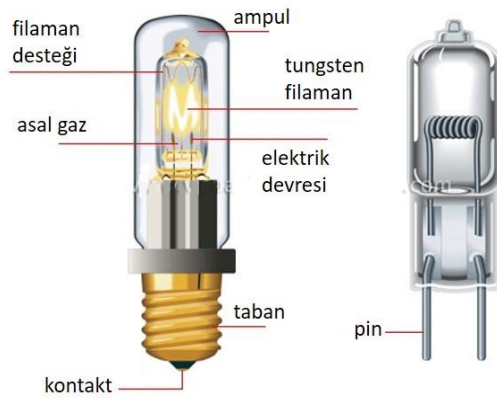
Yapay ışık kaynakları, yani lambalar gözle görülür ışık üretmeye yarayan araçlardır. Bir lamba ışık kaynağı, ampul, dip, duş ve birtakım yardımcı parçalardan oluşur [116]. Lambaları temelde akkor telli (enkanadesan) lambalar, deşarj lambalar ve LED (katı hal aydınlatması-SSL) olmak üzere 3 ana başlığa ayırmak mümkündür.

*Enkanadesan lambalar* diğer çeşitler arasında enerji verimliliği en düşük olanıdır ve genellikle konutlarda kullanılır. Bu lambalar, elektrik akımı ile ısıtıldığında parlayan küçük bir bobin veya tungsten tel flamanı kullanarak görünür ışık üretir. En önemli avantajı ucuz olması ve renksel geriverim değerinin yüksek olmasıdır. Klasik akkor telli lambalar ve halojen lambalar olarak ikiye ayrılırlar. Klasik akkor telli lambalar ürettikleri ışıktan çok ısı açığa çıkarırlar ve kullanım süreleri düşüktür (ortalama 1000 saat). Bu nedenle bazı ülkelerde satışları durdurulmuş, ya da durdurulması planlanmaktadır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde Ocak 2012'de yapılan bir düzenleme ile bu lambaların üretimleri durdurulmuş, Ocak 2014'ten itibaren ise tamamen piyasadan kaldırılmıştır [117]. Halojen lambaların ise akkor telli lambalara kıyasla enerji verimliliği daha yüksektir. Halojen lambalar, kuvars halojen veya tungsten halojen olarak da bilinen, akkor lambanın gelişmiş şekli olan lambalardır. Atomların termal hareketliliğinden kaynaklanan elektromanyetik radyasyon ile görünür ışık üretirler. Bu lambalara adını veren halojen, kolayca negatif iyonlar oluşturabilen klor, flor, iyot, brom, astatin gibi monovalent bir elementtir. Halojen lambalarda sadece gaz halinde brom ve iyot kullanılır. Bu gazlar, akkor telli

lambalardan farklı olarak flamanın daha yüksek sıcaklıkta çalıştırılmasını sağlar, böylece, küçük bir ampulle nispeten yüksek bir verimliliğe ve renk sıcaklığına ulaşılır. Lamba yandıkça flamandan tungsten molekülleri buharlaşır ve halojen gaz ile birleşir. Gaz haline gelen tungsten molekülleri daha sonra yoğunlaşarak flamana geri döner. Bu sürece halojen döngüsü denilmektedir. Halojen döngüsü, lambanın ömrünü uzatır ve ampulün kararmasını önler. Halojen lambalar çok yüksek sıcaklıklarda çalıştığından genellikle kuvarstan yapılan özel cam ampuller gerektirir. Şekil 4'te akkor telli lambalar, Şekil 5'te ise halojen lambalar gösterilmiştir.



Şekil 4: Akkor Telli Lambalar.



Şekil 5: Halojen Lambalar.



Hem akkor telli hem de halojen lambalar ışık şiddeti kısılarak azaltılabilir (dimerlenebilir), ancak halojen lambalarda yaklaşık %80 altında kısıldığında halojen döngüsü zarar göreceğinden ampulde kararmalar olabilir. Bu lambaların çok yüksek sıcaklıklarda çalışmaları ve halojen döngüsü, akkor telli lambalara göre daha fazla morötesi ve kızılötesi ışınım üretmelerine neden olmaktadır. Bu nedenle pek çok halojen lamba, morötesi ışınımı lens ya da cam kılıflara sahiptir. Bazı halojen lambalarda, flamanın geri yayılan kızılötesi dalga boylarını yansıtan, flamanın sıcaklığını ve etkinliğini arttıran dikroik kaplamalar mevcuttur. Halojen lambaların yaydıkları yüksek çalışma sıcaklığı çok iyi renk ve sıcaklığına sahip, memnuniyet verici bir ışık oluşmasını sağlar. Standart akkor lambalara göre rengi, güneş ışığına daha yakındır. Ayrıca bu lambalar akkor telli lambalara göre daha uzun lamba ömrüne ve daha kompakt bir yapıya sahiptir. Üretimi maliyetleri yüksek değildir.

Enkandesan lambaların yüksek derecede ısı üretmeleri, lambaya dokunulduğunda yanıklara sebep olabilmesi bu lambaların dezavantajlarından. Akkor telli ve halojen lambaların gücü 15-300 W, Ra (renksel geriverim) değerleri ise 100'dür. Ancak akkor telli lambalarda watt başına üretilen lümen değeri 8-16, renk sıcaklığı 2700 K iken; halojen lambalarda watt başına üretilen lümen değeri 10-35, renk sıcaklığı ise 2800-3400 K arasında değişmektedir. Halojen lambaların ömrü akkor telli lambalara göre daha uzun olup 1700-2500 saat arası değişmektedir, sık açılıp kapanması durumunda ömrü kısılacaktır. Enkandesan lambaların kullanımı giderek kısıtlansa da, iç mekân aydınlatmalarından, ticari dış mekân aydınlatmalarına, müze ve sergi aydınlatmalarına, otomobil farı, çalışma lambası, hareket sensörlü güvenlik lambaları, film/TV prodüksiyonu aydınlatmalarına kadar geniş bir yelpazede potansiyel kullanım alanları mevcuttur.

*Deşarj lambaların* diğer bir adı da elektriksel boşalmalı lambalardır, başka bir deyişle bu lambalar, içlerindeki metal buharından elektrik akımı geçirilmesi ile çalışırlar. İçlerinde bulunan metal buharının/gazın çeşidine göre sodyum buharlı lambalar ve cıva buharlı lambalar olarak ayrılırlar. Bu kategoride iç mekanlarda en çok kullanılan lambalar flüoresan lambalardır. Flüoresan lambalar uç kısımlarında bulunan katotlardan elektronlar yaymak suretiyle ışık üretirler. Flüoresan lambaların içinde bulunan cıva buharı flamanlar tarafından ısıtılıp, buharlaştırıldığında, gözle görülemeyen morötesi ışınları saçmaya başlar [118]. Ortaya çıkan ışınlar tüpün iç yüzeyinin kaplanmış olduğu fosfor tozları ile etkileşime geçerek görülen ışığı

oluşturur [119]. Lambayı elektrik devresine bağlamak için tek dişli ya da çift dişli duylar kullanılır. En sık kullanılan flüoresan lambalar düz tüp şeklinde olanlardır. Bu lambaların dairesel, U şeklinde, spiral ve yivli türleri de bulunmaktadır. Ayrıca, daha küçük boyutlarda ve kıvrılmış formlarda kompakt flüoresan lambaların (CFL) da mevcuttur. Flüoresan lambalar farklı ışık renklerinde olabilirler. Bu lambaların ışık rengi iç yüzeyine kaplanan fosfora göre belirlenir. Renk sıcaklıkları 2900-10000 K arası değişmektedir. UV ışınlarını görünür ışığa çeviren geleneksel halofosforlar, flüoresan lambalarda renksel geriverimi daha yüksek ancak daha düşük etkili kaliteli halofosforlarla değiştirilmiştir. Bu lambaların gün ışığı (D), beyaz (W) ve sıcak beyaz (WW) olanları düşük renksel geriverime; soğuk beyaz (CW), yumuşak beyaz (SW) ve lüks sıcak beyaz (WWX) olanları iyi derecede renksel geriverime; lüks soğuk beyaz (CWX) ve natürel beyaz olanları ise çok iyi renksel geriverime sahiptir. Flüoresanların kullandıkları enerjiye göre ışık akıları fazla olduğundan verimleri yüksektir. Işık dağılımları düzenlidir, ısınmazlar ve ömürleri uzundur (10000-20000 saat). Ayrıca ilk maliyetleri de kısmen düşüktür. Noktasal kaynaklar olmadıklarından odaklanmaları zor olsa da, flüoresanlar mekanların genel ambiyans aydınlatmaları için oldukça uygundur. Şekil 6'da flüoresan lambalar görülmektedir.

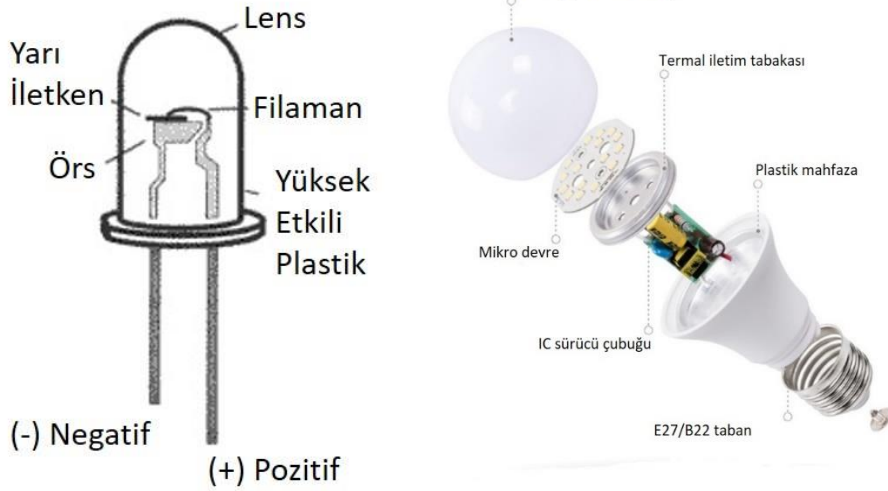


**Şekil 6:** Flüoresan Lambalar.

Flüoresanların çok yer kaplamaları, ışıklarının yönlendirilememesi, düşük gerilimlerde çalışmamları dezavantajları olarak sayılabilir. Bu lambalar kırıldıklarında cıva emisyonu meydana geldiğinden tehlikeli atık kategorisinde sınıflandırılırlar. Cıva oda sıcaklığında dahi buharlaşabilen, havada çok hızlı yayılan ve uzun süre kalabilen zehirli bir maddedir. Bu nedenle flüoresan lambalar ömrünü

doldurduğunda diğer atıklardan ayrı tutulmalı ve cıva kontrollü bir şekilde uzaklaştırılmalıdır. Flüoresan lambaların ön ısıtmalı, hızlı açılan ve hemen açılan olmak üzere 3 farklı şekilde çalıştırılan flüoresan lamba mevcuttur. Ön ısıtmalı olanlar genellikle 30 watt altı lambalarda kullanılır. Elektrotlar çalışma esnasında değil, öncesinde ısıtılır. Bu lambalar hızlı açılan flüoresanlardan daha verimlidir. Çalıştırılma esnasında ışıktaki titremeler meydana gelebilir, voltajda ani yükselme meydana gelirse lamba ömrü kısalmaktadır. En yaygın flüoresan çeşidi olan hızlı açılan lambalar, düzgün bir başlatma, uzun kullanım ömrü ve ışık şiddetini ayarlayabilme imkânı sağlarlar. Elektrotlar hem çalıştırılma öncesinde hem de sırasında ısıtılır. Bu özelliği hızlı açılan flüoresanları ön ısıtmalı ve hemen açılanlara kıyasla daha az verimli yapar. Hemen açılan flüoresanlar ön ısıtmalılarla aynı özelliklere sahiptir. Ancak elektrotları önceden ısıtmak yerine, başlatma esnasında yüksek voltajdan faydalanırlar; bu nedenle de uçları tek dişlidir. En yüksek lamba verimliliğine, en düşük kullanım ömrüne sahiptir. Hemen açılan flüoresanların, lambaların çok sık açılıp kapatıldığı yerlerde kullanımları uygun değildir.

LED'ler en son bulunan yapay ışık kaynağıdır. Diğer yapay aydınlatma kaynaklarının yaydığı ışıktan farklı bir yöntemle ışık üretmesi ve avantajlı yanlarının fazla oluşu LED'leri güncel teknolojinin, bilimin, sanatın ve günlük hayatın popüler konularından biri yapmıştır. Ticari alanda üretilen ilk LED (kırmızı LED) 1962'de gösterge ve sinyallerde kullanılmak üzere tasarlanmıştır [120]. 1990'larda ise kırmızı LED'in yanı sıra sarı, yeşil, mavi ve son olarak beyaz LED'ler geliştirilmiştir. O yıllarda LED'ler trafik lambaları ve otomobil endüstrisinde kullanılmıştır. 2000'li yılların başında titreşimden etkilenmemeye özelliklerinden dolayı araçların stop lambalarında, fren lambalarında, sinyal lambalarında, gösterge aydınlatmalarında ve far lambalarında kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde ise LED teknolojisi, var olan kullanımlarına ek olarak cep telefonlarında, futbol sahalarında, dış mekânlardaki görüntü cihazlarında, büyük trafik bilgilendirme göstergelerinde, reklam panolarında ve genel ve özel anlamda mekân aydınlatmalarında kullanılmaktadır. Şekil 7'de LED lambalar verilmiştir.



Şekil 7: LED Lambalar.

LED lambalar (light emitting diodes) yani ışık yayan diyotlar, elektrik enerjisini ışık enerjisine çeviren, yarı iletken devre elemanlarıdır. Bu lambalara SSL (solid state lamps/katı hal lambası) da denmektedir. Bir LED sistemi, iki farklı tip yarı iletken tabakalar arasında sıkıştırılmış aktif tabakadan ve bunların elektriksel bağlantılarından oluşan bir elemandır [121]. LED'lerden elektrik akımı geçirildiğinde aktif tabaka elektronlar tarafından uyarılır ve bu kısımda ışık oluşur. Oluşan ışık doğrudan ya da reflektör aracılığıyla yansıtılarak yayılır. LED'ler aktif tabakasında kullanılan malzemeye göre, ışık tayfının görülebilir bir bölümünde ışık oluştururlar. Yani LED'ler tek renk ışık üretir. Beyaz ışık üretimi için ise LED sisteminin içerisinde kırmızı, yeşil ve mavi üç tane malzeme bir arada kullanılır; ya da mavi ışık için faydalanılan malzemede ortaya çıkan ışığın, fosfor katmanını tetiklemesi sonucu beyaz ışık oluşur. LED ışık kaynakları az enerji tüketerek, yüksek verimle çalışmaları, uzun ömürlü olmaları, ışığın başarılı bir şekilde yönlendirilebilmesi, morötesi ve kızıl ötesi ışınların düşük olması, Ra değerinin yüksek olması, renk elde etmedeki başarısı nedeniyle özellikle son yıllarda tercih sebebi olmaktadır. Özellikle, LED lambaların çok sayıda farklı rengi uygun bir biçimde ortaya çıkarırken; beyaz renk ışığı farklı sıcaklık seviyelerinde üretebilmesi (Kelvin değerinin geniş bir aralıkta oluşu) oldukça başarılıdır. LED lambaların ışık şiddeti de ayarlanabilir, elektronik kontrol sistemleriyle uyumlu olarak çalışabilirler. Gövdeleri tamamen plastikten yapılıdır, ışık veren kısmı optik mercek, diğer kısımları ise metaldir.

LED lambaların doğrusal ışık yayması, aydınlatılması gereken bölgeye doğrudan ışık uygulanmasını sağlayarak, ışık kaynakları arasında karanlıkta kalan bölgelerin oluşumunu azaltır. Böylece ışık optimum şekilde kullanılır, enerji tüketimi ve ışık kirliliği azalır, verimlilik artar. LED lambaların 50000 saatten fazla kullanım ömrüne sahiptir, yani, günde yaklaşık 8 saat kullanılan bir LED aydınlatma 17 yıl boyunca kullanılabilir. Uzun ömürlü olduklarından, bu lambalar kullanıldığında hizmette kesinti olasılıklarının önüne geçilerek, hasar ve değiştirme gerekliliği ortadan kalkar; bakım maliyetinden tasarruf sağlanır. Ayrıca sıcaklıktaki değişimlerden etkilenmemeleri ve titreşime karşı dayanıklı olmaları geniş bir kullanım alanına sahip olmalarını sağlar. Pek çok iç ve dış mekânda, peyzaj aydınlatmalarında, güvenlik, havuz aydınlatmalarında, dolap içi, kabin altı aydınlatmalarında, dekoratif amaçlarla veya vurgu yapmak amacıyla kullanılabilirler. Düzenli bir ışık huzmeleri olduğundan göz kamaştırıcı etkileri olmaz. LED lambalar çalıştırıldığında hemen devreye girerler ve -30 C dereceye varan düşük sıcaklıklarda bile çalıştırılma süresine ihtiyaç duymadan iyi parlaklık ve renk verirler.

#### **2.4.4 Yapay Aydınlatma Kaynaklarının İç Hava Kalitesine Potansiyel Etkileri**

İç hava kalitesi konusu farklı yönleriyle farklı branşlarca uzun zamandır çalışılan bir konudur. Buna rağmen, yapay aydınlatma kaynaklarının hava kalitesine etkisi konusu literatürde oldukça yenidir. Dolayısıyla yapılan çalışmalar nicelik bakımından kısıtlıdır.

Çevre Bilimlerinde Araştırma Kooperatifi Enstitüsü (Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences at the University of Colorado-CIRES) tarafından 2011 senesinde başlatılan kent bazında çalışmalar kapsamında, geceleri yoğun ışıkla aydınlatılan ve ışık kirliliğine sahip büyük kentlerde hava kalitesi araştırmaları gerçekleştirilmiştir [122]. Araştırmalarda, geceleri dış havadaki duman, ozon ve uçucu organik bileşikler gibi hava kirleticilerini temizleyen nitrat moleküllerinin (gündüzleri bu molekülleri güneş ışığı yok eder), kent ışıkları tarafından parçalanarak yok edildiğini ortaya çıkarmıştır. Yapay ışıklar nitrat molekülünü ozon üretimi için azot dioksite çevirerek, özellikle ertesi günün sabahında ozon seviyelerini arttırmaktadır. Ozon seviyelerindeki küçük değişiklikler bile hava kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir.

