

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**EĞİTİM YAPILARINDA İÇ MEKÂN HAVA KALİTESİNİN**  
**DEĞERLENDİRİLMESİ: GTÜ MİMARLIK BÖLÜMÜ**  
**N BLOK BİNASI**

**RANA KİBAROĞLU KANTARCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ELİF ÖZER YÜKSEL**

**ŞUBAT 2026**

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**EĞİTİM YAPILARINDA İÇ MEKÂN HAVA**  
**KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ:**  
**GTÜ MİMARLIK BÖLÜMÜ N BLOK BİNASI**

**RANA KİBAROĞLU KANTARCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ELİF ÖZER YÜKSEL**

**ŞUBAT 2026**

**T.C.  
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL**

**ASSESSMENT OF INDOOR AIR QUALITY IN  
EDUCATIONAL BUILDINGS: GTU DEPARTMENT OF  
ARCHITECTURE, N-BLOCK BUILDING**

**RANA KİBAROĞLU KANTARCI**

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

**ADVISOR: ASSIST. PROF. DR. ELİF ÖZER YÜKSEL**

**FEBRUARY 2026**

## YÜKSEKLİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 06/01/2026 tarih ve 2026/02 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 02/02/2026 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Rana KİBAROĞLU KANTARCI'nın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Elif ÖZER YÜKSEL

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Derya ÇAKIR AYDIN

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Hande APAK

### ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



*Hayatıma ışıık saçan biricik eşıme ve  
zorları kolaylaştıran Naynurum'a.*

## ÖZET

İç mekân hava kalitesi kullanıcı sağlığını ve konforunu doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Havanın kaliteli olarak kabul edilebilmesi için atmosferdeki hava bileşenlerinin oranlarının aynı kalması gerekmektedir. Havanın fiziksel özelliklerinden sıcaklık, nem ve hava akış hızı iç mekân hava kalitesini etkilemektedir ve konfor koşullarının sağlanması için bu özelliklerin belirli değer aralıklarında olması beklenmektedir. Doğal, yapay ve karma havalandırma sistemleri de iç mekân hava kalitesine büyük etkide bulunmaktadır. Yapı için en uygun havalandırma sistemi kullanılarak doğal havanın doğrudan veya filtrelenerek iç mekâna alınması sağlanmalıdır.

Ulusal Tez Merkezi'nde iç mekân hava kalitesi kapsamında yapılan tez çalışmaları filtrelendiğinde iç mekân hava kirliliği ve kirleticileri üzerine yapılan tezlerin sayısının az olduğu ancak son yıllarda bu alanda yapılan çalışma sayısının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca iç mekân hava kalitesi ve kirleticileri kapsamında gerçekleştirilen en güncel makaleler, yönetmelikler ve bildiriler taranarak detaylı şekilde analiz edilmiştir.

İç mekân hava kirleticileri yapı dışından, yapı içinden ve ürünlerden kaynaklanabilmektedir. İç mekân havasında emisyon oluşturma, koku yayma gibi etkilerde bulunabilirler. İç mekân hava kirleticileri fiziksel özelliklerine göre gazlar/buharlar ve parçacıklar olarak ikiye ayrılır. Karbonmonoksit, radon, uçucu organik bileşikler gaz/buhar durumunda olan; asbest, bakteri, deri döküntüleri partikül madde durumunda olan iç mekân hava kirleticilerine örnektir. Bu kirleticilerin kaynağını bilmek tasarımcının doğru malzemeleri tercih etmesine ve kullanıcıda görülebilecek sağlık sorunlarını azaltmasına olanak tanır. İç mekân hava kirleticileri özellikle çocuk, yaşlı ve hasta gibi kullanıcı gruplarını daha fazla etkileyebilir; Sağlıksız Bina Sendromu, kanser, Kakosmi Sendromu gibi rahatsızlıklara neden olabilir.

Türkiye'de ve Dünya'da hava kalitesinin limit değerlerini belirleyen bazı yönetmelik ve standartlar bulunmaktadır. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, Ulusal Hava Kalitesi İndeksi, Ashrae Standartları, Dünya Sağlık Örgütü Standartları, TOBB Türkiye İklimlendirme Meclisi İç Hava Kalitesi Komisyonu'nun belirlediği limit değerler bu yönetmelik ve standartlara örnektir. Belirlenen limit değerler aracılığıyla kullanıcı sağlığını tehdit altına sokacak kritik eşikler belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında Contam, Modelica, IA-Quest ve IAQX iç mekân hava kalitesi simülasyon araçları incelenmiştir. En uygun simülasyon aracı Contam seçilmiştir. Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok yapısı zemin katındaki derslikler ve konferans salonu Contam ile simüle edilmiştir. Simülasyon sonucunda rüzgâr, hava akışı, basınç ve kirletici çıktıları alınmıştır. Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC), Asetaldehit (AA), Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> kirletici çıktıları, TOBB Sınır Değerler Çalışma Grubu'nun (SÇG) önerdiği limit değerleri ile kıyaslanmıştır. VOC, Asetaldehit ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının önerilen limit değerlerin altında kaldığı; formaldehitin önerilen limit değerlerin üstünde kaldığı; PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> kirleticilerinde ise tüm mekânlarda yüksek kirletici konsantrasyonları gözlemlense de gün sonunda kirletici konsantrasyonlarının önerilen limit değerlerin altına düştüğü belirlenmiştir. Sonuçların analizi sonrasında iç mekân hava kalitesi kapsamında iyileştirme önerileri verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler: İç Mekân Hava Kalitesi, İç Mekân Hava Kirleticileri, İç Mekân Hava Kalitesi Simülasyon Araçları, Contam, Eğitim Yapıları**

## ABSTRACT

Indoor air quality is a crucial parameter that directly affects occupant health and comfort. Physical properties of the air, such as temperature, humidity, and air flow rate, influence indoor air quality, and these properties are expected to be within specific range values to ensure comfort conditions. Natural, mechanical (artificial), and hybrid ventilation systems also have a significant impact on indoor air quality. The most appropriate ventilation system for the structure should be used to ensure that natural air is introduced into the indoor environment, either directly or after filtration. Upon reviewing the Ulusal Tez Merkezi, filtering for thesis studies conducted within the scope of indoor air quality revealed that while the number of theses focusing on indoor air pollution and pollutants is relatively low, it was determined that the number of studies in this field has increased in recent years. Furthermore, the most up-to-date articles, regulations, and proceedings concerning indoor air quality and its pollutants were thoroughly scanned and analyzed.

Indoor air pollutants can originate from outside the structure, from within the structure, and from products. They can have effects in the indoor air such as emission generation and odor release. Based on their physical properties, indoor air pollutants are divided into two categories: gases/vapors and particulate matter. Carbon monoxide, radon, and volatile organic compounds (VOCs) are examples of pollutants that exist in the gas/vapor state, while asbestos, bacteria, and skin flakes are examples of particulate matter. Knowing the source of these pollutants allows the designer to select the correct materials and reduce potential health problems observed in occupants. Indoor air pollutants can particularly affect sensitive occupant groups such as children, the elderly, and the sick, potentially leading to conditions such as Sick Building Syndrome, cancer, and Cacosmia Syndrome.

There are various regulations and standards in both Türkiye and the world that define the limit values for air quality. Examples of these regulations and standards include the Air Quality Assessment and Management Regulation, the National Air Quality Index, ASHRAE Standards, World Health Organization (WHO) Standards, and the limit values set by the TOBB Limit Values Working Group. Through the established limit values, critical thresholds that would endanger occupant health have been determined.

Within the scope of this study, the indoor air quality simulation tools CONTAM, MODELICA, IA-QUEST, and IAQX were examined. CONTAM was selected as the most up-to-date simulation tool. The classrooms and the conference hall on the ground floor of the N Block building of the Architecture Department at Gebze Technical University were simulated using CONTAM. The simulation yielded outputs for wind, air flow, pressure, and six key pollutants. The pollutant outputs for Formaldehyde (HCHO), Volatile Organic Compound (VOC), Acetaldehyde (AA), Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>), PM<sub>10</sub>, and PM<sub>2.5</sub> were compared with the limit values recommended by the TOBB Limit Values Working Group. It was determined that the concentrations of VOC, Acetaldehyde, and CO<sub>2</sub> remained below the recommended limit values; Formaldehyde exceeded the recommended limit values; and while high pollutant concentrations were observed in all spaces for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> pollutants, the concentrations dropped below the recommended limit values by the end of the day. Following the analysis of the results, suggestions for improving indoor air quality were provided.

**Keywords: Indoor Air Quality, Indoor Air Pollutants, Indoor Air Quality Simulation Tools, Contam, Educational Buildings**

## TEŞEKKÜR

Tez sürecimde desteğini esirgemeyen ve rehberliğiyle beni sarmalayan sevgili hocam Dr.Öğr.Üyesi Elif Özer Yüksel'e saygılarımı sunarım. Değerli görüşleriyle katkıda bulunan sayın jüri üyelerimiz Dr.Öğr.Üyesi Derya Çakır Aydın ve Dr.Öğr.Üyesi Hande Apak'a katkılarından dolayı saygılarımı sunarım. Gücüm tükendiğinde sihirli elleriyle beni ileriye taşıyan sevgili eşim Çağkan Kantarcı'ya ve neşe kaynağım biricik oğlum Kaan Kantarcı'ya varlıkları için sonsuz teşekkür ederim. Koşulsuz sevgilerini ve güvenlerini her daim hissettiğim, beni bugünlere getiren annem Aynur Kibaroglu ve babam Hasan Kibaroglu'na emekleri için minnettarım. Bana büyümeyi ve öğrenmeyi hatırlatan abim Mustafa Kibaroglu ve eşi Sibel Aymış Kibaroglu'na; desteklerini esirgemeyen kardeşim Yavuz Kibaroglu'na varlıkları için teşekkür ederim. Gözümü birlikte açtığım dostum Zerrin Kahya Demirtaş'a her umutsuz anımda beni cesaretle doldurduğu için teşekkürlerimi sunarım. Eğitim hayatımın en'leri; Elif Barbaros Kalender, Fatma Berfin Yamak Abanoz, Hüda Koçal, Meryem Aracı ve Zeynep Güler'e üniversite hayatımızdan beri "yapabilirsin" dedikleri için teşekkürlerimi sunarım. GTÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı Şube Müdürü sayın Sami Korkmaz'a ve Makine Mühendisi sayın Mehmet Kasım Diler'e yapay havalandırma sistemleri ile ilgili bilgilendirmeleri ve katkıları için saygılarımı sunarım. Bu tez çalışmasının iç mekân hava kalitesi ve simülasyon araçları ile çalışacak herkese ilham ve esin kaynağı olmasını temenni ederim.

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                                     | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ÖZET                                                                                                | vi                  |
| ABSTRACT                                                                                            | vii                 |
| TEŞEKKÜR                                                                                            | viii                |
| İÇİNDEKİLER                                                                                         | ix                  |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ                                                                      | xi                  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                                                     | xiii                |
| ÇİZELGELER DİZİNİ                                                                                   | xv                  |
| <br>                                                                                                |                     |
| 1. GİRİŞ                                                                                            | 1                   |
| 1.1. Tezin İçeriği, Problemi, Amacı ve Katkısı                                                      | 2                   |
| 1.2. Tezin Yöntemi, Hipotezi ve Sınırlılıkları                                                      | 3                   |
| 1.3. Literatür Özeti                                                                                | 4                   |
| 2. İÇ MEKÂN HAVA KALİTESİ                                                                           | 24                  |
| 2.1. İç Mekân Havasının Fiziksel Özellikleri                                                        | 28                  |
| 2.1.1. İç Mekân Sıcaklığı                                                                           | 28                  |
| 2.1.1. İç Mekân Nem Oranı                                                                           | 29                  |
| 2.1.1. İç Mekân Hava Akış Hızı                                                                      | 31                  |
| 2.2. İç Mekân Hava Kirleticileri                                                                    | 32                  |
| 2.2.1. İç Mekân Havasını Kirletici Gaz ve Buharlar                                                  | 35                  |
| 2.2.1. İç Mekân Havasını Kirletici Partikül Maddeler                                                | 39                  |
| 2.3. İç Mekân Havasının İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri                                           | 42                  |
| 2.4. Türkiye’de ve Dünyada Hava Kalitesi ile İlgili Yönetmelik ve Standartlar                       | 47                  |
| 2.4.1. Hava Kalitesi Değerlendirme Yönetimi Yönetmeliği                                             | 48                  |
| 2.4.2. Ulusal Hava Kalitesi İndeksi                                                                 | 49                  |
| 2.4.3. Ashrae Standardı                                                                             | 49                  |
| 2.4.4. Avrupa Birliği prEN 15251-2006 Yönetmeliği                                                   | 50                  |
| 2.4.5. Dünya Sağlık Örgütü Standardı                                                                | 51                  |
| 2.4.6. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Türkiye İklimlendirme Meclisi, İç Hava Kalitesi Komisyonu | 53                  |
| 2.4.7. Hava Kalitesiyle İlgili Yönetmelik ve Standartların Kıyaslanması                             | 55                  |
| 2.5. İç Mekân Havalandırma Sistemleri                                                               | 57                  |
| 2.5.1. Doğal Havalandırma Sistemi                                                                   | 59                  |
| 2.5.2. Yapay Havalandırma Sistemi                                                                   | 63                  |
| 2.5.3. Karma Havalandırma Sistemi                                                                   | 65                  |
| 3. İÇ MEKÂN HAVA KALİTESİ KAPSAMINDA KULLANILAN SİMÜLASYON ARAÇLARI                                 | 66                  |
| 3.1. Contam Simülasyon Aracı                                                                        | 66                  |
| 3.2. Modelica Simülasyon Aracı                                                                      | 69                  |
| 3.3. Ia-quest Simülasyon Aracı                                                                      | 70                  |
| 3.4. Iaqx Simülasyon Aracı                                                                          | 72                  |
| 3.5. Simülasyon Araçlarının Kıyaslanması                                                            | 73                  |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4. GTÜ MİMARLIK BÖLÜMÜ N BLOK YAPISININ İÇ MEKÂN HAVA KALİTESİ SİMÜLASYONU ve DEĞERLENDİRMESİ                                     | 74  |
| 4.1. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısının Künyesi ve Özellikleri                                                                  | 76  |
| 4.2. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısında İç Mekân Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi için Seçilen Mekânlar                       | 80  |
| 4.3. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısının Contam Simülasyon Aracı ile Analiz Edilmesi                                             | 84  |
| 4.3.1. Yapı İdealleştirme Adımı                                                                                                   | 85  |
| 4.3.2. Şematik Temsil Adımı                                                                                                       | 86  |
| 4.3.3. Yapı Bileşenlerini Tanımlama Adımı                                                                                         | 88  |
| 4.3.4. Simülasyon Parametrelerini Tanımlama Adımı                                                                                 | 99  |
| 4.4. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısında Contam Simülasyon Aracı ile Gerçekleştirilen Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi | 102 |
| 4.4.1. Rüzgâr, Hava Akışı ve Basınç Çıktıları                                                                                     | 102 |
| 4.4.2. Kirleticiler Çıktıları                                                                                                     | 104 |
| 4.5. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısının İç Mekân Hava Kalitesi Kapsamında İyileştirme Önerileri                                 | 112 |
| 5. SONUÇLAR ve YORUMLAR                                                                                                           | 114 |
| KAYNAKLAR                                                                                                                         | 119 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                                                                          | 130 |
| TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR                                                                                         | 131 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

|                               |                                                                                                                                         |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| %                             | : Yüzde                                                                                                                                 |
| ±                             | : Artı/Eksi                                                                                                                             |
| <                             | : Küçüktür                                                                                                                              |
| °C                            | : Santigrat Derece                                                                                                                      |
| cm                            | : Santimetre                                                                                                                            |
| cm <sup>3</sup>               | : Santimetreküp                                                                                                                         |
| l/s                           | : Litre/Saniye                                                                                                                          |
| l/s.m <sup>2</sup>            | : Litre/Saniye Başına Metrekare                                                                                                         |
| m                             | : Metre                                                                                                                                 |
| m <sup>2</sup>                | : Metrekare                                                                                                                             |
| m <sup>3</sup>                | : Metreküp                                                                                                                              |
| m/s, m/sn                     | : Metre/Saniye                                                                                                                          |
| m <sup>3</sup> /gr            | : Metreküp/Gram                                                                                                                         |
| m <sup>3</sup> /h             | : Metreküp/Saat                                                                                                                         |
| m/dk                          | : Metre/Dakika                                                                                                                          |
| mg                            | : Miligram                                                                                                                              |
| mg/m <sup>3</sup>             | : Miligram/Metreküp                                                                                                                     |
| mtül                          | : Metretül                                                                                                                              |
| Pg/m <sup>3</sup>             | : Pikogram/Metreküp                                                                                                                     |
| µg                            | : Mikrogram                                                                                                                             |
| µm                            | : Mikrometre                                                                                                                            |
| µg/m <sup>3</sup>             | : Mikrogram/Metreküp                                                                                                                    |
| ppm                           | : Milyonda Parça (Parts Per Million)                                                                                                    |
| ppb                           | : Milyarda Parça (Parts Per Billion)                                                                                                    |
| akt.                          | : Aktaran                                                                                                                               |
| vb.                           | : ve benzeri                                                                                                                            |
| vd.                           | : ve diğerleri                                                                                                                          |
| 1D                            | : Bir Boyutlu                                                                                                                           |
| 2D                            | : İki Boyutlu                                                                                                                           |
| AA                            | : Asetaldehit                                                                                                                           |
| AB                            | : Avrupa Birliği                                                                                                                        |
| ABD                           | : Amerika Birleşik Devletleri                                                                                                           |
| ASHRAE                        | : Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği<br>(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) |
| CFD                           | : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)                                                                        |
| C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | : Benzen                                                                                                                                |
| CO                            | : Karbonmonoksit                                                                                                                        |
| CO <sub>2</sub>               | : Karbondioksit                                                                                                                         |
| CONTAM                        | : Bina Hava Akımı ve Kirletici Ulaşımı Modeli (Contaminant<br>Transport and Airflow Model)                                              |
| DSÖ (WHO)                     | : Dünya Sağlık Örgütü                                                                                                                   |
| EPA                           | : Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)                                                                                 |
| EPS                           | : Genişletilmiş Polistiren (Expanded Polystyrene)                                                                                       |
| GTÜ                           | : Gebze Teknik Üniversitesi                                                                                                             |
| GTÜ Vetis                     | : Gebze Teknik Üniversitesi Veritabanı Erişim ve İstatistik Sistemi                                                                     |
| HCHO                          | : Formaldehit                                                                                                                           |
| HEE                           | : Konut Enerji Verimliliği (House Energy Efficiency)                                                                                    |

|                 |                                                                                                                                              |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hg              | : Cıva                                                                                                                                       |
| HKDYY           | : Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği                                                                                        |
| HVAC            | : Isıtma, Havalandırma ve Klima (Heating, Ventilation, and Air Conditioning)                                                                 |
| IAQ             | : İç Hava Kalitesi (Indoor Air Quality)                                                                                                      |
| IA-Quest        | : İç Mekân Hava Kalitesi Emisyon Simülasyon Aracı (Indoor Air Quality Emission Simulation Tool)                                              |
| IAQX            | : İç Mekân Hava Kalitesi ve Soluma Maruziyeti için Simülasyon Araç Kiti (Simulation Tool Kit for Indoor Air Quality and Inhalation Exposure) |
| ILTCR           | : Ömür Boyu Kanser Riski (Induced Life Time Cancer Risk)                                                                                     |
| ISO             | : Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu (International Organization for Standardization)                                                     |
| LED             | : Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)                                                                                                    |
| MDF             | : Orta Yoğunluklu Lif Levha (Medium-Density Fibreboard)                                                                                      |
| MW              | : Molekül Ağırlığı (Molecular Weight)                                                                                                        |
| NIST            | : Uluslararası Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology)                                           |
| NO <sub>2</sub> | : Azotdioksit                                                                                                                                |
| NRCC            | : Kanada Ulusal Araştırma Konseyi (National Research Council Canada)                                                                         |
| O <sub>2</sub>  | : Oksijen                                                                                                                                    |
| O <sub>3</sub>  | : Ozon                                                                                                                                       |
| OSB             | : Yönlendirilmiş Yonga Levha (Oriented Strand Board)                                                                                         |
| Pa              | : Basınç                                                                                                                                     |
| Pb              | : Kurşun                                                                                                                                     |
| PM              | : Partikül Madde                                                                                                                             |
| PVC             | : Polivinil Klorür (Polyvinyl Chloride)                                                                                                      |
| Rn              | : Radon                                                                                                                                      |
| SBS             | : Sağlıksız Bina Sendromu (Sick Building Syndrome)                                                                                           |
| SÇG             | : Sınır Değerler Çalışma Grubu                                                                                                               |
| SO <sub>2</sub> | : Kükürtdioksit                                                                                                                              |
| TOBB            | : Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği                                                                                                         |
| TRNSYS          | : Geçici Sistem Simülasyonu Programı (Transient System Simulation Program)                                                                   |
| TS              | : Türk Standartları                                                                                                                          |
| UHKİ            | : Ulusal Hava Kalitesi İndeksi                                                                                                               |
| VAM             | : Isı Geri Kazanım Cihazı (Ventilation Air Module)                                                                                           |
| VAV             | : Değişken Hava Hacimi (Variable Air Volume)                                                                                                 |
| VOC             | : Uçucu Organik Bileşik                                                                                                                      |
| WHO (DSÖ)       | : Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)                                                                                            |
| XPS             | : Ekstrüde Polistiren (Extruded Polystyrene)                                                                                                 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                               | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Şekil 2.1:</b> İnsan Vücudunda Isı Yitimi Yolları.                                                                         | 28                  |
| <b>Şekil 2.2:</b> Sağlık Yönünden Mahallerde Sağlanması Uygun Olan Optimal Bağıl Nem Sahası.                                  | 30                  |
| <b>Şekil 2.3:</b> Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği Limit Değerleri.                                        | 48                  |
| <b>Şekil 2.4:</b> Havalandırma Sistemlerinin Çeşitleri.                                                                       | 57                  |
| <b>Şekil 2.5:</b> Hava Devininin Davranışı.                                                                                   | 59                  |
| <b>Şekil 2.6:</b> Yapıda Doğal Havalandırmanın Sağlanması.                                                                    | 60                  |
| <b>Şekil 2.7:</b> Devininin Doğrultusunun Duvar Boşluğuna Dik Olması Durumunda Havalandırma.                                  | 60                  |
| <b>Şekil 2.8:</b> Devininin Doğrultusunun Duvar Boşluğu ile Dar Açı Yapması Durumunda Havalandırma.                           | 61                  |
| <b>Şekil 3.1:</b> CONTAM Yazılımının Arayüzü.                                                                                 | 67                  |
| <b>Şekil 3.2:</b> CONTAM-TRNSYS İlişkisi.                                                                                     | 68                  |
| <b>Şekil 3.3:</b> CONTAM-Energy Plus İlişkisi.                                                                                | 69                  |
| <b>Şekil 3.4:</b> Modelica Kütüphaneleri.                                                                                     | 70                  |
| <b>Şekil 3.5:</b> IA-Quest Yazılımının Arayüzü.                                                                               | 71                  |
| <b>Şekil 3.6:</b> IAQX Yazılımının Arayüzü.                                                                                   | 72                  |
| <b>Şekil 4.1:</b> CONTAM Simülasyon Programının Akış Şeması.                                                                  | 75                  |
| <b>Şekil 4.2:</b> Contam Simülasyon Aracı ile Simüle Edilen GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Binası.                                | 76                  |
| <b>Şekil 4.3:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü (N Blok) Kampüs Yerleşimi.                                                              | 77                  |
| <b>Şekil 4.4:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü (N Blok) Turuncu Hol ve Amfi Merdiven.                                                  | 78                  |
| <b>Şekil 4.5:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü (N Blok) Zemin Kat Simüle Edilecek Mekânlar.                                            | 81                  |
| <b>Şekil 4.6:</b> Contam Simülasyon Aracı Arayüzü.                                                                            | 84                  |
| <b>Şekil 4.7:</b> Contam Simülasyon Aracındaki Birinci Adım: GTÜ Mimarlık Bölümü (N Blok) Zemin Kat Yapı İdealleştirme Adımı. | 85                  |
| <b>Şekil 4.8:</b> Contam Simülasyon Aracındaki İkinci Adım: Bölgelerin, Kapıların Hava Akış Yollarının İşlenmiş Hali.         | 87                  |
| <b>Şekil 4.9:</b> ContamLink Programı Arayüzü.                                                                                | 89                  |
| <b>Şekil 4.10:</b> Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı Kirletici Ölçüm Verileri.                                                    | 90                  |
| <b>Şekil 4.11:</b> Contam Kirletici Özelliği Ekleme Adımı.                                                                    | 91                  |
| <b>Şekil 4.12:</b> Contam Kaynak Ekleme Adımı.                                                                                | 94                  |
| <b>Şekil 4.13:</b> Contam Havalandırma Elemanları Ekleme Adımı.                                                               | 96                  |
| <b>Şekil 4.14:</b> Contam Günlük Çizelge Oluşturma Adımı.                                                                     | 98                  |
| <b>Şekil 4.15:</b> Contam Haftalık Çizelge Oluşturma Adımı.                                                                   | 99                  |
| <b>Şekil 4.16:</b> Contam Simülasyon Parametresi, Çalıştırma Kontrolü Özelliklerinin Tanımlanması Adımı.                      | 100                 |
| <b>Şekil 4.17:</b> Contam Simülasyon Parametresi, Çıktı Özelliklerinin Tanımlanması Adımı.                                    | 101                 |
| <b>Şekil 4.18:</b> Contam Simülasyon Çizim Alanı Tamamlanmış Hali.                                                            | 101                 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.19:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü Zemin Kat Rüzgâr Basıncı Çıktıları.                                               | 102 |
| <b>Şekil 4.20:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü Zemin Kat Hava Akışı ve Basınç Çıktıları.                                         | 103 |
| <b>Şekil 4.21:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekân Çizgisel Anlatım Renk Lejantı.                             | 104 |
| <b>Şekil 4.22:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların Formaldehit (HCHO) Kirletici Çıktıları.               | 105 |
| <b>Şekil 4.23:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların Uçucu Organik Bileşik (VOC) Kirletici Çıktıları.      | 106 |
| <b>Şekil 4.24:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların Asetaldehit (AA) Kirletici Çıktıları.                 | 107 |
| <b>Şekil 4.25:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) Kirletici Çıktıları. | 108 |
| <b>Şekil 4.26:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların PM <sub>10</sub> Kirletici Çıktıları.                 | 109 |
| <b>Şekil 4.27:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların PM <sub>2,5</sub> Kirletici Çıktıları.                | 110 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                          | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Çizelge 1.1:</b> Şubat 2026 Tarihine Kadar İç Mekân Hava Kalitesi Kapsamında Yapılan Tez Çalışmaları.                                                                                                                 | 4                   |
| <b>Çizelge 1.2:</b> Şubat 2026 Tarihine Kadar “İç Hava Kalitesi” Anahtar Kelimesiyle Yapılan Yüksek Lisans Tezi Çalışmalarının Analizi.                                                                                  | 5                   |
| <b>Çizelge 1.3:</b> Şubat 2026 Tarihine Kadar “İç Mekân Hava Kalitesi” Anahtar Kelimesiyle Yapılan Yüksek Lisans Tezi Çalışmalarının Analizi.                                                                            | 8                   |
| <b>Çizelge 1.4:</b> Şubat 2026 Tarihine Kadar “Yapı İç Hava Niteliği” Anahtar Kelimesiyle Yapılan Yüksek Lisans Tezi Çalışmalarının Analizi.                                                                             | 9                   |
| <b>Çizelge 1.5:</b> Şubat 2026 Tarihine Kadar “Yapı İç Hava Kirliliği”, “Yapı İç Hava Kirlleticileri” ve “İç Mekân Konforu” Anahtar Kelimeleriyle Yapılan Yüksek Lisans Tezi Çalışmalarının Analizi.                     | 10                  |
| <b>Çizelge 1.6:</b> Şubat 2026 Tarihine Kadar “İç Mekân Hava Optimizasyonu”, “İç Mekân Hava Kalitesi”, “Yapı İç Hava Kirliliği” ve “İç Hava Kalitesi” Anahtar Kelimeleriyle Yapılan Doktora Tezi Çalışmalarının Analizi. | 17                  |
| <b>Çizelge 2.1:</b> Atmosferin doğal bileşenleri.                                                                                                                                                                        | 24                  |
| <b>Çizelge 2.2:</b> ASHRAE – TC 4.3 62 -1999 Standardı’na göre bazı mekânlar için temiz hava gereksinimleri.                                                                                                             | 25                  |
| <b>Çizelge 2.3:</b> Bazı kurumlar tarafından belirlenen iç ortam bağıl nem oranı değerleri.                                                                                                                              | 29                  |
| <b>Çizelge 2.4:</b> Bazı kurumlar tarafından belirlenen iç mekân hava akış hızı değerleri.                                                                                                                               | 31                  |
| <b>Çizelge 2.5:</b> Yapı Ürünlerinin İç Mekân Hava Kalitesine Etki Türü.                                                                                                                                                 | 33                  |
| <b>Çizelge 2.6:</b> İç Mekân Hava Kirlleticilerinin Fiziksel Özelliklerine Göre Sınıflandırılması.                                                                                                                       | 34                  |
| <b>Çizelge 2.7:</b> Kirlleticilerin yoğunluk birimleri ve açıklamaları.                                                                                                                                                  | 35                  |
| <b>Çizelge 2.8:</b> Gaz ve Buhar Durumunda Olan İç Mekân Hava Kirlleticileri ve Kirletici Kaynakları.                                                                                                                    | 36                  |
| <b>Çizelge 2.9:</b> Partikül Durumunda Olan İç Mekân Hava Kirlleticileri ve Kirletici Kaynağı Olabilecek Yapı Ürünleri veya Donatıları.                                                                                  | 39                  |
| <b>Çizelge 2.10:</b> Gaz ve Buhar Durumunda Olan İç Mekân Hava Kirlleticilerinin Neden Olduğu Sağlık Sorunları.                                                                                                          | 44                  |
| <b>Çizelge 2.11:</b> Partikül Durumunda Olan İç Mekân Hava Kirlleticilerinin Neden Olduğu Sağlık Sorunları.                                                                                                              | 45                  |
| <b>Çizelge 2.12:</b> Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Limit Değerleri.                                                                                                                                                       | 49                  |
| <b>Çizelge 2.13:</b> Ashrae 62-1999’dan alınan dış hava konsantrasyonu.                                                                                                                                                  | 50                  |
| <b>Çizelge 2.14:</b> Avrupa Birliği prEN 15251-2006 Yönetmeliği Kış ve Yaz için Verilen İç Mekân Sıcaklık Değerleri.                                                                                                     | 51                  |
| <b>Çizelge 2.15:</b> Dünya Sağlık Örgütü Seçilen Kirleticiler için İç Mekân Hava Kalitesi Kılavuzlarının Özeti.                                                                                                          | 52                  |
| <b>Çizelge 2.16:</b> Sınır Değerler Çalışma Grubu Tarafından Önerilen Limit Değerler.                                                                                                                                    | 54                  |

|                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 2.17:</b> Hava Kalitesiyle İlgili Yönetmelik ve Standartların Kıyaslanması.                                                               | 55  |
| <b>Çizelge 2.18:</b> Yapı Formu ve Havalandırma İlişkisi.                                                                                            | 58  |
| <b>Çizelge 2.19:</b> Doğal Havalandırma Çeşitleri.                                                                                                   | 61  |
| <b>Çizelge 2.20:</b> Doğal Havalandırma Elemanları.                                                                                                  | 62  |
| <b>Çizelge 2.21:</b> Yapay Havalandırma Bileşenleri.                                                                                                 | 64  |
| <b>Çizelge 3.1:</b> İç Mekân Hava Kalitesi Kapsamında Kullanılan Simülasyon Araçlarının Kıyaslanması.                                                | 73  |
| <b>Çizelge 4.1:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü Proje Künyesi.                                                                                               | 77  |
| <b>Çizelge 4.2:</b> GTÜ Mimarlık Bölümü Yerleşim Planı.                                                                                              | 79  |
| <b>Çizelge 4.3:</b> Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Mekân Özellikleri.                                                                     | 81  |
| <b>Çizelge 4.4:</b> Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok Yapısı Zemin Kat Derslikler ve Konferans Salonunda Kullanılan Yapı Malzemeleri. | 83  |
| <b>Çizelge 4.5:</b> Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü İç Mekân Hava Kirletici Kaynaklarında Bulunan Kirletici Türleri.                       | 89  |
| <b>Çizelge 4.6:</b> Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü İç Mekân Hava Kirletici Kaynaklarının Kapladığı Alan.                                  | 92  |
| <b>Çizelge 4.7:</b> Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Havalandırma Sistemi Özellikleri.                                                      | 95  |
| <b>Çizelge 4.8:</b> Contam Simülasyon Aracında Kullanılan İkonların Anlamı.                                                                          | 96  |
| <b>Çizelge 4.9:</b> Gebze Teknik Üniversitesi N Blok Mimarlık Bölümü Zemin Kat Derslik ve Konferans Salonu Maksimum Kirletici Konsantrasyonları.     | 111 |