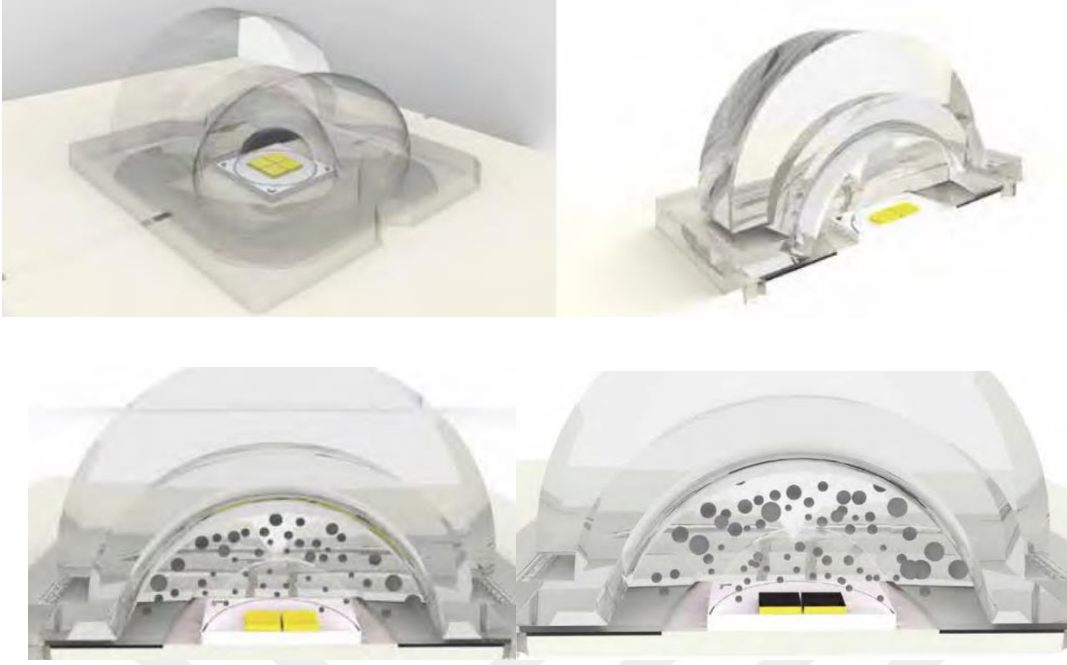
2011 yılında hazırlanan “City Lights and Urban Air (Şehir Işıkları ve Kent Havası)” isimli makalede bir araştırma uçağı kullanarak Amerika Birleşik Devletleri’nin Los Angeles kenti üzerinde Mayıs ve Haziran 2010 aylarında gece boyunca ışık yoğunlukları ve tipleri ölçülmüş ve nitrat moleküllerindeki azalmayı yapay ışıkların etkileyip etkilemediğı araştırılmıştır [123]. Ayrıca, toplam nitrat radikal kaybını belirlemek için nitrat konsantrasyonu, dinitrojen pentoksit ve ozon ölçümleri yapılmıştır. Gece ölçümleri sonrasında foto kimyasal tepkimeler sonucu havadaki nitrat radikallerinde %4 oranında azalma, nitrojen oksit oranlarında ise %3.5 oranında artış görülmüştür. Bu artışın ertesi günkü ozon seviyelerinde de artışa neden olduğu saptanmıştır. Yapılan bu araştırmanın Los Angeles’dan çok daha fazla kent aydınlatmasına sahip Las Vegas, New York, Tokyo gibi kentlerde de gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

“Influence of Artificial Lighting on Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC) in Museum Showcases (Yapay Aydınlatmanın Müze Sergi Ünitelerindeki Uçucu Organik Bileşik (UOB) Emisyonlarına Etkisi)” başlıklı makalede ise yapay ışık kaynaklarının müze sergileme ünitelerinde hava kalitesine etkileri araştırılmıştır [124]. Çalışmada 4 adet 20 Watt’lık halojen spot kullanılmıştır ve lambalar aralıksız 20 saat boyunca çalıştırılmıştır, örneklemeler GC-MS yöntemi ile analiz edilmiştir. Lambalar çalıştırılmadan önce 6609 µg m<sup>-3</sup> bulunan toplam UOB değeri, lambalar çalıştırıldıktan sonra 34870 µg m<sup>-3</sup> değerine yükselmiştir. İlk aşamada 53 adet farklı UOB bulunurken, lambalar çalıştırıldıktan sonra tespit edilen gaz sayısı 65’tir. Sonradan tespit edilen maddeler cyclic alkanes, iso-alkanes ve C<sub>4</sub>-benzenes ile nitrojen ve sülfür içeren tanımlanamayan maddelerdir. Aydınlatmayla değeri yükselen en dikkat çekici madde methoxy phenyl oxime olmuştur. Yeni maddelerin ortaya çıkışı sadece termal değerlerdeki artışla değil, fotokimyasal tepkimelerle de açıklanabilir.

“Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC) Released from Compact Fluorescent Lights (Kompakt Floresan Işıklardan Salınan Uçucu Organik Bileşik (UOB) Emisyonları)” başlıklı başka bir makalede ise kompakt flüoresan lambaların UOB emisyonları değerlendirilmiştir. Bu lambaların da iç mekan havasında UOB emisyonuna sebep olduğu, ancak ilk çalıştırma zamanı ile takip eden 24 saatlik periyotta emisyon miktarlarında değişimler olduğu bulunmuştur [125].

Son yılların en önemli teknolojik gelişmelerinden olan LED ışık kaynakları da genellikle uçucu organik bileşik içeren malzemelerden üretilirler. Bu lambaların iç

hava kalitesine etkisine ilişkin literatürde çalışma bulunamamasına rağmen, lambaların kendi içerisinde uçucu organik bileşik maddeler ürettiğine dair çalışmalar mevcuttur. “Effects of VOCs on LED Lighting Packages (UOB'lerin LED Aydınlatma Paketlerine Etkileri)” başlıklı çalışmada uçucu organik bileşiklerin LED’lerin ışık üretimleri üzerinde negatif etkisi olduğu, bunun lamba sisteminin içerisindeki gaz salınımından kaynaklandığı belirtilmiştir [126]. Farklı renkte LED kaynaklarla yapılan bu çalışmada, lambalar çalıştığında içeride üretilen ısı ve ışıktan dolayı termal oksidasyon ve fotooksidasyon gerçekleştiği, bunun plastik esaslı malzemeleri tetikleyerek UOB oluşturduğu, bazı parçaların ve lenslerin aşınıp karardığı, bu durumun özellikle beyaz ve mavi renkli ışıklarda daha hızlı lümen amortismanına neden olduğu bildirilmiştir. Daha uzun dalgaboyuna sahip kırmızı renkli LED’lerde ise kimyasal reaksiyonu başlatacak enerji sağlanamadığından yıpranma görülmemiştir. Ayrıca, bazı LED üretici firmalar yüksek çalışma sürelerinde ışık kaynakları içerisindeki bazı malzemelerin ve ürünlerin (sızdırmazlık maddeleri, contalar vb.) belirli uçucu organik bileşiklerin ortaya çıkmasına neden olduğunu; bunun ana lense zarar vererek, lambanın performansını, kararlılığı ve renk sıcaklığını etkileyebileceğini belirtmekte [127]; bu nedenle “VOC FREE (uçucu organik bileşik içermeyen)” etiketli ürünler piyasaya sunmaktadır. Kendi içerisinde uçucu organik madde ürettiği bilinen LED ışık kaynaklarının iç mekanlarda çalıştırıldığında ortaya çıkan ısı ve ışıkla etkileşiminin kirliliğe neden olabileceği ihtimali üzerinde durulması gereken bir konudur. Şekil 8’de LED lambalarda UOB’lerin çoğalarak ana lense nüfuzu görülmektedir.

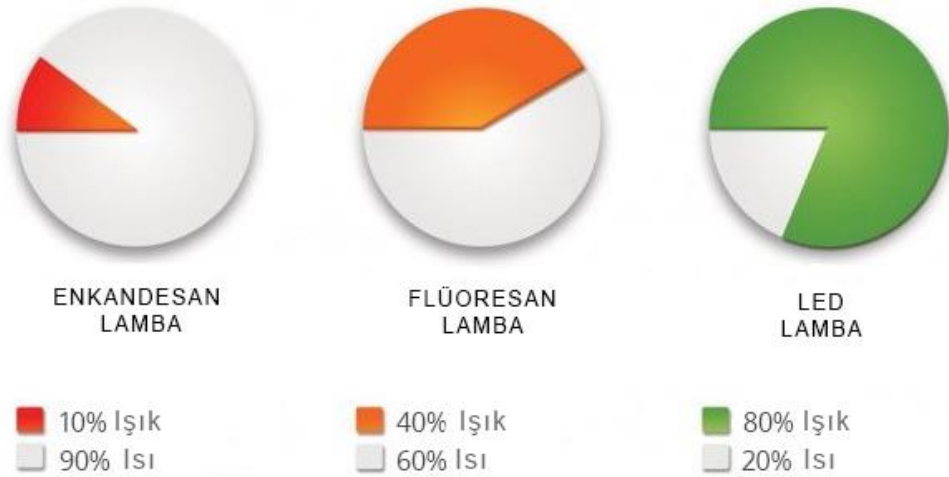
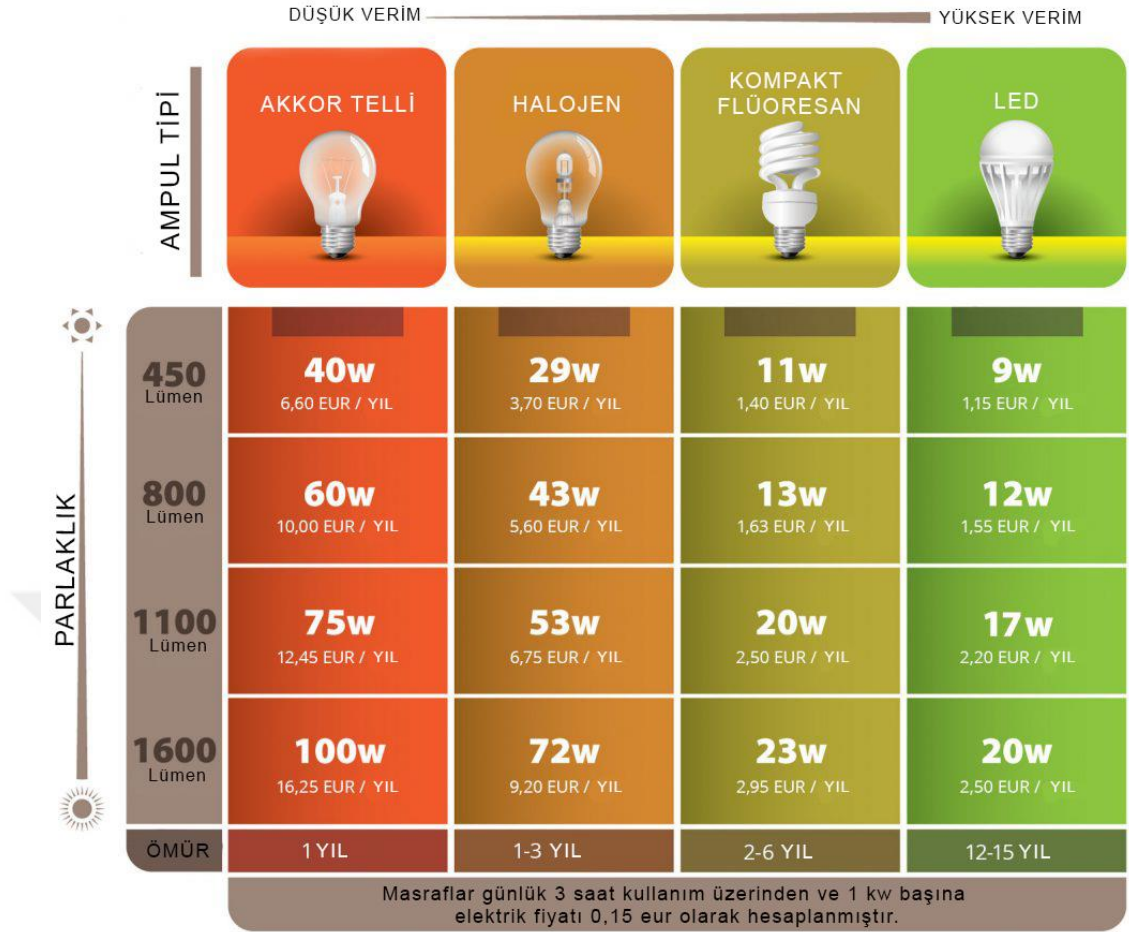


**Şekil 8:** LED'lerde UOB'lerin çoğalarak ana lense nüfuzu.

Piyasada var olan her lamba türünün kullanım ömrü, fiyatı, kaynaktan aldığı enerjinin hangi oranda ısıya ve ışığa dönüştüğü farklılık göstermektedir. Geleneksel enkandesan lambalar aldıkları enerjinin %10'ini ışığa, %18'ini ısıya, %72'sini ise infrared ısıya; flüoresan lambalar %40'ünü ışığa, %26'sını ısıya, %25'sini infrared ısıya; halojen lambalar %21'ini ışığa, %31'ini ısıya, %35 'ini infrared ısıya çevirmektedir (geri kalan miktarlar balast kaybıdır) [128]. Yapay ışık kaynaklarının özellikleri ve içerikleri farklı olduğundan iç hava kalitesine etkileri ya da etki süreleri de farklı olacaktır.

Şekil 9'da akkor telli, halojen, kompakt flüoresan ve LED lambaların aynı lümen değerleri için kaç watt elektrik enerjisi harcadığı, kullanım süreleri ve maliyetleri karşılaştırılmıştır.

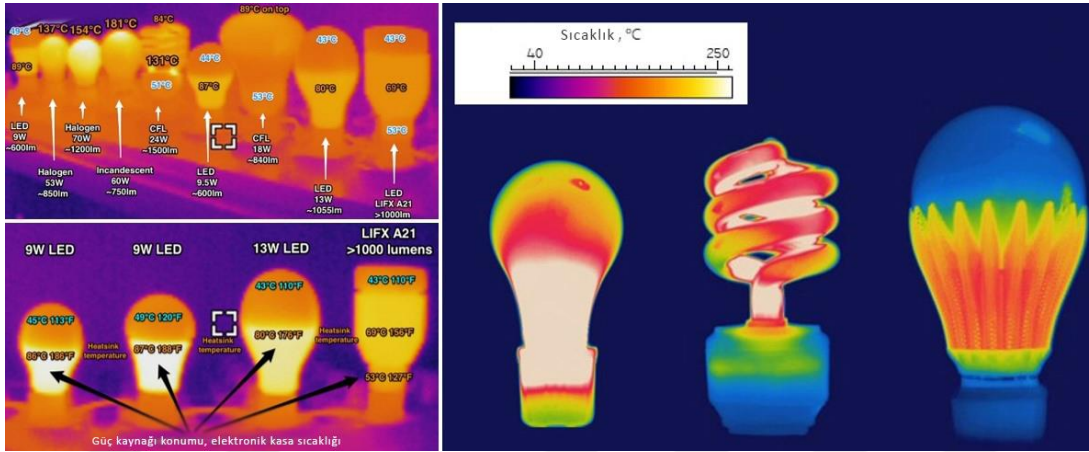




Şekil 9: Farklı Lamba Türlerinin Verimsel Karşılaştırılması.

LED lambalarda ise durum farklıdır. Öncelikle LED lambalar, diğerlerine göre daha az ısı açığa çıkarırlar. Üretilen bu ısı enkandesan ve flüoresan lambalarda olduğu gibi ampulün alt kısmında değil, elektrik kaynağına yakın olan üst kısmında

yoğunlaşmıştır; bu nedenle diğer lambalara elle dokunmak tehlikeliyken, LED'lerin elle tutulan kısmında ısınma daha azdır, el yakmaz (Şekil 10).



Şekil 10: Farklı Lamba Türlerinin Isınma Karşılaştırılması.

LED'ler kaynaktan gelen enerjinin %80 gibi büyük bir oranını ışığa çevirdikleri için, diğerlerine göre daha verimlidir. Bu duruma bakıldığında az ısındığından LED kaynakların iç hava kalitesi açısından daha sağlıklı olduğu düşünülebilir. Ancak buradaki önemli nokta LED'lerin çoğu yapay ışık kaynağından farklı olarak neredeyse tamamen plastik esaslı malzemelerden oluşması, içinin potansiyel UOB kaynağı olması ve ampul kısmının da silikondan üretilmesidir. İçten ısınan plastik malzemenin etkileri, dışarıya da yansiyabilir.

### **3.METODOLOJİ**

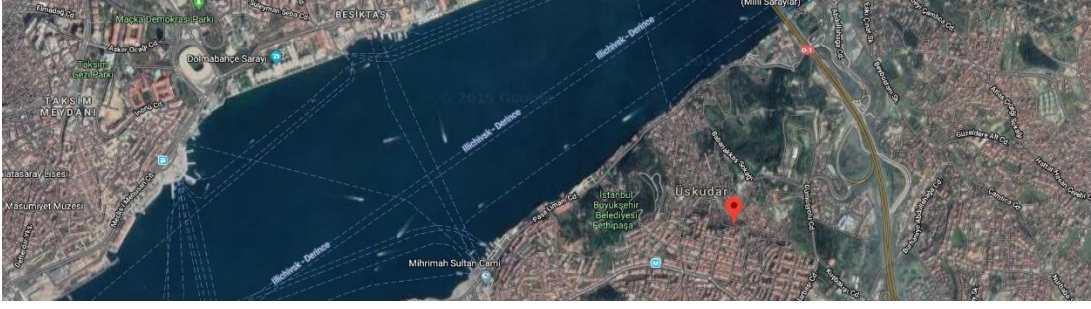
#### **3.1 Araştırma Sürecine Ait Genel Veriler**

Bu çalışmada iç mekanda kullanılan yapay aydınlatma kaynaklarından LED lambaların iç hava kalitesiyle ilişkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. LED'ler günümüzde kullanılan en yeni aydınlatma teknolojilerinden biridir; ve sağladığı pek çok avantaj sebebiyle kullanımları hızla yaygınlaşmaktadır. Bu lambalarda kullanılan bazı malzemeler/maddeler potansiyel UOB kaynağıdır ve lambanın ürettiği ısı UOB yayılımını arttırabilmektedir. Bu nedenle tez kapsamında UOB lambaların kullanım sürecinde iç havaya UOB yayarak, hava kalitesini etkileyip etkilemediği incelenmiştir. Çalışmanın metodoloji bölümü, sistemin kurulması ve örneklerin toplanması, örneklerin laboratuvarında analiz edilmesi, bulguların sunulması ve değerlendirilmesi aşamalarını kapsamaktadır. Çalışmanın bu kısmında, belirlenen iç mekanda, LED lambalar çalıştırılarak iç hava kalitesine etkisi sorgulanmıştır. Bunun için, boş bir odada lambalarla bir düzenerek oluşturularak, belirli zaman aralıklarında hava örnekleri alınmış ve özel bir laboratuvarında analiz edilmiştir. Analiz sonuçları grafikler yardımıyla sunulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

#### **3.2 Çalışmanın Yapıldığı Mekanın Tanımı**

Ölçümler İstanbul, Üsküdar, Kuzguncuk'ta yer alan, yaklaşık 20 yıllık, şu an mimarlık ofisi olarak kullanılan bir müstakil bir binada gerçekleşmiştir. Şekil 11'da çalışma mekanının konumu, Şekil 12'de çalışma mekanı çevresine ait bazı görseller verilmiştir. Bina, konutların ve küçük çaplı ticari işletmelerin bulunduğu bir çevrede yer almaktadır. Konumu olarak ana caddede değil, dar, ara bir sokakta ve cadde seviyesinden yaklaşık 7 metre yukarıdadır. İki yanında konut olarak kullanılan müstakil binalar konumlanmıştır. Arka cephesinde de işlek olmayan (genellikle konut kullanıcıların araçlarını park ettikleri) sokaklar bulunmaktadır. Giriş kısmının bulunduğu cephede yeşil alan-yapılı çevre oranı neredeyse yarı yarıyadır. Binanın kullanılan 2 cephesi kuzey-güney yönündedir.





Şekil 11: Çalışma mekanının konumu.



Şekil 12: Çalışma mekanı ve çevresi.

Şekil 13’de çalışmanın yapıldığı bina ve ofise ait görseller verilmiştir. Bina 3 katlı, çelik konstrüksiyon, tuğla duvarlı, döşeme ve tavanları ise masif ahşaptır. Yoğunlukla binanın sadece giriş katı kullanılmaktadır, diğer katları toplantı, dinlenme vb. ihtiyaçlara hizmet etmektedir. Giriş katında yaklaşık 1,5 m uzunluğunda açık bir mutfak (sadece içecek servisleri için), 6 adet ofis masası&sandalyesi, 6 adet de bilgisayar, 3 adet de yazıcı bulunmaktadır. Ofisin giriş katında ayrıca bir şömine

bulunmakta ve baca borusu üst katları da kısmen dolaşarak geçmektedir, ancak uzun süredir kullanılmamıştır. Orta katta 1 adet 8 kişilik toplantı masası&sandalyeler, tuvalet&banyo, ve örneklemelerin yapıldığı kullanılmayan oda bulunmaktadır. Üst katta ise küçük bir mutfak, oturma alanı, yatma alanı, tuvalet&banyo ve teras yer almaktadır. Ofiste yürütülen mimari proje çizim işlemleri genellikle bilgisayarlar yardımıyla yapılmakta, çoğunlukla haftanın her günü kullanılmaktadır. Ofis genelinde LED aydınlatmalar kullanılmaktadır. Herhangi bir havalandırma/iklimlendirme sistemi yoktur.



**Şekil 13:** Çalışmanın yapıldığı bina ve örnekleme odası.



Çizelge 3'te örnekleme odasına ait detaylar verilmiştir. Örnek toplama alanı olarak binanın orta katında bulunan, boş/kullanılmayan, yer döşemesi masif parke, tavanı alçı, içerisinde taş yünü yalıtım paneli bulunan ahşap, duvarları su bazlı, beyaz renk boya ile boyanmış (3 sene önce), doğramaları da ahşap olan, yaklaşık 14 m<sup>2</sup> bir oda seçilmiştir. Odanın bir cephesinde 3 adet (75x75cm, 95x95cm, 75x75cm) pencere yer almaktadır. Odadan şöminenin baca borusu ve 2 adet çelik 10x10 kolon geçmektedir. Ayrıca odanın bir duvarında niş ve ahşap raflar ile toplantı odasına bakan ancak açılmayan renkli cam boyaları ile boyanmış bir pencere bulunmaktadır. Kapı ve pencere kasaları ahşaptır. Oda 3x4 metre ve yüksekliği 2.40 metredir.

**Çizelge 3: Örnekleme Odasına Ait Detaylar.**

	metre kare	malzeme
Pencere Camları	2.37 m <sup>2</sup>	Cam
Pencere Kasaları	1.06 m <sup>2</sup>	Ahşap (Yağlı Boya)
Duvarlar	33.66 m <sup>2</sup>	Su bazlı Duvar Boyası
Kapı	2.76 m <sup>2</sup>	Ahşap (Yağlı Boya) + Cam
Kapı Kasası	1.86 m <sup>2</sup>	Ahşap (Yağlı Boya)
Zemin	14 m <sup>2</sup>	Ahşap (Vernik)
Tavan	14 m <sup>2</sup>	Alçı panel + Ahşap
Ahşap Tavan Çıtalrı	4.8 m <sup>2</sup>	Ahşap
Kolonlar	1.85 m <sup>2</sup>	Çelik (Yağlı Boya)
Kirişler	3.67 m <sup>2</sup>	Çelik (Yağlı Boya)
Panel Radyatör	1.2 m <sup>2</sup>	Çelik (Yağlı Boya)

### 3.3 Çalışmada Kullanılacak Lambaların Özellikleri ve Aydınlatma Hesabı

Bu çalışma için E27 duylu, 14 Watt, 1521 lümen, 2700 K renginde klasik LED ampuller kullanılmıştır. Kaç adet ampül kullanılacağına karar vermek için;

$k = axb/hx(a+b)$  formülü ile önce oda indeksi hesaplanmış, daha sonra oda aydınlatma verimi tablosundan aydınlatma verimi bulunup,  $n=mxExA/\phi x\eta$  formülü ile gereken lamba sayısı hesaplanmıştır.

k : Oda indeksi

a : Genişlik (m)

b : Uzunluk (m)

h : Armatürle çalışma yüzeyi arası (m)

n : Lamba sayısı

m: Kirlilik faktörü

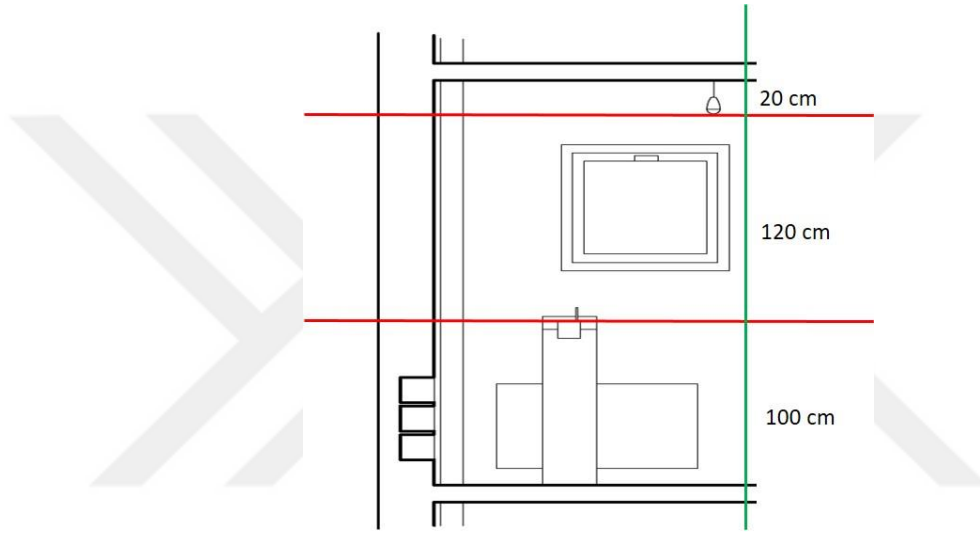
E: Gerekli aydınlatma şiddeti (lux)

A: Alan (m<sup>2</sup>)

φ: Lambanın ışık akısı (lümen)

η: Oda verimi

Yukarıda belirtilen formüllere Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) internet sitesinde bulunan dökümanlardan ulaşılmıştır. Buna göre 3 m'ye 4 m'lik odanın aydınlatma hesabı ve kullanılacak lamba sayısı Şekil 14 ve Çizelge 4'teki veriler temel alınarak:



Şekil 14: Örnekleme odası.

Çizelge 4: Oda Verim Tablosu, kaynak: www.emo.org.tr.

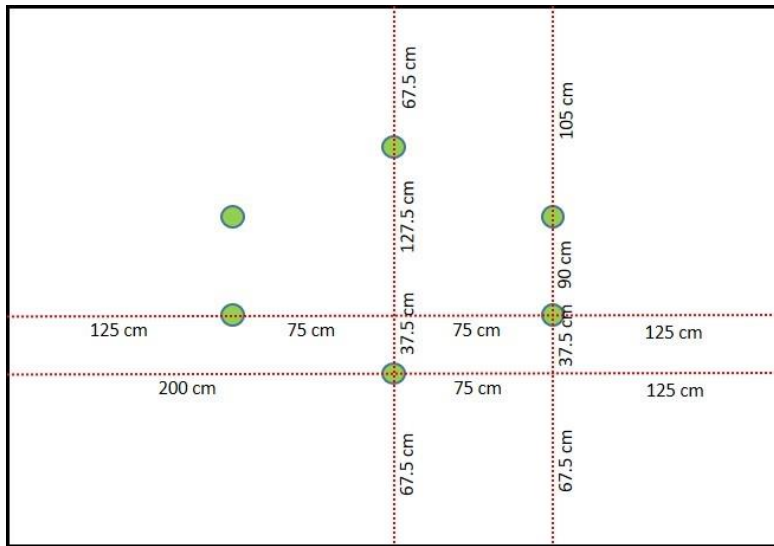
TAVAN	0,80				0,50				0,30	
DUVAR	0,50		0,30		0,50		0,30		0,10	0,30
ZEMİN	0,30	0,10	0,30	0,10	0,30	0,10	0,30	0,10	0,30	0,10
Oda indeksi	ODA VERİMİ η									
$k = \frac{axb}{hx(a+b)}$										
0,60	0,24	0,23	0,18	0,18	0,20	0,19	0,15	0,15	0,12	0,15
0,80	0,31	0,29	0,24	0,23	0,25	0,24	0,20	0,19	0,16	0,17
1,00	0,36	0,33	0,29	0,28	0,29	0,28	0,24	0,23	0,20	0,20
1,25	0,41	0,38	0,34	0,32	0,33	0,31	0,28	0,27	0,24	0,24
1,50	0,45	0,41	0,38	0,36	0,36	0,34	0,32	0,30	0,27	0,26
2,00	0,51	0,46	0,45	0,41	0,41	0,38	0,37	0,35	0,31	0,30
2,50	0,56	0,49	0,50	0,45	0,45	0,41	0,41	0,38	0,35	0,34
3,00	0,59	0,52	0,54	0,48	0,47	0,43	0,43	0,40	0,38	0,36
4,00	0,63	0,55	0,58	0,51	0,50	0,46	0,47	0,44	0,41	0,39
5,00	0,66	0,57	0,62	0,54	0,53	0,48	0,50	0,46	0,44	0,40

Oda indeksi  $k = 3 \times 4 / 1,2 \times (3+4) = 12 / 8,4 \sim 1,43$  ve  $\eta = 0,45$

Örnekleme yapılacak oda için gerekli aydınlatma şiddeti, kamu binaları- eğitim&öğretim amaçlı binaların derslik&bilgisayar odaları ile ofislerin hesaplama&yönetim odası vb. mekanları için gerekli olan 300 lux olarak belirlenmiştir. Lambalar yeni olduğundan kirlilik faktörü dahil edilmemiştir. Lambalar 1521 lümenlidir. Tüm bu veriler ışığında gerekli lamba sayısı:

$n = 300 \times 3 \times 4 / 1521 \times 0,45 \sim 6$  adettir.

Bu 6 adet LED lambanın örnekleme odası içerisindeki konumları Şekil 15’de verilmiştir. Örnekleme düzenekleri yerleştirilirken direkt olarak lambaların altına gelmemelerine dikkat edilmiştir.

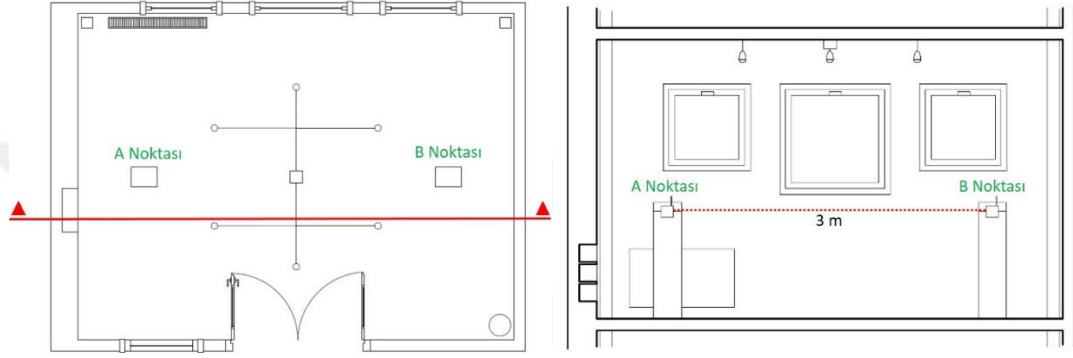


Şekil 15: Lambaların örnekleme odası içerisindeki konumu.



### 3.4 UOB Örnekleme Süreci

Şekil 16’de örnekleme odasının plan ve kesiti verilmiştir. A noktası odaya girildiğinde sol tarafta kalan, çevresinde kalorifer peteği, kolon, ahşap raflı niş ve cam boyasıyla boyanmış pencere olan noktadır. B noktası ise odaya girildiğinde sağ tarafta kalan, çevresinde şöminenin baca borusu ve kolon olan noktadır. İki nokta arası mesafe yaklaşık 3 metredir. Şekil 17’da iç ve dış ortam örnekleme düzeneği fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 16: Örnekleme Odası Plan ve Kesiti.



Şekil 17: İç ve Dış Örnekleme Noktalarının Konumu.

Örnekleme noktaları ve örnekleme sürecine ait detaylı bilgiler Çizelge 5’te verilmiştir.

**Çizelge 5:** Örnekleme sürecine ait detaylar.

Örnek No	Örnekleme Tarihi	Örnekleme Noktası	Örnekleme Noktası Tanımı	Örnekleme Zamanı	Çekiş Debisi
1	04.11.2019	A (İç)	Deney Odası 1. Nokta (Giriş-sol)	09.27-12.30	0,1 l/dk
2	04.11.2019	B (İç)	Deney Odası 2. Nokta (Giriş-sağ)	09.27-12.30	0,1 l/dk
3	04.11.2019	C (Dış)	Bina ön cephesi, pencere önü	09.27-12.30	0,1 l/dk
4	05.11.2019	A	Deney Odası 1. Nokta (Giriş-sol)	09.25-12.22	0,1 l/dk
5	05.11.2019	B	Deney Odası 2. Nokta (Giriş-sağ)	09.25-12.22	0,1 l/dk
6	06.11.2019	A	Deney Odası 1. Nokta (Giriş-sol)	09.22-12.26	0,1 l/dk
7	06.11.2019	B	Deney Odası 2. Nokta (Giriş-sağ)	09.22-12.26	0,1 l/dk
8	07.11.2019	A	Deney Odası 1. Nokta (Giriş-sol)	09.18-09.28	0,1 l/dk
9	07.11.2019	B	Deney Odası 2. Nokta (Giriş-sağ)	09.18-09.28	0,1 l/dk
10	08.11.2019	A	Deney Odası 1. Nokta (Giriş-sol)	09.23-12.33	0,1 l/dk
11	08.11.2019	B	Deney Odası 2. Nokta (Giriş-sağ)	09.23-12.33	0,1 l/dk
12	09.11.2019	A	Deney Odası 1. Nokta (Giriş-sol)	09.37-12.40	0,1 l/dk
13	09.11.2019	B	Deney Odası 2. Nokta (Giriş-sağ)	09.37-12.40	0,1 l/dk

UOB ölçümlerinin yapıldığı ilk gün iç mekanda toplam 2 adet, bina dışında ise 1 adet örnekleme düzeneği kurulmuş ve bu noktalardan aynı anda örnek alınmıştır. Diğer günler ise sadece iç mekan havasından örnekler alınmıştır. Örnekleme düzenekleri lambaların tam altına gelmeyecek şekilde birbirine paralel olarak ve UOB dağılımının olabildiğince homojen olarak öngörüldüğü şekilde yerleştirilmiştir. Örnekleme 04.11.2019 ve 09.11.2019 tarihleri arasında günde 180 dakika olacak şekilde toplam 13 tüp alınmıştır. Örnekleme cihazları yer düzleminden 1 m yukarıda, lambalarla arasında 1,2 m olacak şekilde düzeneklere sabitlenmiştir. Cihazın çekiş debisi 0,1 l/dk olarak ayarlanmıştır. Örnekleme düzeneğine ait fotoğraflar aşağıda yer almaktadır. Şekil 18’de örnekleme düzeneği ve sorbent tüpü görülmektedir.



**Şekil 18:** Örneklem Düzeneği ve Sorbent Tüpü

İlk örnekleme, 2 adet boş odadan ve 1 adet binanın dışından alınmış, odanın lambalar çalışmadan önceki var olan UOB değerleri tespit edilmiştir. Her örnekleme alınmaya başladıktan sonraki 24. saatte 2. örnekleme günü başlamıştır. Yani, örnekleme 0, 24, 48, 72, 96 ve 120. saatlerde alınmıştır (0. saatte 3 tüple background ölçümü, diğerlerinde 2'şer paralel tüple odanın UOB ölçümü için hava örnekleri toplanmıştır). Arka plan örnekleme 3 saat boyunca alındıktan hemen sonra lambalar açılmıştır ve son örnekleme alımı tamamlanıncaya kadar kesintisiz olarak çalıştırılmıştır. Analizler İstanbul'da bulunan özel bir laboratuvar tarafından yapıldığından, her örnekleme sonrasında tüpler soğutucu kutularla laboratuvara ulaştırılmıştır. UOB ölçümlerinde "TS ISO 16200-1 İşyeri hava kalitesi-Uçucu organik bileşiklerden numune alma ve çözücü desorpsiyonu/gaz kromatografisiyle analiz" metodu kullanılmıştır. Türkiye'de iş hijyeni kapsamında UOB maruziyeti ölçümü için iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili bakanlık ve kurumlar tarafından bu yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem ile benzen, etil benzen, heksan, heptan, etil asetat, , bütil asetat, m-p ksilen, o ksilen, n-oktan, 1-metil-3-etilbenzen, 1,3,5-trimetilbenzen, n-dekan, 1,2,4-trimetilbenzen, toluen, klorobenzen, 1,3-diklorobenzen, 1,2-diklorobenzen, 1,4-diklorobenzen, metanol, etanol, 2-propanol, bütanol gibi pek çok UOB çeşidi ölçülebilmektedir.

### İklim Verileri

Hava örneklemeleri sırasında düzenli olarak mekanın havasının sıcaklık, nem ve basınç değerleri kontrol edilmiştir. Çizelge 6'da dış ve iç çevrenin iklim verilerine ait değerler görülmektedir.

Çizelge 6: İklim Verileri.

Tüp No	Tarih	Dış Hava Sıcaklık	Dış Hava Nem	İç Hava Sıcaklık	İç Hava Nem
1,2,3	04.11.2019	19 °C	%70	22.7 °C	%51
4,5	05.11.2019	19 °C	%77	22.9 °C	%53
6,7	06.11.2019	18 °C	%71	22.9 °C	%52.5
8,9	07.11.2019	17 °C	%78	23 °C	%54
10,11	08.11.2019	17 °C	%72	23 °C	%52
12,13	09.11.2019	16 °C	%72	22.9 °C	%52

Örnekleme süreci boyunca hava sıcaklığı ve nem değerlerinin istenilen aralıkta (sıcaklık 23°C civarı ve nem %50-55) olmama ihtimaline karşı ısıtıcı ve nem alma cihazları hazır tutulmuştur, ancak kullanımlarına gerek duyulmamıştır.

#### 4. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışması kapsamında günümüzde sıkça kullanılan ve hızlıca diğer aydınlatma yöntemlerinin yerini almaya başlayan LED lambaların havaya UOB salınımı yaparak iç hava kalitesini etkileyip etkilemediği ölçülmüştür. Toplam 120 saat süresince 6 adet 1521 lümenlik LED lambanın çalıştırılmasıyla yapılan UOB ölçümlerinin sonuçları Çizelge 7'de sunulmuştur. Tam UOB taraması olarak gerçekleştirilen analizler sonucunda ortamda toplam 9 adet farklı UOB çeşidine rastlanmıştır. Bulgular her bir UOB türü için ayrı ayrı, ve ölçümlerin yapıldığı günler bazında hazırlanmıştır. Sonuçlar mikrogram/metreküp ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) cinsinden verilmiştir. En yüksek değerler toluen ve 1,4-diklorobenzen'de görülmüştür. A ve B ölçüm noktaları için, arka plan ölçümü de dahil, çoğunlukla A noktasındaki UOB miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, A noktasının etrafında kalorifer peteği, ahşap raflı niş ve cam boyalı pencerenin bulunması olabilir. B noktası ise tüm bunlara yaklaşık 3 metre kadar uzakta kalmaktadır.