# 1. GİRİŞ

Atmosferdeki hava bileşeni oranlarının korunması, havanın kalitesi ile doğru orantılıdır. Kullanıcı, havanın kalitesini sıcaklık, nem ve hava hareketlerine bağlı olarak farklı algılayabilir. Bu nedenle kabul edilebilir iç mekân hava kalitesi terimi kullanılır ve iç mekân hava kalitesi çeşitli parametrelere bağlıdır. Sıcaklık, nem, hava hareketleri, basınç ve atmosferden gelen ışınlar havanın başlıca fiziksel özelliklerini oluşturur. İç mekânda konfor koşullarının oluşturulabilmesi ve iç mekân hava kalitesinin sağlanabilmesi için bu fiziksel özelliklerin ideal koşullarda olması gerekmektedir.

İç mekân havası kullanıcıların biyolojik ve fizyolojik eylemleri sonucu, yapı ürünleri kaynaklı veya dış mekân havasındaki kirleticiler nedeniyle kirlenebilir. Söz konusu kirleticiler fiziksel özelliklerine göre gazlar/buharlar ve partiküller olarak adlandırılır. Gaz/buhar durumunda olan iç mekân hava kirleticilerine karbonmonoksit, ozon, uçucu organik bileşikler; partikül durumunda olan iç mekân hava kirleticilerine asbest, virüsler, polenler ve deri döküntüleri örnek verilebilir.

Çeşitli kurum ve yönetmelikler tarafından yayınlanan “limit değerler” aracılığıyla iç mekân hava kirleticilerinin ideal aralıkları belirlenmiştir. İç mekân hava kalitesi kirleticilerinin bu oranların üzerinde bulunması kullanıcı sağlığı açısından tehlikelidir. Yapılacak bilinçli tercihlerle hava kalitesi konfor koşulları sağlanabilir.

Kullanıcı sağlığını korumak ve konfor koşullarını sağlamak için tasarım ve kullanım aşamasında hava kalitesiyle ilgili birtakım önlemler alınması gerekir. Tasarımcı, kullanılan yapı malzemeleri, tefrişler ve havalandırma elemanlarının uygunluğundan sorumludur. Emisyon yaratmayacak malzemeler kullanılmalı ve doğal/yapay havalandırma elemanları tasarlanan mekâna uygun olmalıdır. Kullanıcılar iç mekân hava kalitesi konusunda bilinçlendirilmeli ve mekân içerisindeki etkinlikleri ile emisyon düzeyini minimum düzeyde tutmalıdır.

Tasarımcı, tasarım aşamasında iç mekân hava kalitesi simülasyon araçlarını kullanarak yapı malzemesi, tefriş ve havalandırma elemanlarının yapıya uygunluğunu kontrol edebilir. Kullanım aşamasında ise gerekli iyileştirmelerin yapılabilmesi için sorunların saptanması amacıyla iç mekân hava kalitesi simülasyon araçlarından faydalanılabilir.

Kullanılan simülasyon araçları farklı arayüzlere ve veritabanlarına sahiptir. Tasarımcının en uygun ve güncel simülasyon aracını kullanması doğru analiz yapılabilmesi açısından önemlidir. Elde edilen sonuçlar analiz edilerek ilgili mekânın iç mekân hava kalitesi gereksinimleri saptanabilir ve iyileştirme önerileri yapılabilir.

## **1.1. Tezin İçeriği, Problemi, Amacı ve Katkısı**

Tez çalışması kapsamında Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok yapısı iç mekân hava kalitesi kapsamında analiz edilmiştir. Farklı boyutlar ve havalandırma sistemlerine sahip olmaları nedeniyle yapının zemin katındaki derslikler ve konferans salonu Contam simülasyon aracı ile simüle edilerek iç mekân hava kalitesi analizleri yapılmıştır. Simülasyon sonucunda rüzgar, hava akışı, basınç ve kirletici çıktıları alınmıştır. Elde edilen çıktılar sonucunda ilgili mekânlarda iç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

Literatür taraması sonucu iç mekân hava kalitesi ve simülasyon araçları konusunda yeterli akademik çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Tez çalışmaları iç mekân hava kirleticilerini farklı alt başlıklarda (fiziksel, kimyasal vb.) ve sayılarda ele almıştır. Kirleticilerle ilgili daha kapsamlı bir çalışma yapılmasının gerekli olduğu saptanarak bütüncül bir çalışma yapılmıştır.

Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok yapısı özelinde; dersliklerin kendi işlevinden farklı olarak hem teorik hem de uygulamalı eğitim için kullanılması, derslik sayısının yeterli gelmemesi sonucu konferans salonunun teorik derslik olarak kullanılması, uygulamalı derslerde öğrencilerin maket yaparken derslik içerisinde yapıştırıcı jel ve spreyci ürünler kullanması, öğrenci sayılarının artışı nedeniyle dersliklerin bazı durumlarda kapasitelerinin üzerinde kullanılması gibi sorunlar saptanmıştır. Bu sorunlar ilgili eğitim yapısının kullanıcılarında çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır.

Bu tezde eğitim binası örneği üzerinden kullanıcı sağlığı ve konforu için önemli bir parametre olan iç mekân hava kalitesinin simülasyon aracı ile değerlendirilmesi ve iç mekân hava kalitesi bağlamında iyileştirme önerilerinin sunulması amaçlanmaktadır. Ayrıca söz konusu tez çalışmasının, Contam simülasyon aracı ile yapılacak gelecek çalışmalar için rehber niteliği taşıması ve literatürdeki boşlukları doldurması hedeflenmiştir.

## 1.2. Tezin Yöntemi, Hipotezi ve Sınırlılıkları

Yapılan çalışmada, iki boyutlu çizim olanağı sunması nedeniyle Contam iç mekân hava kalitesi simülasyon aracı kullanılmıştır. Doğru simülasyon aracının belirlenmesi iç mekân hava kalitesi analizi için önem taşımaktadır. Doğru analizler beraberinde doğru çözüm önerilerini getirmektedir. Elde edilen kirletici sonuçları Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye İklimlendirme Meclisi, İç Hava Kalitesi Komisyonu bünyesindeki Sınır Değerler Çalışma Grubu'nun (SÇG) limit değerleri ile kıyaslanarak iç mekân hava kalitesi kapsamında Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC), Asetaldehit (AA), Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> parametreleri değerlendirilmiştir. Bu kirleticiler, ilgili yapıdaki yapı malzemeleri ve tefrişlerde bulunan kirleticiler saptanarak belirlenmiştir. Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda ilgili mekânlarda iç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesi için öneriler verilmiştir.

Simülasyon çalışması, Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok yapısının zemin katında yapılmıştır. Dersliklerin ve konferans salonunun farklı boyutlara ve doğal havalandırma çeşitlerine sahip olması birbirleri ile kıyaslanabilmelerine olanak tanımıştır. Zemin katta bulunan turuncu hol, merdiven ve ıslak hacimler de daha gerçekçi sonuçlar alınabilmesi için modele dahil edilmiştir. Yapının üst katlarında bulunan idari birimler ve akademisyen odaları yaklaşık olarak benzer özelliklere sahip olmaları nedeniyle kapsam dışında bırakılmıştır.

Yapı malzemeleri ve tefrişlerden yayılan emisyonlar nedeniyle iç mekân kirletici konsantrasyonlarının başlangıçta limit değerlerin üzerinde olacağı, ancak havalandırma sistemindeki G4 toz filtrelerinin partikül madde konsantrasyonlarını gün sonunda güvenli eşiklerin altına düşüreceği varsayılmaktadır. Mekândaki kullanıcı sayısının maksimum kapasiteye ulaşması ve mimarlık eğitimi gereği maket yapımı sırasında kullanılan yapıştırıcı jel/sprey gibi ürünlerin simülasyona dahil edilmesi durumunda, özellikle uçucu organik bileşik ve formaldehit kirleticilerinin limit değerleri ciddi oranda aşacağı öngörülmektedir. Literatürdeki en güncel iç mekân hava kalitesi simülasyon aracı olan Contam programının, çok bölgeli hava akışı ve kirletici dağılımını gerçeğe yakın şekilde modelleyerek doğru iyileştirme stratejileri geliştirilmesine olanak tanıyacağı hipotezi kurulmuştur.

### 1.3. Literatür Özeti

Son yıllarda gelişmiş ülkelerde iç mekân hava kalitesi ile ilgili çalışmalar artmıştır. Bunun nedeni Sağlıksız Bina Sendromu ve yapıya bağlı hastalıkların artmasıdır. Ulusal ölçekte ise dış mekân hava kalitesi ile ilgili çalışmalar ve ölçüm istasyonları bulunsa da iç mekân hava kalitesi kapsamında yürütülen çalışmaların artması gerekmektedir. Ulusal Tez Merkezi incelendiğinde iç mekân hava kalitesi kapsamında yapılan tez çalışmaları içerisinde iç mekân hava kirliliği ve kirleticileri üzerine yapılan tezlerin sayısının az olduğu; ancak son yıllarda bu alanda yapılan çalışmaların sayısının arttığı belirlenmiştir **Çizelge 1.1.**

**Çizelge 1.1:** Şubat 2026 Tarihine Kadar İç Mekân Hava Kalitesi Kapsamında Yapılan Tez Çalışmaları [WEB 11, Ulusal Tez Merkezi,2025].

| Anahtar Kelime              | Mimarlık Alanındaki Yüksek Lisans Tez Sayısı | Mimarlık Alanındaki Doktora Tez Sayısı |
|-----------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| İç Mekân Hava Kalitesi      | 15 adet                                      | 1 adet                                 |
| İç Mekân Hava Kirliliği     | -                                            | -                                      |
| İç Mekân Hava Optimizasyonu | -                                            | 1 adet                                 |
| Yapı İçi Hava Kalitesi      | -                                            | -                                      |
| Yapı İçi Hava Niteliği      | 5 adet                                       | -                                      |
| Yapı İçi Hava Kirliliği     | 2 adet                                       | 2 adet                                 |
| Yapı İçi Hava Kirleticileri | 1 adet                                       | -                                      |
| İç Hava Kalitesi            | 38 adet                                      | 4 adet                                 |
| İç Hava Kirliliği           | -                                            | -                                      |
| İç Mekân Konforu            | 1 adet                                       | -                                      |
| <b>TOPLAM</b>               | <b>62 adet</b>                               | <b>8 adet</b>                          |

Ulusal Tez Merkezi'ndeki "İç Mekân Hava Kalitesi" kapsamında, Şubat 2026 tarihine kadar çalışılmış 62 adet yüksek lisans ve sekiz adet doktora tezi incelenmiştir **Çizelge 1.2, Çizelge 1.3, Çizelge 1.4, Çizelge 1.5, Çizelge 1.6.** Tez çalışmalarının değindikleri başlıklar ve yöntemleri analiz edilmiştir. Bu çalışma tüm konu başlıklarını derleyip bir araya getirerek diğer tez çalışmalarından ayırdığı için özgün değerini korumaktadır. Tez çalışmalarının yaklaşık %21'inde ölçüm; %26'sında anket çalışması; %14'ünde simülasyon çalışması yapılmıştır.

**Çizelge 1.2:** Şubat 2026 Tarihine Kadar “İç Hava Kalitesi” Anahtar Kelimesiyle Yapılan Yüksek Lisans Tezi Çalışmalarının Analizi [WEB 11, Ulusal Tez Merkezi,2025].

| Tezin Yazarı ve Yazım Yılı     | Tezin Anahtar Kelimeleri                                                                                                                             | Tezin Yöntemi                          |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| MEHMET YİĞİTCAN YEŞİLATA, 2022 | İç Hava Kalitesi, Elektronik Burun, Koku Tespiti, Makine Öğrenmesi                                                                                   | Ölçüm                                  |
| EMEL UÇAK, 2024                | Eklemeli İmalat, İç Hava Kalitesi, Nesnelerin İnterneti, Emisyonlar, Çalışma Yeri                                                                    | Literatür araştırması ve analiz        |
| SAMAA DOHAL, 2023              | Çevresel Etki, İç Hava Kalitesi, Yaşam Döngüsü Maliyeti, İç Kaplama Malzemesi, Lüks Otel Odaları, Malzeme Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme Metotları | Kaplama malzemeleri analiz edilmiştir. |
| YARA SHAKRAN, 2022             | Birinci Basamak Sağlık Hizmetleri, Covid 19, Enerji Verimliliği, Hava Kalitesi, Termal Konfor                                                        | Tasarım önerileri sunulmuştur          |
| AYŞE ECE ÖZTÜRK, 2024          | Doğal Havalandırma, Mekanik Havalandırma, İç Ortam Hava Kalitesi, Meta Analizi                                                                       | Meta Analizi                           |
| REKAR ZEKRI ISSA, 2021         | İç hava kalitesi, Yeşil binalar, Havalandırma, Simülasyon tabanlı karar destek araçları, Erbil                                                       | Ölçüm ve simülasyon                    |
| NAİMA EBRU BETUZ, 2012         | İç Hava Kalitesi, Sıcaklık, Bağlı Nem, Hava Hızı, Karbondioksit, İnsan Konforu, Doğal Havalandırma, Eğitim Mekanları, ODTÜ Mimarlık Fakültesi        | Ölçüm                                  |
| EMİNE ŞEN, 2021                | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                                                | Simülasyon                             |
| BETÜL ÖZKAN, 2022              | İç Hava Kalitesi, Kütüphaneler, COVID-19, Doğal Havalandırma, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği                                                        | Ölçüm ve anket                         |
| AİLAR HABIBZADEH, 2018         | Doğal havalandırma, iç hava kalitesi, rüzgâr kulesi, geleneksel tasarım, Badgir (rüzgâr kulesi).                                                     | Literatür araştırması                  |
| BETÜL ERES, 2019               | Turizm Yapıları, HVAC Sistemleri, Kullanıcı Sağlığı, Isıl Konfor, İç Hava Kalitesi                                                                   | Literatür araştırması ve analiz        |
| SEDA NUR APDİK, 2025           | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                                                | Analiz, anket                          |
| ÜLKEM ARTUÇ, 2025              | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                                                | BIM Modeli                             |

**Çizelge 1.2: Devamı.**

| <b>Tezin Yazarı ve Yazım Yılı</b> | <b>Tezin Anahtar Kelimeleri</b>                                                                                          | <b>Tezin Yöntemi</b>                |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| CEYDA GÜNEYLİ, 2019               | Fiziksel Çevre Kontrolü, İç Ortam Kalitesi, Eğitim Mekanları Tasarım Gereklilikleri, Sınıf Mekanlarında İç Hava Kalitesi | Literatür araştırması, matris tablo |
| MELEK ÖZDAMAR, 2017               | İç Mekân Konforu, İç Hava Kalitesi, Isıl Konfor, Ofis Yapıları, Kirleticiler, Sağlık Etkileri                            | Ölçüm                               |
| GAZİ ÇOKAL, 2016                  | Enerji verimliliği, mevcut oteller, iç hava kalitesi, otellerde enerji verimliliği.                                      | Literatür araştırması ve analiz     |
| FATMA DENİZ TÜRKKAN, 1997         | Boyutsal Düzenleme, Fonksiyon, İç Hava Kalitesi, Güvenlik                                                                | Anket, Rehber Önerisi               |
| DENİZ DEMİR, 2025                 | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                    | Ölçüm                               |
| PELİN KARADAĞ, 2025               | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                    | Anket, Alan Çalışması               |
| BATUHAN SAFA TEMİZ, 2025          | İç Mekân Kaplama Malzemeleri, Gömülü Enerji, İç Hava Kalitesi, Yatırım Maliyeti, Çoklu Karar Verme Yöntemleri            | Anket, Vaka Çalışması, Algoritma    |
| ECEM KARA, 2025                   | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                    | Literatür araştırması ve analiz     |
| TUĞBANUR YILMAZ YÜCEL, 2024       | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                    | Kılavuz Önerisi                     |
| YUNUS EMRE GÜNDOĞAN, 2024         | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                    | Restorasyon Önerisi                 |
| MUHSİN LÜTFİ, 2024                | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                    | Anket                               |
| HASAN KORKMAZ, 2024               | Ofis iç hava kalitesi, Ofis içi konfor, Ofis havalandırması                                                              | Ölçüm ve anket                      |
| SELEN NUR ÖZBAY, 2023             | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                    | Literatür araştırması ve anket      |
| KÜBRA GÜREL, 2022                 | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetle bu terim yer almaktadır</i>                    | Bibliyometrik analiz                |

**Çizelge 1.2: Devamı.**

| <b>Tezin Yazarı ve Yazım Yılı</b> | <b>Tezin Anahtar Kelimeleri</b>                                                                       | <b>Tezin Yöntemi</b>    |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| SAEIDEH NAJAFINASAB, 2022         | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | CFD Analizi             |
| LATİFE ÖLKER, 2022                | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Anket                   |
| ZEYNEP YANILMAZ, 2020             | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Anket ve vaka çalışması |
| ZÜHAL ASLI SAKA, 2019             | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Anket                   |
| SEYHAN SAPMAZ, 2003               | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Vaka Çalışması          |
| EBRU İLDEŞ, 2019                  | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Vaka Çalışması          |
| ŞAHAN IRAZ KORKMAZ, 2019          | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Anket, Ölçüm            |
| ESİN GÜLŞEKER, 2018               | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Vaka Çalışması          |
| GİZEM AKGÜL, 2014                 | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Anket                   |
| UĞUR ÖZCAN, 2008                  | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Literatür Araştırması   |
| NAGİHAN AKGÜN, 2019               | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i> | Anket                   |

**Çizelge 1.3:** Şubat 2026 Tarihine Kadar “İç Mekân Hava Kalitesi” Anahtar Kelimesiyle Yapılan Yüksek Lisans Tezi Çalışmalarının Analizi [WEB 11, Ulusal Tez Merkezi,2025].

| Tezin Yazarı ve Yazım Yılı         | Tezin Anahtar Kelimeleri                                                                                                                          | Tezin Yöntemi                                                 |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| EHAB ALI. S ESHTIWI, 2018          | İç mekân hava kalitesi, Çapraz-havalandırma, İç mekân hava kirleticileri, Yaşam tarzı                                                             | Anket ve ölçüm                                                |
| ALİ RANJBAR, 2017                  | Isıl konfor, İç mekân hava kalitesi, Stüdyo, Sınıf, Öğrenci performansı                                                                           | Ölçüm                                                         |
| MONDER. M. HUSSAIEN AL MUDER, 2017 | Sürdürülebilir Mimarlık, Bitkilendirilmiş Yapı Elemanları, Yeşil Çatılar, Yeşil Duvarlar, İç Bahçeler, İç Mekân Hava Kalitesi, Enerji Verimliliği | Anket                                                         |
| ASLI ÖZEKMEKÇİ, 2021               | İç Mekân Hava Kalitesi, Okul Öncesi Eğitim Yapıları, Kullanıcı Konforu, Koronavirüs                                                               | Anket ve alan çalışması                                       |
| CANER YETİŞ, 2021                  | İç Mekân Hava Kalitesi, Atriumlu Yapılar, Isıl Konfor, İyileştirme Önerileri                                                                      | Simülasyon ve Ölçüm                                           |
| KÜBRA ZORLU, 2019                  | Yapı Malzemeleri, İç Mekân Hava Kalitesi, Kullanıcı Konforu                                                                                       | Analiz                                                        |
| HANDAN ENGİNKALP, 2016             | Ahşap Esaslı Levha, Formaldehit, Formaldehitin Sağlık Etkileri, İç Ortam Hava Kalitesi, Orta Yoğunluklu Lif Levha (Mdf), İç Mekân Donatısı        | Numuneler, formaldehit miktarı açısından karşılaştırılmıştır. |
| ORKUN ALPTEKİN, 2007               | İç ortam hava kalitesi, partiküller, yapı malzemeleri                                                                                             | Ölçüm                                                         |
| KÜBRA KOYUNCU 2025                 | LEED Sertifikasyonu, Sürdürülebilir Arazi, İç Mekân Hava Kalitesi, Kullanıcı Algısı, Başakşehir Çam ve Sakura Hastanesi                           | Anket                                                         |
| FULYA ÖZBEY, 2019                  | İç Mekân Hava Kalitesi, İç Mekân CO <sub>2</sub> Seviyesi, Mikroalg, Fotosentez, Biyolojik Azaltım                                                | Deney                                                         |
| ECE DEMİR, 2010                    | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Mekân Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetinde bu terim yer almaktadır.</i>                                    | Analiz, Simülasyon                                            |
| MÜGE ERDOĞAN, 2009                 | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Mekân Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetinde bu terim yer almaktadır.</i>                                    | Anket                                                         |
| AYŞEM BERRİN ZEYTUN, 2000          | Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilir ve Yeşil Mimari, Sürdürülebilir ve Sağlıklı Bina Malzemeleri, Enerji Verimliliği, İç Mekân Hava Kalitesi        | Analiz ve Literatür Araştırması                               |

**Çizelge 1.3: Devamı.**

| <b>Tezin Yazarı ve Yazım Yılı</b> | <b>Tezin Anahtar Kelimeleri</b>                                                                   | <b>Tezin Yöntemi</b>            |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| AYŞE BOSTAN-CIOĞLU, 2025          | İç Mekân Hava Kalitesi, Uçucu Organik Bileşikler, Formaldehit, Okul Öncesi Eğitim Yapısı, Malzeme | Ölçüm                           |
| TUĞBA YAĞMUR, 2025                | Havalandırma, yönetmelik, iç mekân hava kalitesi, CO <sub>2</sub> düzeyi, enerji verimliliği      | Literatür araştırması ve analiz |

**Çizelge 1.4: Şubat 2026 Tarihine Kadar “Yapı İçi Hava Niteliği” Anahtar Kelimesiyle Yapılan Yüksek Lisans Tezi Çalışmalarının Analizi [WEB 11, Ulusal Tez Merkezi,2025].**

| <b>Tezin Yazarı ve Yazım Yılı</b> | <b>Tezin Anahtar Kelimeleri</b>                                                                                                                                                     | <b>Tezin Yöntemi</b>            |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| AYGÜL CEYLAN, 2011                | Yapı içi hava niteliği, iklimlendirme sistemleri, yapı içi hava kirleticileri, yapı kaynaklı sağlık sorunları                                                                       | Literatür araştırması ve analiz |
| MÜJDEM VURAL, 2004                | Yapı içi hava niteliği, yapı içi hava kirleticileri, yapı kaynaklı sağlık sorunları, risk süreci, risk değerlendirmesi, risk yönetimi 1x                                            | Risk Yönetimi                   |
| HANDE GÜLTEKİN, 2001              | <i>Anahtar kelimeler arasında “Yapı İçi Hava Niteliği” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i>                                                                         | Literatür araştırması ve analiz |
| BÜŞRA AKYILDIZ, 2022              | Endüstriyel ahşap ürünler, çağdaş ahşap yapım sistemleri, çağdaş ahşap hibrit sistemler, yapı biyolojisi, sağlıklı yapı, iç mekân iklimlendirmesi, yapı içi hava niteliği, U değeri | Simülasyon                      |
| ELİF GÜNAY, 1994                  | <i>Anahtar kelimeler arasında “Yapı İçi Hava Niteliği” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i>                                                                         | Literatür araştırması           |

**Çizelge 1.5:** Şubat 2026 Tarihine Kadar “Yapı İçi Hava Kirliliği”, “Yapı İçi Hava Kirlleticileri” ve “İç Mekân Konforu” Anahtar Kelimeleriyle Yapılan Yüksek Lisans Tezi Çalışmalarının Analizi [WEB 11, Ulusal Tez Merkezi,2025].

| Anahtar Kelime               | Tezin Yazarı ve Yazım Yılı | Tezin Anahtar Kelimeleri                                                                                                                                                        | Tezin Yöntemi                   |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Yapı İçi Hava Kirliliği      | POLAT DARÇIN, 2008         | Yapı İçi Hava Kalitesi, Yapı İçi Hava Kirlleticileri, Doğal Havalandırma                                                                                                        | Literatür araştırması ve analiz |
|                              | HANDE APAK, 2014           | Radon, yapı içi hava kirliliği, radon kirliliğinin önlenmesi, radon riskini engelleyecek yapı tasarımı                                                                          | Model Önerisi                   |
| Yapı İçi Hava Kirlleticileri | GÖZDE ŞAYLAN, 2007         | Yapı İçi Hava Niteliği, Yapı İçi Hava Kirlleticileri, Yapı İçi Kirlitici Kaynaklı Sağlık Sorunları, Risk Süreçleri, Risk Değerlendirmesi, Yapı İçi Hava Kirliliği Risk Yönetimi | Risk Yönetimi                   |
| İç Mekân Konforu             | BERİL DENİZ SARIOĞLU, 2024 | Kinetik mimarlık, kinetik sistemler, COVID-19 önlemleri, doğal havalandırma, simülasyon yöntemleri, iç mekân konforu                                                            | Simülasyon (Contam)             |

Bu tarama sonucu çıkan 62 adet yüksek lisans tez çalışması detaylı şekilde incelenerek aşağıda özetlenmiştir.