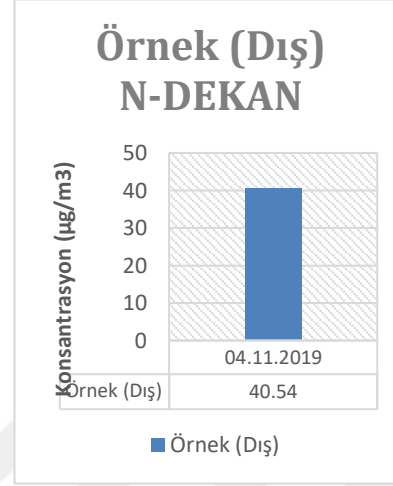
Çizelge 7: UOB Değerleri.

Ölçüm No	Ölçüm Yapılan Bölüm	Ölçüm Yapılan Parametre	Hesap Değeri (µg/m <sup>3</sup> )
1	Dış Hava	n-dekan	40,54
2	Örnek Noktası A 04.11.2019	etil asetat	37,40
		Toluene	68,83
		butil asetat	26,71
		n-dekan	53,95
		1,3-diklorobenzen	41,02
		1,4-diklorobenzen	143,43
3	Örnek Noktası B 04.11.2019	etil asetat	28,13
		Toluene	47,50
		n-dekan	33,93
		1,3-diklorobenzen	28,86
		1,4-diklorobenzen	98,09
4	Örnek Noktası A 05.11.2019	etil asetat	86,53
		1-bütanol	56,52
		Toluene	193,50
		butil asetat	49,37
		n-dekan	46,19
		1,4-diklorobenzen	158,71
5	Örnek Noktası B 05.11.2019	etil asetat	66,53
		1-bütanol	40,52
		Toluene	151,18
		butil asetat	39,61
		n-dekan	45,26
		1,3-diklorobenzen	74,69
		1,4-diklorobenzen	124,38
6	Örnek Noktası A 06.11.2019	etil asetat	63,62
		Toluene	147,93
		butil asetat	33,98
		n-dekan	36,42
		1,3-diklorobenzen	79,18
		1,4-diklorobenzen	283,30

<b>Ölçüm No</b>	<b>Ölçüm Yapılan Bölüm</b>	<b>Ölçüm Yapılan Parametre</b>	<b>Hesap Değeri (µg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>7</b>	Örnek Noktası B 06.11.2019	etil asetat	62,03
		1-bütanol	36,36
		Toluene	119,97
		butil asetat	28,92
		n-dekan	31,10
		1,3-diklorobenzen	72,93
		1,4-diklorobenzen	221,83
		1,2-diklorobenzen	26,86
<b>8</b>	Örnek Noktası A 07.11.2019	sec-bütanol	29,20
		etil asetat	58,61
		Toluene	131,57
		butil asetat	28,16
		1,3-diklorobenzen	53,56
		1,4-diklorobenzen	196,59
<b>9</b>	Örnek Noktası B 07.11.2019	etil asetat	56,94
		Toluene	118,68
		1,3-diklorobenzen	43,69
		1,4-diklorobenzen	142,98
<b>10</b>	Örnek Noktası A 08.11.2019	etil asetat	57,47
		Toluene	124,37
		1,3-diklorobenzen	40,74
		1,4-diklorobenzen	173,75
<b>11</b>	Örnek Noktası B 08.11.2019	etil asetat	54,08
		Toluene	115,97
		1,3-diklorobenzen	35,60
		1,4-diklorobenzen	173,75
<b>12</b>	Örnek Noktası A 09.11.2019	etil asetat	56,10
		Toluene	107,22
		1,3-diklorobenzen	33,69
		1,4-diklorobenzen	160,04
<b>13</b>	Örnek Noktası B 09.11.2019	sec-bütanol	43,35
		etil asetat	55,11
		Toluene	89,59
		1,4-diklorobenzen	126,93

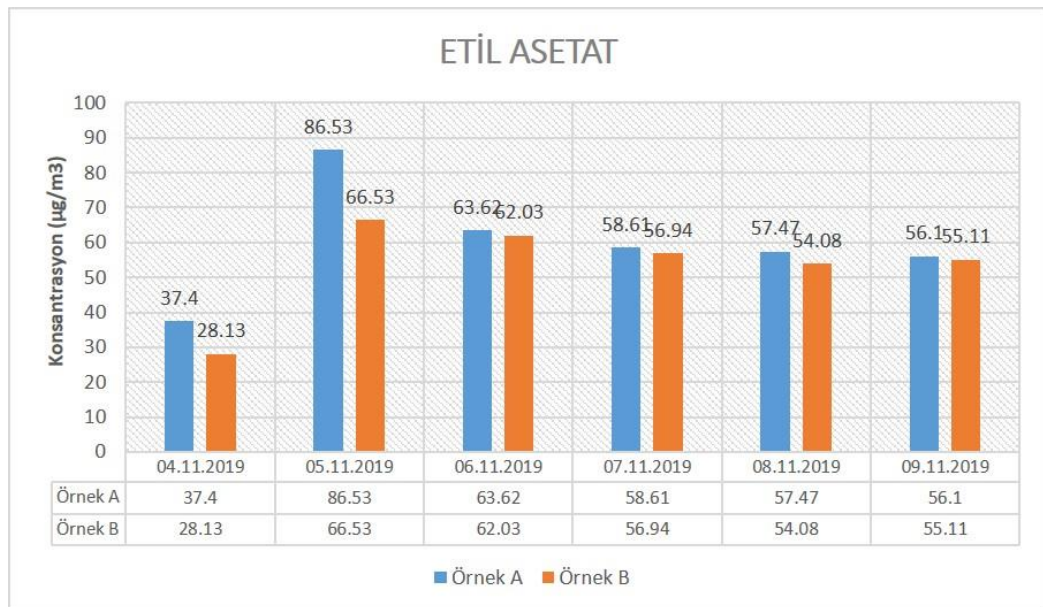
Ölçümler sonucunda etil asetat, toluen, butil asetat, n-dekan, 1,3-diklorobenzen, 1,4-diklorobenzen, 1-bütanol, 1,2-diklorobenzen, sec-bütanol maddelerine rastlanmıştır. Çizelge 7’de her tüp örnek için bulunan UOB’ler ve miktarları verilmiştir.

**Çizelge 8:** Dış Hava UOB Değerleri.



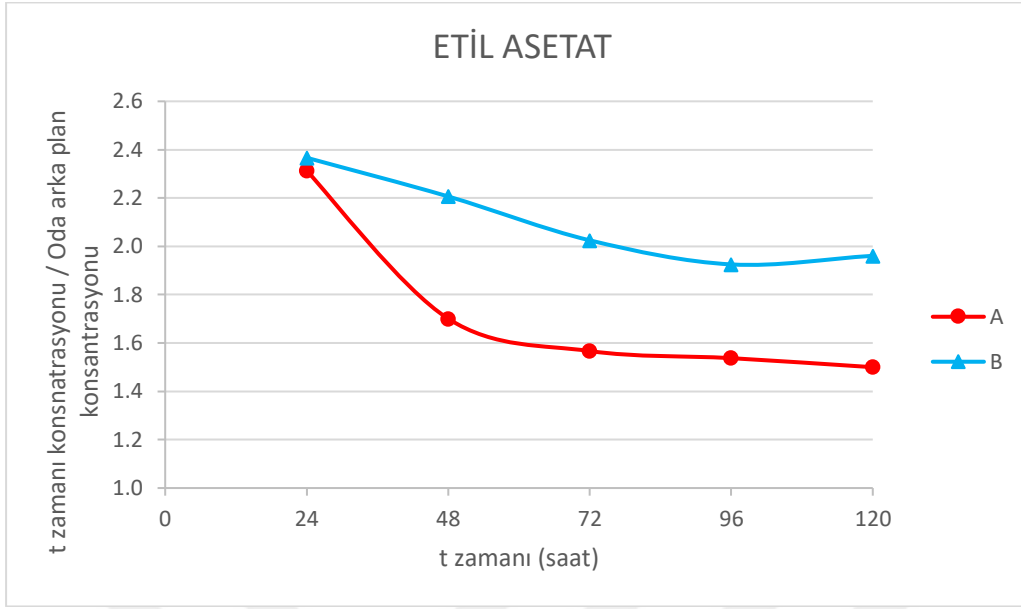
Ölçümlerin yapıldığı bina yoğun trafikten uzak, konutların bulunduğu küçük bir sokakta ve yeşil alanlarla karşılıklı olduğundan UOB değerlerinin yüksek çıkmayacağı öngörülüp, sadece arka plan ölçümlerinin yapıldığı ilk gün 1 tüple dış havadan örnek alınmıştır. Dış hava örneğinde görülen (tespit limiti olan  $0,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  üzerinde olan) tek UOB n-dekan olmuştur ve değeri  $40.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür (Çizelge 8).

**Çizelge 9:** Günlere göre etil asetat değerleri.



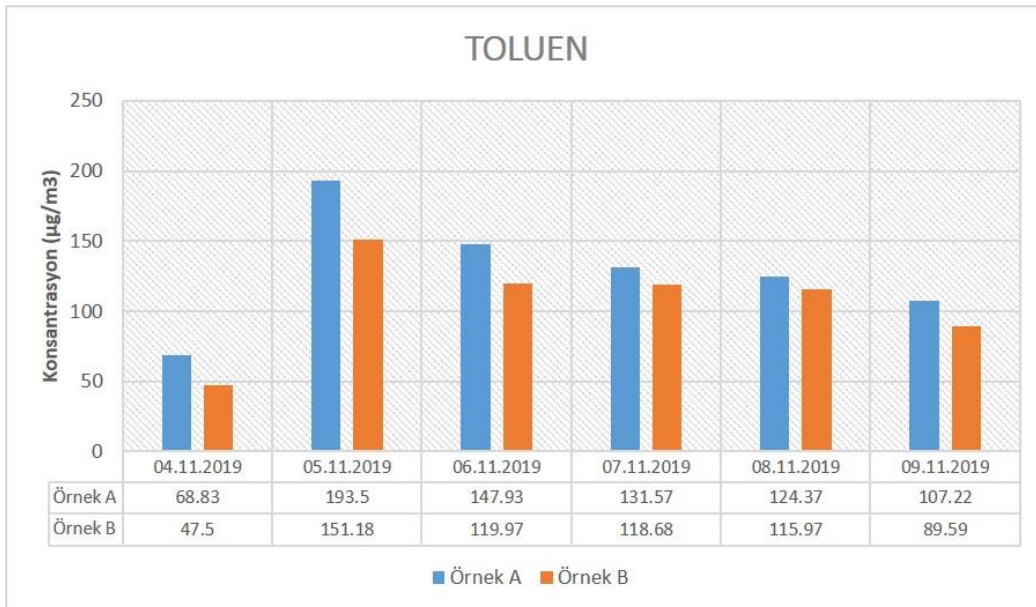


Çizelge 10: Zamanla etil asetat değişimi.



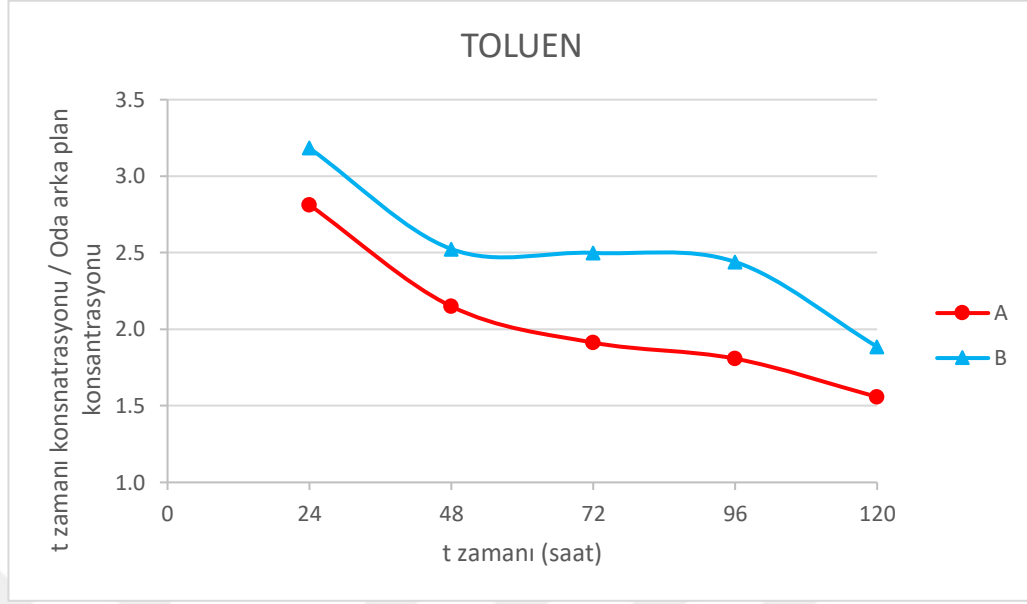
Çizelge 8'e göre, etil asetat örnekleme odasında lambalar çalıştırılmadan önce yapılan arka plan ölçümünde de tespit edilmiştir. Lambalar çalıştırdıktan sonraki 1. ölçüm gününde etil asetat değerleri hem A hem de B noktalarında en üst seviyesine ulaşmıştır. Sonraki günlerde yapılan ölçümlerde ise değerler birbirine yaklaşarak azalma eğilimi göstermiş, ve son iki gün sabitlenmeye başlamıştır. Çizelge 9'da ise lambalar çalıştırdıktan sonraki etil asetat değerlerinin arka plan ölçümündeki değere oranının zaman içindeki değişimi görülmektedir. Buna göre etil asetat konsantrasyonu oranının her 2 noktada da zamanla azaldığı; ancak B noktasında 120. Saatte az miktarda artış görülmüştür.

Çizelge 11: Günlere göre toluen değerleri.



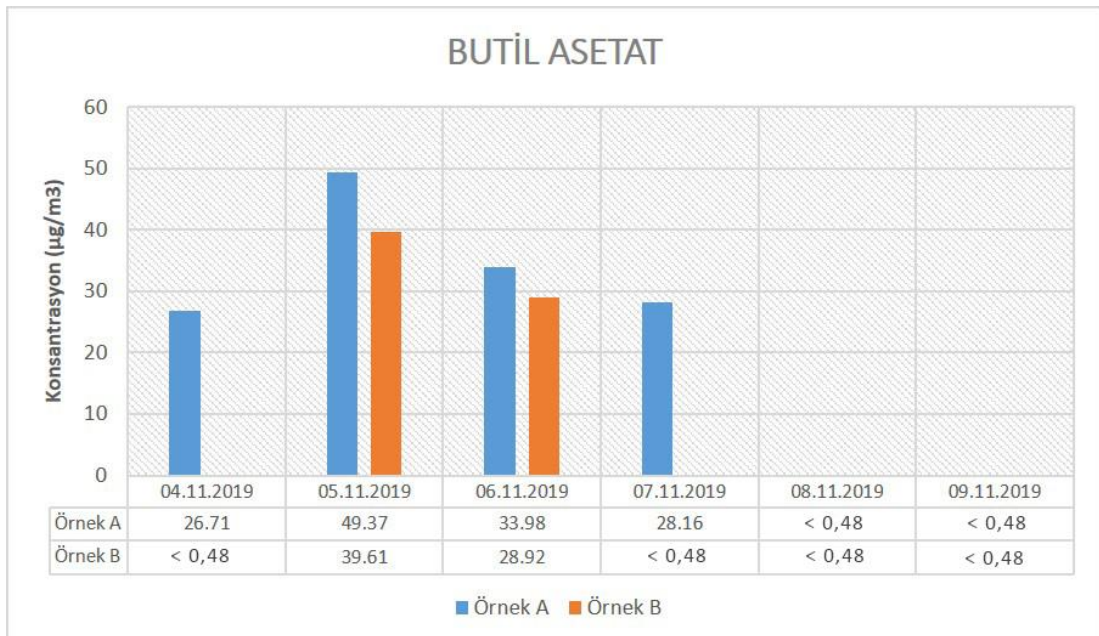


Çizelge 12: Zamanla toluen değişimi.

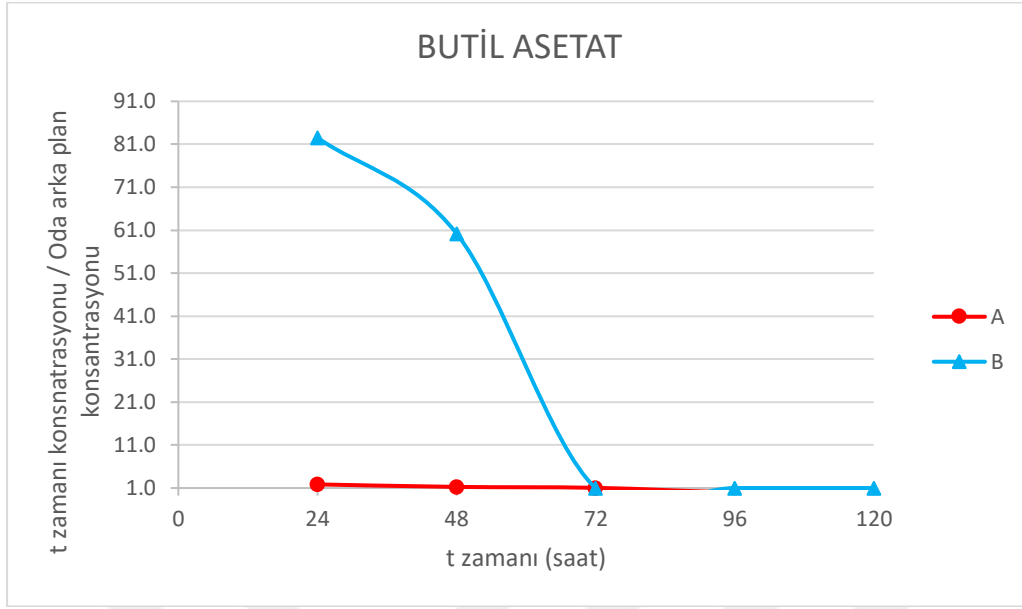


Çizelge 10'a göre toluen, arka plan ölçümünden itibaren yapılan her ölçümde çıkmıştır. Toluene, bu ölçümlerde değeri en yüksek çıkan iki UOB'den biridir. Aydınlatma elemanları çalıştırıldıktan sonraki ilk günde en yüksek değeri bulan toluene, sonraki ölçümlerde azalma eğilimine girmiş, ancak son 2 günde değerler birbirine yakın seyretmiştir. Çizelge 11'de ise lambalar çalıştırıldıktan sonraki toluene değerlerinin arka plan ölçümü değerine oranının A noktasında sürekli azaldığı; B noktasında ise 24-48. saatler arası azaldığı, 48-96. saatler arası sabitlendiği, sonra tekrar azaldığı görülmektedir.

Çizelge 13: Günlere göre butil asetat değerleri.

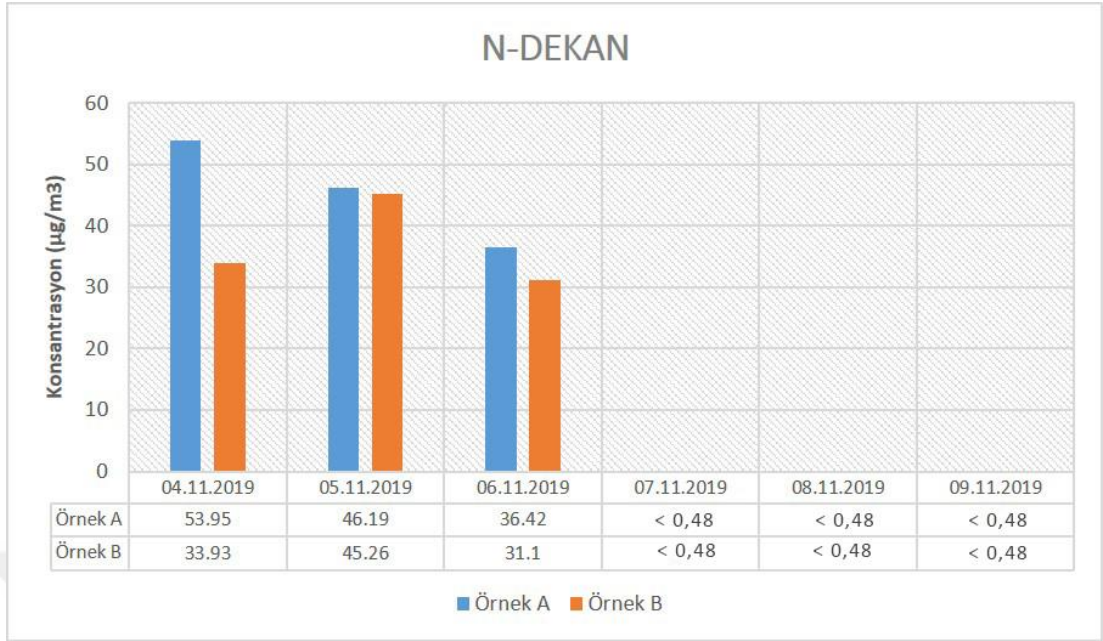


Çizelge 14: Zamanla butil asetat değışimi.

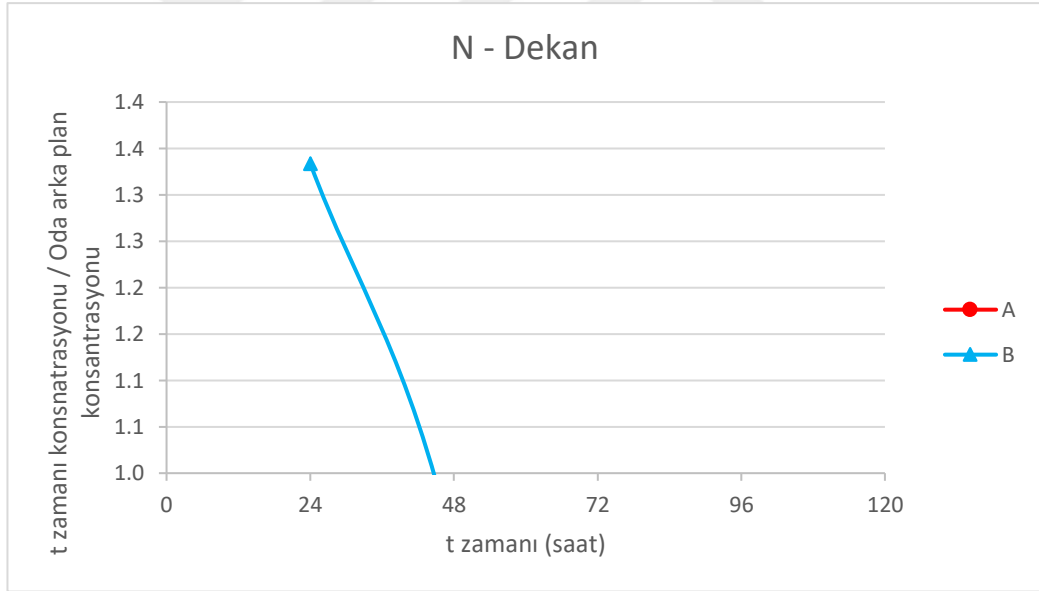


Çizelge 13'e göre butil asetat, arka plan ölçümünde yalnızca A noktasında tespit edilmiştir. Takip eden 2 günde hem A hem de B noktalarında görülmesine rağmen, B noktasındaki değer hep A noktasına kıyasla daha düşüktür. Takip eden günde ise butil asetat yine sadece A noktasında tespit edilmiş, sonraki günlerde tespit limitlerinin altında kalmıştır. Butil asetat için de en yüksek değer lambalar çalıştırıldıktan sonraki ilk ölçüm günüdür. Çizelge 14'te ise lambalar çalıştırıldıktan sonraki butil asetat değerlerinin arka plan ölçümündeki değere oranının, A noktası için giderek azalarak 96. saatten itibaren 0'a indiği; B noktası için ise 24-72. saatler arası giderek azaldığı, 72. saatten itibaren 1'e inerek sabitlendiği görülmektedir.

**Çizelge 15:** Günlere göre n-dekan değerleri.



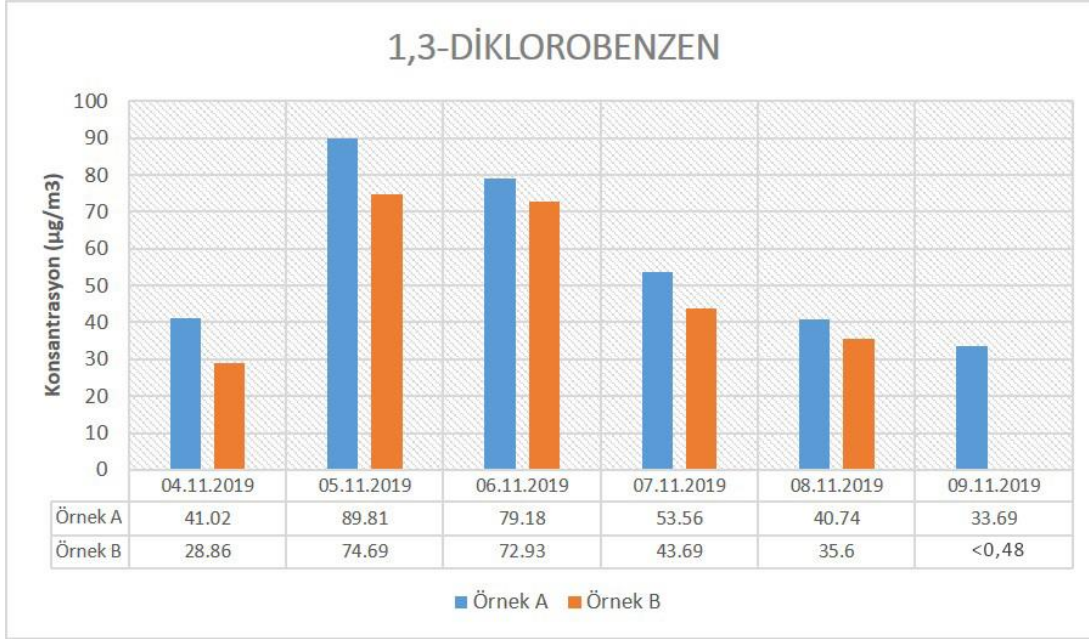
**Çizelge 16:** Zamanla n-dekan değişimi.



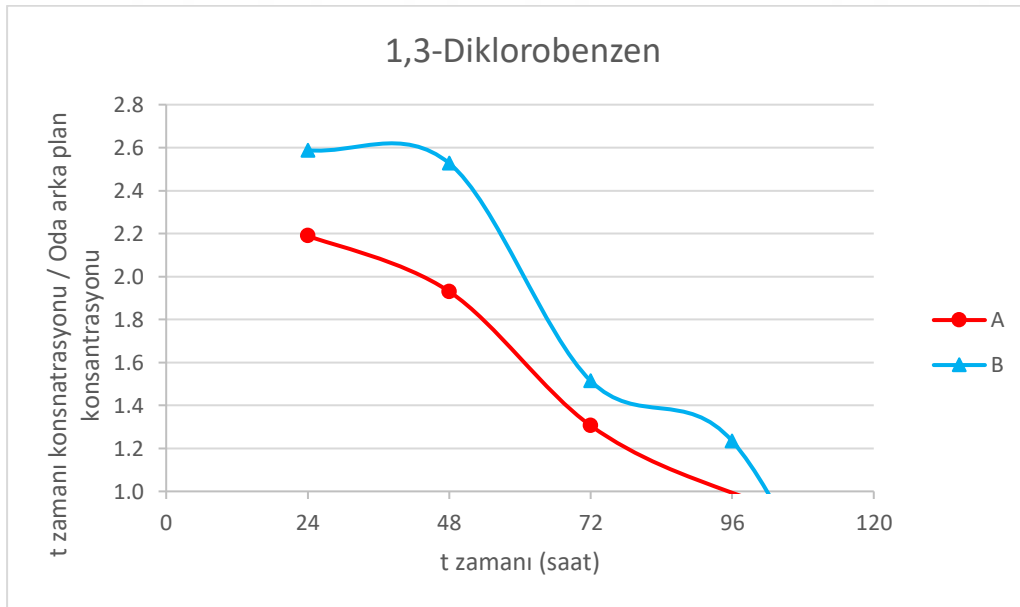
Dış havada da tespit edilen n-dekan, hem arka plan ölçümlerinde hem de lambalar çalışırken gerçekleştirilen 2 ölçümde de iç mekanda da görülmüştür (Çizelge 15). A noktasındaki değerler azalarak, 4. günde sıfırlanırken, B noktasındaki değerler 2. günde artıp daha sonra azalma eğilimine girip sıfırlanmıştır. Çizelge 16’da ise lambalar çalıştırıldıktan sonraki n-dekan değerlerinin arka plan ölçümündeki değere oranının, A noktası için 1’in altında başlayıp 72. saatten itibaren 0’da sabitlendiği; B noktası

için ise 1'in üzerinde başlayıp giderek azaldığı, 48. Saatten itibaren 1'in altına indiği, 72. Saatten itibaren 0'da sabitlendiği görülmüştür.

**Çizelge 17:** Günlere göre 1,3-Diklorobenzen değerleri.



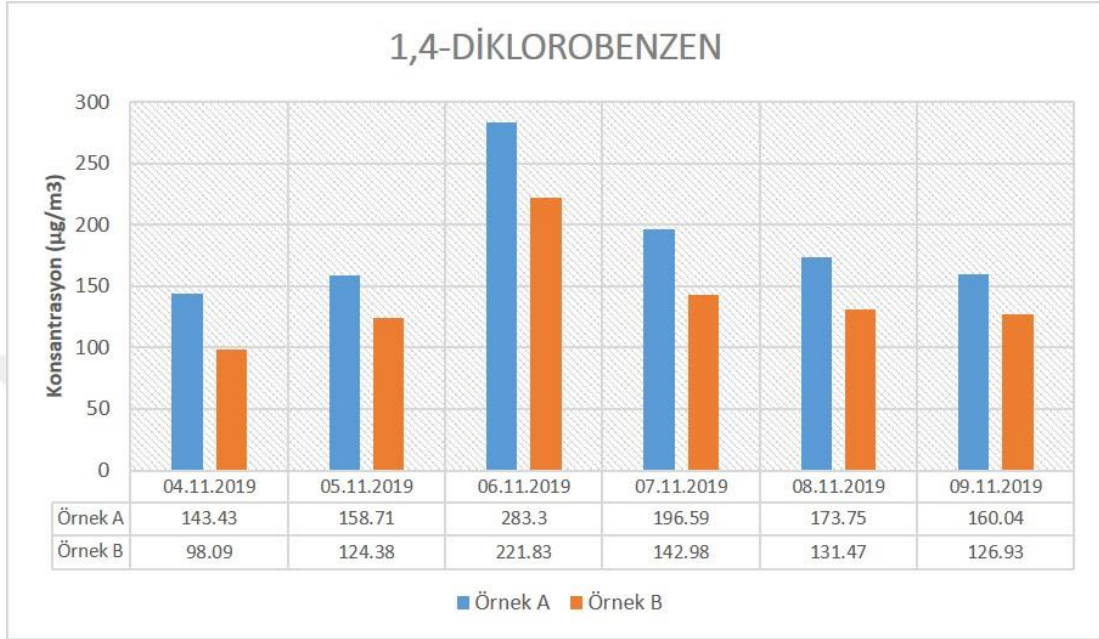
**Çizelge 18:** Zamanla 1,3-Diklorobenzen değişimi.



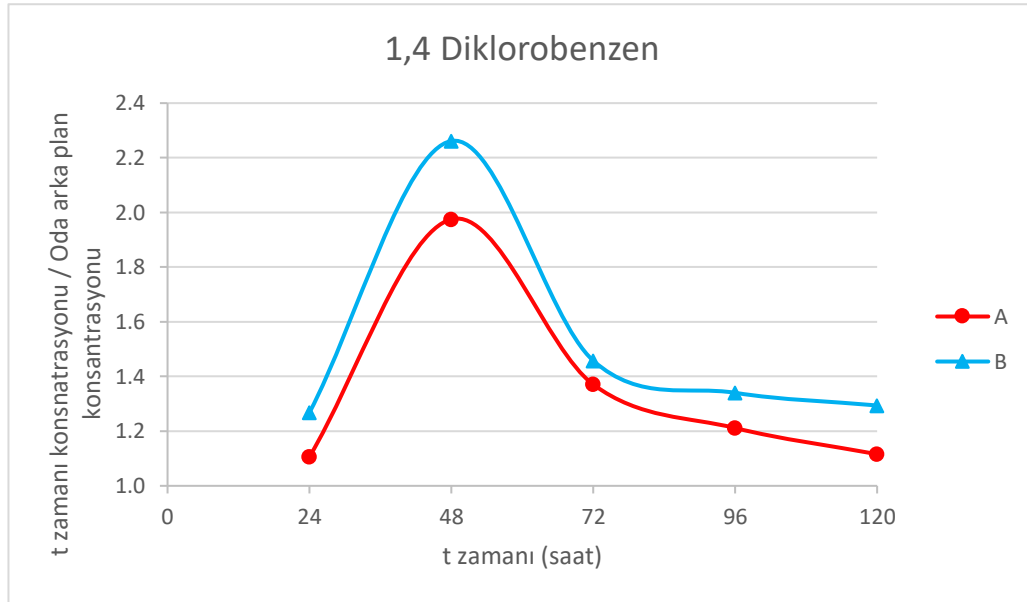
1,3-Diklorobenzen değerleri arka plan ölçümünden sonra lambaların çalıştırılmasıyla hızlı bir yükselişe geçmiş, sonrasında yavaşça azalarak seyretmiştir (Çizelge 17). A ve B noktaları için bulunan değerler birbirine yakın olmakla beraber, B noktasındaki değer son ölçüm gününde tespit limitinin altında kalmıştır. Çizelge 18'de ise ise lambalar

çalıştırıldıktan sonraki 1,3-diklorobenzen değerlerinin arka plan ölçümündeki değere oranının, A noktası için giderek azaldığı; B noktası için ise 24-48. ve 72-96. saatler arası neredeyse sabitlendiği, diğer aralıklarda hızla azaldığı görülmüştür.

**Çizelge 19:** Günlere göre 1,4-Diklorobenzen değerleri.



**Çizelge 20:** Zamanla 1,4-Diklorobenzen değişimi.

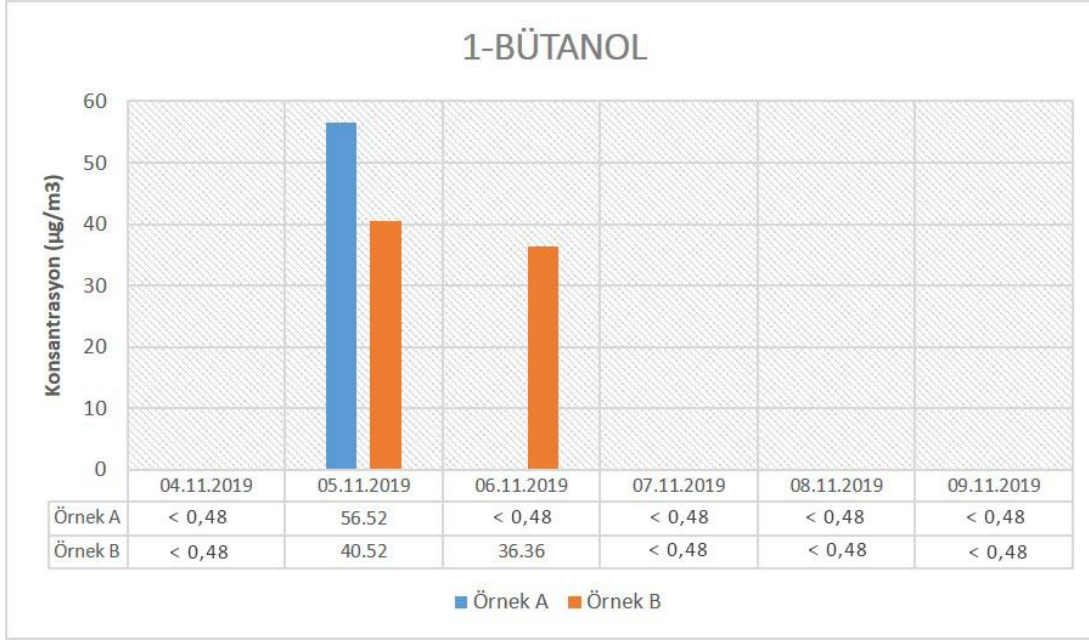


Tespit edilen UOB'ler içerisinde en yüksek değerlere sahip olan 1,4-Diklorobenzen, diğer UOB'lerin aksine, lambalar çalıştırıldıktan sonraki ilk gün ölçümünde değil, 2. gün ölçümünde en yüksek seviyelere ulaşmıştır (Çizelge 19). Sonraki günlerde ise

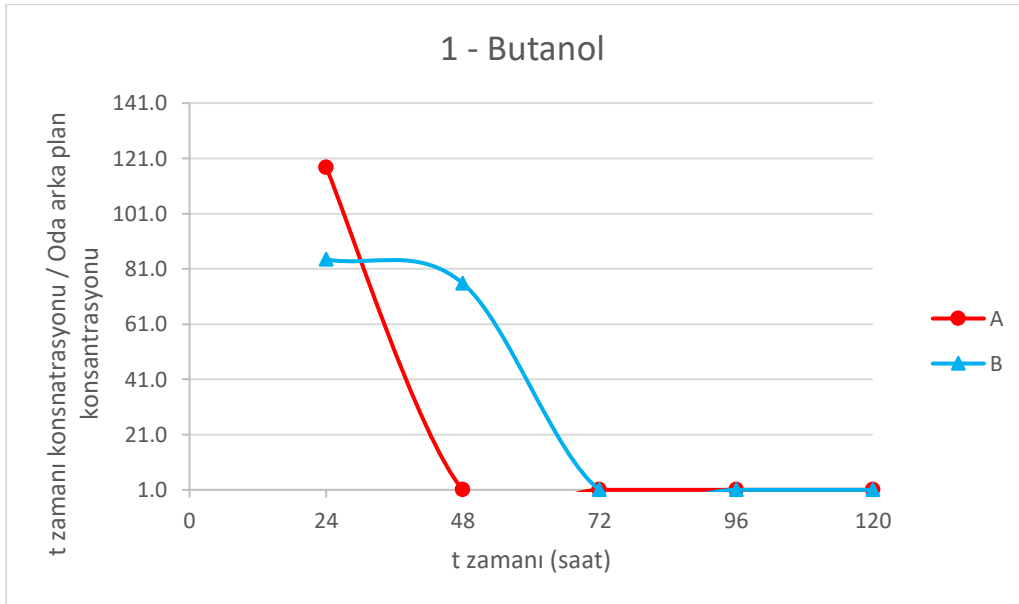


yavaşça azalarak değerlerin sabitlenmeye başladığı görülmüştür. A noktasında ölçülen değerler B noktasındakilere göre daha yüksektir. Çizelge 20’de ise ise lambalar çalıştırıldıktan sonraki 1,4-diklorobenzen değerlerinin arka plan ölçümündeki değere oranının, her iki nokta için de 48. saate kadar arttığı, 72. saate kadar hızla, sonrasında ise yavaşlayarak azaldığı görülmüştür.