Eshtiwi, anket aracılığıyla Ankara’da yaşayan Arapların yaşam biçimleri hakkında bilgi toplanmıştır. İç mekân tasarımı kriterlerinin iç mekân hava kalitesine katkısı incelenmiştir. Mekânlarda ölçüm yapılmıştır [Eshtiwi, 2018].

Ranjbar, sınıf ve tasarım stüdyolarında farklı havalandırma koşullarının iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Öğrenci performansı ile ilişkisi incelenmiştir. Mekânlarda ölçüm yapılmıştır [Ranjbar, 2017].

Muder, bitkilendirilmiş yapı elemanlarının faydaları hakkında bilinç oluşturarak uygulama oranlarının artmasını hedeflemektedir. Bu yapılarda iç mekân hava kalitesini artırarak sürdürülebilir mimari örnekleri oluşturulması amaçlanmaktadır. Anket çalışması yapılmıştır [Muder, 2017].

Özekmekçi, anaokullarındaki sınıfların iç mekân hava kalitesinin değerlendirilmesini amaçlamıştır. Literatür, anket ve alan çalışması yapılmıştır. İç mekân hava kalitesinin önemi, iç hava kalitesini etkileyen parametreler, iç mekân hava kalitesi standartları, iç mekân hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkisi ele alınmıştır [Özekmekçi, 2021].

Yetiş, sadece doğal havalandırma tasarımları kullanılarak atriumlu plan tipine sahip bir yapının iç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesini amaçlamıştır. Simülasyon programı kullanılmış ve ölçüm yapılmıştır. Çalışmada IDA ICE simülasyon programı kullanılmıştır. IDA ICE programı, yapı içi enerji tüketimi, ısıl konfor şartları, aydınlatma, ısıtma ve soğutma yükleri, CO<sub>2</sub> miktarı, nem miktarı ve PMV-PPD hesaplarını simüle ederek iç mekân konforu ile ilgili çıktılar sunan bir simülasyon programıdır. Farklı havalandırma türleri simülasyon programında değerlendirilerek ısıl konfordan ödün vermeden sadece doğal havalandırma ile iç mekân hava kalitesinin iyileştirilebileceği tespit edilmiştir [Yetiş, 2021].

Zorlu, yapı malzemelerinin iç mekân hava kalitesine etkisini incelemiştir. Fabrikalarda kullanılan kimyasallar, yapıştırıcı ve vernikler nedeniyle uçucu organik bileşik, formaldehit gibi bileşenler malzemenin yapısına işlemektedir. Bu nedenle her yapı malzemesinin iç mekân havasına bir etkisi bulunmaktadır [Zorlu, 2019].

Enginkalp, çalışmasında 21.yüzyılda ahşap esaslı panel levha ve mobilya yapımında en fazla kullanılan yapıştırıcı olan formaldehit tutkalının kapalı ortamlarda en sık saptanan kirleticilerinden olduğunu belirtmiştir. Firma beyanları esas alınarak Türkiye'de üretilen Orta Yoğunluklu Lif Levhalardan (MDF) alınan numuneler, formaldehit miktarı açısından karşılaştırılmıştır [Enginkalp, 2016].

Alptekin, iç mekân hava kalitesi, iç mekân hava kirleticileri ve iç mekân hava kalitesinin sağlık üzerindeki etkilerini incelemiştir. Tez çalışması kapsamında ölçüm yapılmıştır [Alptekin, 2007].

Koyuncu, Türkiye’de ve dünyadaki LEED sertifikası almış hastane binalarını havalandırma kalitesi, koku, hava sirkülasyonu, doğal havalandırma olanakları, yeşil alan kullanımı ve ulaşım kolaylığı yönleriyle değerlendirerek bir anket çalışması yürütmüştür. Katılımcıların iç mekân hava kalitesinin yeterli olmadığını ve koku ile havalandırma problemleri yaşadığı tespit edilmiştir [Koyuncu, 2025].

Özbey, mikroalglerin iç mekân hava kalitesine etkisini incelemek için bir deney çalışması yürütmüştür. İki farklı mikroalg türünün iç mekân CO<sub>2</sub> seviyesine etkisini incelemiştir [Özbey, 2019].

Demir, tip projeye sahip bir ilköğretim okulundaki sürdürülebilir müdahale olanaklarından iç mekân hava kalitesini incelemiştir. Müdahale olanakları belirlendikten sonra DesignBuilder programı kullanılarak bu müdahalenin ısı kazancına etkisi değerlendirilmiştir [Demir, 2010].

Erdoğan, payzaj planlama ve tasarımı kapsamında üniversitelerin sürdürülebilirlik ve üniversite başarımları kavramlarının ilişkisini araştırmıştır. LEED kılavuzu çerçevesinde iç mekân hava kalitesi kriteri de değerlendirilmiştir [Erdoğan, 2009].

Zeytun, malzeme spesifikasyon tabloları hazırlayarak bina malzemelerinin avantajlarını ve dezavantajlarını incelemiştir. Bu sayede sürdürülebilirlik kapsamında bina malzemelerinin özelliklerini inceleyerek çevreye duyarlı malzemelerin seçilmesine olanak tanımaktadır [Zeytun,2000].

Bostancıoğlu, Kırıkkale’de bulunan bir okul öncesi eğitim yapısında uçucu organik bileşik ve formaldehit miktarını ölçmüştür. Çocuk sağlığı ve iç mekân hava kalitesi ilişkisinin önemi vurgulanmıştır [Bostancıoğlu, 2025].

Yağmur, çalışmada dört farklı ülkenin havalandırma yönetmeliklerini karşılaştırmıştır. Ayrıca doğal havalandırma uygulamalarına yönelik vaka analizleri yapmıştır. Türkiye’nin coğrafi ve iklimsel koşullarına uygun bir yönetmelik önerisi yapmıştır [Yağmur,2025].

Yeşilata, iç mekân hava kalitesi kapsamında veri toplamak için iki farklı elektronik burun ile dokuz farklı malzemeyi ölçmüştür. Uçucu organik bileşik, PM, formaldehit gibi kirleticilerle ilgili veriler etmiş ve çeşitli algoritmalar kullanmıştır [Yeşilata, 2022].

Uçak, üretim ve ofis alanlarında kullanılan eklemeli imalat süreçlerinin, partikül madde, uçucu organik bileşik, formaldehit, benzen, etanol, azot dioksit, karbon dioksit ve oksijen ve gibi iç mekân hava kalitesi parametreleri üzerindeki etkisini ve çalışanların iç mekân hava kalitesi algısını araştırmıştır [Uçak, 2024].

Dohal, tez çalışması kapsamında otel binaları için iç mekân hava kalitesi, çevresel etki ve yaşam döngüsü maliyeti kriterleri açısından en uygun iç kaplama malzemelerini niteliksel olarak seçmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, İstanbul’daki lüks otel odalarında bulunan iç mekân kaplama malzemeleri analiz edilmiştir [Dohal, 2023].

Shakran, bir tip proje örnekleme üzerinden, Covid-19 önlemlerinin de dahil edildiği, enerji verimli birinci basamak sağlık merkezi tasarım yaklaşımını sunmayı amaçlamıştır. Tasarım önerileri sunulmuştur [Shakran, 2022].

Öztürk, Havalandırma sistemlerinin iç mekân hava kalitesi üzerine etkisini meta analizi yöntemi ile incelemeyi amaçlamaktadır. Meta analizi, belirli bir konudaki birden fazla araştırmanın sonuçlarını sentezleyen ve yorumlayan bir araştırma yöntemidir. 83 makalenin meta analizi yapılmıştır. Grafikler oluşturularak analizleri yapılmıştır [Öztürk, 2024].

Issa, Irak'ın Erbil kentindeki bir ilköğretim okulunda ölçümlenen zayıf iç mekân hava kalitesi sorununu çözmeyi amaçlamaktadır. 5 ay boyunca yapılan ölçümler sonucu veriler elde edilmiştir. Çözüm önerileri geliştirilerek ABAQUS simülasyon programından faydalanılarak çözüm önerisi geliştirilmiştir [Issa, 2021].

Betuz, kalabalık eğitim mekânlarında yeterli temiz hava sağlanamamasından kaynaklanan olumsuz iç hava kalitesi koşullarını belirlemek ve iyileştirme için öneriler sunmayı amaçlamıştır. Ölçüm yapılmıştır [Betuz, 2012].

Şen, bir ofis binasındaki enerji verimliliği ve konforu üzerinde; havalandırma stratejileri, HVAC sistemleri, malzeme seçimleri ve aktivite planlamasının etkisini incelemiştir. DesignBuilder programı ile simülasyon oluşturmuştur [Şen, 2021].

Özkan, Konya İl Halk Kütüphanesi'nde bulunan Gençlik Salonu, Fotokopi ve İnternet Salonu'nu iç mekân hava kalitesi yönüyle incelemiştir. Ölçüm ve anket yapılmıştır [Özkan, 2022].

Habibzadeh, İran'da rüzgâr kulelerinin doğal havalandırmadaki performansını artıran bir sistem tasarımını inceleyerek değerlendirmiştir. Geleneksek ve yeni tasarlanmış rüzgâr kuleleri kıyaslanmıştır [Habibzadeh, 2018].

Eres, turizm yapılarında kullanılan HVAC sistemlerin kullanıcı sağlığı ile ilişkisi, ısı konfor, hava akışı, hava sıcaklığı, iyon dengesi, iç mekân hava dengesi, bağıl nem gibi başlıklar altında ele alarak kullanıcı sağlığı sorunları ve alınabilecek önlemleri incelemiştir [Eres, 2019].

Apdik, sürdürülebilir eğitim mekânları için bir “Meta Sınıf” tasarımı yaparak uygulamıştır. Tasarımını iç mekân hava kalitesi, konfor koşulları gibi etmenler anket ve yarı yapılandırılmış görüşmeler ile değerlendirmiştir [Apdik, 2025].

Artuç, lamine masif ahşabın betonarme ve çelik sistemlere alternatif olarak kullanılabilirliğini savunmaktadır. Ekonomik, mimari vb. açıdan ahşap malzeme ele alınmaktadır [Artuç, 2025].

Güneyli, ilköğretim sınıf ortamındaki iç mekân hava kalitesini incelemiştir. Matris tablolar yapılmış ve iç mekân hava kirliliğinin çocuk sağlığı üzerindeki etkisi açıklanmıştır [Güneyli, 2019].

Özdamar, örnek bir ofis yapısında bir aylık süre boyunca ölçümler yapılarak iç mekân hava kalitesi değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ASHRAE Standart 55 limit değerleri ile kıyaslanmıştır [Özdamar, 2017].

Çokal, bir otel yapısı seçerek iç mekân hava kalitesi, atık yönetimi gibi konuları incelemiştir. Yapının daha enerji verimli hale gelebilmesi için önerilerde bulunmuştur [Çokal, 2016].

Türkkan, ıslak zeminlerin tasarımı üzerine bir literatür araştırması yürütmüştür. Elde edilen bilgiler iç mekân hava kalitesi, boyutsal düzenleme, fonksiyon ve güvenlik başlıkları altında ele alınmıştır [Türkkan, 1997].

Demir, perakende satış mağazalarında ölçüm yaparak iç ortam kalite parametrelerini incelemiştir. İç mekân hava kalitesi, ısı konfor gibi alt başlıklar değerlendirilmiştir [Demir, 2025].

Karadağ, Bakırköy’de bulunan AVM giyim mağazalarında anket ve alan çalışması yaparak iç mekân çevre kalitesi üzerine bir çalışma yürütmüştür. İç mekân hava kalitesi, iç mekân çevre kalitesinin alt parametresidir [Karadağ, 2025].

Temiz, yirmi farklı açık planlı ofis yapısını üç farklı başlıkta incelemiştir. Bu başlıklardan biri olan iç mekân hava kalitesini anket ve algoritmaları kullanarak değerlendirmiştir [Temiz, 2025].

Kara, iç mekânda gerçekleştirilen tarımsal üretimin sürdürülebilirliğe etkisini araştırmıştır. Literatür araştırması yapılarak iç mekân örneklerindeki tasarım elemanları analiz edilmiştir [Kara,2025].

Yılmaz Yücel, pasif sistemleri rüzgâr odaklı olarak derleyerek bir kılavuz hazırlamıştır. Adana’da bulunan sürdürülebilirlik merkezi bu kılavuz çerçevesinde değerlendirilmiştir [Yılmaz Yücel,2024].

Gündoğan, bir ortaokul yapısında restorasyon önerisinde bulunmuştur. Tekirdağ’da bulunan yapının restorasyon önerisi sonrasında iç mekân hava kalitesinin iyileşmesi ve öğrencilerin gelişimini desteklemesi hedeflenmektedir [Gündoğan, 2024].

Lütfi, İstanbul’daki yeşil sertifikalı ve çok katlı bir ofis binasının iç ortam kalitesini değerlendirmiştir. Anket çalışması yapılmıştır [Lütfi, 2024].

Korkmaz, Selçuklu Belediye Binası’nda farklı havalandırma tiplerine sahip ofislerde iç mekân hava kirletici ölçümleri gerçekleştirmiştir. Anket çalışması da yaparak iç mekân hava kalitesinin limit değerleri aştığı kullanıcı memnuniyetiyle de teyit edilmiştir [Korkmaz,2024].

Özbay, biyofili kavramı hakkında bir bilinç oluşturmaya hedeflemiştir. Araştırılan balkon tiplerinin iç mekân hava kalitesi, termal konfor, akustik konfor gibi etkileri incelenmiştir [Özbay,2023].

Gürel, bibliyometrik analiz yardımıyla yeşil binalarda kalite göstergelerini belirlemeyi amaçlamıştır. 35 kalite göstergesi belirlenmiş ve analizler yapılmıştır. İç mekân hava kalitesi, termal konfor ve aydınlatmanın kullanıcı memnuniyet göstergelerinde araştırma odağı olduğunu belirlemiştir [Gürel,2022].

Najafinasab, doğal havalandırmanın önemini vurgulamıştır. İran geleneksel hamamlarının doğal havalandırmasını CFD analiz yöntemiyle incelemiştir [Najafinasab, 2022].

Ölker, beş kamu binasını kullanıcı odaklı inceleyerek bir anket çalışması yürütmüştür. Kullanıcıların, avluyu iç mekân hava kalitesi kapsamında olumlu bir mekân olarak algıladıklarını belirlemiştir [Ölker,2022].

Yanılmaz, iki adet LEED sertifikalı temel eğitim okulunda iç mekân hava kalitesi, işitsel konfor gibi parametreler üzerinden bir anket çalışması yapmıştır [Yanılmaz, 2020].

Saka, Bursa ili ve ilçelerinde bulunan 140 mimarlık ofisindeki kullanıcılarla iç mekân hava kalitesi, ergonomi gibi başlıklar altında bir anket çalışması yürütmüştür. Mimarlık ofislerinde bulunması gereken optimum koşullar belirlenmeye çalışılmıştır [Saka,2019].

Sapmaz, İstanbul'daki az katlı konut gruplarını enerji ve malzeme korunumu, iç mekân hava kalitesi kriterleri açısından değerlendirmiştir [Sapmaz,2003].

İldeş, Edirne'de bulunan bir alışveriş merkezi yapısının konfor değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. İç mekân hava kalitesi, görsel konfor gibi alt parametreler değerlendirilmiştir [İldeş, 2019].

Korkmaz, Eskişehir'de bulunan bir alışveriş merkezinde anket ve ölçüm çalışması yapmıştır. İç mekân hava kalitesi ve işitsel konfor gibi parametreler değerlendirilmiştir [Korkmaz, 2019].

Gülşeker, 24 derslikli bir tip proje olan temel eğitim binasını LEED sertifikasyon sistemine göre incelemiştir. İç mekân hava kalitesi, yapı malzemesi gibi parametreler sertifikasyon sisteminde yer almaktadır [Gülşeker, 2018].

Akgül, Türk inşaat sektöründeki sürdürülebilirlik algısını saptamak için anket çalışması düzenlemiştir. Meslek, pozisyon ve deneyime göre algı farklılıklarını LEED kriterleri uyarınca incelemiştir [Akgül,2014].

Özcan, iç mekân hava kalitesi ve sağlık etkilerini incelemiştir. HVAC sistemlerin entegre edildiği yapı örnekleri analiz edilmiştir **[Özcan,2008]**.

Akgün, İstanbul ve Kocaeli’ndeki LEED sertifikalı ofis yapıları incelenmiştir. İç mekân hava kalitesi, havalandırma, görsel konfor gibi parametrelerdeki memnuniyet düzeyini belirlemeye yönelik bir anket çalışması yapılmıştır **[Akgün,2019]**.

Ceylan, iklimlendirme sistemlerinin iç mekân hava kalitesine etkisi dolayısıyla kullanıcıda bazı hastalıklar meydana getirdiğini belirtmiştir. Bu hastalıkların çözümünün belirlenebilmesi için iklimlendirme sistemindeki hangi olumsuzluk etkenlerinin bu hastalıklara neden olduğunun bilinmesi gerektiğini aktarmıştır **[Ceylan, 2011]**.

Vural, yapının iç mekân hava kalitesinin değerlendirilmesi için risk sürecinin incelenmesi gerektiğini aktarmaktadır. Tez çalışmasında bu risk modeli sürecinin nasıl yürütüleceği açıklanmaktadır **[Vural, 2004]**.

Gültekin, yapay ahşap levhalardan kaynaklanan kirleticileri ve bu kirleticilerin limit değerlerini incelemiştir. Polimer bağlayıcı levhaların çeşitlerini ve kullanım alanlarını sınıflandırmıştır. Yapay ahşap levhaları iç mekân hava kalitesi açısından beş aşamalı bir yaklaşımla ele alan bir öneri sunmuştur **[Gültekin, 2001]**.

Akyıldız, üç farklı yapı malzemesi senaryosu belirlemiştir. SimRoom simülasyon aracını kullanmıştır. Ahşap, betonarme ve hibrit sistemler ele alındığında sonuçlarda kullanıcı sağlığını tehdit edecek bir olumsuzluk saptanmamıştır **[Akyıldız,2022]**.

Günay, hava düzenleme sistemlerini tanıtmak ve sistemlerin seçimini yapmak için bir yöntem geliştirmiştir. İç mekân hava kalitesinin kullanıcı sağlığına uygun ölçütlerde olma gerekliliği vurgulanmıştır **[Günay, 1994]**.

Darçın, yapılar doğal havalandırma ilkeleri göz önüne alınarak tasarlanırsa kullanıcı için konfor düzeyi yüksek, enerji tüketimi ve maliyeti düşük yapılar üretilebileceğini belirtmiştir. Yapma hava düzenleme sistemlerinin enerji tüketimi, bakım maliyeti daha yüksek olduğunu; uygulama ve bakım hatası yapılırsa insan sağlığına zarar verebileceğini aktarmıştır **[Darçın, 2008]**.

Apak, tasarımcılarda radon ile ilgili bir bilinç oluşturarak radonun oluşturabileceği sorunlara yönelik çözümçül yaklaşım önerileri sunmayı amaçlamıştır. Model önerileri sunarak kullanıcılarda sağlık etkilerini en aza indirmeyi hedeflemektedir **[Apak,2014]**.

Şaylan tez çalışmasında, iç mekân hava kirleticilerinin insan sağlığını olumsuz etkilememesi veya oluşabilecek etkilerin en az düzeyde tutulabilmesi için risk yönetimi oluşturulmasını ve teknik bir grup tarafından hazırlanarak doğru uygulanmasını ifade etmiştir [Şaylan, 2007].

Sarioğlu, Contam simülasyon aracını kullanarak Ankara’da bulunan Cer Modern yapısını simüle etmiştir. En iyi sonucu üç adet çatı penceresinin açık olduğu durumda elde etmiştir [Sarioğlu, 2024].

**Çizelge 1.6:** Şubat 2026 Tarihine Kadar “İç Mekân Hava Optimizasyonu”, “İç Mekân Hava Kalitesi”, “Yapı İçi Hava Kirliliği” ve “İç Hava Kalitesi” Anahtar Kelimeleriyle Yapılan Doktora Tezi Çalışmalarının Analizi [WEB 11, Ulusal Tez Merkezi,2025].

| Anahtar Kelime              | Tezin Yazarı ve Yazım Yılı | Tezin Anahtar Kelimeleri                                                                                                                | Tezin Yöntemi                           |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| İç Mekân Hava Optimizasyonu | SAHAR TOHIDI, 2022         | Mimari Tasarım, Pasif Havalandırma, Eğitim Binaları, Optimizasyon, Geleneksel Mimari, Soğuk İklim                                       | Simülasyon                              |
| İç Mekân Hava Kalitesi      | TOBIAS SCHULZE, 2015       | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Mekân Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özette bu terim yer almaktadır</i>                             | Ön Tasarım Aracı Geliştirme, Simülasyon |
| Yapı İçi Hava Kirliliği     | POLAT DARÇIN, 2014         | Yapı İçi Hava Kirliliği, Yapı İçi Hava Kirleticileri, Değerlendirme Yaklaşımları, Yapı – İnsan Sağlığı İlişkisi, Sağlıklı Yapı          | Risk Modeli, Saha Araştırması           |
|                             | TUBA CENGİZ YILAN, 2008    | Risk, Risk Analizi, Risk Yönetimi, Yapı İçi Hava Kirliliği, Yapı İçi Hava Kirleticileri, Yapı Ürünlerinden Kaynaklanan Sağlık Sorunları | Risk Modeli                             |

**Çizelge 1.6: Devamı.**

| <b>Anahtar Kelime</b> | <b>Tezin Yazarı ve Yazım Yılı</b> | <b>Tezin Anahtar Kelimeleri</b>                                                                         | <b>Tezin Yöntemi</b>        |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| İç Hava Kalitesi      | PENBEGÜL ÖZTÜRK, 2024             | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetinde bu terim yer almaktadır</i> | Model Önerisi               |
|                       | AHMET BİLER, 2024                 | <i>Anahtar kelimeler arasında “İç Hava Kalitesi” yer almamaktadır. Özetinde bu terim yer almaktadır</i> | Simülasyon ve Ölçüm         |
|                       | ILDAR FATHI AJIRLOU, 2022         | Yeşil Mimari, Doğal Havalandırma, Hava Akış Penceresi, İç Mekân Hava Kalitesi, Termal Konfor            | Simülasyon                  |
|                       | BURCU KÖSE KHIDIROV, 2020         | İç hava kalitesi, Uçucu organik bileşikler, İç mekân, Yapay aydınlatma, Emisyon                         | Hava örnekleri toplanmıştır |

Yapılan tarama sonucu çıkan sekiz adet doktora tez çalışması detaylı şekilde incelenerek aşağıda özetlenmiştir.

Tohidi, çalışmasında soğuk iklimde bulunan mevcut binalar için yerel öğretilerden yola çıkılarak sağlıklı ve hesaplı bir pasif havalandırma sistemi geliştirilebileceği hipotezi ile bir araştırma yürütmüştür. Simülasyon ile bu hipotez doğrulanmıştır. Design Builder programıyla doğal havalandırmanın teminine yönelik hava yenilenmesi, hava akışı, hava ısısı ve bütün bunlara tasarlanan menfezlerin ve bacaların etkisini incelemiştir [Tohidi, 2022].

Schulze, İstanbul'da yer alan yirmi sekiz katlı bir ofis kulesi incelenmiştir. Çok katlı yapılara pasif soğutma ve havalandırma yaklaşımı geliştirmek; havalandırma sistemi için bir ön tasarım aracı geliştirmek; isteğe bağlı havalandırma kontrolü içeren simülasyon tabanlı bir tasarım geliştirmek hedeflenmiştir. HighVent ve EnergyPlus yazılımları ile karşılaştırmalı doğrulamalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir **[Schulze,2015]**.

Darçın, tezinde oluşturduğu yaklaşımla iç mekân hava kirliliğinin kullanıcı sağlığı açısından olumsuzluk düzeyinin ve risklerin belirlenebileceğini ve söz konusu olumsuzluğu ortaya çıkaran sorunların doğru bir şekilde saptanmasına olanak tanınacağını varsaymıştır. Yaklaşımın ön araştırma aşaması, İstanbul'da bulunan bir mimarlık ofisinde denenmiş ve ön araştırma sonucunda, ofisteki kirleticilere ve kullanıcılara yönelik saptamalar oluşturulmuştur **[Darçın, 2014]**.

Cengiz Yılan, yapı ürünlerinin neden olduğu iç mekân hava kirliliğinin, kullanım aşamasında kullanıcıların sağlığı için sağlık riski oluşturup oluşturmadığı kararının verilmesi, risklerin yönetilmesi ve bunun için bir model oluşturulmasını amaçlamıştır **[Cengiz Yılan, 2008]**.

Öztürk, oluşturduğu modelle sürdürülebilir ofis mekânları oluşturmak için bir ölçme aracı geliştirmiştir. İç mekân hava kalitesi gibi parametreleri değerlendirmiştir **[Öztürk, 2024]**.

Biler, Trickle Vent kontrol stratejileri simülasyon çalışmasıyla incelenmiştir. Önerilen stratejilerle iç mekân hava kalitesi, termal konfor ve gürültü kontrolünün iyileştirilerek kullanıcı sağlığını artırmak hedeflenmiştir **[Biler, 2024]**.

Fathi Ajirlou, hava akışlı pencerelerin; hacimden hava kirletici maddeleri ve partikülleri uzaklaştırmasının yanı sıra ofis ve odalardaki kullanıcılara termal konfor sağlamadaki performansını incelemiştir. Simülasyon yapılmıştır. CFD (Computational Fluid Dynamics) (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği), akışkanların davranışlarının incelenmek istendiği konularda, sayısal metot ve algoritmalar kullanarak bilgisayar ortamında çözüm getirilerek analiz yapılmasına olanak sağlayan, akışkanlar mekaniğinin bir koludur. Fathi Ajirlou, CFD simülasyon programını kullanarak hava akışlı pencerelerin; hacimden hava kirletici maddeleri ve partikülleri uzaklaştırmasının yanı sıra ofis ve odalardaki kullanıcılara termal konfor sağlamadaki performansını incelemiştir **[Fathi Ajirlou, 2022]**.

Khıdırov, LED'lerin iç mekân hava kalitesini olumsuz etkileyen uçucu organik bileşik emisyonuna sebep olup olmadığını araştırmıştır. Kullanım aktiviteleri bulunmayan boş bir odada, toplam 120 saat boyunca lambalar aralıksız çalıştırılarak hava örnekleri toplanmıştır **[Khıdırov, 2020]**.

Ulusal Tez Merkezi'nde taranan yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarına ek olarak Gebze Teknik Üniversitesi Kütüphane ve Dökümantasyon Başkanlığı, Veritabanı Erişim ve İstatistik Sistemi (GTÜ Vetis) üzerinden tüm veritabanlarında “Contam ve Indoor Air Quality” anahtar kelimeleri filtrelenmiştir. En güncel çalışmaları incelemek amacıyla Kasım 2024-Kasım 2025 tarihleri arasında sınırlama yapılarak tarama yapılmıştır. Bu tarama sonucu çıkan 11 makale detaylı şekilde incelenerek aşağıda özetlenmiştir.

Spencer-Williams, Engelmeier ve Haig; bodrum katlarındaki iç mekân hava kalitesini incelemek için Contam simülasyon aracını kullanmıştır. Radon, PM<sub>2,5</sub> ve küf sporu kirleticilerinin maruziyeti incelenmiştir. Tek ailenin kullanımında olan bir konutun bodrum katındaki kontrol odası, ofis, spor salonu ve oyun odası modellenmiştir. Simülasyon sonucunda tüm kullanım senaryolarında maruziyetin arttığı gözlemlenmiştir. Kirletici maruziyetindeki artışın birincil nedeninin solunum hızına kıyasla bodrum katında geçirilen sürenin uzunluğu ve sıklığı olduğu saptanmıştır **[Spencer-Williams vd., 2025]**.

Garg ve arkadaşları, doğalgaz ve propan ocaklarının yanması sonucu ortaya çıkan ve kanserojen etkileri olan benzen maruziyetini ve sağlık etkilerini incelemiştir. ABD'deki 24 farklı kat planı Contam ile simüle edilmiştir. Modele, benzen emisyon oranları; düşük, orta, yüksek ocak kullanımı; pencerenin açık veya kapalı olması, davlumbazın açık veya kapalı olması senaryoları entegre edilmiştir. Özellikle çocuklar için yetersiz havalandırma ve orta ile yüksek ocak kullanımı senaryolarında Ömür Boyu Kanseri Riski'nin (ILTCR) Dünya Sağlık Örgütü'nün güvenli limit değeri eşikini aştığı görülmüştür. Çocukların ILTCR'sinin yetişkinlere oranla 1,85 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. En yüksek riskin en uzun süre vakit geçirilen yatak odalarında toplandığı bulunmuştur. Davlumbazın veya pencerelerin açık olması benzen maruziyetini önemli ölçüde azaltsa da yüksek miktarda ocak kullanımı durumunda kanser riskinin tamamen ortadan kalkmadığı sonucuna varılmıştır **[Garg vd., 2025]**.