**Çizelge 21:** Günlere göre 1-bütanol değerleri.



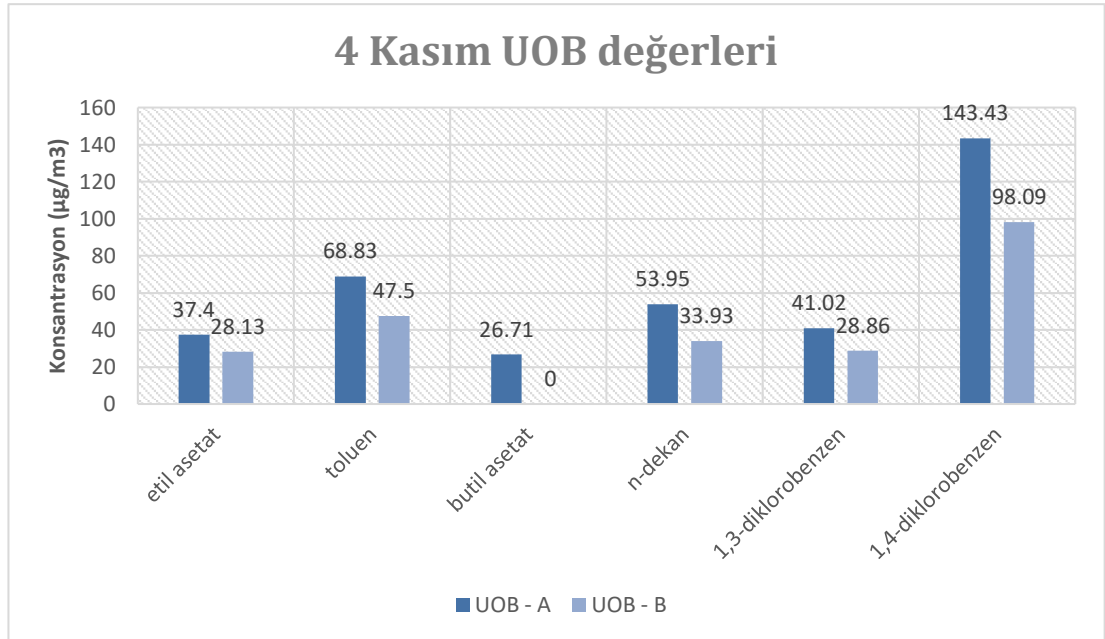
**Çizelge 22:** Zamanla 1-bütanol değişimi.



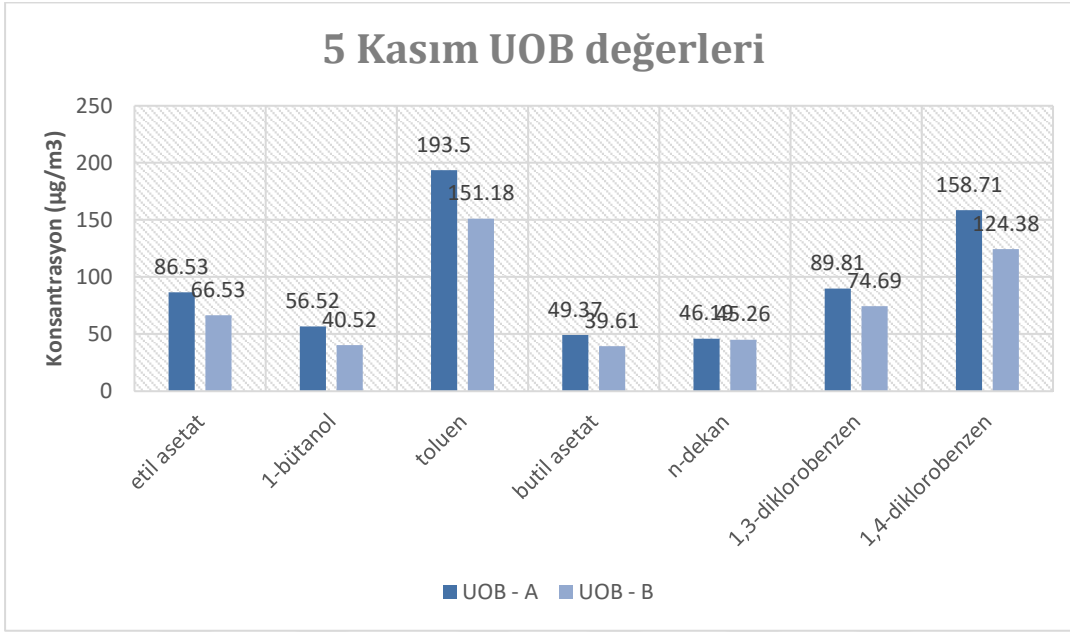
1-Bütanol değerleri arka plan ölçümü günü tespit edilmezken, lambalar çalıştıktan sonraki ilk ölçüm gününde en yüksek seviyesinde ortaya çıkmıştır (Çizelge 21). A noktasındaki değerler ertesi günkü ölçümde sıfırlanırken, B noktasındaki değer bir sonraki gün sıfırlanmıştır. Çizelge 21’de ise ise lambalar çalıştırıldıktan sonraki 1-bütanol değerlerinin arka plan ölçümündeki değere oranının, A noktası için 48. saatte kadar hızla düşerek 1’e sabitlendiği; B noktası için ise 72. saate kadar düşerek 1’e sabitlendiği görülmektedir.

LED lambaların hangi UOB türlerinin açığa çıkacağı net olarak bilinmediğinden, çalışmada tam UOB taraması tercih edilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda ortamda toplam 9 adet farklı UOB çeşidine rastlanmıştır. Bunlardan 6 tanesi (etil asetat, toluen, butil asetat, n-dekan, 1,3-diklorobenzen, 1,4-diklorobenzen) arka plan ölçümünün yapıldığı ilk günde de ölçülmüşken, diğer 3 tanesi (1-bütanol, 1,2-diklorobenzen, sec-bütanol) sonraki ölçüm günlerinde tespit edilmiştir. Aşağıdaki tablolarda günlük UOB değişimleri mikrogram/metreküp ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) cinsinden görülmektedir (Tabloda 0 olarak görülen değerler, ölçüm tespit limiti olan  $0,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ün altındadır - değer  $< 0,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ):

Çizelge 23: 1. gün ölçümleri.

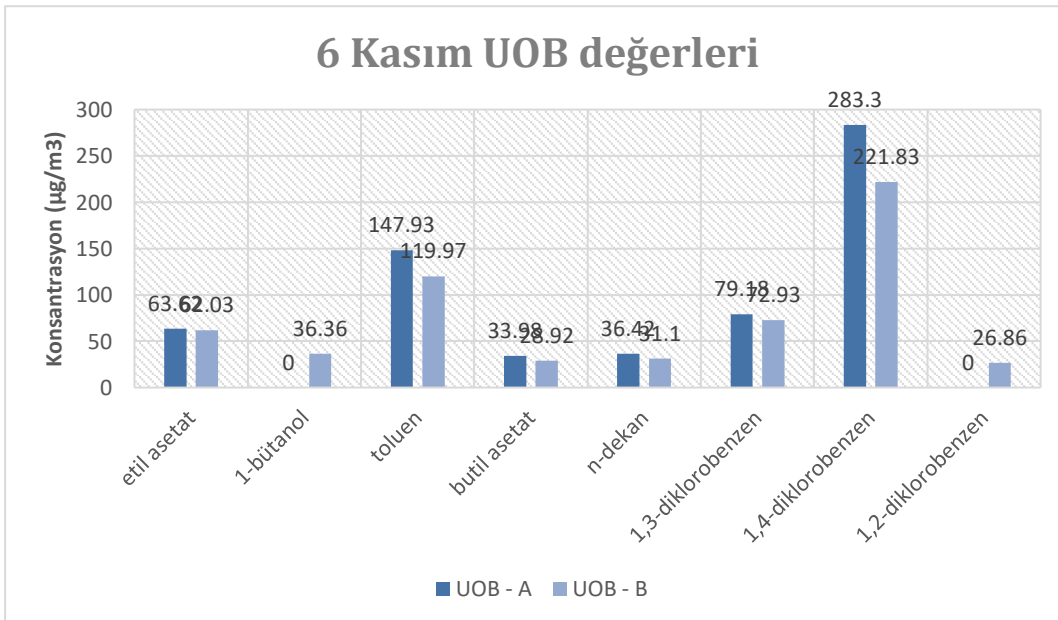


Çizelge 24: 2. gün ölçümleri.



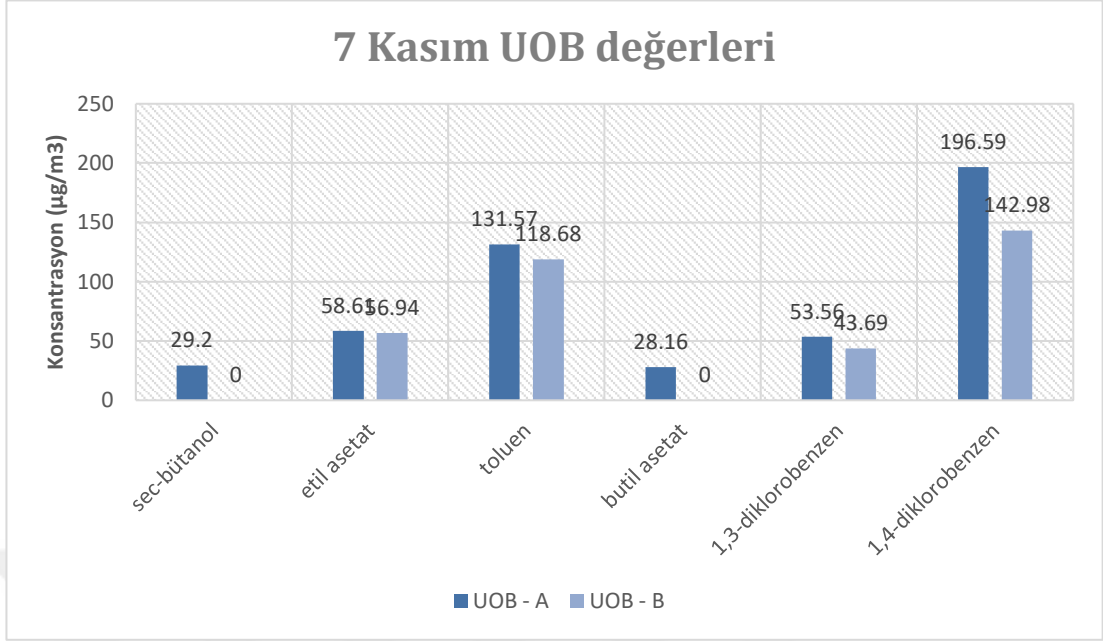
4 Kasım 2019’da yapılan arka plan ölçümlerinde toplam 6 farklı UOB tespit edilmiştir (Çizelge 23). Mekan havasında en yüksek tespit edilen değerler 1,4-diklorobenzen, en düşük değerler ise butil asetata aittir. Her UOB türü için A ve B noktalarındaki değerlerde ufak farklılıklar görülmüştür. Lambalar 24 saat çalıştırdıktan sonraki ilk ölçüm günü olan 5 Kasım 2019’da ise tespit edilen UOB sayısı 7’ye yükselmiş, listeye 1-bütanol da eklenmiştir (Çizelge 24). Toluene değerleri ilk ölçümlere göre 2 katından fazla artarken, diğer gazlardaki artışlar ilk güne oranla az miktardadır.

Çizelge 25: 3. gün ölçümleri.



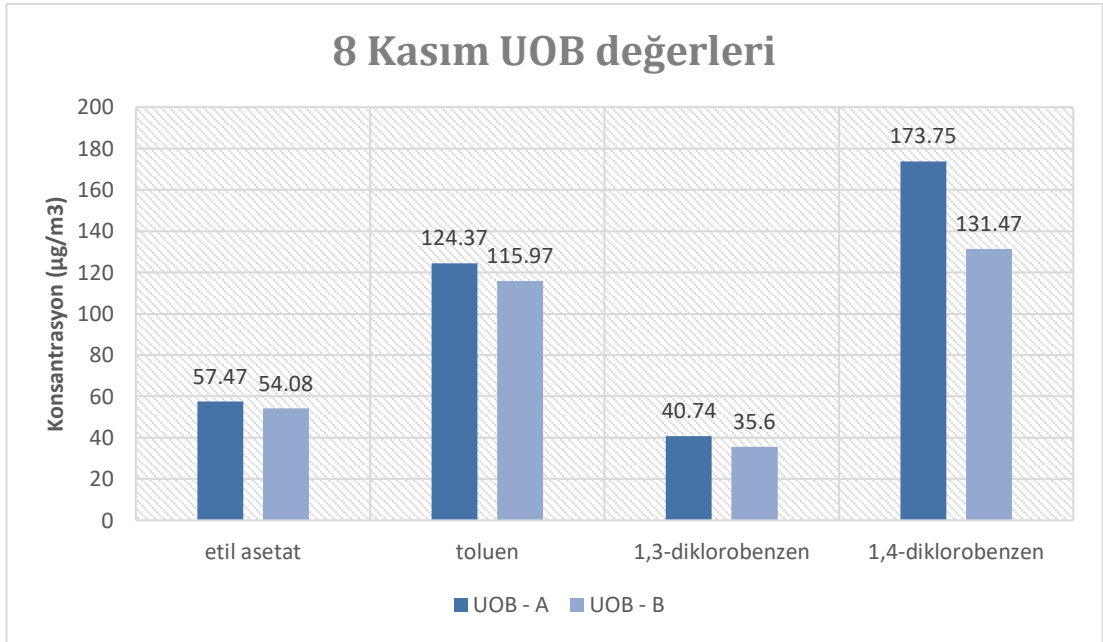


Çizelge 26: 4. gün ölçümleri.

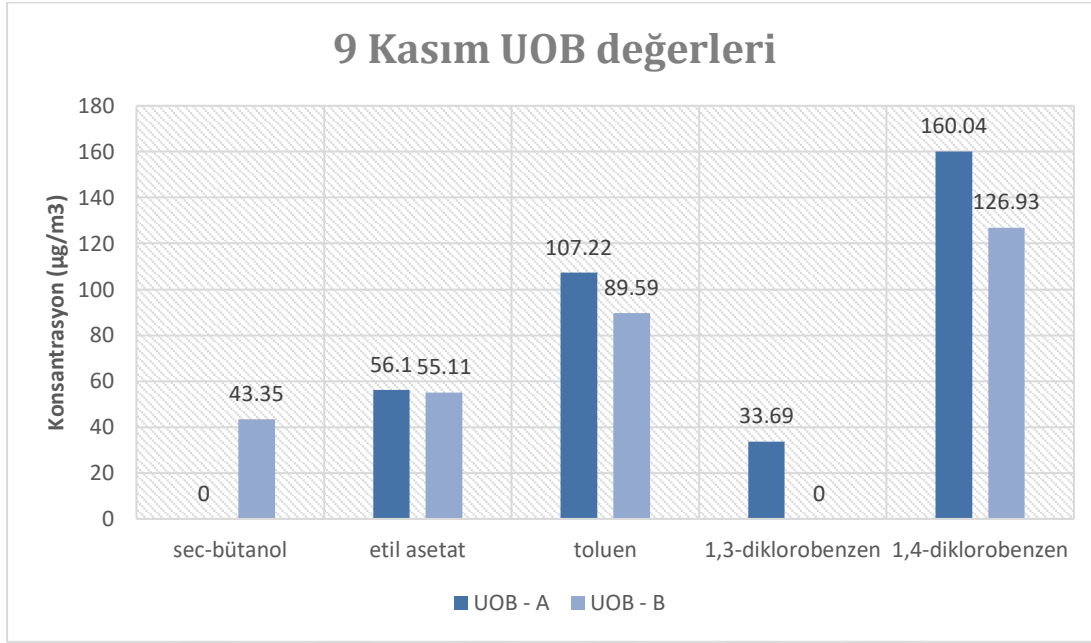


6 Kasım 2019 ölçümlerinde tespit edilen UOB sayısı 8'e yükselmiştir. Diğer günlere ek olarak 1,2-diklorobenzen maddesi de (sadece B noktasında) tespit edilmiştir (Çizelge 25). Ayrıca, 1,4-diklorobenzen değerleri de bu günde en yüksek seviyesine ulaşmıştır. 7 Kasım 2019 ölçümlerinde toplam 6 UOB tespit edilmesine rağmen, önceki günden farklı olarak sec-bütanol da listeye eklenmiştir (Çizelge 26).

Çizelge 27: 5. gün ölçümleri.



Çizelge 28: 6. gün ölçümleri.



8 Kasım 2019’da yapılan ölçümlerde tespit edilen UOB sayısı 4’e düşmüş, 9 Kasım 2019’ta tekrar 5’e çıkmıştır (Çizelge 27 ve Çizelge 28). Farklı olarak sec-bütanol tespit edilmiştir. Her iki gün için de en yüksek değerler toluen ve 1,4-diklorobenzen olmakla beraber, bu tarihlerde değerler birbirine yaklaşıyor azalma eğilimine girmişlerdir. Bazı gazların değerleri ise tespit limitlerinin altında kalıp sıfırlanmıştır.

Analiz sonuçlarına göre, en yüksek değerler toluen ve 1,4-diklorobenzen’de görülmüştür. A ve B ölçüm noktaları için, arka plan ölçümü de dahil, çoğunlukla A noktasındaki UOB miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, A noktasının etrafında kalorifer peteği, ahşap raflı niş ve cam boyalı pencerenin bulunması olabilir. B noktası ise tüm bunlara yaklaşık 3 metre kadar uzakta kalmaktadır.

Örneklerin alındığı günlerdeki iç mekan hava sıcaklığı 22.7-23°C arasında tespit edilmiştir. LED’lerin çalıştırıldığı günlerde sıcaklık artışı görülmediğinden, UOB konsantrasyonlarının değişimlerine etkisi olmadığı söylenebilir. Lambalar ilk ısındığındaki sıcaklıkla parçalar UOB üretmekte, sonra salınım azalarak ortamdaki ağırlıkla yere çökmektedir.

Çalışmada kullanılan, LED lambaların ve diğer aparatların gram cinsinden ağırlıkları aşağıda verilmiştir. Ölçüm işlemi için 0,01 gr- 500 gr arasını tartabilen dijital hassas tartı kullanılmıştır.