Wang ve arkadaşları, Birleşik Krallık'taki Konut Enerji Verimliliği (HEE) iyileştirme çalışmalarının iç mekân üzerindeki etkilerini inceleyen öncül çalışmalardan birini yürütmüştür. Çalışmada, HEE'nin uygulandığı konutlarda Radon, formaldehit, PM<sub>2,5</sub> ve NO<sub>2</sub> maruziyeti ve aşırı ısınma riskini analiz etmek için Contam ve Energy Plus yazılımları kullanılmıştır. Seçilen bir konut yapısının menfezlerinin açık veya kapalı olmasının etkileri incelenmiştir. Radon ve formaldehit için menfezlerin açık tutulduğu durumda maruziyetin azaldığı, kapalıyken arttığı; PM<sub>2,5</sub> için HEE önlemlerinin maruziyeti çok az artırdığı, menfezler açıkken de maruziyetin çok az arttığı; NO<sub>2</sub> için menfezler açıkken maruziyetin azaldığı kapalıyken çok az arttığı görülmüştür. İç mekân kirletici maruziyetini ve aşırı ısınmayı azaltmak için HEE stratejilerinin ve menfez kullanımının birlikte ele alınması gerektiği vurgulanmıştır **[Wang vd., 2025]**. Fuqaha, Zaki ve Nugroho; sürdürülebilir konutlarda uçucu organik bileşik (VOC) emisyonlarını Contam simülasyon aracını kullanarak simüle etmiştir. Malzeme seçimi, yapıştırıcı tipi, havalandırma hızı ve iç mekân sıcaklığı için dokuz farklı senaryo modellenmiştir. Geleneksel yönlendirilmiş yonga levha (OSB) ve mantar döşeme kullanılan senaryoda yeterli havalandırma yapılmasına rağmen formaldehit ve VOC seviyelerinin önerilen limit değeri aştığı görülmüştür. Lamine bambu panel ve soya bazlı yapıştırıcı kullanılan döşemelerde VOC emisyonlarının %70-80 oranında azaldığı saptanmıştır. Lamine bambu panelde melamin üre formaldehit yapıştırıcı kullanıldığı senaryoda ise konsantrasyonlardaki iyileşmenin sınırlı olduğu görülmüştür. Yüksek iç mekân sıcaklığının VOC seviyelerini %30'dan fazla artırdığı; havalandırma kalitesinin artırılmasının ise VOC seviyelerini %25-35 oranında azalttığı tespit edilmiştir **[Fuqaha vd., 2025]**.

Lopes ve arkadaşları, Fransa'nın Lyon kentinde, dış mekân hava kirliliğinin fazla olduğu çevrede olan bir apartmanda deneysel bir çalışma yürütmüştür. Sıcaklık, bağıl nem, PM<sub>2,5</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları ölçülmüştür. Domus, CFD ve Contam yazılımları eş zamanlı olarak kullanılmıştır. Sabit hava hacimli yapay havalandırma ve iki akıllı havalandırma stratejisi kıyaslanmıştır. Akıllı havalandırma stratejileri CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarını %20-30 oranında iyileştirmiştir. PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonlarında ise yaklaşık %5'lik bir azalma sağlanmıştır **[Lopes vd., 2024]**.

Kim ve Kang, Güney Kore'deki kreşlerde enerji geri kazanımlı havalandırma sistemlerinin PM<sub>2,5</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. İç mekân hava kalitesini iyileştirmeyi amaçlayan bir deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Saha ölçümleri ve Contam simülasyon aracını kullanarak kreşlerin zayıf hava sızdırmazlığı nedeniyle dış mekân hava kirliliğine karşı savunmasız olduğu belirlenmiştir. Yüksek performanslı filtrelerin PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonunu %50'ye kadar azalttığı ve çocuk sağlığını korumak için yüksek performanslı filtre kullanmanın önemini vurgulanmıştır **[Kim ve Kang, 2025]**.

Zhang ve arkadaşları, Çin'in çöl bölgelerinde geleneksel konut mimarisinde bulunan giriş alanının, kum fırtınaları sırasında iç mekân PM<sub>10</sub> kirliliğine karşı etkisini incelemiştir. Contam simülasyonu ve saha ölçümü yapılmıştır. Giriş alanının tozlu bir dönemde PM<sub>10</sub> konsantrasyonunu %20 oranında azalttığı saptanmıştır. Simülasyon sonucunda hava temizleyici cihazların aynı mekânda %47 daha etkin bir azaltım sağladığı bulunsada giriş alanının daha sürdürülebilir bir strateji olduğu belirtilmiştir **[Zhang vd., 2024]**.

Choi ve arkadaşları, ticari yapılardaki değişken hava hacimli (VAV) sistemler için, PM<sub>2,5</sub> ve CO<sub>2</sub> kirlleticilerini eş zamanlı olarak hedef alan bir havalandırma stratejisi geliştirmiştir. Bu stratejiyi test etmek amacıyla Energy Plus, Contam ve Phytos'ı entegre eden simülasyon modeli kullanılmıştır. Geliştirilen strateji PM<sub>2,5</sub> ve CO<sub>2</sub> seviyelerini sırasıyla %97,33 ve %100 güvenli limit değerlerin altında tutmayı başarmıştır. Stratejinin etkinliğinin dış mekân partiküllerine karşı koruma sağlayan yüksek verimli filtrelere bağlı olduğu kanıtlanmıştır **[Choi vd., 2025]**.

Usta, Santantonio ve Mutani, büyük şehirlerde yapıların ne kadar enerji harcadığını tahmin eden karmaşık bilgisayar modelleri yerine daha hızlı ve basit bir yöntem geliştirmeyi hedeflemiştir. Yapıdaki, sızıntı yoluyla gerçekleşen doğal havalandırma miktarını doğru bir şekilde hesaplayan basit bir model oluşturmak amaçlanmıştır. Geliştirilen modelin sonuçları Contam simülasyon aracı ile karşılaştırılmıştır. Model en iyi sonucu bitişik nizamlı alçak ve orta katlı yapılarda vermiştir. Yüksek katlı binalarda ise hata oranı %18' çıkmıştır. Çevresinde yapı olmayan müstakil yapılarda ve yüksek katlı yapılarda modelin iyi çalışmadığı sonucuna varılmıştır **[Usta vd., 2025]**.

Abbaspour ve arkadaşları, İngiltere'deki bir kolej yapısında; enerji verimliliği, termal konfor ve iç mekân hava kalitesini eş zamanlı optimize etmeyi amaçlayan bir metodoloji geliştirmiştir. NSGA-II çok amaçlı optimizasyon algoritması ile Energy Plus ve Contam simülasyonlarını birleştirerek CO<sub>2</sub> seviyeleri ve SARS-CoV-2 enfeksiyon riski modellenmiştir. Energy Plus ile enerji ve termal konfor analizi; Contam ile çok bölgeli hava akışı, kirletici dağılımı ve enfeksiyon riski hesaplamaları yapılmıştır. Enerji tasarrufuna odaklanan senaryoların termal konforu yaklaşık %18 düşürdüğü; iç mekân hava kalitesine odaklanan senaryoların ise enerji tüketimini yaklaşık %54 artırdığı belirlenmiştir. İç mekân hava kalitesi öncelikli senaryolardan birinin en düşük SARS-CoV-2 enfeksiyon riski sağladığı ve enerji verimliliğini aşırı derecede artırmadığı görülmüştür [Abbaspour vd., 2025].

Tian ve arkadaşları, dış mekân PM<sub>2,5</sub> hava kirliliğinin yüksek katlı apartman yapılarına nasıl sızdığını ve yapının farklı katlarında kirlilik seviyelerinin neden farklı olduğunu incelemiştir. Contam simülasyon aracı kullanılarak yapının havalandırma sistemi, hava akışı, kirletici dağılımları tespit edilmiş; ayrıca kirletici parçacıkların sıcaklık değişimiyle kimyasal olarak dönüşümünü hesaplayan bir model kullanılmıştır. Kış aylarında etkili olan baca etkisi sonucu en alttaki ve en üstteki dairelerin daha fazla hava sızıntısı yaşadığı; bunun sonucunda daha büyük kirliliğe maruz kaldığı tespit edilmiştir [Tian vd., 2025].

Çalışmalarda görülmektedir ki iç mekân hava kalitesinin insan sağlığına etkisi oldukça fazladır. Farklı iklim ve topografik özelliklere sahip coğrafyalarda; farklı konut tiplerinde; farklı işlevlere sahip yapılarda yapılan bu çalışmalar iç mekân hava kalitesinin önemine vurgu yapmaktadır. Bazı çalışmalarda diğer programlarla entegrasyonu nedeniyle Contam simülasyon aracı kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda ölçüm yapılarak gerçek verilerle Contam simülasyon aracının verileri arasında kıyas yapılmıştır. Usta ve arkadaşlarının çalışmasında ise Contam, geliştirilen model için kontrol kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalar Contam simülasyon aracının güvenilirliğini ve işlevselliğini kanıtlayarak çalışma kapsamında ilgili aracın kullanımı için destekleyici bir sebep oluşturmaktadır.

## 2. İÇ MEKÂN HAVA KALİTESİ

Dış çevredeki atmosferin gazlarından oluşan iç mekân havası, belli oranlarda azot, oksijen, argon ve karbondioksit içerir. Bu gazların dışında havada, çok az miktarda, neon, helyum, metan, kripton, hidrojen, ksenon, azot dioksit ozon bulunur [Tünay ve Alp, 1996, akt. Vural ve Balanlı,2005] Çizelge 2.1. Atmosferde yaşanan doğal eylemler sonucu havadaki bileşenlerin oranları hep aynı kalmaktadır. Bu denge sağlandığı sürece hava "kaliteli" olarak kabul edilmektedir.

**Çizelge 2.1:** Atmosferin doğal bileşenleri [Tünay ve Alp,1996,akt. Darçın,2008].

| Bileşen       | Hacim              | Konsantrasyon |
|---------------|--------------------|---------------|
| Azot          | $78.084 \pm 0.004$ | 780.900       |
| Oksijen       | $0.946 \pm 0.00$   | 209.400       |
| Argon         | $0.934 \pm 0.001$  | 9.300         |
| Karbondioksit | $0.033 \pm 0.001$  | 315           |
| Neon          |                    | 18            |
| Helyum        |                    | 5.2           |
| Metan         |                    | 1.5           |
| Kripton       |                    | 0.5           |
| Hidrojen      |                    | 0.5           |
| Ksenon        |                    | 0.08          |
| Azotdioksit   |                    | 0.02          |
| Ozon          |                    | 0.01-0.04     |

İç hava kalitesi insanların yaşadığı mekândaki havanın temizliği, oksijen seviyesi, kirletici gazların oransal dağılımı, havadaki serbest radikallerin miktarı, nem oranı değişkenleri olarak tanımlanabilmekte ancak değişkenlerin yarattığı kalite algısı da insandan insana farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle kabul edilebilir iç hava kalitesi terimi kullanılmaktadır [Demirarslan ve Başak, 2018].

ASHRAE 62-1989 Standardı'ndaki "Kabul Edilebilir İç Hava Kalitesi için Havalandırma" başlığına göre: "İçinde bilinen kirleticilerin yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içerisinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranının hava kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği havadır" [Aslan,1997].

Konfor koşullarının sağlanması için bir insan saatte ortalama 25 – 39 m<sup>3</sup> havaya gereksinim duyar. Solunum sırasında hava içindeki oksijen kullanılarak karbondioksit ve su buharı üretilir. İnsanın gereksinim duyduğu oksijen miktarı ağırlığı, yaşı, beslenmesi ve eylemleri ile ilişkilidir [Balanlı,2007, akt. Darçın,2008]. TS 12281’de (1997) gerekli temiz hava miktarı sigara içilmeyen ortamlar için kişi başına saatte 7l – 12l olarak belirlenmiştir [Darçın,2008]. Kullanılan mekânın işlevine göre ihtiyaç duyulan temiz hava gereksinimi değişmektedir **Çizelge 2.2**.

**Çizelge 2.2:** ASHRAE – TC 4.3 62 -1999 Standardı’na göre bazı mekânlar için temiz hava gereksinimleri [Darçın,2008].

| Yer                        | Belirlenen En Yüksek Kullanıcı Sayısı (100 m <sup>2</sup> için) | Temiz Hava Gereksinimleri |                     |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|
|                            |                                                                 | l/sn kişi                 | l/sn m <sup>2</sup> |
| Çamaşırhaneler             | 10                                                              | 13                        |                     |
| Kuru temizleme dükkânları  | 30                                                              | 15                        |                     |
| Yemek salonları            | 70                                                              | 10                        |                     |
| Bar, kokteyl salonları     | 100                                                             | 15                        |                     |
| Kapalı garajlar            |                                                                 |                           | 7,5                 |
| Büro alanları              | 7                                                               | 10                        |                     |
| Sigara içme odası          | 70                                                              | 30                        |                     |
| Yüzme havuzları            |                                                                 |                           | 2,5                 |
| Derslikler                 | 50                                                              | 8                         |                     |
| Oditoryum                  | 150                                                             | 8                         |                     |
| Hasta odaları              | 10                                                              | 13                        |                     |
| Ameliyathaneler            | 20                                                              | 15                        |                     |
| Konutlardaki yaşama mekânı |                                                                 |                           | <7,5                |

İç mekân hava kalitesi küresel bir sorundur. İç mekân hava kirliliğine hem kısa hem de uzun süreli maruziyet; solunum yolu hastalıkları, kalp hastalıkları, bilişsel eksiklikler ve kanser gibi çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü, kirli ocaklar ve yakıtlardan kaynaklanan zararlı iç mekân hava kalitesine bağlı hastalıklardan dolayı her yıl dünya çapında 3,8 milyon insanın öldüğünü tahmin etmektedir [WEB 16, Ulusal Çevre Sağlığı Bilimleri Enstitüsü (NIEHS), 2025].

İç mekân hava kalitesi kullanıcı sağlığı ve konforu ile doğrudan ilişkilidir. İç mekân hava kalitesinin korunması için kontrolünün sağlanması gerekmektedir. Tasarım veya kullanım aşamalarında uygulanacak çözümlerle bu takip belirtilen yöntemlerle yapılabilir:

- Partikül kontrolü (Filtrasyon): Filtre kullanımı ile toz, duman, gaz, bakteri ve virüs gibi partiküller havadan filtre edilebilmektedir.
- Havalandırma kontrolü: Sabit ve değişken debiye göre kontrol edilebilmektedir. Mekâna göre havalandırma debileri ASHRAE standardında verilen havalandırma oranlarına uymak zorundadır.
- Basınçlandırma: İç mekân hava kalitesinin sağlanması için mahaller arası hava sirkülasyonunun düzenlenmesi gerekmektedir. Her mahal ayrı olarak basınçlandırılıp debileri kontrol edilerek dışarıdan gelebilecek iç mekân havasını bozacak gaz ve partiküllerin girişi engellenebilir.
- Diğer yöntemler: Partikül kaynağının elimine edilmesi, özel egzoz sistemleri, lokal havalandırma, katalizör kullanımı gibi yöntemler kullanılabilir **[Aslan,1997]**.

Eser, iç mekân hava kalitesinin geliştirilmesi için yöntemleri aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- Öncelikle kirlilik kaynaklarının kontrolü yapılmalıdır ve azaltılması gerekir. Örneğin sigara içiminin yasaklanması, zararlı gazlar çıkaran halı vb. malzemelerin iç hacimlerde kullanılmaması bu önlemler arasında sayılabilir.
- Yapı içerisindeki kirlenici kaynakların çıkarılması ya da yenilenmesi gerekir.
- İç mekândaki havanın filtre edilmesi ve temizlenmesi gerekir.
- İç mekân hava kalitesinin sağlanmasında günümüzde en yaygın kullanılan ve en etkin yöntem havalandırmadır. Yeterli miktarda taze havanın iç mekânlara verilmesiyle içerideki hava kalitesi istenilen düzeye getirilebilir.
- Kullanıcıların bu konuda eğitilmesi önemlidir **[Isısan,1995, akt. Eser 2006]**.

Bulgurcu ise mevcut eğitim yapılarında iç mekân hava kalitesi problemlerini azaltmak için önerilerde bulunmuştur:

- Dersliklerin bulunduğu koridorlara taze ve egzoz hava kanalları döşenerek her kat bağımsız veya merkezi olacak şekilde havalandırma sistemi yapılabilir.
- Sınıflara pencere tarafından ısı kazanımlı havalandırma cihazları yerleştirilerek iç hava kalitesi iyileştirilebilir. Bu sistem, merkezi sisteme kıyasla çok daha ekonomiktir.
- Yapay havalandırmanın kurulamadığı okullarda her teneffüste sınıflar havalandırılmalı, mümkünse yarım açılımlı pencereler ders esnasında da açık bırakılmalıdır **[Bulgurcu,2015]**.

Tham, 2016 yılında son 30 yılda iç mekân hava kalitesiyle ilgili yapılmış çalışmaları incelemiştir. İç mekân hava kalitesiyle ilgili çalışmaların sürdürülebilirlik, enerji kullanımı ve dış mekân hava kalitesiyle ilgili çalışmalar kadar eskiye dayanmamasının sebeplerini şu şekilde sıralamıştır;

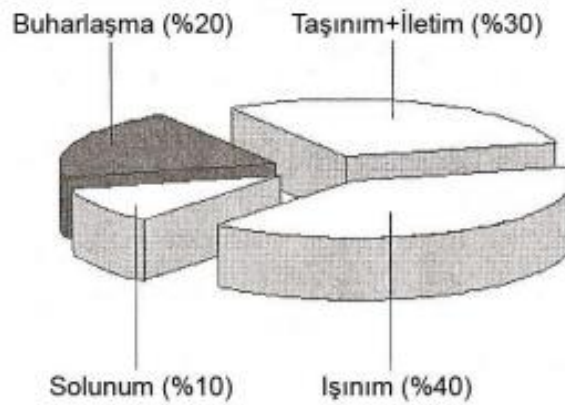
- Dış mekân hava kirliliğinin sonuçları büyük şehirlerde insan sağlığına olumsuz etkide bulunmaktadır. Çalışmalar da bu konuya odaklanmayı beraberinde getirmektedir.
- İç mekân hava kalitesiyle ilgili çalışmaların yetersizliği bilgiye erişimi sınırlandırmaktadır.
- İnşaat malzemelerindeki ve iç mekânda kullanılan tüketici ürünlerindeki değişikliği sonucu iç mekân hava kirlleticilerinin bileşiminde değişiklik olmuştur.
- İç mekân hava kirliliğinin insanlar üzerindeki etkilerine ilişkin bilgi nispeten yenidir ve hızla gelişmektedir **[Tham, 2016]**.

## 2.1. İç Mekân Havaasının Fiziksel Özellikleri

Havanın başlıca fiziksel özellikleri; sıcaklık, nem, hava hareketleri, basınç ve atmosferden gelen ışınlarla ilgili özelliklerdir. İç mekân hava kalitesi açısından sıcaklık, nem ve hava hareketleri önem kazanmaktadır [Gültekin,2001]. Dünya Sağlık Örgütü iç mekân havaasının konfor koşullarını sağlaması için sıcaklığın 19-23 °C, bağıl nemin %40-60, hava akım hızının 0,1 m/sn olması gerektiğini açıklamıştır [WHO,1987]. Konfora etki eden kişisel parametreler ise kullanıcının aktivite düzeyi ve giyinme durumudur [Atmaca ve Yiğit, 2005].

### 2.1.1. İç Mekân Sıcaklığı

İç mekânda 20-26°C arasındaki sıcaklık dereceleri çoğu insan için konfor sınırları içinde kalmaktadır. Bununla birlikte 22°C'nin üzerinde yapıya bağlı hastalık şikayetleri artmaktadır. Bunun nedeni 20-26°C arası sıcaklıklarda yapı malzemelerindeki uçucu organik bileşik emisyonunun artmasıdır [Hays vd.,1995, akt. Gültekin,2001]. Ayrıca iç mekân hava sıcaklığının artması, algılanan iç hava kalitesini etkilemektedir. Aynı iç ortam havası sıcaklık düştükçe daha temiz olarak algılanmaktadır [Darçın,2008]. Doğru soğutma sağlanamazsa hava bayat ve kabul edilemez hale gelebilir. İnsan vücudu ve iç mekân arasındaki ısı alışverişi nedeniyle kullanıcı iç ortam sıcaklık koşullarından etkilenmektedir. Şekil 2.1'de insan vücudunda ısı yitimi yolları görülmektedir.



Şekil 2.1: İnsan Vücudunda Isı Yitimi Yolları [Yamankaradeniz vd.,2008, akt. Ceylan,2011].

Kapalı bir iç mekandaki duvar, döşeme gibi yüzeyler sıcaklıklarını ısıtma yolu ile aktararak kullanıcının algıladığı iç mekân hava sıcaklığını etkilemektedir. Ortamda bulunan sıcak veya soğuk duvarlar ve yüzeyler, iç ortam sıcaklığı konfor sınırları içinde olsa bile, ortamda ikamet eden insanlar için soğuk veya sıcak hissi verebilecektir. Bu nedenle, ortamda sıcak veya soğuk yüzeyler mevcut ise konfor hesaplamalarında ışıyım sıcaklığı da mutlaka dikkate alınmalıdır [Atmaca ve Yiğit, 2005]. Hava ile ortalama yüzey sıcaklığı arasındaki fark 2°C'den, yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ise 5°C'den fazla olmamalıdır. Bununla birlikte iç ortam havası ile yüzey sıcaklığı arasındaki fark 3°C'yi aşmamalıdır [Küçükçalı, 2000, akt. Ceylan, 2011].

### 2.1.2. İç Mekân Nem Oranı

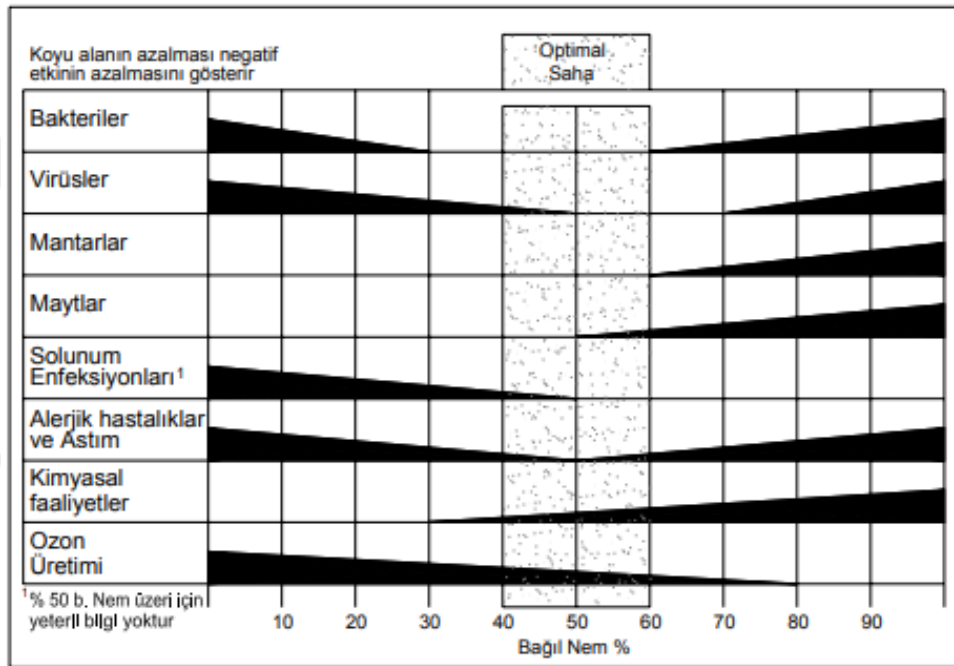
Atmosferde bulunan su buharına nem adı verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> hava içindeki su buharının gram olarak ağırlığına mutlak nem denir ve m<sup>3</sup> /gr olarak ifade edilir. Bağıl nem ise havanın nem içeriğini tanımlamak için kullanılmaktadır. Belirli bir sıcaklıkta havanın o andaki mevcut su buharı içeriği ile aynı havanın potansiyel su buharı kapasitesine oranıdır [Tarbuck-Lutgens,1997, akt. Coşkun, 2003]. Çizelge 2.3'te bazı kurumlar tarafından belirlenen iç mekân bağıl nem oranı değerleri verilmektedir.

**Çizelge 2.3:** Bazı kurumlar tarafından belirlenen iç ortam bağıl nem oranı değerleri [Ceylan,2011].

| Kurum                                   | Kış ayı bağıl nem konfor aralığı | Yaz ayı bağıl nem konfor aralığı |
|-----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| ASHRAE Standart 55 (1982)               | %30 (20,2°C–24,4°C)              | %30 (23,3°C–26,7°C)              |
|                                         | %40 (20,2°C–24,2°C)              | %40 (23,1°C–26,4°C)              |
|                                         | %50 (20,2°C–23,6°C)              | %50 (20,2°C–26,1°C)              |
|                                         | %60 (20,0°C–23,3°C)              | %60 (20,2°C–25,6°C)              |
| Kanada Standardı                        | Kışın %30–55 arası               | Yazın %30–80 arası               |
| TS 3419                                 | Kışın %35–65 arası               | Yazın < %65                      |
| ASHRAE Standart 55 (1992) ve DIN (1946) | %30–65 arası (Yazın %20–60)      |                                  |
| ASHRAE 62 (1989 ve 2001)                | %30–60 arası                     |                                  |
| ASHRAE (2004)                           | %55–85* arası                    |                                  |
| ISO (1994)                              | %30–70 arası                     |                                  |

\* Operatif sıcaklık ve insanın giyinme durumuna bağlıdır. Işıyım sıcaklığı ile çevre hava sıcaklığının karşılıklı ısı geçiş katsayılarına göre ağırlıklı ortalamasına "operatif sıcaklık" denilmektedir.

Bağıl nem, %30-70 arasında tutulduğu müddetçe kullanıcı için önemsiz bir parametre olmaktadır. Bunun nedeni konfor sıcaklık aralığındaki nemlilik oranının, insan vücudunun ısı algılama mekanizmasındaki etkisinin küçük olmasıdır. Nem ve sıcaklığın algılanan hava kalitesi üzerindeki etkisi 36 adet katılımcının, bir iklim ortamında farklı tipik yapı malzemeleri ile kirletilen havanın kabul edilebilirliğini değerlendirdiği deneylerle kanıtlanmıştır [Fanger,2000]. Yüksek nem oranlarında mantar, küf gibi organizmaların gelişimi için uygun ortam koşulları oluşmaktadır. Düşük nem oranlarında ise deri, burun kuruluğu veya boğaz sızlaması gibi belirtiler görülebilir. Nem alerjik kullanıcıları da olumsuz etkileyebilir **Şekil 2.2.**



**Şekil 2.2:** Sağlık Yönünden Mahallerde Sağlanması Uygun Olan Optimal Bağıl Nem Sahası [Köksal,2014].

Nemin yüksek olması bazı yapıştırıcıların kür süresini uzatarak uçucu organik bileşiklerin emisyon süresini uzatmaktadır. Sıcaklık artışında olduğu gibi bağıl nemdeki artış da yüksek emisyon hızına neden olur. Örneğin, yapılan bazı araştırmalarda 7 °C'lik bir sıcaklık artışının veya 22 °C'de %30'dan %70'e çıkan bağıl nemin formaldehit emisyonunu iki katına çıkardığı saptanmıştır. Çok düşük bağıl nem düzeylerinde ise havada ozon üretimi meydana gelmesi ile ozonla reaksiyona giren yapı malzemelerinden de ikincil uçucu organik bileşikler açığa çıkmaktadır [Wolkoff, 1998].

### 2.1.3. İç Mekân Hava Akış Hızı

İç mekân hava kalitesini etkileyen özelliklerden birisi de iç ortamdaki hava akış hızıdır. Hava devinimlerinin hızı anemometre ile ölçülür ve genellikle m/sn ile belirtilir [Şerefhanoglu, 1981, akt. Darçın,2008]. Bazı kurumlar tarafından belirlenen iç mekân hava akış hızı değerleri Çizelge 2.4’te verilmiştir.

**Çizelge 2.4:** Bazı kurumlar tarafından belirlenen iç mekân hava akış hızı değerleri [Ceylan,2011].

| Kurum                                                        | Konfor koşullarının sağlandığı hava akış hızı değerleri  |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| ASHRAE Standart 55<br>(1992) ISO Standart 7730<br>İsveç kodu | Kışın < 30 fpm (0,15 m/sn)<br>Yazın < 50 fpm (0,25 m/sn) |
| WHO                                                          | 0,25 m/sn (0,8 ft/s)                                     |
| TS 12281                                                     | Kışın 8 m/dk–10 m/dk<br>Yazın 13 m/dk –27 m/dk           |
| TS 3419                                                      | 0,15 m/sn–0,20 m/sn<br>(iklimlendirilen ortamlarda)      |

İç ortamdaki hava hızının insanda ısı yitimi üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Yazın hava akış hızının yüksek olması, sıcak hava koşullarında vücut yüzeyindeki suyun buharlaşmasını hızlandırdığı için yararlı olurken; kışın bu değerlerin yüksek olması konforsuzluk yaratmaktadır [Ceylan,2011]. Hava hızının 0,15- 0,20 m/s seviyelerinin üzerinde olduğu yerlerde türbülans derecesine bağlı olarak şikayetler artmaktadır [Köksal,2014]. Hava giriş ve çıkış menfezlerinin (pencere, kapı, baca gibi açıklıkların) yeri ve boyutları, bunların açık veya kapalı oluşları, kapalı bir hacimdeki hava hareket hızını etkilemektedir [Mihlayanlar vd., 2017].

Tasarım sırasında dikkat edilecek en önemli unsurlardan biri de havayı düşük hava hızlarında ve homojen olarak odaya sevk etmektedir [Köksal,2014]. Ancak kirletici kaynağı bulunan bir mekânda hava akış hızı konfor koşulları kapsamında artırılmalıdır. Bu sayede kirletici konsantrasyonunun azaltılması hedeflenir. Diğer taraftan yapı malzemesinin yüzeyi oksitlenme özelliği taşıyorsa yüksek hava akış hızı yüksek düzeyde uçucu organik bileşik emisyonuna neden olabilir [Knudsen vd., 1999].

## 2.2. İç Mekân Hava Kirleticileri

Havanın bileşimini bozabilecek nitelikte olan ve çeşitli kaynaklardan çıkarak havaya karışan kirleticilerin canlı yaşamını etkileyecek düzeyde birikmesi hava kirliliğini oluşturur [Balanlı,2007, akt. Darçın,2008]. Kirleticilerin iç mekân kavasını kirleterek asıl amacı insanı dış çevredeki olumsuzluklardan koruyup sağlıklı bir yaşam alanı sunmak olan yapının sağlıklı bir yaşam alanı oluşturmalarının önüne geçmektedir [Balanlı ve Öztürk, 2006]. Havanın doğal karışımındaki gazların oranı havanın niteliğini belirler. Karışımındaki gaz oranlarının herhangi birisinin, değişik kaynaklardan çıkarak havaya karışan kirleticiler nedeniyle değişmesi hava kirliliğine neden olurken; kirleticilerin, iç mekândaki havaya karışması ve burada birikmesiyle de iç mekân hava kirliliği oluşmaktadır [Ceylan,2011].

İç mekân havasını karbondioksit, su buharı, ozon, uçucu organik bileşikler, formaldehit, vb. gazlar ile mikrobiyolojik etmenler (mantarlar, virüsler, bakteriler, maytlar, algler, alerjenler vd.) etkilemektedir. Kapalı ortam havasında parçacıklar halinde dağılıp birikebilme özelliğine gösteren kirleticilerin birçoğu petrolün yan ürünlerini oluşturmaktadır. Kullanıcıların sigara içmek, yemek pişirmek ve temizlik yapmak gibi etkinlikleri sonucunda da bazı kimyasal maddeler ve parçacıklar kapalı ortam havasına eklenmektedir. Yapının kendisi ve donanımları da parçacıkların ve çeşitli gazların artmasına neden olmaktadır [Şaylan,2007].

İç mekân havasının; kullanıcının biyolojik ve fizyolojik eylemleri sonucu, yapı ürünlerinden kaynaklı hava kirleticileri ile, dış atmosfer havasında bulunan kirleticilerin iç mekâna girmesi ile olacak şekilde üç şekilde kirlendiği bilinmektedir [Balanlı ve Taygun, 2005, akt. Ceylan, 2011].

Şaylan iç mekân hava kirleticilerini yapı dışı kaynaklı, yapı içi kaynaklı, ürün kaynaklı olarak üç grupta sınıflandırılmıştır [Şaylan,2007]. Yapı dışı kaynaklı kirleticiler deprem gibi doğal ortam kaynaklı veya sanayi gibi dış ortam etkinlikleri kaynaklı olabilmektedir. Yapı içi kaynaklı kirleticiler fizyolojik eylemler, biyolojik eylemler, ev işleri ve mesleki eylemler sonucu oluşabilmektedir. Ürün kaynaklı kirleticilere ise boya, vernik gibi malzemelerin kullanımı örnek verilebilir. Yapı ürünlerinin iç mekân hava kalitesine etkisi Çizelge 2.5'te incelenmiştir.

**Çizelge 2.5:** Yapı Ürünlerinin İç Mekân Hava Kalitesine Etki Türü [Zorlu, 2019].

| Malzeme Türü                                                                                                                              | Toksik Madde İçerme | Emisyon Oluşturma | Toz, Küf, Partikül Oluşturma | Koku Yayma | İç Mekân Havasını Temizleme |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|------------------------------|------------|-----------------------------|
| Mermer                                                                                                                                    | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Granit                                                                                                                                    | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Metaller                                                                                                                                  | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Doğal Ahşap                                                                                                                               | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Yapay Ahşap                                                                                                                               | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Çimento                                                                                                                                   | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Agrega                                                                                                                                    | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Beton                                                                                                                                     | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Tuğla                                                                                                                                     | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Seramik                                                                                                                                   | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Alçı sıva, Alçı levha                                                                                                                     | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Plastik                                                                                                                                   | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Cam Yünü, Taş Yünü                                                                                                                        | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| EPS, XPS, Poliüretan Köpük                                                                                                                | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Boyalar                                                                                                                                   | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Yapıştırıcı ve Vernikler                                                                                                                  | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| Akıllı Malzemeler                                                                                                                         | ●                   | ●                 | ●                            | ●          | ●                           |
| <p>● :Olumlu Etkili (Kirletici, emisyon, koku içermeyen)</p> <p>● :Olumsuz Etkili (Kirletici, emisyon, koku içeren)</p> <p>● :Etkisiz</p> |                     |                   |                              |            |                             |

İncelenen bilimsel çalışmalarda iç mekân hava kirleticilerinin farklı şekillerde gruplanarak incelendiği tespit edilmiştir. EPA iç mekân hava kirleticilerini; radon ve radonun bozunum ürünleri, çevresel tütün dumanı, biyolojik kirleticiler, uçucu organik bileşikler, formaldehit, çok halkalı aromatik hidrokarbonlar, pestisitler, asbest, yanma gazları ve partiküller olarak sınıflamıştır [EPA, 1989].

Darçın ise iç mekân hava kirleticilerini;

- Fiziksel özelliklerine göre: gazlar/buharlar, parçacıklar **Çizelge 2.6**,
- Kimyasal özelliklerine göre: organik, inorganik,
- Kaynaklarına göre: yapı dışından, yapı ürünlerinden, yapı kullanıcısının eylemlerinden kaynaklanan,
- Sağlık etkilerine göre: kansere, kanser dışındaki hastalıklara, Sağlıksız Bina Sendromu'na neden olan,
- Kökenlerine göre: doğal ve yapay olarak sınıflandırmıştır [Darçın,2014].

**Çizelge 2.6:** İç Mekân Hava Kirleticilerinin Fiziksel Özelliklerine Göre Sınıflandırılması [Darçın,2014].

|                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gaz/buhar durumunda olan iç mekân hava kirleticileri:</b>     | Karbonmonoksit, karbondioksit, azot monoksit, azot dioksit, kükürt dioksit, radon, ozon, cıva, uçucu organik bileşikler, çok halkalı aromatik hidrokarbonlar                                                                   |
| <b>Partikül durumunda olan iç mekân hava kirleticileri (PM):</b> | <u>Lifler:</u> <i>asbest, bitkisel lifler, taş yünü, cam yünü</i><br><u>Metaller:</u> <i>kurşun</i><br><u>Biyolojik kirleticiler:</u> <i>virüsler, bakteriler, küf mantarları, polenler, eklembacaklılar, deri döküntüleri</i> |
| <b>Bazı kirletici grupları:</b>                                  | Yanma sonucu oluşan çeşitli atık grupları (duman vb.), pestisitler                                                                                                                                                             |

Yapının kendisinden ve insan eylemlerinden kaynaklanan kirleticiler birincil ve ikincil kirleticiler olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil kirleticiler kirletici kaynaktan havaya direkt olarak karışırken ikincil kirleticiler birden çok birincil kirleticinin etkileşimi sonucu oluşurlar. İç mekânda O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> gibi oksidanlar hava içindeki uçucu organik bileşiklerle ve monomerlerle reaksiyona girerek ikincil emisyon ürünlerini oluşturmaktadırlar [Salthammer vd., 1999, akt. Gültekin,2001].

### 2.2.1. İç Mekân Havasını Kirletici Gazlar ve Buharlar

Normal basınç ve sıcaklıkta olduğu gibi kalan, içinde bulunduğu kabın her yanına yayılma ve bu kabın iç yüzeyinin her noktasına basınç yapma özelliğine sahip olan akışkan maddeye gaz; ısı etkisiyle sıvıların ve bazı katıların dönüştükleri gaz durumuna ise buhar denmektedir [WEB 12, TDK, 2025].

Kirletici maddenin yoğunluğu, hacim ya da ağırlık olarak belirlenir. Hacim olarak belirlenmesinde, bir milyon toplam hacimdeki gaz hacmini gösteren ppm (parts per million) ya da bir milyar toplam hacim içindeki kirleticinin hacmini gösteren ppb (parts per billion) birimi kullanılır **Çizelge 2.7**. Örneğin; 1 m<sup>3</sup> hava içinde 4 cm<sup>3</sup> karbondioksit saptanırsa bu ortamdaki karbondioksit yoğunluğu 4 ppm'dir. Eğer yoğunluğu ölçülecek kirleticinin ağırlığı belli ise, ölçü birim hacimdeki miligram (mg/m<sup>3</sup>) ya da mikrogram (µg/m<sup>3</sup>) birimleri ile belirtilir (1 mg=1000 µg). mg/m<sup>3</sup> birimi ppm'ye ya da µg/m<sup>3</sup> değeri ppb'ye (parts per billion) çevrilirken "24/MW" ile çarpılır. Burada MW, bileşiğin moleküler ağırlığıdır. Örneğin; 30 MW moleküler ağırlığındaki formaldehitin derişimi 1 mg/m<sup>3</sup>'tür ve bu değer 0,8 ppm'ye eşittir [Tichenor, 2006, akt. Ceylan, 2011].

**Çizelge 2.7:** Kirleticilerin yoğunluk birimleri ve açıklamaları [Darçın,2008].

|                | Birim             | Açıklama                                                                                                                     |
|----------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hacim</b>   | ppm               | 1 milyon toplam hava hacmi içindeki kirleticinin hacmi<br>(1 ppm = 1,25 mg/m <sup>3</sup> ; 1 ppb = 1,88 µg/m <sup>3</sup> ) |
|                | pphm              | 100 milyon toplam hava hacmi içindeki kirleticinin hacmi                                                                     |
|                | ppb               | 1 milyar toplam hacim içindeki kirleticinin hacmi                                                                            |
| <b>Ağırlık</b> | mg/m <sup>3</sup> | 1 m <sup>3</sup> hava içindeki kirleticinin miligram cinsinden ağırlığı                                                      |
|                | µg/m <sup>3</sup> | 1 m <sup>3</sup> hava içindeki kirleticinin mikrogram cinsinden ağırlığı                                                     |

Tez kapsamında gaz ve buhar durumunda olan iç mekân hava kirleticileri olarak karbon dioksit, karbon monoksit, azot dioksit, kükürt dioksit, radon, cıva, ozon, uçucu organik bileşikler, yarı uçucu organik bileşikler, formaldehit ve pestisitler hakkında bilgiler verilmiştir. Ek olarak bu kirleticilerin kaynakları belirlenmiştir **Çizelge 2.8**.

**Çizelge 2.8:** Gaz ve Buhar Durumunda Olan İç Mekân Hava Kirleticileri ve Kirletici Kaynakları [Gültekin,2001; Vural ve Balanlı, 2005; Alptekin,2007; Şaylan, 2007; Darçın,2014'den uyarılama].

| Kirletici İsmi                    | Kirletici ile İlgili Bilgiler                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kirletici Kaynağı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Karbon dioksit (CO <sub>2</sub> ) | Kokusuz ve renksiz bir gazdır (EPA, 1996). İç mekânda insanlar tarafından solunum yoluyla üretilir. Kalabalık mekânlarda konsantrasyonu artabilir.                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• İnsanların solunumu</li> <li>• Şömine, ocakta fosil yakıt yakılması</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                       |
| Karbon monoksit (CO)              | Zehirli, kokusuz, renksiz ve havadan hafiftir. Karbon içeren yakıtların yetersiz yanması sonucu oluşur (EPA, 1996). Yanma sonucu oluşan karbon monoksit solunum sırasında fark edilmediği için ortamda %0,1'lik bir yoğunlukta olsa bile öldürücü olabilir (Başgöl, 2004, akt. Şaylan, 2007).         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soba</li> <li>• Ocak</li> <li>• Şofben</li> <li>• Kapalı garajda çalışan araçların egzoz dumanının yapı içine girmesi</li> <li>• Tütün ve sigara dumanı</li> </ul>                                                                                                                                                   |
| Azot dioksit (NO <sub>2</sub> )   | Atmosfere yayılan azotmonoksit gazı oksijenle reaksiyona girerek azotdioksit gazını oluşturur (Jones, 1999, akt. Alptekin 2007).                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapalı garajda çalışan araçların egzoz dumanının yapı içine girmesi</li> <li>• Fosil yakıtlar</li> <li>• Elektrik üretimi</li> <li>• Çıkışı olmayan veya yetersiz olan gaz sobaları</li> <li>• Sigara dumanı</li> </ul>                                                                                              |
| Kükürt dioksit (SO <sub>2</sub> ) | Normalde atmosferde bulunmaz. Renksiz ve kokusuzdur. Termik santrallerin ve endüstriyel bölgelerin bulunduğu alanlarda ve kükürt içeren yakıtların kullanılması sonucunda havaya kükürt dioksit yayılmaktadır (Kosa,2001, akt. Alptekin 2007).                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doğal gaz gibi yakıtlarla çalışan pişiriciler</li> <li>• Su ısıtıcıları</li> <li>• Çamaşır kurutma makineleri</li> <li>• Soba ve şömineler</li> </ul>                                                                                                                                                                |
| Radon (Rn)                        | Kokusuz, tatsız ve renksizdir. Ölçüm cihazları yardımı ile tespit edilebilir (Vaupotic, 2002, akt. Alptekin, 2007). Toprak ve kaya yatakları ile temas eden yapı zeminindeki çatlaklardan, kanalizasyondan, tesisat şaftlarından ve havalandırma bacalarından yapı içerisine ulaşır (Alptekin, 2007). | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doğal taş</li> <li>• Tuğla</li> <li>• Kalay ve bakır içeren yapı malzemeleri</li> <li>• Boyalar</li> <li>• Beton Bloklar</li> <li>• Pişmiş topraktan üretilen malzemeler</li> <li>• Alçı blok ve levha</li> <li>• Ahşap kaplamalar</li> <li>• Sıcak soğuk su sistemleri</li> <li>• Çimento</li> <li>• Kum</li> </ul> |

Çizelge 2.8: Devamı.

| Kirletici İsmi           | Kirletici ile İlgili Bilgiler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kirletici Kaynağı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cıva (Hg)                | Oda sıcaklığında sıvı durumda olan ve kolayca buharlaşarak solunabilen bir metaldir ( <b>NEWMOA, 2003, akt. Darçın, 2014</b> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lambalar</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Ozon (O <sub>3</sub> )   | Renksiz ve kokusuzdur. Atmosferin üst seviyelerinde ve yeryüzüne yakın kısımlarında bulunur. Güneşin zararlı ultraviyole ışınlarını süzme ve absorbe etme özelliği vardır. Atmosferde incilmesi istenmezken iken yeryüzünde fazla olması canlılara zarar vermektedir ( <b>Akman vd., 2000, akt. Alptekin 2007</b> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorlu taşıtlar, termik santraller, rafineriler ve kimyasal fabrikalar nedeni ile kirlenen dış mekân havası</li> <li>• Parfüm ve deodorantlar</li> <li>• Ofis aygıtları</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Uçucu organik bileşikler | İçerisinde bir karbon ve bir hidrojen atomu içeren bileşenlerdir ( <b>EPA, 1994</b> ). Yapılan araştırmalarda iç mekân havasında 900 çeşit uçucu organik bileşik bulunmuştur ( <b>Hays vd., 1995, akt. Gültekin 2001</b> ). Atmosferde bulunan ve elementel karbon, karbondioksit ve karbon monoksit dışındaki karbonlu bileşikler olarak tanımlanan uçucu organik bileşikler (VOC) hava kirleticilerinin önemli bir sınıfını oluşturmaktadır ( <b>Kılıç, 1997, akt. Şaylan, 2007</b> ). En önemli ve en sık karşılaşılan uçucu organik bileşikler içinde alifatik hidrokarbonlar, aromatik hidrokarbonlar, aldehitler, terpenler, alkoller, esterler, ketonlar, halojenli hidrokarbonlar, eterler, glikon eterler gibi bileşikler yer almaktadır ( <b>Darçın, 2014</b> ). Yanma işlemi ya da ham petrolün yüksek sıcaklıkta işlenmesi sırasında ortaya çıkan ve bir çift ortak karbon atomuna sahip birden çok benzen halkası bulunan maddeler, çok halkalı aromatik hidrokarbonlar olarak tanımlanmaktadır ( <b>NRC, 1991, akt. Darçın, 2014</b> ). | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahşap, tuğla, kerpiç gibi malzemelere uygulanan koruyucular</li> <li>• Sprey ve deodorantlar</li> <li>• PVC reçinesinden yapılmış malzemeler</li> <li>• Böcek ilaçları</li> <li>• Musluktan akan su</li> <li>• Bakteri ve mantarlar</li> <li>• Sigara dumanı</li> <li>• Alçı blok ve levha</li> <li>• Beton</li> <li>• Sıva</li> <li>• Boya, cila, vernik</li> <li>• Duvar kâğıdı</li> <li>• Halı</li> <li>• İşlem görmüş ahşap, yapay ahşap</li> <li>• Yapıştırıcılar</li> <li>• Yalıtım malzemeleri</li> <li>• Pişirme ve ısıtma araçları</li> <li>• İklimlendirme Sistemleri</li> <li>• Plastik mobilyalar</li> <li>• Sentetik kumaş</li> <li>• Ofis aygıtları</li> </ul> |

Çizelge 2.8: Devamı.

| Kirletici İsmi                | Kirletici ile İlgili Bilgiler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Kirletici Kaynağı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yarı Uçucu Organik Bileşikler | Kaynağı yanma ürünleri ve biyolojik zararlılara karşı kullanılan malzemeler olarak iki grupta incelenmiştir (Caldas-Fox,1992, akt. Gültekin 2001).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yanma ürünlerinin kaynağı: <i>Doğal gaz gibi yakıtlarla çalışan pişiriciler, su ısıtıcıları, çamaşır kurutma makineleri, soba ve şömineler</i></li> <li>• Diğer kaynaklar: <i>Böcek, bitki zararlıları, mantar ve bakterilere karşı kullanılan kimyasal malzemeler</i></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Formaldehit                   | Uçucu organik bileşik olduğu halde iç mekân kirletici kaynaklarının çoğunun yapısında bulunduğu için farklı bir başlık altında ele alınmıştır. Yüksek buhar basıncı vardır. Oda sıcaklığında gaz formundadır. CO <sub>2</sub> molekülünden küçük olup çok reaktif bir kimyasaldır ve birçok organik molekülle bağ kurar. Yanıcı ve renksiz bir gazdır. Alev alabilir. Keskin kokuludur (WHO,1989, akt. Gültekin, 2001). Formaldehit kimya endüstrisinin en önemli maddelerinden biridir (Kurtoğlu, 1985, akt. Şaylan, 2007). | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reçine</li> <li>• Otomotiv endüstrisindeki işlemler sonucu kirlenen dış mekân havası</li> <li>• Temizlik malzemeleri</li> <li>• Hastanelerdeki sterilizasyon malzemeleri</li> <li>• MDF, yonga levha, kontrplak</li> <li>• Formaldehit reçine bağlayıcılı cam yünü yalıtım malzemesi</li> <li>• Linolyum ve plastik döşeme kaplamalarının ve halıların yapıştırıcıları</li> <li>• Mobilya kumaşlarının yangın geciktirici maddeleri ve boyları</li> <li>• Lake ve verniklerin sertleşmesini kontrol eden reçineler</li> <li>• Sigara dumanı</li> <li>• Şömine, ocak, fırın</li> <li>• Beton</li> <li>• Sıva</li> <li>• Boya, cila, vernik</li> <li>• Halı</li> <li>• İşlem görmüş ahşap, yapay ahşap</li> <li>• Yalıtım malzemeleri</li> <li>• İklimlendirme Sistemleri</li> <li>• Plastik mobilyalar</li> <li>• Ofis aygıtları</li> </ul> |
| Pestisitler                   | Canlılara ya da çevreye zarar veren zararlıları öldürmek için kullanılan malzemelerdir. Deri yoluyla, solunum yoluyla veya pestisit bulaşmış gıda maddelerinin kullanılması sonucunda vücuda girerler (EPA,1995).                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarla, bahçe ve iç mekânda haşereleri öldürmek için kullanılan maddeler</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

### 2.2.2. İç Mekân Havasını Kirletici Partikül Maddeler

Partiküller havada katı ve sıvı halde dağılmış maddelerdir. Asılı oldukları bölgeden çökme, difüzyon ve buharlaşma gibi nedenlerle uzaklaşabilirler [Velicangil, 1985, akt. Gültekin,2001]. Gözle görülebilen en küçük partikül ortalama 10 µm, insan saç teli ise 100 µm çapındadır. Boyutlarına göre;

- PM<sub>10</sub> (iri partiküller): çapları 10 µm ile 2,5 µm arasında olan,
- PM<sub>2,5</sub> (ince partiküller): çapları 2,5 µm'den küçük olan,
- PM<sub>0,1</sub> (çok ince partiküller): çapları 0,1 µm'den küçük olan partiküller olarak sınıflandırılmıştır [Darçın,2014].

Tez kapsamında partikül madde durumunda olan iç mekân hava kirleticileri olarak kurşun, tozlar, asbest, taş yünü, cam yünü, virüs, bakteriler, küf mantarları, polenler, eklem bacaklılar ve deri döküntüleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ek olarak bu kirleticilerin kaynakları belirlenmiştir Çizelge 2.9.

**Çizelge 2.9:** Partikül Durumunda Olan İç Mekân Hava Kirleticileri ve Kirletici Kaynağı Olabilecek Yapı Ürünleri veya Donatıları [Vural ve Balanlı, 2005; Alptekin,2007; Darçın,2014'den uyarlama].

|                   | Kirletici İsmi | Kirletici ile İlgili Bilgiler                                                                                                                                       | Kirletici Kaynağı                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Metaller          | Kurşun         | Mavi veya gümüş renginde yumuşak bir metaldir (EPA,1995). Vücuda solunum ve sindirim sistemi ile girer (Refih Saydam Hıfzısıhha Merkezi, 2006, akt. Alptekin 2007). | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kurşun bazlı boyalar</li><li>• Eskimiş su boruları</li><li>• Lehim yapma</li><li>• Araçlarda kullanılan benzin sonucu kirlenen dış mekân havası</li><li>• İçme suları</li><li>• Yiyecekler</li><li>• Toprak</li><li>• Toz</li><li>• Dış çevredeki toprak ve kayaçlar</li></ul> |
| Diğer Partiküller | Tozlar         | Partikül büyüklüğü 100 mikrondan daha az olan havada asılı partiküllerin genel adıdır (Gönüllü vd., 2002, akt. Alptekin, 2007).                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>• Havada asılı kalan partiküller</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                       |

Çizelge 2.9: Devamı.

|                        | Kirletici İsmi | Kirletici ile İlgili Bilgiler                                                                                                                                                                                                                                              | Kirletici Kaynağı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lifler                 | Asbest         | Lif olarak meydana çıkan bir grup silisli mineralin adıdır. Ateşe karşı dayanıklılığı ve ısıyı az iletmesi nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır <b>(Balanlı,2005, akt. Alptekin 2007)</b> . Zararları anlaşılnca Türkiye dahil birçok ülkede kullanımı yasaklanmıştır. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yalıtım malzemeleri</li> <li>• Döşeme kaplamaları</li> <li>• Kırsal kesimlerde sıva malzemesi</li> <li>• Alçı blok ve levha</li> <li>• Beton</li> <li>• Boya, cila, vernik</li> <li>• Pişirme ve ısıtma araçları</li> <li>• Sıcak soğuk su sistemleri</li> <li>• Dış çevredeki motorlu taşıtlar</li> </ul> |
|                        | Taş Yünü       | Taş yünü, bazalt, diyabaz, kaolen, kireçtaşı vb. kaya ve minerallerin yüksek sıcaklıkta işlenmesiyle elde edilen yapı ürünüdür <b>(Balanlı vd., 2008, akt. Darçın, 2014)</b> .                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yapı malzemesinden kopan parçalar</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                        | Cam Yünü       | Cam yünü, eritilmiş camın lif boyutlarına getirilmesiyle oluşturulur <b>(Balanlı vd., 2008, akt. Darçın, 2014)</b> .                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yapı malzemesinden kopan parçalar</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Biyolojik Kirleticiler | Virüsler       | İnsanlar, hayvanlar ve yapı malzemeleri aracılığıyla iç ortam havasına karışırlar <b>(Kosa, 2001, akt. Alptekin 2007)</b> .                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• İnsanlar</li> <li>• Hayvan salyası</li> <li>• Ev tozları</li> <li>• Bakımı yapılmayan yapı malzemeleri ve mobilyalar</li> <li>• Fare idrarı ve dışkısı</li> <li>• Bakımı yapılmayan havalandırma kanalları</li> <li>• Havuzlar</li> <li>• Hastane zemin kaplaması</li> </ul>                               |
|                        | Bakteriler     | Ortamdaki nem miktarının %80 dolayında olması oluşması için uygun ortamların oluşturur <b>(Şenkal, 2001, akt. Alptekin, 2007)</b> .                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• İnsanlar</li> <li>• Nemlenmiş ve küflenmiş yapı malzemeleri</li> <li>• Mutfak ve banyo gibi ıslak hacimler</li> <li>• İklimlendirme Sistemleri</li> <li>• Sıcak soğuk su sistemleri</li> <li>• Havuzlar</li> <li>• Hastane zemin kaplaması</li> </ul>                                                      |

Çizelge 2.9: Devamı.

|                        | Kirletici İsmi   | Kirletici ile İlgili Bilgiler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Kirletici Kaynağı                                                                                                                                                  |
|------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biyolojik Kirleticiler | Küf Mantarları   | Çeşitli küf mantarlarının, genelde organik maddeler üzerinde üremesi sırasında ortaya çıkan sporlarının kümeleşmesi ile gelişen, çoğunlukla renkli bir görünüm ve belirli bir koku ile algılanan canlılar küfü oluşturur ( <b>Balanlı ve Darçın, 2012, akt. Darçın, 2014</b> ).                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Duvar kâğıdı</li> <li>• Halı</li> <li>• İşlem görmüş ahşap, yapay ahşap</li> </ul>                                        |
|                        | Polenler         | Bitkiler aracılığıyla havaya karışmaktadır. Solunum yoluyla, sindirim kanalıyla, cilt ve mukozalar yoluyla vücuda girebilir ( <b>Kosa, 2001, akt. Alptekin 2007</b> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapalı ortamda bakılan bitkiler (akçaağaç, huş, batı çınarı, çayır otu, dulavrat otu, sinir otu, kazayağı vb.)</li> </ul> |
|                        | Eklembacaklılar  | Akarlar yirmi beş gün içinde yetişkin duruma gelebilen ve insan derisinin döküntüleriyle beslenen eklembacaklı canlılardır ( <b>Tiwary ve Colls, 2010, akt. Darçın, 2014</b> ). Bu canlıların sindirim sisteminde ve dışkılarında bulunarak yapı kullanıcılarının sağlığını olumsuz etkileyen enzimler bulunmaktadır ( <b>Thorne ve Heederik, 1999, akt. Darçın, 2014</b> ). Hamamböceği dışkısı da iç mekân havasındaki bir alerjene neden olmaktadır ( <b>Tiwary ve Colls, 2010, akt. Darçın, 2014</b> ). | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Halı</li> <li>• Koltuk</li> <li>• Yatak</li> <li>• Hamamböceği</li> </ul>                                                 |
|                        | Deri Döküntüleri | Kedi, köpek, fare vb. hayvanların tüyleri, insanların deri ve kıl parçacıklarından oluşmaktadır. Kedi tüylerinin neden olduğu alerjen Fel d I, köpek tüylerinin neden olduğu alerjen ise Can f I olarak tanımlanmaktadır ( <b>CEC, 1993, akt. Darçın, 2014</b> ).                                                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kedi, köpek, fare</li> <li>• İnsan</li> </ul>                                                                             |

### 2.3. İç Mekân Havaasının İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

İç mekân hava kirleticileri, belirli koşulların oluşmasıyla, yapının asal kullanıcısı olan insanlarda farklı nitelikte sağlık sorunları oluşturabilmektedir [Darçın, 2014]. Niteliği bozulan yapı sağlıklı bir çevre oluşturarak insan sağlığını olumsuz etkileyebilir [Balanlı ve Öztürk, 2006]. Çocuklarda bağışıklık, solunum, sindirim, sinir ve üreme sistemleri gelişimlerini tamamlamamıştır. Solunum yoluyla maruz kalınan Partikül Madde (PM)'nin ciğerlere ulaşma oranı yetişkinlere göre daha yüksek olabilir. Alerji ve alerjik astım ülkemiz de dahil olmak üzere gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde yaygınlığı artan bir hastalıktır. Okullarda iç havada ölçülen kirleticilerin neredeyse tamamı astım ile ilişkilendirilmektedir [Maeseno,2013, akt. Ertürk,2017].