- Lamba siperi (plastik):  $7,68 \text{ gr} \times 6 = 46,08 \text{ gr}$
- Plastik mahfaza:  $16,1 \text{ gr} \times 6 = 96,6 \text{ gr}$
- Mahfaza içindeki metal sistem: 18,6 gr
- Yapıştırıcı:  $0,75 \text{ gr} \times 6 = 4,5 \text{ gr}$
- Mikro devre: 4,58 gr
- Taban (metal): 1.07 gr
- Taban (plastik):  $1,5 \text{ gr} \times 6 = 9 \text{ gr}$
- 2 adet metal vida: 0,30 gr
- IC sürücü çubuğu: 11,33 gr
- Duy (sadece plastik kısım):  $57 \text{ gr} \times 6 = 342 \text{ gr}$
- Kablo ve diğerleri: ~450 gr

6 adet LED lambada kullanılan potansiyel UOB kaynağı malzeme toplamı 156,18 gr'dır. Duylar, kablolar ve diğer aparatlar da katıldığında, mekanda toplam 948,18 gr UOB emisyonuna sebep olabilecek malzeme olduğu görülmektedir. Ölçüm yapılan odanın hacmi ( $3 \times 4 \times 2,40$ )  $28,8 \text{ m}^3$  ve aydınlatma için kullanılan tüm aparatlardaki UOB kaynağı olabilecek malzemelerin ağırlığı da 948,18 gr ise;  $1 \text{ m}^3$  hacmin aydınlatılması için harcanan UOB kaynağı malzeme 32,92 gr'dır.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde, 120 saatlik LED lamba kullanımıyla ortaya çıkan değerlerin bu aşamada insan sağlığı için önemli bir zararı olmadığı söylenebilir.

-Etil asetat  $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gözlerde,  $1400000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  teneffüs edildiğinde ise olarak burun, boğaz ve solunum yollarında rahatsızlıklara sebep olmaya başlamaktadır [129]. Ölçümlerde elde edilen en yüksek etil asetat değeri  $86.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

-Toluen  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  teneffüs edildiğinde solunum yollarını, sinir sistemini ve vücut gelişimini olumsuz etkilemeye başlar [130]. Ölçümlerde elde edilen en yüksek toluen değeri  $193.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

-Butil asetat  $300000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  teneffüs edildiğinde solunum yollarında,  $550000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  solunduğunda sinir sisteminde problemlere sebep olmaya başlar; ayrıca  $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gözlere rahatsızlık verir [131]. Ölçümlerde elde edilen en yüksek butil asetat değeri  $49.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

-N-dekan, kokusu  $3,600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sınırında anlaşılabilen bir maddedir.  $1700 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerine ulaştığında ilk olarak gözleri ve solunum yollarını rahatsız etmeye başlar [132]. Ölçümlerde elde edilen en yüksek n-dekan değeri  $53.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

-Diklorobenzenler  $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$  teneffüs edildiğinde sindirim sistemi, böbrekler, sinir sistemi ve solunum yollarında sorunlara neden olmaya başlar [133]. Ölçümlerde elde edilen en yüksek diklorobenzen (1,4-diklorobenzen) değeri  $283.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

-Bütanol  $11000-46000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  maruziyette ilk olarak gözlerde tahriş ve iltihaplanmalarla problemlere neden olur [134]. Ölçümlerde elde edilen en yüksek etil asetat değeri  $56.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

Verilen değerler insan sağlığı ile ilgili yapılan çalışmalardan derlenmiştir. Deney hayvanları ile yapılan çalışmalarda, toksitite limitleri çok daha düşüktür [135].

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında mekanların iç hava kalitesinin, kullanılan yapay aydınlatma kaynaklarından ne derece etkilendiği incelenmiştir. Aydınlatma kaynağı olarak da, gün geçtikçe diğer aydınlatma teknolojilerinin yerini hızla alan LED lambalar seçilmiştir. Çalışmanın strüktürü 5 ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın amaç, kapsam, yöntem, gereklilik ve önem gibi kısımları aktarılmıştır. İkinci bölümde, bu tez konusunun kuramsal altyapısını oluşturan, fiziksel çevre kalitesi, iç hava kalitesi, uçucu organik bileşikler, iç mekanlarda kullanılan yapay aydınlatma kaynakları konuları detaylı bir biçimde mevcut literatür kullanılarak irdelenmiştir. Üçüncü bölüm, çalışmada LED lambalardan havaya salınan UOB'lerin ölçümlerinin yapıldığı metodoloji bölümüdür. Dördüncü bölümde, ölçüm analizleri paylaşılmış, sonuçlar değerlendirilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve öneriler aktarılmıştır.

Çalışmada, İstanbul ili, Üsküdar ilçesindeki, Kuzuguncuk semtinden yer alan, şimdiye kadar konut ve ofis işlevleri için kullanılan bir binaki boş bir odada gerçekleştirilmiştir. Odada UOB'lerin belirlenmesi için 2 farklı konumda örneklemeler alınmıştır. Arka plan ölçümlerinin yapıldığı birinci gün iç mekandan 2 adet, bina dışından 1 adet; diğer günler ise yalnızca iç mekan havasından örnekler alınmıştır. Örnekler 04.11.2019 ve 09.11.2019 tarihleri arasında günde 180 dakika olacak şekilde toplam 13 tüp alınmıştır. Her örneklemeye başlandıktan sonraki 24. saatte 2. örnekleme günü başlamıştır. Yani, örneklemeler 0, 24, 48, 72, 96 ve 120. saatlerde, 3 saat boyunca alınmıştır. Arka plan örnekleme alındıktan hemen sonra lambalar açılmıştır ve son örnekleme alımı tamamlanıncaya kadar kesintisiz olarak çalıştırılmıştır. Tam UOB taramaları sonucunda, toplam 9 farklı UOB türüne rastlanmıştır.

LED lambalar çalıştırılmadan önce arka plan taramasında görülen UOB'ler etil asetat, toluen, butil asetat, n-dekan, 1,3-diklorobenzen ve 1,4-diklorobenzen'dir. Lambalar çalıştırılmaya başlandıktan sonra en yüksek artış toluen ( $68,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$  den  $193,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve 1,4-diklorobenzende ( $143,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  den  $158,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sonraki gün  $283,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) görülmüştür. Toluen, etil benzen ve 1,4-diklorobenzen değerleri her iki ölçüm noktasında da ışıkların çalıştırıldığı 1. veya 2. günde artmış, sonrasında hafifçe azalarak sabit olarak ilerlemiştir. Butil asetat, n-dekan, 1,3-diklorobenzen ve bütanol değerleri ise lambaların çalıştırıldığı ilk gün en yüksek noktaya ulaşmış, sonra giderek azalarak tespit limitinin altına düşmüştür. Arka plan ölçümünde çıkmayıp,

lambalar çalıştırılmaya başladıktan sonraki ilk gün 1-bütanol, ikinci gün 1,2-diklorobenzen, üçüncü gün ise çok az miktarda sec-bütanol tespit edilmiştir. Buradan, 1-bütanolün diğer 2 UOB'ye göre daha az sıcaklıklarda ortaya çıktığı söylenebilir.

Literatüdeki konut ve ofislerde yapılan çalışmalar, mekanların içindeki tüm eşya ve donanımlarla birlikte gerçekleştirildiğinden; boş odada sadece LED'lerden kaynaklanan bir UOB olup olmadığı belirlemeyi amaçlayan bu ölçümle UOB değerleri karşılaştırılamamaktadır. Ancak, dış havadaki değerler olarak bakıldığında, burada saptanan n-dekanın Avrupa kentlerindeki konut bölgelerine göre ortalama bir değerde olduğu (Danimarka'da bulunan maks. değer  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ancak Helsinki'de daha yoğun yapılaşmanın olduğu bölgede  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , çalışmada  $40,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) görülmüştür. Çalışmanın yapıldığı binanın bulunduğu konum, araçların çok geçmediği, konutların bulunduğu bir yer olduğundan, büyük yolların ve araçların bulunduğu bölgelerdeki değerlere kıyasla ( $140-1060 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) düşüktür.

Hem başlangıçta tespit edilen 6 adet, hem de sonrasında ortaya çıkan 3 adet UOB, özellikle çeşitli aygıtlarda kullanılan plastiklerin ve yapı malzemelerinin üretiminde kullanılan maddelerdir. Bu maddelerin ortaya çıkması, lambalarda üretilen ısının odadaki mevcut yapı malzemelerini (yer döşemesi, duvar, duvar boyası, pencere/kapı kasaları, kalorifer peteği, ahşap raflar vb.) tetiklemeyle UOB salınımına sebep olmasına, lambaların üretildikleri plastik esaslı malzemelerin UOB salınımlarına, fotokimyasal reaksiyonlara (yeni çıkan UOB'ler için) bağlanabilir.

Literatürde incelenmiş olan diğer yapay ışık kaynaklarından az olsa da, LED lambalar da UOB emisyonlarına neden olarak iç mekan hava kalitesini olumsuz etkilemektedir. Ölçümlerin yapıldığı boş oda konut ya da ofis özelinde düşünülürse, günde ortalama 8 saat lambalar açık kalacağından ( $120\text{sa}/8\text{sa}$ ) 15 günlük bir UOB salınımı sonucundan söz edilebilir. Bu şekilde bir kullanımda, lambaların yaklaşık 24 saat çalıştırdıktan sonra en yüksek UOB değerlerinin ortaya çıktığı, yani hava kirliliğinin olduğu söylenebilir. Ancak gerçek hayatta kullanımlarda lambaların açılıp kapatılması, dolayısıyla lambanın soğuması faktörü unutulmamalıdır. Böyle bir durumda sonuçların nasıl değişeceği bilinmemektedir.

Çalışmada lambalar 120 saat boyunca aralıksız çalıştırılarak, belirtilen UOB değerlerine ulaşılmıştır. Değerler bir süre sonra sabitlenmekte ya da giderek azalmaktadır. Bu durumda lambaların her kapanıp açılışından sonra UOB salınımların

ilk aşamaya geri dönüp sürecin tekrar edeceği söylenebilir. Bu durumda LED lambaların uzun süre açık kalacağı yerlerde kullanılmasının daha sağlıklı olacağı çıkarımı yapılabilir. Ancak, lambalar kapanıp açıldıktan sonra tekrar UOB salınımının başlaması durumu, plastiklerin UOB salınımını ne kadar süre yapacağına göre değişmektedir; muhtemel sonuç olarak o da bir süre sonra sabitlenecek ya da sıfırlanacaktır. Ayrıca, LED lambaların pek çok farklı özellikte, içerisindeki plastik malzeme oranı daha az veya fazla modelleri de olduğundan, her durumda bu sonuç gerçekleşmeyeceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışma sonucunda, hipotezin doğrulandığı, LED lambaların ortam havasındaki uçucu organik madde düzeyini etkilediği, lambaların çalışma süresine göre UOB'lerin türü ve emisyon miktarının değiştiği görülmüştür. Ulaşılan sonuçlar, insan sağlığını tehdit eden sınırlara ulaşmamıştır. Ancak, bir iç mekanda hava kalitesini etkileyen pek çok değişken olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışma lambanın kendisinden kaynaklı bir UOB salınımı olup olmadığını belirlemek için gerçekleştirildiğinden boş, kullanılmayan ve yapı malzemeleri uzun süredir yenilenmemiş bir oda seçilmiştir. Fakat, kullanılan mekanlarda aydınlatma kaynaklarının yanısıra mobilyalar, farklı yapı malzemeleri, kişisel eşyalar, kullanıcılar vb. bulunduğundan, aktif olarak kullanılan mekanlarda bu tür ölçümler farklı sonuç verecektir. Mekandaki nesnelere ve malzemelere artacağından, ortaya çıkan UOB türleri, miktarları değişecek; belki de bu UOB türleri fotokimyasal reaksiyonlarla ortam havasında farklı maddeler ortaya çıkaracaktır.

Elde edilen sonuçlar ışığında, iç mekanlarda LED lambaların hava kalitesini az da olsa olumsuz etkilediği görüldüğünden ve farklı mekan kombinasyonlarında sonucun nasıl değişeceği bilinmediğinden iç mekan tasarımında LED lambaların kullanımıyla ilgili düzenlemeler yapılarak, bu etkiler minimize edilebilir:

- Lambaların doğrultusu değiştirilebilir; böylece doğrudan yüzeylere, mobilyalara vb. potansiyel UOB kaynaklarına yönelimi azalacağından ısınma ve özellikle fotokimyasal tepkimelerle ortaya çıkan maddeler azalacaktır.
- Lumen değeri yüksek az miktarda lamba kullanmak yerine, düşük lumenli çok sayıda lamba kullanılarak, hem daha homojen bir aydınlık düzeyi yakalanacak, hem de lambanın ısınmasıyla kendi malzemelerinden ürettiği UOB salınımının bir noktada çok yoğunlaşması engellenecektir.

- LED lambaların güç kaynağına yakın kısmı daha çok ısındığından iç mekandaki UOB konsantrasyonlarını daha çok tetikleyecektir; bu nedenle lambaların tavana daha yakın konumlandırılması, sarkıtılmaması önem taşımaktadır.
- Yeni lambalar ilk kez kullanıldığında, kullanıcılar mekanı kullanmaya başlamadan önce bir süre boş mekanda çalıştırılarak UOB salınım potansiyelinin düşürülmesi sağlanabilir.
- Lambalar uzun süreler çalıştırıldığında, hava kalitesinin sağlanması için havalandırma sistemlerinin kullanımı faydalı olacaktır.

Bu çalışmada elde edilen verilerden yola çıkarak, sonraki çalışmalarda farklı renk sıcaklığına (Kelvin değerine) sahip LED lambalarda UOB türlerinin ve konsantrasyonların nasıl olabileceği araştırılabilir. Bu çalışma kullanılmayan, boş bir odada yapıldığından, sonraki aşamada ofis, konut vb. işlevlerle aktif olarak kullanılan mekanlarda lambalar çalıştırılarak sonuçlar karşılaştırılabilir; LED'lerin mekandaki daha çok malzemeyle etkileşimi sonucu ortaya çıkacak UOB'ler gözlemlenebilir. Ayrıca çalışma, lambalar belirli aralıklarla açılıp kapatılarak ve daha uzun bir süreçte tekrarlanabilir. Kullanılan bir mekanda LED lambalar çalıştırılırken, kullanıcıların maruziyetleri ve risk hesaplamaları yapılabilir. Görüldüğü üzere, iç mekanda UOB'lerin belirlenmesi iç hava kalitesi açısından oldukça önemlidir ve farklı değişkenlerin devreye sokulmasıyla yeni ve özgün çalışmalar gerçekleştirilebilir. Literatürde yapay aydınlatma kaynaklarının iç hava kalitesi üzerindeki etkilerini inceleyen kaynaklar oldukça kısıtlı olduğundan; bu çalışmaların arttırılarak konuyla ilgili bir standart oluşturulması pek çok disiplinin yanısıra, mimarlık, iç mimarlık ve tasarım alanına da önemli katkılar sağlayacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] **Hasol, D.** (2005). *Mimari Terimler Sözlüğü*, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- [2] **Ching, F.** (2011). *Mimarlık Biçim Mekân ve Düzen*, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- [3,4] **Yılmaz, M.** (2003). *Kalite Yönetim Sistemlerinin Evrimi*. Merkez Bankası Piyasalar Genel Müdürlüğü.
- [5] **Ishikawa, K.** (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*, Practice Hall Inc., New Jersey.
- [6] **Feigenbaum, A. V.** (1983). *Total Quality Control*, 3. Baskı, McGraw-Hill.
- [7] **Yurtseven, E.** (2008). *İki Farklı Bölgedeki İlköğretim Okullarında İç Ortam Havaasının İnsan Sağlığına Etkileri Yönünden İncelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- [8] **Bulgurcu, H.** (2014). *Havalandırma ve İç Hava Kalitesi*. Erş. 02.03.2018. [http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1\\_46167331.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1_46167331.pdf)
- [9] **Çakmanus, İ., Kaş, İ., Künar, A. ve Gülbeden, A.** (2010). *Yüksek Performanslı Sürdürülebilir Binalara İlişkin Bir Değerlendirme*. İnşaat Mühendisleri Odası Dergisi, Sayı:2010/3-4, s. 461-462.
- [10] **Altın, S. H.** (2015). *İç Ortam Hava Kirliliğinin Doğurabileceği Sağlık Etkileri*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü.
- [11] **ASHRAE Guideline 10P** (2010). *Interactions Affecting the Achievement of Acceptable Indoor Environments*, Second Public Review, Atlanta, USA.
- [12] **EPA Report** (2000). *Indoor Air Quality and Student Performance*, United States Environmental Protection Agency, Indoor Environments Division Office of Radiation and Indoor Air, USA.
- [13] **ASHRAE Standard 55** (2004). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA.
- [14] **Akal, D.** (2013). *İç Ortam Hava Kirliliği ve Çalışanlara Olumsuz Etkileri*. ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi. Cilt:1, Sayı: 1, s:112-119.
- [15] **Gazioğlu Rüzgar, D. ve Altun, Ş.** (2016). *Tekstil Malzemeleri ile Kapalı Alan Hava Kalitesinin İyileştirilmesi* (Journal of Textiles and Engineer) 23: 104, s:288-296.

- [16] **Bulgurcu, H.** (2014). *Havalandırma ve İç Hava Kalitesi*. Erş. 02.03.2018. [http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1\\_46167331.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1_46167331.pdf)
- [17] **Yabana Kiremit, B.** (2018). *Hasta Bina Sendromunun Sağışık Çalışanları Üzerine Etkileri*. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı 11, s:665-682.
- [18, 19] **Erdoğan, Z., Zeydan, Ö. Ve Yıldırım, Y.** (2009). *Hasta Bina Sendromu*, 9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ankara.
- [20] **Hava.** Türk Dil Kurumu. Erş.04.12.2018. [http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&kelime=hava](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&kelime=hava)
- [21] **Hava.** Oxford Dictionary, Erş. 04.12.2018. <https://en.oxforddictionaries.com/definition/air>
- [22] **Hava Kalitesi.** Collins Dictionary, Erş. 04.12.2018. <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/air-quality>
- [23] **Aydınlar, B., Güven, H. ve Kırksekiz, S.** (2009). *Hava Kirliliği Nedir, Ölçüm Ve Hava Kalite Modelleme Yöntemleri Nelerdir?* Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü Raporu.
- [24] **Sofuoğlu, S. C.** (2015). *Okullarda İç Hava Kalitesi*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İzmir.
- [25] **Bozoğu, B.** (2010). *Hava Kirliliği Raporu. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*.
- [26] **Ashrae Standards Committee** (2007). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, USA.
- [27] **Alkan, A.** (2018) *Hava Kirliliğinin Ciddi Boyutlara Ulaştığı Kentlere Bir Örnek: Siirt*. Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. Cilt:7, Sayı:2, s.641-666.
- [28] **Bulgurcu, H.** (2014). *Havalandırma ve İç Hava Kalitesi*. Erş. 02.03.2018. [http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1\\_46167331.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1_46167331.pdf)
- [29] **Altın, S. H.** (2015). *İç Ortam Hava Kirliliğinin Doğurabileceği Sağlık Etkileri*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü.
- [30] **Word Development Report** (1992). *Development and The Environment: World Development Indicators*. World Bank, Oxford University Press.
- [31] **Bulgurcu, H.** (2014). *Havalandırma Ve İç Hava Kalitesi*. Erş. 02.03.2018. [http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1\\_46167331.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1_46167331.pdf)
- [32] **Chatzidiakou, L., Mumovic, D. ve Dockrell, J.** (2014). *The Effects of Thermal Conditions and Indoor Air Quality on Health, Comfort and Cognitive Performance of Students*, The Bartlett, UCL Faculty of the Built Environment UCL Institute for Environmental Design and Engineering, Londra, İngiltere.