İç mekân hava kirleticileri kullanıcı sağlığına etkilerine; göre zehirleyici (toksik), kanserojen (kansere etkisi olan), mutajenik (genetik etkisi olan), alerjen (alerji yapan), rahatsız edici (solunumu ve görmeyi etkileyen), enfeksiyona neden olan, olarak sınıflandırılabilir [Cengiz Yılan, 2008]. Bulgurcu da iç mekân hava kirleticilerini sağlığa etkileri bağlamında tahriş edici, boğucu, uyuşturucu, zehirli, patolojik-alerjik, kanserojen olarak sınıflandırmıştır [Bulgurcu,2015]. Bu sınıflandırmaya göre:

- Uçucu organik bileşikler: *tahriş edici, boğucu, uyuşturucu, zehirli, kanserojen,*
- Formaldehit,biyolojik kirleticiler, çevresel tütün dumanı, polisilik aromatik hidrokarbonlar, asbest ve radon: *tahriş edici, kanserojen,*
- Pestisitler ve kurşun: *tahriş edici, zehirli, kanserojen,*
- Karbondioksit ve karbonmonoksit: *boğucu,*
- Azotdioksit ve kükürtdioksit: *tahriş edici,*
- Radon: *kanserojen* olarak belirlenmiştir.

İç mekâna topraktan, sudan, yapı ürünlerinden giren radon limit değerlerin üzerine çıktığında kullanıcı tarafından solunarak akciğer kanserine neden olabilmektedir. Asbestli ürünler kullanılarak oluşturulan yapılarda uçuşan asbest lifleri nedeniyle kullanıcıda asbestosis, akciğer kanseri, mezotelyoma gibi rahatsızlıklar gözlenebilmektedir. Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri lejyoner hastalığına; tasarım,üretim ve kullanım aşamasında kullanılan alerjen maddeler alerji oluşumuna sebep olmaktadır [Balanlı ve Öztürk, 2006].

Hastalıklar, insanın biyolojik yapısında önemli sorunlar oluşturduğu gibi psikolojik yapısında da önemli sorunlar oluşturur. Psikolojik olarak iç mekân hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri (Kirli havanın sürekli etkisi ile hareketsizlikten kaynaklanan); tembellik, karamsarlık, bunalım, sinirlilik, vb. olarak sıralanabilir **[Cengiz Yılan, 2008]**. Psikolojik yönden rahatsız olan bir insanın dış etkilere karşı direnci azalmakta, hastalık yapıcı etkenlerden daha çok etkilenmektedir. Bu etkilenme biyolojik sağlığın da bozulmasına neden olabilmektedir.

İç mekân hava kirliliğinin neden olduğu bir diğer hastalık da Sağlıksız Bina Sendromu (SBS)'dur. Belirtiler kullanıcı yapıya girdikten kısa bir süre sonra başlamakta ve yapıdan ayrıldıktan kısa bir süre sonra sona ermektedir. Sağlıksız Bina Sendromu'nun nedenleri kesin olarak belirlenememekle birlikte, kabul gören varsayımlardan birisi, belirli hava kirleticilerinin, iç havada düşük yoğunluk düzeyinde bir karışım durumunda bulunarak, SBS kapsamındaki rahatsızlık belirtilerini ortaya çıkarmasıdır **[EPA,1994]**.

EPA, iç mekân hava kirleticileriyle ilişkilendirilen SBS belirtilerini uyuşukluk ve bitkinlik, baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı, mukoza dokusunda yangı, kokulara karşı duyarlılık, gözde yangı, burun akıntısı ya da tıkanıklığı, yoğunlaşma güçlüğü olarak tanımlamıştır **[EPA, 1991, akt. Darçın, 2014]**.

SBS ile ilişkili olduğu düşünülen kirleticiler:

- toz,
- uçucu organik bileşikler,
- endotoksinler ve
- küfler olarak sıralanmıştır **[Bernstein, 2008]**.

Ayrıca yapı içinde, kullanıcılarda görülebilen kakosmi (kötü koku sendromu) kapsamında iç hava kirleticilerinin oluşturduğu kokudan rahatsız olunması durumu da SBS'nin nedenlerinden birisi olarak kabul edilmektedir **[Balanlı,2012, akt. Darçın,2014]**. Bununla birlikte, iç hava kirliliğinin yanı sıra, yapıların iç çevresindeki diğer özelliklerin olumsuz olmasının da SBS'yi ortaya çıkarabildiği düşünülmektedir.

İç mekân hava kirleticilerinin neden olduğu sağlık sorunları Çizelge 2.10 ve Çizelge 2.11'de saptanmıştır.

**Çizelge 2.10:** Gaz ve Buhar Durumunda Olan İç Mekân Hava Kirleticilerinin Neden Olduğu Sağlık Sorunları [Gültekin,2001; Alptekin,2007; Şaylan, 2007; Darçın, 2014'den uyarılama].

| Kirletici İsmi                    | Neden Olduğu Sağlık Sorunu                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Karbon dioksit (CO <sub>2</sub> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baş dönmesi</li> <li>• Baş ağrısı</li> <li>• Mide bulantısı</li> <li>• Stres</li> <li>• Yüksek yoğunlukta bilinç kaybı</li> </ul>                                                                                                                                                |
| Karbon monoksit (CO)              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kandaki oksijen miktarının azalması sonucu organ ve dokularda fonksiyon bozukluğu</li> <li>• Zehirlenme</li> <li>• Baş ağrısı ve dönmesi</li> <li>• Görme bozukluğu</li> <li>• Bulantı, ishal, karın ağrısı</li> </ul>                                                           |
| Azot dioksit (NO <sub>2</sub> )   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Göz, burun ve boğazda tahriş</li> <li>• Bronşit</li> <li>• Baş ağrısı</li> <li>• Akciğer ve kulak enfeksiyonu</li> <li>• Astım hastalarında hassasiyet</li> <li>• Yüksek konsantrasyonlarda: akciğer kanseri</li> </ul>                                                          |
| Kükürt dioksit (SO <sub>2</sub> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nefes almada güçlük</li> <li>• Uzun süre maruziyette: Kalp ve akciğer hastalıkları</li> <li>• Göz tahrişi</li> <li>• Öksürme</li> </ul>                                                                                                                                          |
| Ozon (O <sub>3</sub> )            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atmosferde azalması sonucu cilt kanseri</li> <li>• Atmosferde azalması sonucu göz hastalıkları</li> <li>• Solunması sonucu akciğer hastalıkları</li> </ul>                                                                                                                       |
| Radon (Rn)                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Akciğer kanseri</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Cıva (Hg)                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaslarda kramp veya titreme</li> <li>• Baş ağrısı</li> <li>• Kalp atışının hızlanması (taşikardi)</li> <li>• Ateş</li> <li>• Sinirsel işlev bozuklukları</li> </ul>                                                                                                              |
| Yarı Uçucu Organik Bileşikler     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ağız yoluyla alınması sonucu veya solunum yoluyla akut zehirlenmeler</li> <li>• Düşük dozda uzun süre maruz kalma sonucu solunum yolu rahatsızlıkları, kanser, karaciğer, böbrek, dolaşım ve sinir sistemi rahatsızlıkları</li> </ul>                                            |
| Uçucu organik bileşikler          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantarlar tarafından üretilen küf kokusu sonucu alerjik reaksiyon</li> <li>• Kanser</li> <li>• Karaciğerde büyüme</li> <li>• Akciğer ve beyin tümörü</li> <li>• Halsizlik, depresyon ve sinir hastalıkları</li> <li>• Mide bulantısı</li> <li>• Baş ağrısı ve dönmesi</li> </ul> |

**Çizelge 2.10:** Devamı.

| Kirletici İsmi | Neden Olduğu Sağlık Sorunu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Formaldehit    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Düşük dozda: üst solunum yolunda etkilenme, burun yanması, boğaz kuruluğu ve sızlaması</li><li>• Yüksek dozda: alt solunum yolları ve akciğerde etkilenme, göğüste sıkışma ve ses</li><li>• Diğer etkiler: Burun kanaması ve akması, burun kanallarında şişme, baş ağrısı, hafıza ve konsantrasyon sorunu, baş dönmesi, yorgunluk, nefes darlığı</li><li>• Düşük doza sürekli maruziyet sonucu astım</li><li>• Kanserojen olma olasılığı</li><li>• Göz iltihabı</li><li>• Alerji</li></ul> |
| Pestisitler    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Göz, burun ve boğaz tahrişleri</li><li>• Zehirlenme</li><li>• Merkezi sinir sisteminin zarar görmesi</li><li>• Kanser</li><li>• Yüksek doza sürekli maruziyet sonucu ölüm</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

**Çizelge 2.11:** Partikül Durumunda Olan İç Mekân Hava Kirleticilerinin Neden Olduğu Sağlık Sorunları [Alptekin,2007; Şaylan,2007; Darçın, 2014; Zorlu, 2019'dan uyarılama].

| Kirletici İsmi | Neden Olduğu Sağlık Sorunu                                                                                                                                                                                            |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Asbest         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Akciğer hastalıkları ve kanseri</li><li>• Mide ve bağırsak kanseri</li><li>• Göz ve ciltte tahriş</li><li>• Asbetosis</li><li>• Mezotelyoma</li><li>• Plevra Tümörü</li></ul> |
| Taş Yünü       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Solunum yolu ve akciğer rahatsızlıkları</li></ul>                                                                                                                             |
| Cam Yünü       | <i>(İmalat, uygulama ve kullanımı sırasında lifli yapıları partiküller oluşturmaktadır.)</i>                                                                                                                          |
| Kurşun         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kan enzimlerinde değişiklikler</li><li>• Anemi</li><li>• Fiziksel ve zihinsel gelişimde bozulmalar</li><li>• Davranış bozuklukları</li><li>• Koma</li><li>• Ölüm</li></ul>    |

**Çizelge 2.11: Devamı.**

| <b>Kirletici İsmi</b> | <b>Neden Olduğu Sağlık Sorunu</b>                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Virüsler              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ateş</li><li>• Hapşırma</li><li>• Göz Sulanması</li><li>• Öksürük ve nefes darlığı</li><li>• Sindirim sistemi ile ilgili hastalıklar</li><li>• Nezle</li><li>• Grip</li><li>• Kızamık</li><li>• Kabakulak</li><li>• Kızamıkçık</li></ul> |
| Bakteriler            | <ul style="list-style-type: none"><li>• Lejyoner hastalığı</li><li>• Zatürre</li><li>• Pontiak ateşi</li><li>• Tüberküloz</li><li>• Zatürre</li><li>• Kulak iltihabı</li><li>• Sinüzit</li><li>• Menenjit</li><li>• Sepsis</li></ul>                                             |
| Küf Mantarları        | <ul style="list-style-type: none"><li>• Alerjik Zatürre</li><li>• Alerjik Astım</li><li>• Alerjik Rinit</li></ul>                                                                                                                                                                |
| Polenler              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Alerji sonucu hapşırma, kaşıntı, öksürük, burun akıntısı, gözlerde yaşarma, kızarıklıklar ve nefes darlığı</li></ul>                                                                                                                     |
| Eklembacaklılar       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Alerji</li><li>• Astımın tetiklenmesi</li></ul>                                                                                                                                                                                          |
| Deri Döküntüleri      | <ul style="list-style-type: none"><li>• Alerji</li><li>• Astımın tetiklenmesi</li><li>• Halsizlik</li><li>• Solunum güçlüğü</li><li>• Alerjik astım</li></ul>                                                                                                                    |
| Akarlar               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Alerji</li><li>• Astımın tetiklenmesi</li></ul>                                                                                                                                                                                          |
| Tozlar                | <ul style="list-style-type: none"><li>• Akciğer ve solunum yolu hastalıkları</li><li>• Pnöмокonyoz (Akciğerde toz depolanması hastalığı)</li><li>• Alerjik sorunlar ve cilt hastalıkları</li><li>• Öksürük, boğazda tahriş</li></ul>                                             |

## 2.4. Türkiye’de ve Dünyada Hava Kalitesi ile İlgili Yönetmelik ve Standartlar

Türkiye’de ve Dünya’da hava kalitesinin limit değerlerini belirleyen bazı yönetmelik ve standartlar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (2008),
- Ulusal Hava Kalitesi İndeksi,
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Standardı,
- Avrupa Birliği Standartları,
- Dünya Sağlık Örgütü Standartları
- Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Türkiye İklimlendirme Meclisi İç Hava Kalitesi Komisyonu’nun belirlediği (2025) limit değerleridir.

Belirlenen limit değerler kullanıcı sağlığını tehdit altına sokacak kritik eşikleri belirlemektedir. Ülkelerin iç mekân hava kalitesi ve konfor koşulları için izlediği politikalar bulunmaktadır. Kurum ve kuruluşlar bu politikaların yanında bulundukları ülkelerin coğrafi koşullarını da göz önünde bulundurarak hava kalitesi limit değerlerini belirlemektedir.

Çalışma kapsamında incelenen yönetmelik ve standartlar kirleticilerle ilgili farklı değerler verebilmektedir. Verilen limit değerler çeşitli zaman aralıklarına göre verilebilmektedir. Örneğin aynı kirletici için anlık bir limit değer de 8 saatlik ortalama bir limit değer de belirlenebilir. Simülasyon veya ölçüm sonuçları yönetmelik ve standartlara göre değerlendirilirken bu parametreye dikkat edilmelidir. Anlık belirlenen bir kirletici konsantrasyonunun 8 saatlik ortalama bir limit değerle kıyaslanması hatalı sonuçlara varılmasına neden olacaktır.

İlgili kurum ve kuruluşlar limit değerleri belirlerken kirleticileri kendi sınıflandırma sistemlerine göre değerlendirmiştir. Bu nedenle her yönetmelik ve standartta her kirleticiye ait veri bulunmamaktadır. Bahsi geçen veri eksikliği nedeniyle yönetmelik ve standartları kıyaslamak her kirletici için mümkün olmayabilir.

## 2.4.1. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (2008, Türkiye)

"MADDE 1 – (1) Bu Yönetmeliğin amacı; hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve oluşturmak, tanımlanmış metotları ve kriterleri esas alarak hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin iyi olduğu yerlerde mevcut durumu korumak ve diğer durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile ilgili yeterli bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamaktır." [ResGaz 1, 2008].

Türkiye, hava kalitesi limit değerleri için, Avrupa Birliği limit değerlerini kendisi için hedef edinmiş, ancak kademeli olarak bu hedef değerlere ulaşmayı planlamıştır. Bu plana göre en son 2024 tarihinde azot dioksit limit değerlerine ulaşacak olan Türkiye, bu tarihten itibaren tüm kirleticiler için AB mevzuatını uygulayacaktır [İstanbul Hava Kalitesi İzleme Merkezi, WEB 1, 2025]. HKDYY dış mekân hava kirleticileri ile ilgili limit değerleri belirlemektedir Şekil 2.3. Ancak dış mekân havası iyi olmayan bir ortamda sağlıklı bir iç mekân hava kalitesinden bahsedilemeyeceği için kapsam içerisinde tutulmuştur. Türkiye’de mekânların çoğu doğal havalandırma ile havalandırılmaktadır. Bu nedenle dış mekân hava kirleticileri iç mekânda da gözlenmektedir.

| KİRLETİCİ                                                                                                                                                                                                                                                             | Türkiye-Limit Değerler |                                                               |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | Süre                   | 2014 Sınır Değer                                              | 2015 Sınır Değer | 2016 Sınır Değer | 2017 Sınır Değer | 2018 Sınır Değer | 2019 Sınır Değer | 2020 Sınır Değer | 2021 Sınır Değer | 2022 Sınır Değer | 2023 Sınır Değer | 2024 Sınır Değer | Türkiye için AB Limit Değerlerin Geçerli Olacağı Tarih |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        | (µg/m3)                                                       |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                                                        |
| SO <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                                                                       | saatlik                | 350+150                                                       | 350+120          | 350+90           | 350+60           | 350+30           | 350              | 350              | 350              | 350              | 350              | 350              | 1 Ocak 2019                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | 24 saat                | 125+125                                                       | 125+100          | 125+75           | 125+50           | 125+25           | 125              | 125              | 125              | 125              | 125              | 125              |                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | yıl ve kış             | 20                                                            | 20               | 20               | 20               | 20               | 20               | 20               | 20               | 20               | 20               | 20               | 1 Ocak 2014                                            |
| NO <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                                                                       | saatlik                | 200+100                                                       | 200+90           | 200+80           | 200+70           | 200+60           | 200+50           | 200+40           | 200+30           | 200+20           | 200+10           | 200              | 1 Ocak 2024                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | yıl                    | 40+20                                                         | 40+18            | 40+16            | 40+14            | 40+12            | 40+10            | 40+8             | 40+6             | 40+4             | 40+2             | 40               |                                                        |
| NO <sub>x</sub>                                                                                                                                                                                                                                                       | yıl                    | 30                                                            | 30               | 30               | 30               | 30               | 30               | 30               | 30               | 30               | 30               | 30               | 1 Ocak 2014                                            |
| PM10                                                                                                                                                                                                                                                                  | 24 saat                | 50+50                                                         | 50+40            | 50+30            | 50+20            | 50+10            | 50               | 50               | 50               | 50               | 50               | 50               | 1 Ocak 2019                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | kış dönemi             | 40+50                                                         | 40+40            | 40+30            | 40+20            | 40+10            | 40               | 40               | 40               | 40               | 40               | 40               |                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | yıl                    | 40+20                                                         | 40+16            | 40+12            | 40+8             | 40+4             | 40               | 40               | 40               | 40               | 40               | 40               |                                                        |
| Pb                                                                                                                                                                                                                                                                    | yıl                    | 0.5+0.5                                                       | 0.5+0.4          | 0.5+0.3          | 0.5+0.2          | 0.5+0.1          | 0,5              | 0,5              | 0,5              | 0,5              | 0,5              | 0,5              | 1 Ocak 2019                                            |
| CSH6                                                                                                                                                                                                                                                                  | -                      | 5+5                                                           | 5+5              | 5+5              | 5+4              | 5+3              | 5+2              | 5+1              | 5                | 5                | 5                | 5                | 1 Ocak 2021                                            |
| CO                                                                                                                                                                                                                                                                    | 8 saat                 | 10000+6000                                                    | 10000+4000       | 10000+2000       | 10000            | 10000            | 10000            | 10000            | 10000            | 10000            | 10000            | 10000            | 1 Ocak 2017                                            |
| O <sub>3</sub>                                                                                                                                                                                                                                                        | 8 saat                 | hedef değer                                                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | 120              | 120              | 120              | 1 Ocak 2022                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | saatlik                | bilgi eşiği                                                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | 180              | 180              | 180              |                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        | uyarı eşiği                                                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | 240              | 240              | 240              |                                                        |
| Arsenik                                                                                                                                                                                                                                                               | yıl                    | Bir yılda PM10 fraksiyonundaki toplam içerik için hedef değer |                  |                  |                  |                  |                  | 0,006            | 0,006            | 0,006            | 0,006            | 0,006            | 1 Ocak 2020                                            |
| Kadmiyum                                                                                                                                                                                                                                                              | yıl                    |                                                               |                  |                  |                  |                  |                  | 0,005            | 0,005            | 0,005            | 0,005            | 0,005            |                                                        |
| Nikel                                                                                                                                                                                                                                                                 | yıl                    |                                                               |                  |                  |                  |                  |                  | 0,02             | 0,02             | 0,02             | 0,02             | 0,02             |                                                        |
| Benzo(a)piren                                                                                                                                                                                                                                                         | yıl                    |                                                               |                  |                  |                  |                  |                  | 0,001            | 0,001            | 0,001            | 0,001            | 0,001            |                                                        |
| NOT: 1 Ocak 2014'ten itibaren AB limit değerlerin geçerli olacağı tarihe kadar limit değerler toleranslı değerlerdir. AB Limit Değerlerin geçerli olacağı tarihlere kadar tolerans payları sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır |                        |                                                               |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                                                        |

NOT: 1 Ocak 2014'ten itibaren AB limit değerlerin geçerli olacağı tarihe kadar limit değerler toleransı değerlerdir. AB Limit Değerlerin geçerli olacağı tarihlere kadar tolerans payları sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır

Şekil 2.3: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği Limit Değerleri [İstanbul Hava Kalitesi İzleme Merkezi, WEB 1, 2025].

### 2.4.2. Ulusal Hava Kalitesi İndeksi

Ulusal Hava Kalitesi İndeksi, EPA Hava Kalitesi İndeksi'ni ulusal mevzuatımız ve limit değerlerimize uyarlayarak oluşturulmuştur. 5 temel kirletici için hava kalitesi indeksi hesaplanmaktadır **Çizelge 2.12**. Bunlar; partikül madde (PM<sub>10</sub>), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot dioksit (NO<sub>2</sub>) ve ozon (O<sub>3</sub>) dur **[İstanbul Hava Kalitesi İzleme Merkezi, WEB 2, 2025]**. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ndeki gibi dış mekân havası ile ilgili veriler belirlenmektedir. Cihazlarla yapılan ölçümler anlık olarak kullanıcılar tarafından takip edilebilmektedir.

**Çizelge 2.12:** Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Limit Değerleri **[İstanbul Hava Kalitesi İzleme Merkezi, WEB 2, 2025]**.

| Parametre                   | SO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | NO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | CO<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | O <sub>3</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 saat ortalama             | 1 saat ortalama                         | 8 saat ortalama                         | 8 saat ortalama            | 24 saat ortalama                       |                                          |
| Ulusal Limit Değer          | 380                                     | 260                                     | 10.000                     | 120                                    | 60                                       |
| AB Üye Ülkeleri Limit Değer | 350                                     | 200                                     | 10.000                     | 120                                    | 50                                       |

### 2.4.3. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Standardı (62.1-2010)

ASHRAE, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme çalışmaları yapan uluslararası bir topluluktur. 1894 yılında kurulan ASHRAE, inşa edilmiş çevre için sürdürülebilir teknoloji aracılığıyla insan refahını ilerletmeyi amaç edinmiştir. Topluluk ve üyeleri, yapı sistemleri, enerji verimliliği, iç hava kalitesi, soğutma ve sektörde sürdürülebilirliğe odaklanmaktadır. ASHRAE, 1894 yılında kurulan Amerikan Isıtma ve Klima Mühendisleri Derneği (ASHAE) ve 1904 yılında kurulan Amerikan Soğutma Mühendisleri Derneği'nin (ASRE) 1959 yılında birleşmesiyle Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği olarak kurulmuştur **[ASHRAE, WEB 3, 2025]**. **Çizelge 2.13**'te kirleticilerin uzun ve kısa süreli konsantrasyonlarının ortalaması verilmiştir.

**Çizelge 2.13:** Ashrae 62.1–2022’den alınan limit değer konsantrasyonları [Liang vd., 2026].

| Kirletici Çeşidi  | Önerilen Limit Değer  |
|-------------------|-----------------------|
| Asetaldehit       | 140 µg/m <sup>3</sup> |
| Benzen            | 3 µg/m <sup>3</sup>   |
| Formaldehit       | 33 µg/m <sup>3</sup>  |
| Toluen            | 300 µg/m <sup>3</sup> |
| Karbon monoksit   | 9 ppm                 |
| PM <sub>2,5</sub> | 12 µg/m <sup>3</sup>  |
| Ozon              | 70 ppb                |

#### **2.4.4. Avrupa Birliği prEN 15251-2006 İç Hava Kalitesi, Termal Çevre, Aydınlatma ve Akustiğe Hitaben Binalarda Enerji Performansının Değerlendirilmesi ve Dizaynı için Gerekli İç Ortam Parametreleri Yönetmeliği**

Avrupa Birliği, hava kalitesi standartlarının temel amacı insan ve bitki örtüsünün kirlilik maruziyetinin değerlendirilmesi, kirliliği azaltmak veya hava kalitesini korumak için yetkili kuruluşlarca gerçekleştirilen eylemlerin değerlendirilmesi, hava kalitesi hakkında kamuoyunun bilgilendirilmesidir. [İBB Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, WEB 4,2025]. Avrupa Birliği’nin prEN 15251-2006 standardına göre kabul edilebilir üst sınır hali hazırda kullanılan yapılarda dış ortam CO<sub>2</sub> değerinden 800 ppm daha fazla olabileceği belirtilmektedir [Yurdakul, 2019].

Ayrıca kış ve yaz aylarında kabul edilebilir iç ortam sıcaklıkları havalandırmanın yapay ve doğal olarak olarak gerçekleştirildiği iç mekânlar için belirlenmiştir **Çizelge 2.14.**

Yönetmelikteki kategoriler:

- 1: Yaşlı, hasta ve hassas kişilerin bulunduğu yerler için,
- 2: Normal düzeyde yeni ve yenilenmiş yapılar için,
- 3: Kabul edilebilir/orta düzeyde, halihazırda kullanılan yapılar için izin verilen iç ortam sıcaklıklarının aralığını göstermektedir [Yurdakul, 2018].

**Çizelge 2.14:** Avrupa Birliği prEN 15251-2006 Yönetmeliği Kış ve Yaz için Verilen İç Mekân Sıcaklık Değerleri [Yurdakul, 2018].

| İç Mekânın Tipi                         | Kategorisi | Operatif Sıcaklık (°C) |                  |
|-----------------------------------------|------------|------------------------|------------------|
|                                         |            | Kışın (minimum)        | Yazın (maksimum) |
| Tekli ofis<br>(1,2 m’de otururken)      | 1          | 21 (21-23)             | 25 (23,5-25,5)   |
|                                         | 2          | 20 (20-24)             | 26 (23-26)       |
|                                         | 3          | 19 (19-25)             | 27 (22-27)       |
| Konferans odası<br>(1,2 m’de otururken) | 1          | 21 (21-23)             | 25 (23,5-25,5)   |
|                                         | 2          | 20 (20-24)             | 26 (23-26)       |
|                                         | 3          | 19 (19-25)             | 27 (22-27)       |
| Auditoryumlar<br>(1,2 m’de otururken)   | 1          | 21 (21-23)             | 25 (23,5-25,5)   |
|                                         | 2          | 20 (20-24)             | 26 (23-26)       |
|                                         | 3          | 19 (19-25)             | 27 (22-27)       |
| Kafeterya<br>(1,2 m’de otururken)       | 1          | 21 (21-23)             | 25 (23,5-25,5)   |
|                                         | 2          | 20 (20-24)             | 26 (23-26)       |
|                                         | 3          | 19 (19-25)             | 27 (22-27)       |
| Sınıf<br>(1,2 m’de otururken)           | 1          | 21 (21-23)             | 25 (23,5-25,5)   |
|                                         | 2          | 20 (20-24)             | 26 (23-26)       |
|                                         | 3          | 19 (19-25)             | 27 (22-27)       |

#### 2.4.5. Dünya Sağlık Örgütü Standartları

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 2000 ve 2005 yıllarında yayımladığı rehber dökümanlarında, insan sağlığı ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkilere dair kanıt bulunmayan maruziyet seviyelerini (konsantrasyonları ve süreleri) tavsiye etmiştir [İBB Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, WEB 5, 2025]. DSÖ hava kirliliği ve sağlık üzerindeki etkilerine değinen ilk yayındır. Benzen, CO, formaldehit, naftalin, NO<sub>2</sub>, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, radon, trikloroetilen ve tetrakloroetilen olmak üzere dokuz iç mekân hava kirleticisi için kılavuzlar sağlanmıştır [WHO,2017, akt. Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği,2021]. Çizelge 2.15.

**Çizelge 2.15:** Dünya Sağlık Örgütü Seçilen Kirleticiler için İç Mekân Hava Kalitesi Kılavuzlarının Özeti [WHO,2017, akt. Türkiye Sağlıkli Kentler Birliği,2021'den uyarlama].

| Kirletici                          | Kılavuz tanımına göre kritik sonuç(lar)                                                                                                                                                   | Kılavuzlar ve Yorumlar                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Benzen                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Akut miyeloid lösemi</li> <li>Genotoksisite</li> </ul>                                                                                             | Güvenli bir maruz kalma seviyesi tavsiye edilemez                                                                                                                                                    |
| Karbon monoksit                    | Akut maruziyete bağlı egzersiz toleransında azalma ve iskemik kalp hastalığı semptomlarında artış (örn. ST segment değişiklikleri)                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>15 dakika - 100 mg/m<sup>3</sup></li> <li>1 saat - 35 mg/m<sup>3</sup></li> <li>8 saat - 10 mg/m<sup>3</sup></li> <li>24 saat - 7 mg/m<sup>3</sup></li> </ul> |
| Formaldehit                        | Duyusal irritasyon                                                                                                                                                                        | 0.1 mg/m <sup>3</sup> - 30 dakikalık ortalama                                                                                                                                                        |
| Naftalin                           | Hayvanlarda yapılan çalışmalarda yıllık ortalama maligniteye sebep olan solunum yolu lezyonları                                                                                           | 0.01mg/m <sup>3</sup> yıllık ortalama                                                                                                                                                                |
| Azot dioksit                       | Solunum semptomları, bronkokonstriksiyon, artmış bronşiyal reaktivite, solunum enfeksiyonuna duyarlılığın artmasına neden olan hava yolu enflamasyonu ve bağışıklık korumasında azalmalar | <ul style="list-style-type: none"> <li>200 pg/m<sup>3</sup> - 1 saatlik ortalama</li> <li>40 pg/m<sup>3</sup> - yıllık ortalama</li> </ul>                                                           |
| Polisiklik aromatik hidrokarbonlar | Akciğer kanseri                                                                                                                                                                           | Herhangi bir eşik belirlenememektedir ve tüm iç mekân maruziyetlerinin sağlıkla ilgili olduğu kabul edilir.                                                                                          |
| Radon                              | Akciğer kanseri diğer kanserlerle, özellikle lösemi ve ekstratorasik solunum yolları kanserleri ile bir ilişki olduğunu düşündüren kanıt                                                  | DSÖ kılavuzları, radon ile ilişkili sağlık riskinin yönetimine kapsamlı bir yaklaşım sağlamaktadır.                                                                                                  |
| Tetrakloroetilen                   | Böbrekte erken böbrek hastalığının göstergesi olan etkiler ve performans bozukluğu                                                                                                        | 0.25 mg/m <sup>3</sup> - yıllık ortalama                                                                                                                                                             |
| Trikloroetilen                     | Genotoksisite varsayımı ile karsinojenite (karaciğer, böbrek, safra kanalı ve Hodgkin olmayan lenfoma)                                                                                    | Birim risk tahmini, pg/m <sup>3</sup> başına 4.3 x 10 <sup>-7</sup>                                                                                                                                  |

#### 2.4.6. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Türkiye İklimlendirme Meclisi İç Hava Kalitesi Komisyonu

Türkiye İklimlendirme Meclisi, 2005 yılında Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği çatısı altında kurulmuştur. 2006 yılından beri çalıştaylar, kongreler, sempozyumlar ve fuarlar düzenlenmektedir. Bu sayede devlet, üniversite ve sanayi temsilcileri bir araya getirilerek iklimlendirme alanında çözüm önerileri üretilmektedir ve bu öneriler her yıl yayınlanan sektör raporunda yayınlanmaktadır [Bıyıköğlu, 2015].

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye İklimlendirme Meclisi, İç Hava Kalitesi Komisyonu bünyesinde Sınır Değerler Çalışma Grubu (SÇG) kurulmuştur. SÇG üyeleri iç mekân emisyon kaynakları, okullardaki konsantrasyonlar, bu emisyonların sağlık etkileri ve mevcut limit değerleri hakkında literatürü incelemiştir. Ele alınacak iç mekân hava kirleticilerini belirleyerek Türkiye'deki okullar için limit değerler için öneride bulunmuşlardır [Sofuoğlu vd., 2025].

Toplam 19 kirletici/kirletici grubu (karbon dioksit, karbon monoksit, azot dioksit, ozon, radon, uçucu organik bileşikler, formaldehit, trihalometanlar, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller, bromlu alev geciktiriciler, organofosfat esterleri, ftalat esterleri, partikül madde, biyoaerosoller (bakteri, mantar, virüsler), mikrobiyal kirleticiler ve alerjenler) incelenmiştir. Kirleticilerin kullanıcı sağlığına etkileri ve iç mekân hava konsantrasyonları gibi bilgilere dayanarak, maruz kalma süresi, mevcut limit değerlerin yaygınlığı ve bunların dayandığı sağlık etkileri dikkate alınarak 11 kirletici/kirletici grubu için limit değerler önerilmiştir **Çizelge 2.16**. Okul iç mekân havasındaki oluşumları ve özellikle çocuklar üzerindeki sağlık etkileri hakkında literatür bilgisi yetersiz olduğu için bazı kirleticiler için limit değer önerilememiştir [Sofuoğlu vd., 2025].

Sınır Değerler Çalışma Grubu;

- Yeni kirleticilerden mikro ve nano plastiklerin incelenmesi,
- Gelecekteki çalışmalardan karşılaştırılabilir veriler elde etmek amacıyla örnekleme ve analiz yöntemleri için uluslararası standart prosedürlerin oluşturulması,
- Güçlü emisyon potansiyelli malzeme ve tüketici ürünler yerine daha güvenli ürün kullanımına yönettici etkisi olan çalışmaların yapılması,

- İç mekân hava kirleticilerinin ölçümünün kolay ve düşük maliyetli olması için yeni teknolojiler geliştirilmesi gerektiğini tespit etmişlerdir [Sofuoğlu vd., 2025].

**Çizelge 2.16:** Sınır Değerler Çalışma Grubu Tarafından Önerilen Limit Değerler [Sofuoğlu, 2025].

| Kirletici Grubu             | Kirletici                                      | Birim              | Limit Değer | Maruz Kalma Süresi <sup>1</sup> |
|-----------------------------|------------------------------------------------|--------------------|-------------|---------------------------------|
| İnorganik ve Organik Gazlar | CO <sub>2</sub> (Karbon di oksit)              | ppm                | 1000        | Anlık <sup>2</sup>              |
|                             | CO (Karbon Monoksit)                           | ppm                | 30          | 1 saat                          |
|                             |                                                |                    | 9           | 8 saat                          |
|                             | NO <sub>2</sub> (Azot di oksit)                | ppb                | 100         | 1 saat                          |
|                             | O <sub>3</sub> (Ozon)                          | ppb                | 90          | 1 saat                          |
|                             |                                                |                    | 70          | 8 saat                          |
|                             | Radon <sup>3</sup>                             | Bq/m <sup>3</sup>  | 150         | 48 saat <sup>4</sup>            |
|                             | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (Benzen)         | µg/m <sup>3</sup>  | 5           | 8 saat                          |
|                             | Etilbenzen                                     | µg/m <sup>3</sup>  | 1000        | 8 saat                          |
|                             | Formaldehit                                    | µg/m <sup>3</sup>  | 100         | 30 dakika                       |
|                             | Ksilen                                         | µg/m <sup>3</sup>  | 100         | 8 saat                          |
|                             | Toluen                                         | µg/m <sup>3</sup>  | 5000        | 8 saat                          |
|                             | Trikloroetilen                                 | µg/m <sup>3</sup>  | 2           | 8 saat                          |
|                             | Tetrakloroetilen                               | µg/m <sup>3</sup>  | 40          | 8 saat                          |
|                             | Toplam Uçucu Organik Bileşikler <sup>5</sup>   | µg/m <sup>3</sup>  | 500         | 8 saat                          |
|                             | Trihalometan <sup>6</sup>                      | µg/m <sup>3</sup>  | 200         | 8 saat                          |
| Partikül Madde              | PM <sub>2,5</sub> (Partikül Madde Kirleticisi) | µg/m <sup>3</sup>  | 15          | 8 saat                          |
|                             | PM <sub>10</sub> (Partikül Madde Kirleticisi)  | µg/m <sup>3</sup>  | 41          | 8 saat                          |
| Mikrobiyolojik Kirleticiler | Bakteri                                        | CFU/m <sup>3</sup> | 1000        | görüldüğünde <sup>7,8</sup>     |
|                             | Mantar                                         | CFU/m <sup>3</sup> | 1000        | görüldüğünde <sup>7,8</sup>     |

\*1: Günlük eğitim saatleri içerisinde

\*3: Radon riski olan yerler için önerilir.

\*2: En fazla 1 dakikalık ortalama.

\*4: Okul saatleri içerisinde toplam 48 saat.

\*5: Toplam (toluen eşdeğeri) uçucu organik bileşik konsantrasyonu

\*6: Okulların kapalı yüzme havuzları için önerilir.

\*7: 1 ila 10 dakikalık aktif örnekleme, örnekleme süresi ortalaması

\*8: 8 saatlik pasif örnekleme

#### 2.4.7. Hava Kalitesi ile İlgili Yönetmelik ve Standartların Kıyaslanması

Çalışma kapsamında altı farklı yönetmelik ve standart incelenmiştir. Bu yönetmelik ve standartlar aracılığıyla iç mekân hava kirleticilerinin limit değerleri belirlenmiştir. Bu limit değerleri farklılık göstermektedir **Çizelge 2.17**. Limit değerler saatlik, yıllık gibi farklı zaman aralıklarında verilmiştir. Simülasyon veya ölçüm sonuçları ile bir kıyaslama yapılabilmesi için elde edilen verilerin bu zaman aralıklarıyla örtüşmesi gerekmektedir.

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde Avrupa Birliği Standartlarına uyulmuştur. Dünya Sağlık Örgütü Kükürt dioksit'te daha yüksek bir limit değeri vermektedir. ASHRAE Standart'ında Ozon limit değeri yüksek tutulmuştur. Hava Kalitesi İndeksi ise Azot dioksit, PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> için limit değerlerini yüksek tutmaktadır. Sınır Değerler Çalışma Grubu ise bazı değerlerde diğer standart ve yönetmeliklerle aynı değerleri verirken bazı kirleticilerde daha düşük limit değerler önermektedir. En yüksek limit değerleri genel olarak Hava Kalitesi İndeksi vermektedir. Bu limit değerlerinde görülen farklılıkların en büyük etken ülkelerin ve kurumların hava kalitesine karşı izlediği politikadır. Ayrıca iklim ve coğrafi koşullar da bu limit değerlerin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

**Çizelge 2.17:** Hava Kalitesiyle İlgili Yönetmelik ve Standartların Kıyaslanması.

|                                     | HKDYY                                    | UHKİ                                  | ASHRAE | AB                                    | DSÖ                                     | SÇG                  |
|-------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| SO <sub>2</sub><br>(Kükürt dioksit) | 350<br>µg/m <sup>3</sup><br>(saatlik)    | 380<br>µg/m <sup>3</sup><br>(saatlik) | -      | 350<br>µg/m <sup>3</sup><br>(saatlik) | 500<br>µg/m <sup>3</sup><br>(10 dakika) | -                    |
| NO <sub>2</sub><br>(Azot dioksit)   | 200+20<br>µg/m <sup>3</sup><br>(saatlik) | 260<br>µg/m <sup>3</sup><br>(saatlik) | -      | 200<br>µg/m <sup>3</sup><br>(saatlik) | 200<br>µg/m <sup>3</sup><br>(saatlik)   | 100 ppb<br>(saatlik) |
| NO <sub>x</sub><br>(Nitrojen oksit) | -                                        | -                                     | -      | 30 µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)      | -                                       | -                    |

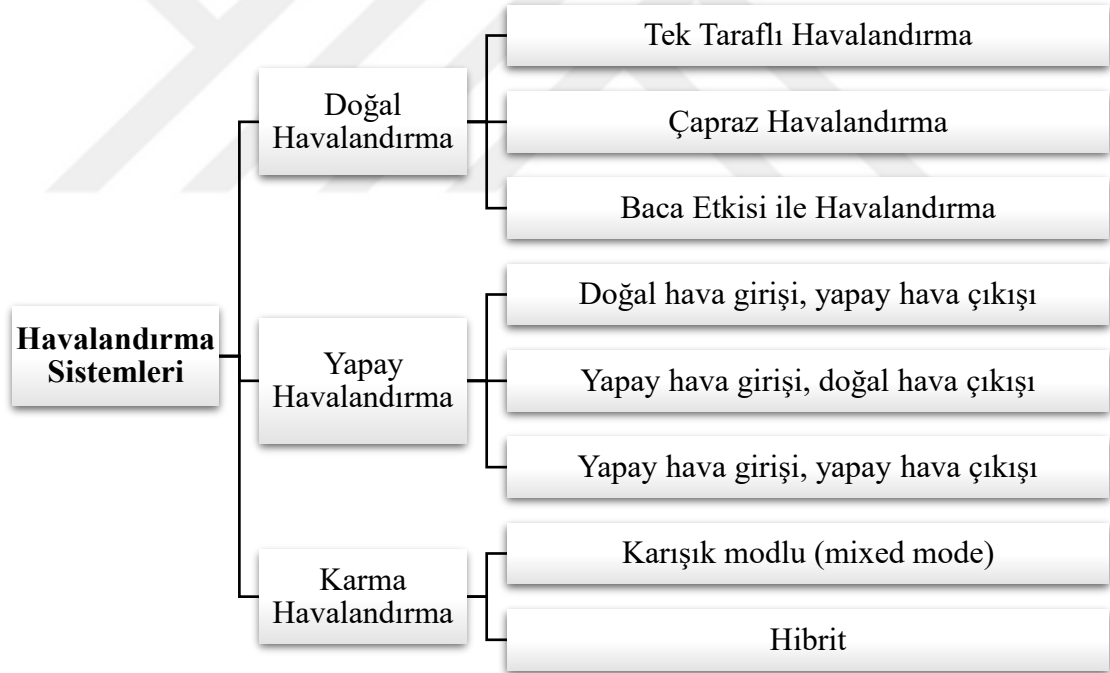
Çizelge 2.17: Devamı.

|                                                         | HKDYY                                   | UHKİ                                    | ASHRAE                                            | AB                                      | DSÖ                                     | SÇG                                 |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| PM <sub>10</sub><br>(Partikül<br>Madde<br>Kirleticisi)  | 50<br>µg/m <sup>3</sup><br>(24 saat)    | 60 µg/m <sup>3</sup><br>(24 saat)       | 50 µg/m <sup>3</sup><br>(kısa<br>sürelili)        | 50 µg/m <sup>3</sup><br>(24 saat)       | 45<br>µg/m <sup>3</sup><br>(24 saat)    | 45<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat) |
| PM <sub>2,5</sub><br>(Partikül<br>Madde<br>Kirleticisi) | -                                       | 12 µg/m <sup>3</sup><br>(24 saat)       | -                                                 | 25<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)     | 5 µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)         | 15<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat) |
| Pb<br>(Kurşun)                                          | 0.5<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)    | -                                       | -                                                 | 0.5<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)    | 0.5<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)    | -                                   |
| C <sub>6</sub> H <sub>6</sub><br>(Benzen)               | 5 µg/m <sup>3</sup>                     | -                                       | -                                                 | 5 µg/m <sup>3</sup>                     | 5 µg/m <sup>3</sup>                     | 5 µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat)     |
| CO<br>(Karbon<br>Monoksit)                              | 10.000<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat) | 10.000<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat) | 10.000<br>µg/m <sup>3</sup><br>(kısa<br>sürelili) | 10.000<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat) | 10.000<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat) | 9 ppm<br>(8 saat)                   |
| O <sub>3</sub> (Ozon)                                   | 120<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat)    | 120<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat)    | 235<br>µg/m <sup>3</sup><br>(kısa<br>sürelili)    | 120<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat)    | 100<br>µg/m <sup>3</sup><br>(8 saat)    | 70 ppb<br>(8 saat)                  |
| Arsenik                                                 | 0,006<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)  | -                                       | -                                                 | 0,006<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)  | 0,006<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)  | -                                   |
| Kadmiyum                                                | 0,005<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)  | -                                       | -                                                 | 0,005<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)  | 0,005<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)  | -                                   |
| Nikel                                                   | 0,02<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)   | -                                       | -                                                 | 0,02<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)   | 0,02<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)   | -                                   |
| Benzo(a)<br>piren                                       | 0.001<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)  | -                                       | -                                                 | 0.001<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)  | 0.001<br>µg/m <sup>3</sup><br>(yıllık)  | -                                   |

## 2.5. İç Mekân Havalandırma Sistemleri

Havalandırma yapının iç mekânına dış ortamdan alınan temiz hava olarak tanımlanabilir. Enerji tasarrufu sağlanabilmesi için havalandırma doğal yollarla sağlanabilir. Enerji kullanarak havalandırma sağlanıyorsa iç mekân havası iklimlendirildikten sonra veya dışarıdan alınan temiz hava ile karıştırıldıktan sonra yapı içerisine gönderilebilir [Öztürk vd., 2005]. Yapıda havalandırma yapılmasının amacı kullanıcının nefes alma ve iç mekân hava kirleticilerinden korunma gereksinimidir.

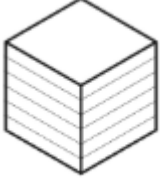
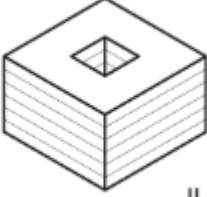
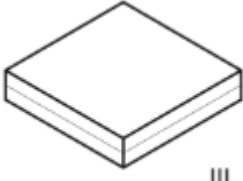
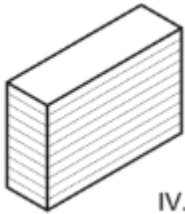
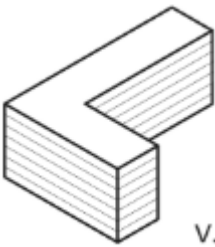
Yapının doğal yöntemlerle yeterli düzeyde havalandırılabilmesi için uygun nitelikteki dış havanın yapıya ulaşması, bu havanın yapı kabuğu aracılığıyla yapı içine alınması, yapı içinde yeterli ve uygun hava dolaşımının sağlanması ve kirlenen havanın yapı dışına çıkarılması gerekir [Darçın ve Balanlı, 2012]. Havalandırma sistemlerinin çeşitleri Şekil 2.4'te belirtilmiştir.



Şekil 2.4: Havalandırma Sistemlerinin Çeşitleri.

Yapının formu havalandırma için avantaj veya dezavantaj oluşturabilir Çizelge 2.18. Topografyaya ve iklime uygun yapı formu seçilerek iç mekân hava kalitesi iyileştirilebilir. Kuzey-güney cephesi kullanılarak pasif güneş enerjisinden yararlanılabilir. Çünkü iç mekân sıcaklığı algılanan iç hava kalitesini etkilemektedir.

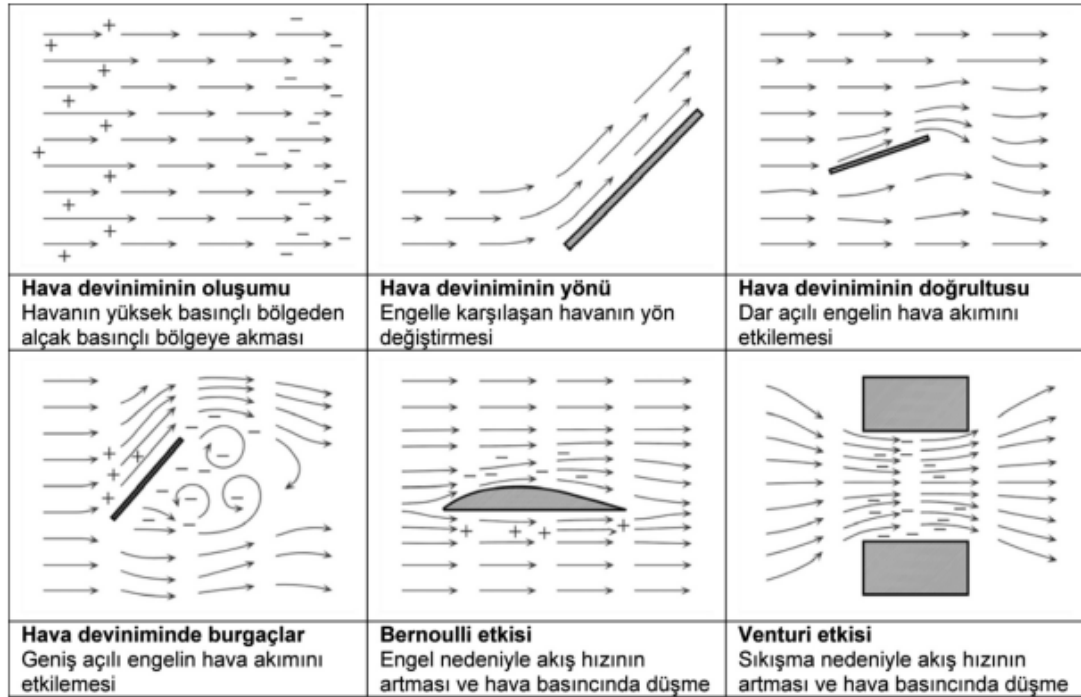
**Çizelge 2.18: Yapı Formu ve Havalandırma İlişkisi [Lechner, 2014'ten uyarılama].**

| Yapı Formu                                                                                     | Avantaj                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Dezavantaj                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>I.</p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompakt ve minimal yüzey alanı sayesinde ısı kaybını/ kazanımını azaltır.</li> <li>• Soğuk iklimler için iyi bir tasarımıdır.</li> </ul>                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pencerelerin çoğu ideal yerlerine (kuzey- güney yönlü) yerleştirilemez.</li> <li>• Pasif ısıtma ve soğutma için minimum potansiyele sahiptir.</li> </ul>                   |
|  <p>II.</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doğal havalandırma için birinci formdan daha iyi bir tasarımıdır.</li> <li>• Kullanıcının avluya ulaşımı açısından avantajlıdır.</li> </ul>                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pencerelerin çoğu ideal yerlerine (kuzey- güney yönlü) yerleştirilemez.</li> </ul>                                                                                         |
|  <p>III.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasif ısıtma için yüksek potansiyele sahiptir.</li> <li>• Çatı penceresi, güneş bacası kullanımı ile pasif soğutma için yüksek potansiyele sahiptir.</li> </ul>                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pencerelerin çoğu ideal yerlerine (kuzey- güney yönlü) yerleştirilemez.</li> </ul>                                                                                         |
|  <p>IV.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arazi şartları izin verirse tüm veya çoğu pencere ideal yerlerine (kuzey- güney yönlü) yerleştirilebilir.</li> <li>• Çapraz havalandırma için yüksek potansiyele sahiptir.</li> <li>• Pasif ısıtma için yüksek potansiyele sahiptir.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eğer arazi şartları nedeniyle uzun cephe doğu-batı yönündeyse soğutma yükleri fazla olacaktır.</li> </ul>                                                                  |
|  <p>V.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Çapraz havalandırma için yüksek potansiyele sahiptir.</li> </ul>                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pencerelerin çoğu ideal yerlerine (kuzey- güney yönlü) yerleştirilemez. Bazı pencereler doğu- batı yönlü yerleştirileceği için soğutma yükleri fazla olacaktır.</li> </ul> |

### 2.5.1. Doğal Havalandırma Sistemi

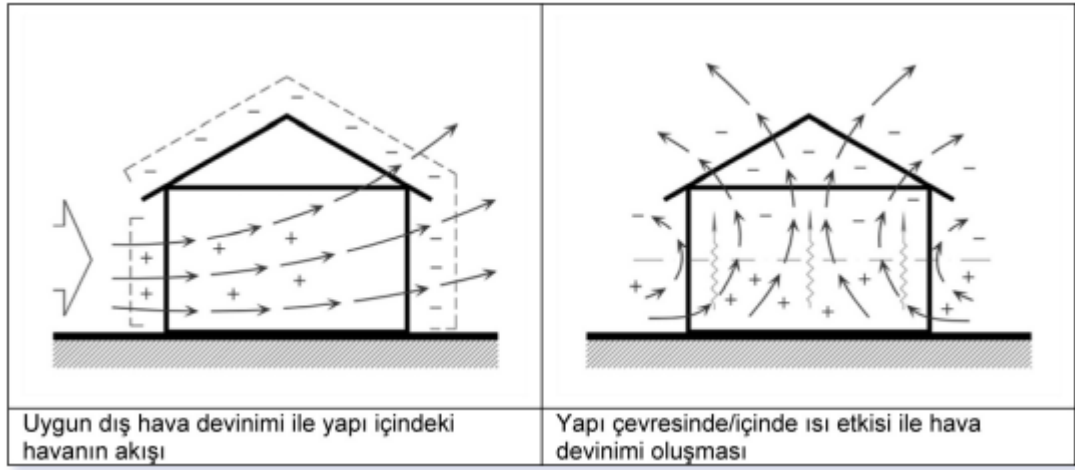
Doğal havalandırmada hava güç kullanmadan açık pencerelerden, kapılardan veya yapı kabuğuna bilinçli olarak açılan bölgelerden gerçekleşir. İç mekân ile dış mekân arasındaki rüzgâr, sıcaklık farkından dolayı gerçekleşmektedir [Öztürk vd., 2005].

Yapıda istenen düzeyde havalandırmanın doğal yöntemlerle sağlanmasında hava deviniminin oluşumu, hızı, davranışı, biçimlenişi, yapı çevresinde ve içinde ortaya çıkardığı basınç bölgelerinin dağılımı ve basınç düzeyleri önemlidir. Devinim her durumda havanın yüksek basınçlı (pozitif) bölgesinden alçak basınçlı (negatif) bölgesine doğru akmasıyla gerçekleşir; akarken karşılaştığı engellere göre farklı davranışlar gösterir ve engelin çevresinde farklı hava basınç bölgeleri oluşturur [Darçın ve Balanlı, 2012] Şekil 2.5.



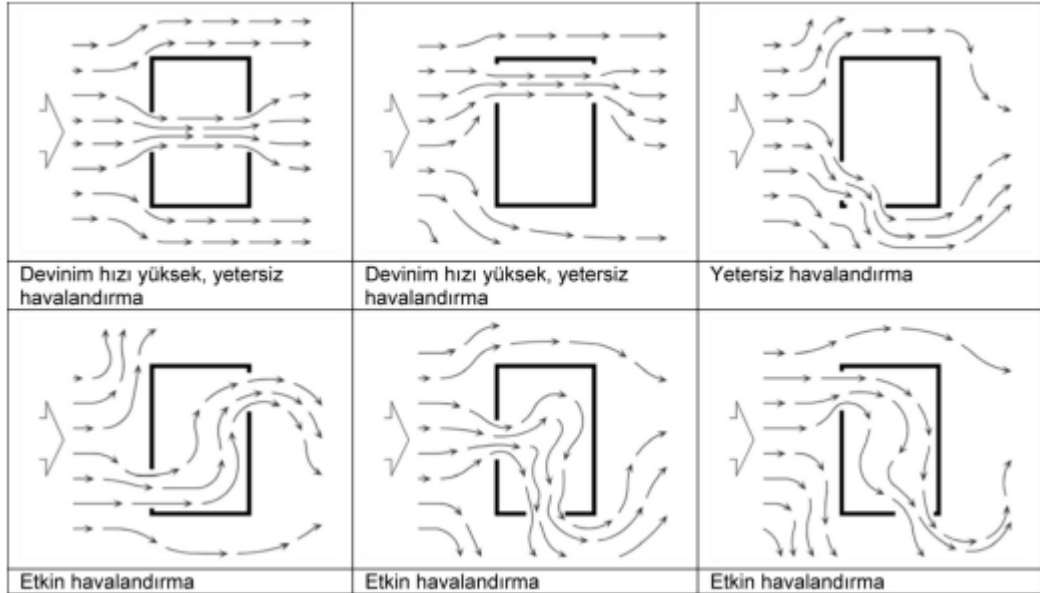
Şekil 2.5: Hava Deviniminin Davranışı [Yaşa, 2004, akt. Darçın ve Balanlı, 2012].

Yapı içerisinde etkin bir doğal havalandırma sağlamak için temiz hava iç mekâna alınmalı, dolaştırılmalı ve kirlenen hava yapıdan uzaklaştırılmalıdır. Dış mekândaki hava deviniminden yararlanarak veya yapı çevresindeki/içindeki ısı etkisi ile hava devinimi oluşturularak etkin bir doğal havalandırma sağlanabilir Şekil 2.6. Yapının konumu, biçimi, planı ve boşlukları da diğer etkenlerdendir [Darçın ve Balanlı, 2012].

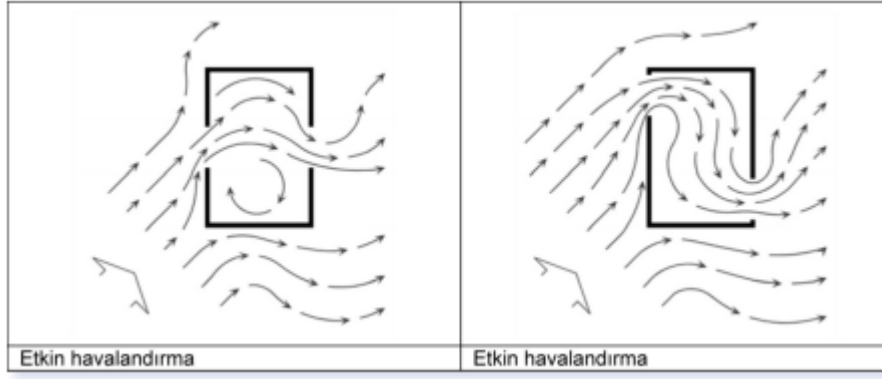


**Şekil 2.6:** Yapıda Doğal Havalandırmanın Sağlanması [Liddament, 2000, akt. Darçın ve Balanlı, 2012].

Yapının duvarlarında açılacak boşlukların konumu ve yararlanılmak istenen dış hava devininin doğrultusu havalandırma için önemlidir **Şekil 2.7 ve 2.8**. Temiz havanın iç mekâna girdiği duvar boşluğu, kirli havanın mekândan uzaklaştırıldığı boşluktan küçük olmalıdır [Gedik Zorer, 2009, akt. Darçın ve Balanlı, 2012]. İç mekânda üstte kirli ve sıcak hava, altta soğuk ve temiz hava bulunur. Duvarda açılacak boşlukların tasarımında havanın hareketi göz önünde bulundurulmalıdır.