- [33] **Freitas, M., C.** (2011). *Indoor Air Quality in Primary Schools, Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies*, Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), URSN, Sacavém, Portekiz.
- [34] **Üçüncü, K., Aydın, A. ve Tiryaki, S.** (2015). *Kapalı Mekanlarda İnsan Faktörü ve Odun Esaslı Malzemelerin Havanın Bağlı Nemine Etkisi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Bilimler ve Tasarım Dergisi, Sayı 3, s:522-540.
- [35] **Işık, E. ve Çibuk, S.** (2014). *Yemekhaneler ve Kantinlerde İç Hava Kalitesi ile İlgili Ölçüm Sonuçları ve Analizi-Tunceli Üniversitesi Örneği*. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Sayı:1, s:39-50.
- [36] **Ulucan, H. ve Zeyrek, S.** (2012). *Ofislerde İş Sağlığı ve Güvenliği*. İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.
- [37] **Yılmaz, A.** (2015). *Fiziksel Risk Etmenleri, Ders Notu*. Çimento endüstrisi İşverenleri Sendikası, İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatına Uyum Projesi, s:195-225.
- [38] **Aktacir, M, A.** (2010). *Havalandırmaya Giriş, Ders Notu*. Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü web sayfası. Erş. 02.02.2018. [http://eng.harran.edu.tr/~aktacir/hava\\_1.pdf](http://eng.harran.edu.tr/~aktacir/hava_1.pdf)
- [39,40] **Bulgurcu, H.** (2009). *Havalandırma Yöntemleri*, Deneysan.
- [41,42] **Dönmez, O.** (2002). *İç Hava Kalitesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [43] **Vural M. S. ve Balanlı A.** (2005). *Yapı Ürünü Kaynaklı İç Hava Kirliliği ve Risk Değerlendirmede Ön Araştırma*. Megaron YTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi. 1(1): 28-39.
- [44] **Yurtseven, E.** (2008). *İki Farklı Bölgedeki İlköğretim Okullarında İç Ortam Havaasının İnsan Sağlığına Etkileri Yönünden İncelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- [45] **Şahin, Ü., Onat, B., İlkılıç, N. E., Uzun, B., Akın, Ö. ve Dumanoglu, Y.** (2017). *Yapışkan Bant Üretim Tesisi İşyeri Ortamında Uçucu Organik Madde Maruziyeti*. Tescon 2017, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Makine Mühendisleri Odası, İzmir.
- [46] **Güllü, G.** (2016). *İlköğretim Okullarında İç Ortam Hava Kalitesi ve Sağlık Etkileşimi*. Tesisat Mühendisliği. Sayı:152, s.31-42.
- [47,48] **Bulgurcu, H.** (2014) *Havalandırma ve İç Hava Kalitesi*. Erş. 02.03.2018. [http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1\\_46167331.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1_46167331.pdf)
- [49,50] **Interpretation IC 62. Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality**. Erş. 09.03.2018. <https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Standards%20and%20Guidelines/Standards%20Interpretations/IC-62-1999-01.pdf>
- [51] **Çilingiroğlu, S.** (2010). *İç Hava Kalitesi*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [52] **Dönmez, O.** (2002). *İç Hava Kalitesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [53] **Gökçen, N.** (2015.) *Bir Boya Fabrikasında İç Hava Kalitesi ve İşçi Sağlığı Üzerinde Etkilerinin Değerlendirilmesi*. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [54] **Chen, Z.** (2016). *Combined effects of temperature and humidity on indoor VOCs pollution: Intercity comparison*. Building and Environment 121, s. 26-34.
- [55] **Gökçen, N.** (2015.) *Bir Boya Fabrikasında İç Hava Kalitesi ve İşçi Sağlığı Üzerinde Etkilerinin Değerlendirilmesi*. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [56] **Katsoyiannis, A.** (2012). *Building materials. VOC emissions, diffusion behaviour and implications from their use*. Environmental Pollution.
- [57, 58] **Gökçen, N.** (2015). *Bir Boya Fabrikasında İç Hava Kalitesi ve İşçi Sağlığı Üzerinde Etkilerinin Değerlendirilmesi*. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [59] **Alyüz, B. ve Veli, S.** (2006). *İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşikler Ve Sağlık Üzerine Etkileri*. Trakya Univ J Sci, 7(2): 109–116.
- [60] **Yılmaz E.** (2011). *Çözücü Kullanan İşyerlerinin İç Ortam Havasında Uçucu Organik Bileşiklerin Pasif Örneklemeye ile Tayini ve İzlenmesi*. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [61] **Alyüz, B. ve Veli, S.** (2006). *İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşikler Ve Sağlık Üzerine Etkileri*. Trakya Univ J Sci, 7(2): 109–116.
- [62] **Ni, J.Q., Robarge, W.P., Xiao, C. ve Heber, A.J.** (2012). *Volatile Organic Compounds at Swine Facilities: A Critical Review*, Chemosphere, 89, 7, 769-788.
- [63] **Birgül, A., Cindoruk, S.S., Esen, F. ve Taşdemir, Y.** (2013) *Bursa Atmosferi'ndeki Yarı Uçucu Organik Bileşiklerin Konsantrasyon Seviyelerinin Zamansal ve Bölgesel Değişimi*, Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, 2, 4, 123–132.
- [64] **N-Decane Compound Summary**. Erş. 21.05.2019.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/15600>
- [65,66] **N-Decane**. Erş. 21.05.2019. <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3070>
- [67] **Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality**. Erş. 4.12.2018.  
<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>
- [68] **Benzene Use and Manufacturing**. Erş. 4.12.2018.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/241#section=Use-and-Manufacturing>
- [69,70,71,72,73] **Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality**. Erş. 4.12.2018.  
<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>

- [74,75] **Gaspar, A., B., Barbosa, F., G., Letichevsky, S. ve Appel, L., G.** (2009). *Chemicals from Ethanol-The Ethyl Acetate One-Pot Synthesis*. 21st North American Catalysis Society Meeting, Conference Paper.
- [76] **Ethyl Acetate Compound Summary**. Erş. 22.02.2020.  
<http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8857>
- [77,78] **Butyl Acetates. Concise International Chemical Assessment Document 64**. World Health Organization, Geneva, 2005.
- [79] **Tian, H., Huang, Z., Qiu, T. ve Wang, X.** (2012) *Reactive Distillation for Producing n-Butyl Acetate: Experiment and Simulation*. Chinese Journal of Chemical Engineering. 20(5):980-987.
- [80,81] **Dichlorobenzene Use and Manufacturing**. Erş. 09.05.2019.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4685>
- [82] **Dichlorobenzene: Chemical and Physical Informantion**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profiles. Erş. 09.05.2019. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp10-c4.pdf>
- [83] **Harvey, B., G. ve Meylemans, H., A.** (2010). *The Role of Butanol in the Development of Sustainable Fuel Technologies*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. Volume 86, Issue 1.
- [84,85] **Butanol Use and Manufacturing**. Erş. 10.05.2019.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/263>
- [86] **Bruno P., Caputi M., Caselli M., de Gennaro G. ve de Rienzo M.** (2005). *Reliability of a BTEX radial diffusive sampler for thermal desorption: field measurements*, Atmospheric Environment.
- [87] **Çakır C.** (2010). *İş ve işçi sağlığı açısından işyeri kirleticileri*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul.
- [88] **Ulman M. ve Chilmoneczyk Z.** (2007). Volatile Organic Compounds-Components, Sources, Determination. A Review, Chemistry Analytical (Warsaw), 52, 173-200.
- [89] **Woolfenden E.** (2010). *Sorbent-based sampling methods for volatile and semi-volatile organic compounds in air Part 1: Sorbent-based air monitoring options*, Journal of Chromatography.
- [90] **Pluschke P.** (2004). *Indoor air pollution*, The Handbook of Environmental Chemistry, 4, Air pollution PartF (Hutzinger, O, Editor-in-chief), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- [91] **Batterman S., Metts T. ve Kalliokoski P.** (2002). *Diffusive uptake in passive and active adsorbent sampling using thermal desorption tubes*, Journal of Environmental Monitoring
- [92] **Gallego E., Roca F. J., Perales J. F. ve Guardino X.** (2011). *Comparative study of the adsorption performance of an active multi-sorbent bed tube (Carbotrap, Carbopack X, Carboxen 569) and a Radiello diffusive sampler for the analysis of VOCs*, Talanta.
- [93] **Hamideh S. A.** (2000). *A Review of the Literature Regarding Non-methane and VOC in Municipal Solid Waste Landfill Gas*. Department of Civil and

Environmental Engineering, University of Delaware, Newark, Delaware.

- [94] **Aydın, B.** (2013). *İç Ortam Havasında Uçucu Organik Bileşiklerin Derişimlerinin Belirlenmesi ve Maruziyet Risklerinin Değerlendirilmesi*. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [95] **Norback, D, Bjornsson, E, Janson, C, Widstrom, J ve Boman, G.** (1995). *Asthma and the Indoor Environment:the Significance of Emission of Formaldehyde and Volatile Organic Compounds from Newly Painted Indoor Surfaces*. Occupational and Environmental Medicine. 52(69): 388-395.
- [96] **Maroni, M, Seifert B. ve Lindvall T.** (1995). *Indoor Air Quality –A Comprehensive Reference Book*. Elsevier, Amsterdam.
- [97] **Molhave, L.** (1991). *Indoor climate, Air Pollution and Human Comfort*. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. 1(1): 63-81.
- [98] **Burton, B.** (1997). *Volatile organic compounds*. Indoor Air Pollution and Health. Marcel Dekker, New York.
- [99] **Otto D, Hundell H, House D, Molhave L ve Counts W.** (1992). *Exposure of Humans to a Volatile Organic Mixture*. I. Behavioural assessment. Archives of Environmental Health. 47(1):23-30.
- [100] **Sandmeyer, E.** (1982). *Aromatic Hydrocarbons*. S 3253-3431, 1982. [Editörler: GD Clayton; FE Clayton: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Edition, Wiley, New York].
- [101] **Wallace, L.** (1991). *Personal Exposure to 25 Volatile Organic Compounds*, Toxicology and Industrial Health. 7: 203-208.
- [102] **Wolkoff P, Clausen Pa, Jensen B, Nielsen Gd ve Wilkins Ck.** (1997). *Are we measuring the relevant indoor pollutants?*. Indoor Air. 7(1):92-106.
- [103] **Groes L, Pejtersen J ve Valbjorn O.** (1996). *Perceptions and Symptoms as a Function of Indoor Environmental Factors and Building Characteristics in Office Buildings*. In Proceedings of the Sixth International Conference on Indoor Air Quality and Climate . Vol 4, Nagoya, Japan.
- [104] **Bari, A., Kindzierski WB, Wheeler, AJ, Heroux, M ve Wallace, L.** (2015). *Source Apportionment of Indoor and Outdoor Volatile Organic Compounds at Homes in Edmonton, Canada*. Building and Environment 90 (2015) 114-124.
- [105] **Ohura, T., Amagai, T., Shen, X., Li, S., Zhang, P., Zhu, P.** (2009). *Comparative Study on Indoor Air Quality in Japan and China: Characteristics of Residential Indoor and Outdoor Vocs*. Atmospheric Environment 43 (2009) 6352–6359.
- [106] **Zhou, C., Zhan, Y., Chen, S., Xia, M., Ronda, C., Sun, M., Chen, H. ve Shen, X.** (2017). *Combined Effects of Temperature and Humidity on Indoor Vocs Pollution: Intercity Comparison*. Building and Environment 121 (2017) 26-34.

- [107] **Goodman, N., Steinemann, A., Wheeler, A., Paevere, P., Cheng, M., Brown, S.** (2017). *Volatile Organic Compounds within Indoor Environments in Australia*. Building and Environment 122 (2017) 116-125.
- [108] **Goodman, N., Wheeler, A., Wheeler, A., Paevere, P., Selleck, P., Cheng, M., Steinemann, A.** (2018). *Indoor Volatile Organic Compounds at an Australian University*. Building and Environment 135 (2018) 344–351.
- [109] **Güney, A.** (2010). *Bina İçi ve Dışı Uçucu Organik Bileşiklerin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi*. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [110] **Pekey, H. ve Arslanbaş, D.** (2008). *The Relationship Between Indoor, Outdoor and Personal VOC Concentrations in Homes, Offices and Schools in the Metropolitan Region of Kocaeli, Turkey*. Water Air Soil Pollut (2008) 191:113–129.
- [111] **National Toxicology Program.** U.S. Department of Health and human Services. *Summary of Data for Chemical Selection, Decane*. Erş. 17.02.2020.[https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/chem\\_background/exsumpdf/decane\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/chem_background/exsumpdf/decane_508.pdf)
- [112,113,114,115] **Egan, D.** (2001). *Architectural Lighting*. McGraw Hill Science/Engineering/Math; 2 edition.
- [116] **Fitoz, İ.** (2018). *Genel Aydınlatma Ders Notları*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İç Mimarlık Bölümü.
- [117] **Bagher, A., M.** (2016). *A Detailed Review on Types of Lamps and Their Applications*. Journal of Physical and Chemical Sciences. Volume 4, Issue 1.
- [118] **Lamba Tipleri.** Erş. 12.12.2019. [https://lamp83.com.tr/teknik\\_bilgiler/30/lamba-tipleri/](https://lamp83.com.tr/teknik_bilgiler/30/lamba-tipleri/)
- [119] **Egan, D.** (2001). *Architectural Lighting*. McGraw Hill Science/Engineering/Math; 2 edition.
- [120] **Hamamcıoğlu, M.** (2016). *Aydınlatmada LED Teknolojisi*. Terma LED Aydınlatma Elektrik Mühendislik Hizmetleri, Aydınlatma El Kitabı.
- [121] **Özcan, M.** (2013). *CMS'deki Hadronik Dış Kalorimetre (HO) için HO904 Kararlılık Testlerinde LED Analizi*. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [122] **Bright City Lights Affect Air Pollution.** Erş. 31.05.2019. <https://cires.colorado.edu/news/bright-city-lights-affect-air-pollution>
- [123] **Stark, H.** (2011). *City Lights and Urban Air*. Nature Geoscience, Vol 4, November.
- [124] **Schieweck, A.** (2008). *Influence of artificial lighting on emissions of volatile organic compounds (VOC) in museum showcases*. Indoor Air 2008, 17-22 August, Copenhagen, Denmark.
- [125] **Frank, G.** (2013). *Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC) released from compact fluorescent lights*. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft. 73(3):95-102.

- [126,127] **VOC free LED**. Erş. 31.05.2019. <http://www.niteko.com/en/100-voc-free/>
- [128] **Egan, D.** (2001). *Architectural Lighting*. McGraw Hill Science/Engineering/Math; 2 edition.
- [129] **Ethyl Acetate Toxicity**. ThermoFisher Scientific, Safety Data Sheet. Erş. 10.04.2020. <https://www.fishersci.ca/store/msds?partNumber=BP11251&productDescription=ethyl-acetate-sequencing-fisher-bioreagents-2&language=en&countryCode=CA>
- [130] **Du, Z., Mo, J. ve Zhang, Y.** (2014). *Risk Assessment of Population Inhalation Exposure to Volatile Organic Compounds and Carbonyls in Urban China*. *Environment International*. 73 (2014) 33–45
- [131] **Butyl Acetate Toxicological Summary**. European Chemicals Agency. Erş. 10.04.2020. <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/15948/7/1>
- [132] **Lee, J., S.** (2017). *Decane, All Isomers*. Development Support Document, Texas Commission on Environmental Quality. Erş. 10.04.2020. <https://www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/tox/dsd/final/decane.pdf>
- [133] **Du, Z., Mo, J., Zhang, Y.** (2014). *Risk Assessment of Population Inhalation Exposure to Volatile Organic Compounds and Carbonyls in Urban China*. *Environment International*. 73 (2014) 33–45
- [134] **Toxicological Review of N-Butanol**. *In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS)*. U.S. Environmental Protection Agency. Erş. 09.04.2020. [file:///C:/Users/MS%C4%B0/Downloads/N-BUTANOL\\_TOXICOLOGICAL\\_REVIEW\\_ERD.PDF](file:///C:/Users/MS%C4%B0/Downloads/N-BUTANOL_TOXICOLOGICAL_REVIEW_ERD.PDF)
- [135] **Pubchem National Library of Medicine**. National Center for Biotechnology Information. Erş. 09.04.2020. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Burcu KÖSE KHIDIROV

**Doğum Tarihi:** 21.05.1988

**Eğitim:**

2016-2020 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi  
İç Mimarlık / Doktora Programı



2014-2016 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi  
İç Mimarlık / Yüksek Lisans Programı

2011-2013 Chongqing Üniversitesi  
Mimarlık / Yüksek Lisans Programı

9.2010-2.2011 Queen's University of Belfast  
Mimarlık / Lisans Değişim Programı

2006-2011 İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi  
İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı / Lisans Programı

**Profesyonel Deneyim:**

**Aralık 2011-Temmuz 2013** HMD Interior Design Company, Chongqing, Çin,  
İç Mimar

**Ocak 2014-Nisan 2014** Düzce Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık F.  
İç Mimarlık Bölümü-Araştırma Görevlisi

**Nisan 2014-Aralık 2019** Mimar Sinan Güzel Sanatlar Ü. Mimarlık F.  
İç Mimarlık Bölümü-Araştırma Görevlisi

**Aralık 2019-Devam Ediyor** Allza Design and Creative Ltd. Londra, İngiltere,  
Direktör / İç Mimar

## Yayınlar:

- Köse Khıdırov, B.** (2019). Sustainable Design Approaches for Liveable Waterfronts. Gazi University Journal of Science Part B: Art, Humanities, Design and Planning, 7(3): 401-412.
- Köse B, Köse A, Köse Khıdırov B.** (2018). *Jet Grout Uygulamalarında Ordu İli Örneği*. Düzce Üniversitesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 3, s.1-9.
- Köse B, Köse Khıdırov B, Köse A.** (2018). *Laboratory Applications in Construction Works*. I.International Technological Sciences and Design Symposium, 27-29 Nisan 2018, Giresun.
- Köse B, Köse Khıdırov B, Köse A.** (2017). *Üsküp 'te bir Türk İzi: Taş Köprü*, XXII. Uluslararası Türk Kültürü Sempozyumu, 5-8 Mayıs 2017, Üsküp.
- Köse B, Köse A, Köse Khıdırov B.** (2017). *A Research on Numerical Based Courses of Construction Technology Programs*, VI. Vocational Schools Symposium, 18-20 Mayıs 2017, Saraybosna, Bosna Hersek.
- Demirci G, Köse Khıdırov B.** (2016). *Integration of Living Spaces to Altering Living Standard*, 2nd ICNTAD 2016 International Trends in Architecture and Interior Design, Zagreb, Hırvatistan, 19-22 Nisan.
- Kayan H, Köse Khıdırov B.** (2016). *Technology Supported Flexible Designs For Furniture Structures*, 2nd ICNTAD 2016 International Trends in Architecture and Interior Design, Zagreb, Hırvatistan, 19-22 Nisan.
- Demirci G, Köse Khıdırov B.** (2016). *Interactions of Social Networks and Spaces*, 5. Uluslararası İç Mimarlık Sempozyumu, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, 3-6 Mayıs.
- Köse Khıdırov B.** (2016). *Türkiye 'nin 2000 'li Yıllardaki Kültürel Modernleşme ve Küreselleşmesi*, Uluslararası Türkiye-Çekya İlişkileri Sempozyumu, 10-14 Temmuz, Prag, Çekya.
- Köse Khıdırov B.** (2015). *Yeni Yüzyılın Teknolojik Getirilerinin İstanbul 'un Kamusal İç Mekânlarına Etkisi*. 20. Uluslararası Türk Kültürü Sempozyumu, 7-11 Mayıs, Üsküp Makedonya.