**Şekil 2.7:** Devinimin Doğrultusunun Duvar Boşluğuna Dik Olması Durumunda Havalandırma [Watson ve Labs, 1993, akt. Darçın ve Balanlı, 2012].

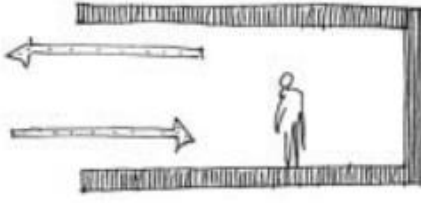
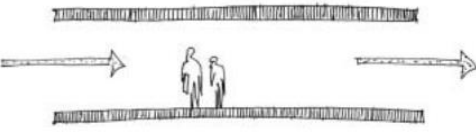


**Şekil 2.8:** Devinimin Doğrultusunun Duvar Boşluğu ile Dar Açı Yapması Durumunda Havalandırma [Watson ve Labs, 1993, akt. Darçın ve Balanlı, 2012].

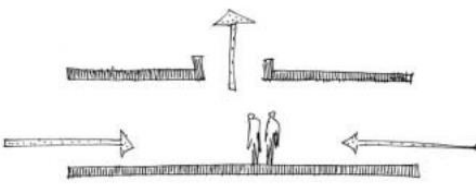
Doğal havalandırma duvar boşluklarının özelliğine göre:

- Tek taraflı (single-sided),
- Çapraz (cross)
- Baca etkisi (stack) ile gerçekleştirilebilir **Çizelge 2.19.**

**Çizelge 2.19:** Doğal Havalandırma Çeşitleri [Kleiven, 2003'ten uyarlama].

| Doğal Havalandırma Çeşidi                                                                                           | Özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Tek Taraflı Havalandırma</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• İç mekânın yalnızca bir tarafındaki açıklıktan havalandırma sağlanır.</li> <li>• Duvar açıklığının yüksekliğinin 2-2.5 katı derinliğe kadar etkilidir.</li> <li>• Bir duvarda açılabilir pencereler diğer duvarda kapalı iç mekân kapılarının olduğu mekânlar örnek verilebilir.</li> <li>• Açıklıklar farklı yüksekliklere konumlandırılırsa etkisi artar.</li> <li>• Diğer doğal havalandırma çeşitlerine göre daha az etkin bir havalandırma olanağı sunar.</li> </ul> |
|  <p>Çapraz Havalandırma</p>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• İç mekânın iki tarafı arasında rüzgârın basınç farkından faydalanılarak havalandırma sağlanır.</li> <li>• Duvar açıklığının yüksekliğinin 5 katı derinliğe kadar etkilidir.</li> <li>• Hava, açık kapılar aracılığıyla birkaç mekândan geçebilir.</li> <li>• Hava hareket ettikçe mekân içerisindeki ısıyı ve kirleticileri bünyesine alır. Bu nedenle çapraz havalandırılabilen alanın derinliğinin bir sınırı vardır.</li> </ul>                                        |

**Çizelge 2.19:** Devamı.

| Doğal Havalandırma Çeşidi                                                                                             | Özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Baca Etkisi ile Havalandırma</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kirli ve sıcak hava yükselerek bacadan dışarı atılır.</li> <li>• Duvar açıklığının yüksekliğinin 5 katı derinliğe kadar etkilidir.</li> <li>• Çatıda bulunan rüzgâr kuleleri örnek verilebilir.</li> <li>• Hava mekânın bir tarafından girip karşı tarafından çıktığı için çapraz havalandırma ile benzerdir.</li> <li>• Hava yapının tüm genişliği boyunca akabilir. Kenarlardan ortaya akarak merkezi bir baca veya atriyum aracılığıyla dışarı atılabilir.</li> </ul> |

Doğal havalandırma rüzgâr kepçesi, rüzgâr kulesi, rüzgâr bacası, çift cephe, atriyum, havalandırma odası, gömülü kanallar, duvar boşlukları yardımıyla yapılabilir **Çizelge 2.20.** Bu elemanlar hava girişi ve çıkışı sağlamalarına göre birbirinden ayrılır.

**Çizelge 2.20:** Doğal Havalandırma Elemanları [Kleiven,2003'den uyarlama].

| Havalandırma Elemanı | Havalandırma Çeşidi |        |                 | Hava Girişi Sağlama | Hava Çıkışı Sağlama |
|----------------------|---------------------|--------|-----------------|---------------------|---------------------|
|                      | Tek Taraflı         | Çapraz | Baca Etkisi ile |                     |                     |
| Rüzgâr Kepçesi       |                     | •      | •               | •                   |                     |
| Rüzgâr Kulesi        |                     | •      | •               |                     | •                   |
| Rüzgâr Bacası        |                     | •      | •               |                     | •                   |
| Çift Cephe           | •                   | •      | •               | •                   | •                   |
| Atriyum              | •                   | •      | •               | •                   | •                   |
| Havalandırma Odası   |                     | •      | •               | •                   | •                   |
| Gömülü Kanallar      |                     | •      | •               | •                   |                     |
| Duvar Boşlukları     | •                   | •      | •               | •                   | •                   |

Öztürk, doğal havalandırmanın etkin sağlanabilmesi için;

- Sıcak ve nemli iklimlerde yapı içinde serinlik sağlayabilmek için maksimum hava hızını; sıcak ve kuru iklimlerde özellikle sıcaklığın düşük olduğu gecelerde maksimum hava akışı sağlanarak yapının soğutulmasını,
- Topografya, bitki örtüsü, çevre yapılar kullanılarak rüzgârdan yönlendirilerek faydalanılmasını,
- Yapının arazideki konumlandırılmasının maksimum rüzgâr alacak şekilde yapılmasını,
- Yapının uzun cephesinin (kapı ve pencerelerin yoğun olduğu cephe) yaz rüzgarının egemen olduğu yöne konmasını,
- Pencerelerin karşılıklı duvarlara yapılmasını,
- Tek dış duvarı olan mekânlarda büyük pencere yapılmasını,
- Açıklıklar arasındaki yükseklik farkının artırılmasını,
- Hava giriş açıklığının küçük, çıkış açıklığının büyük yapılarak giriş hızı büyük bir hava akımı elde edilmesini,
- Kare kesitli veya düşey pencereler yerine yatay pencerelerin tercih edilmesini,
- Açıklığı ayarlanabilir pencerelerin kullanımını,
- Donatıların hava akımını engellemeyecek şekilde yerleştirilmesini ve
- Düşey hava bacaları gibi çözümlerin uygulanmasını önermektedir [Öztürk vd., 2005].

### 2.5.2. Yapay Havalandırma Sistemi

Yapay havalandırma, fanlar ve üfleyiciler kullanarak, dış havanın içeri alınması veya iç havanın dışarı atılması için özel olarak tasarlanmış sistemler aracılığıyla gerçekleştirilir [Öztürk vd., 2005] Çizelge 2.21. Sağlık yapılarında hijyen; yüksek katlı ve eğitim yapılarında güvenlik nedeniyle doğal havalandırma yapılamamaktadır.

Yapay havalandırma:

- Doğal hava girişi ve yapay hava çıkışı sağlanarak,
- Yapay hava girişi, doğal hava çıkışı sağlanarak,
- Dengeli havalandırma olarak tanımlanan, yapay hava girişi ve yapay hava çıkışı sağlanarak üç şekilde yapılabilir.

Kullanıcı; küf, toz kirliliği, polen alerjisi sorunu yaşıyorsa yapay havalandırma ile çözüm sağlayabilir. Dışarıdan gelen sese karşı koruma, düzenli hava değişimi nedeniyle iyi oda iklimi, ısı geri kazanımı ile ısı maliyeti azaltma, küfe karşı koruma, merkezi ayarlama sistemi yapay havalandırma sisteminin avantajlarıdır [Küçük, 2019]. Yapay havalandırma sürekli bir hava hareketi sağlayarak iç mekân hava kalitesinin kontrollü olarak takip edilmesini sağlar. Ancak fanlardan gelen ses, kullanıcı konforunu olumsuz etkileyebilir. Ayrıca doğal havalandırma gibi maliyet etkin bir çözüm sunmaz. Bakım ve kullanım masrafı vardır. Eski yapılarda kurulumu vakit gerektirmektedir.

**Çizelge 2.21: Yapay Havalandırma Bileşenleri [Darçın, 2008; Işık, 2014'ten uyarlama].**

| <b>Yapay Havalandırma Bileşeni</b>      | <b>Kullanım Amacı</b>                                                                                             |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dış hava kapakları ve denetim aygıtları | Aspiratörler dış hava kapaklarına bağlıdır. Dış atmosfer havası iç mekâna buradan alınır veya çıkarılır.          |
| Aspiratörler/Fanlar                     | Dış mekân havasını sistem içine almak için kullanılır.                                                            |
| Kanallar                                | İklimlendirilmiş havanın kullanım mekânlarına veya kullanılmış kirli hava dış ortama atılması için kullanılır.    |
| Menfezler                               | Havanın mekâna istenilen miktarda ulaşmasını veya toplanmasını sağlamak için kullanılır.                          |
| Filtreler                               | Mekâna gönderilecek havanın temizlenmesi veya mekândan atılan havadaki kirlleticilerin tutulması için kullanılır. |
| Ses yutucular                           | Yalıtım ile kanallar kaplanarak veya susturucuların kanala bağlanmasıyla sesin azaltılması sağlanır.              |
| Sıcaklık değiştiriciler                 | İç ortama verilecek havanın uygun sıcaklıkta olması için kullanılır.                                              |
| Nem süzme tavaları                      | Soğutma biriminden geçen havanın sıcaklığı düşerek oluşan suyun toplanması için kullanılır.                       |
| Nemlendiriciler                         | Dış atmosfer havasının çok kuru olması durumunda kullanılır.                                                      |
| Vantilatörler                           | Filtre edildikten sonra sıcaklığı ve nem oranı ayarlanan havanın kanallara gönderilmesi için kullanılır.          |
| Hava ayar kapakları                     | Havanın mekâna istenilen miktarda ulaşmasını veya toplanmasını sağlamak için kullanılır. Kısıp açılabilir.        |
| Karıştırma birimi                       | Mekân içinden emilen kullanılmış hava ile temiz havanın bulunduğu bölümdür.                                       |
| Algılayıcılar                           | İç mekân hava kalitesini ölçmek için kullanılır. Sıcaklık, nem, kirlitici konsantrasyonu vb. ölçülebilir.         |

### 2.5.3. Karma Havalandırma Sistemi

Yapıların gereksinimine göre yapay havalandırma sistemleri ve doğal havalandırma birlikte kullanılabilir. Bu yöntemlerin etkin bir şekilde kullanılması için geliştirilen sistemlere yapı otomasyon sistemleri adı verilmektedir [Darçın, 2008]. Otomasyon sistemleri ile yönetilen yapılara akıllı yapı adı verilmektedir.

20. yüzyılda yapay havalandırma ve iklimlendirme sistemleri egemen olmuştur. Bu sistemlerin çoğu istenen iç mekân hava kalitesini sağlayamamaktadır. Araştırmalar, Sağlıksız Bina Sendromu'nun yapay olarak havalandırılan yapılarda daha yaygın olduğunu göstermiştir. Ayrıca yapay havalandırma sistemlerinin bileşenleri kirlilik kaynağı olarak görülmüştür. Bu nedenle daha basit ve daha az enerji tüketen çözümlere yönelinmiştir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde doğal havalandırma sistemlerindeki hava akışları kontrol ve tahmin edilmeye başlanmıştır. Son yıllarda hem doğal hem yapay havalandırma teknolojilerini birleştiren sistemler geliştirilmiştir. En tipik örnek doğal havalandırmanın yetersiz olduğu durumlarda hava yoluna yardımcı olan fanların kullanımıdır [Kleiven, 2003].

Karma havalandırma sistemleri; karışık modlu ve hibrit havalandırma olarak ikiye ayrılır:

- Karışık modlu (mixed mode) havalandırma sistemleri eşzamanlı olarak çalışabilir. Yapay olarak havalandırılan bir mekânda açılır pencerelerin bulunduğu mekânlar örnek verilebilir. Ayrıca doğal ve yapay havalandırma sistemleri ihtiyaca göre alternatif olarak mevcut ve kullanılabilir durumda olmasına rağmen aynı anda çalışmaları gerekmemektedir. Mevsim geçişleri, geceleri havanın sıcaklığının düşmesi nedeniyle kullanımı gerekebilir. Pencere dedektörleri yardımıyla pencereler açıldığında yapay havalandırma cihazları kapatılabilir.
- Hibrit sistemlerin doğal havalandırmadan farkı enerji tüketimini en aza indirmek için doğal ve mekanik modlar arasında otomatik olarak geçiş yapabilen akıllı bir kontrol sistemine sahip olmasıdır. Isıtma ve soğutma mevsimlerinde yapay olarak havalandırılan ve ara mevsimlerde doğal olarak havalandırılan alanlar örnek verilebilir [Kleiven, 2003].

### 3. İÇ MEKÂN HAVA KALİTESİ KAPSAMINDA KULLANILAN SİMÜLASYON ARAÇLARI

İç mekân hava kalitesi kapsamında yapı sistemi, yapıyı inşa etmek için kullanılan malzemeleri, kullanıcıların ve ziyaretçilerin yapıya getirdikleri malzemeleri, kullanıcıların yapı içindeki faaliyetlerini ve ‘ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) ve hava filtreleme sistemlerini’ içermektedir [Yan, Song vd., 2008]. Kullanım aşamasında ortaya çıkan tüm bu faktörleri değerlendirmek için tüm bu faktörleri aynı anda hesaba katabilen tasarım araçlarını gerektirmektedir. Bu değerlendirme için çeşitli simülasyon araçlarından yararlanılmaktadır.

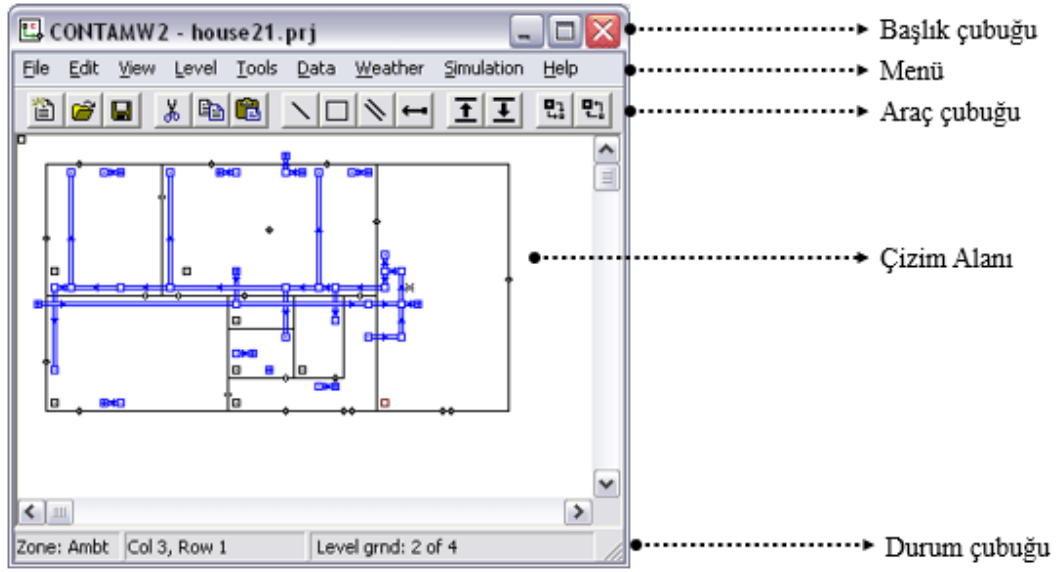
Tez çalışması kapsamında 4 adet iç mekân hava kalitesi simülasyon aracı incelenecektir. Bu simülasyon araçları erişim kolaylığı ve sundukları farklılıklar nedeni ile tercih edilmiştir.

- ABD’de geliştirilen Contam,
- Kanada ile Asya’da geliştirilen Modelica,
- Kanada’da geliştirilen IA-Quest yazılımları iç mekân hava kalitesini simüle etmek için uluslararası ölçekte kullanılmaktadır.
- EPA tarafından geliştirilen IAQX (Simulation Tool Kit for Indoor Air Quality and Inhalation Exposure) simülasyon aracı da uluslararası ölçekte kullanılmaktadır.

#### 3.1. Contam Simülasyon Aracı

CONTAM, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsünde hükümet çalışanları tarafından geliştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Kanunu uyarınca yazılım telif hakkı korumasına tabi değildir ve kamu malıdır. Yazılım, herhangi bir çalışmanın ondan türetildiğine dair bir bildirim taşıması ve herhangi bir sürümün değiştirildiğine dair bir bildirim taşıması koşuluyla değiştirilebilir [NIST, 2020].

CONTAM’ın yapılarda hava akışı ve kirletici madde yayılımı alanında kullanılması amaçlanmaktadır. Yazılım, bir yapıdaki hava akışlarını ve kirletici madde geçişini hesaplamak için kullanılan bir metodolojidir. Hesaplamalar, gerçek yapıların basitleştirilmiş bir modeline dayanmaktadır.

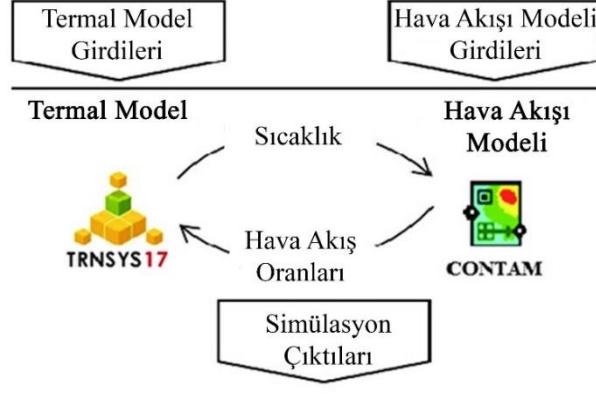


**Şekil 3.1:** CONTAM Yazılımının Arayüzü [WEB 6, 2025].

İç mekân hava akışını veya kirletici madde geçişini analiz etmek için Contam kullanımı beş farklı adım içermektedir:

1. Yapı İdealleştirme: Yapının bir idealleştirmesi veya belirli bir modelini oluşturma,
2. Şematik Temsil: Yapı bileşenlerini çizmek için ContamW SketchPad'i kullanarak idealleştirilmiş yapının şematik bir temsili oluşturmak,
3. Yapı Bileşenlerini Tanımlamak: SketchPad'de temsil edilen yapı bileşenlerinin her biri ile ilişkili verileri toplamak ve girmek,
4. Simülasyon: Yapmak istenilen analiz türünü seçip simülasyon parametrelerini ayarlayıp simülasyonu oluşturmak,
5. Sonuçları Kaydetme: Simülasyonun sonuçlarını gözden geçirip sonuçların seçilen kısımlarını kaydetmek.

Contam TRNSYS ile entegre olabilmektedir. TRNSYS geçici sistemlerin davranışını simüle etmek için kullanılan esnek, grafik tabanlı bir yazılım ortamıdır. TRNSYS iki bölümden oluşmaktadır. İlki, girdi dosyasını okuyan ve işleyen, sistem değişkenlerini çizen bir motordur. TRNSYS'nin ikinci bölümü, her biri sistemin bir bölümünün performansını modelleyen kapsamlı bir bileşen kitaplığıdır. Bu kitaplık, pompalar, yapılar, rüzgar türbinleri, hava durumu veri işlemcileri, HVAC ekipmanlarından oluşan 150 model içermektedir. Modeller, kullanıcıların mevcut bileşenleri değiştirebileceği veya kendi bileşenlerini yazabileceği şekilde oluşturulmaktadır [TRNSYS, WEB 7, 2025].



**Şekil 3.2: CONTAM-TRNSYS ilişkisi [Khalifa vd., 2016'den uyarılama].**

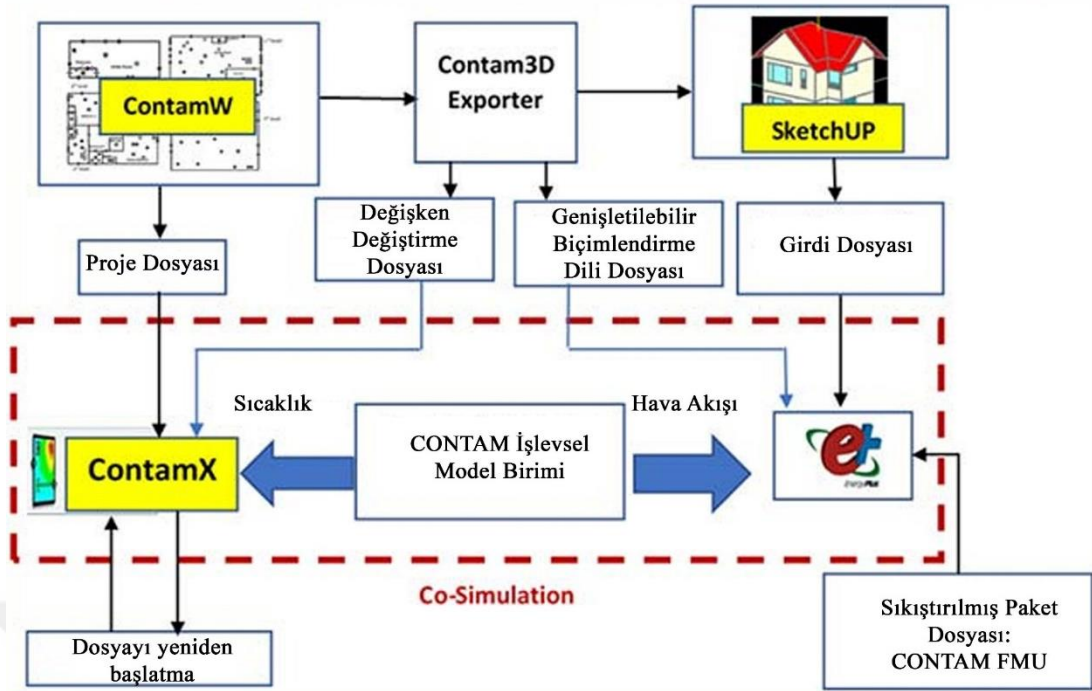
Contam Energy Plus ile de entegre olabilmektedir. Energy Plus mühendislerin, mimarların ve araştırmacıların hem enerji tüketimini (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma yükleri için) hem de yapılarda su kullanımını modellemek için kullandıkları bütün bir yapı enerji simülasyon programıdır [Energy Plus, WEB 8, 2025]. Hava akışı ve ısı transferi simülasyonları gerçekleştirmek için CONTAM EnergyPlus ile birleştirilebilir [NIST, 2020].

Energy Plus'tan Contam'a;

- Bölge sıcaklıkları,
- Havalandırma sistemi hava akış hızları,
- Dış hava akışı kontrolörlerinin dış hava akışı fraksiyonları,
- Egzoz fanı hava akış oranları,
- Enerji geri kazanım fanı hava akış oranları,
- EnergyPlus hava durumu (.epw) dosyalarından elde edilen sıcaklık, barometrik basınç, rüzgar hızı ve rüzgar yönü dahil olmak üzere dış ortam verileri aktarılmaktadır.

Contam'dan EnergyPlus'a;

- Bölge hava akış oranları,
- Hava akış yolları aracılığıyla elde edilen bölgeler arası hava akış hızları,
- CONTAM kontrol ağı yoluyla açığa çıkan kontrol değerleri, (örneğin, yüksek kirletici seviyesi nedeniyle havalandırma hava akışını çağıran bir sinyal) aktarılmaktadır.



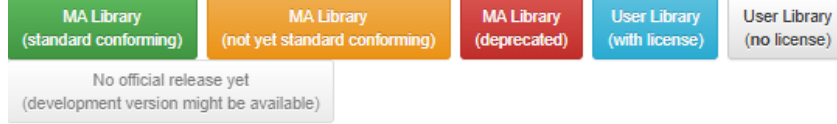
Şekil 3.3: CONTAM-Energy Plus İlişkisi [Heibati vd., 2019'den uyarlama].

### 3.2. Modelica Simülasyon Aracı

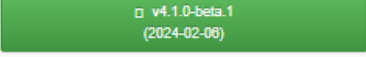
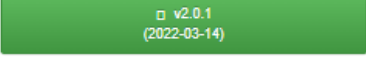
Modelica yapı enerji ve kontrol sistemlerinin araştırma ve geliştirmesini desteklemek için geliştirilmiştir. Birincil uygulamalar, kontrol tasarımı, enerji analizi ve model tabanlı çalışmadır. Kanada ve Asya ülkeleri tarafından geliştirilmiştir.

Modellemeyi kolaylaştırmak için matematiksel denklemler tarafından yönetilen bileşenlerin bağlantısını destekleyen bir dildir. Modellerin yeniden kullanımını kolaylaştıran nesne yönelimli yapılar sağlamaktadır ve mekanik, elektrik, elektronik, manyetik, hidrolik, termal, kontrol, elektrik gücü veya süreç yönelimli alt bileşenler içeren karmaşık sistemleri modellemek için rahatlıkla kullanılabilir [Modelica, 2023]. Modelica'nın internet sitesinde birçok ücretsiz kitaplık bulunmaktadır. Siteden önceki sürümlere de ulaşılabilir. Yazılım için yazılmış kitaplara ve ders verilen üniversitelerin bilgilerine erişilebilir.

Colour-code for download buttons:



#### Standard conforming libraries developed by the MA

| Name                                    | Description                                                                                                                                                                                                                                                            | Last Release                                                                                                     | Last Active |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <a href="#">ModelicaStandardLibrary</a> | Free (standard conforming) library to model mechanical (1D/3D), electrical (analog, digital, machines), magnetic, thermal, fluid, control systems and hierarchical state machines. Also numerical functions and functions for strings, files and streams are included. |  v4.1.0-beta.1<br>(2024-02-06) | 2025-01-08  |
| <a href="#">VehicleInterfaces</a>       | Free (standard conforming) library for interface definitions and architectures for vehicle system modeling                                                                                                                                                             |  v2.0.1<br>(2022-03-14)        | 2024-10-06  |

#### Other libraries developed by the MA

| Name                                | Description                                            | Last Release                                                                           | Last Active |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <a href="#">Modelica-Compliance</a> | A semantics compliance suite for the Modelica language |  N/A | 2024-12-21  |

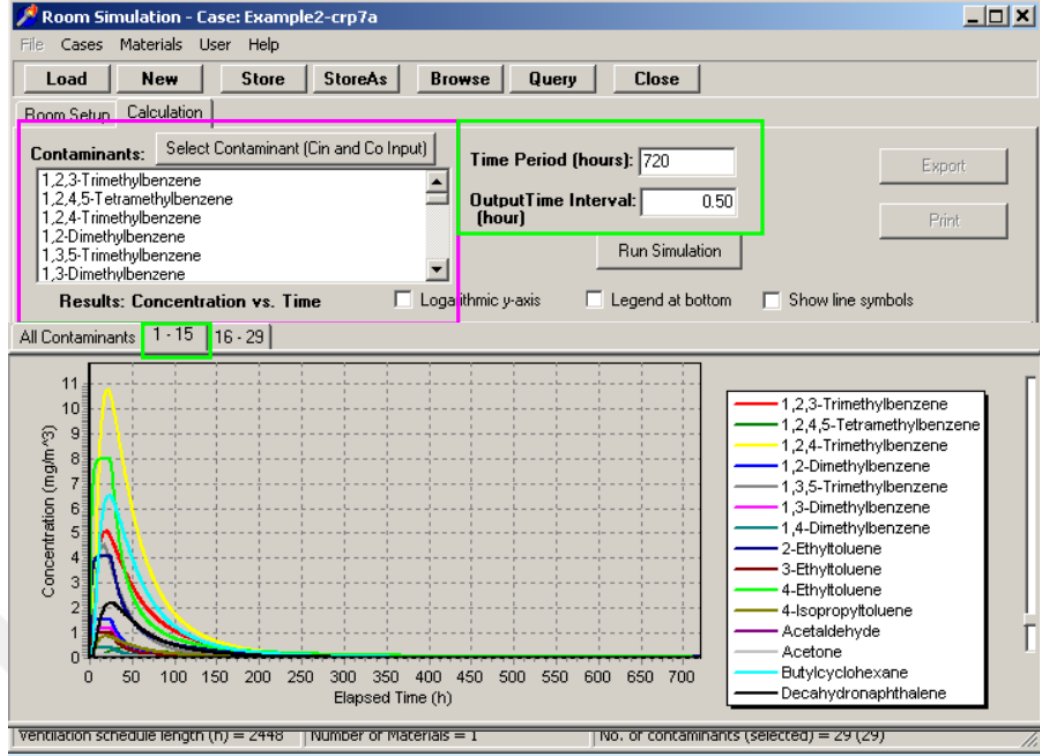
Şekil 3.4: Modelica Kütüphaneleri [Modelica Kütüphanesi, WEB 9, 2025].

### 3.3. IA-Quest Simülasyon Aracı

IA-Quest (Indoor Air Quality Emission Simulation Tool, İç Mekân Hava Kalitesi Emisyon Simülasyon Aracı) malzemelerin düşük emisyonlara göre seçilmesine olanak tanıyan bir malzeme veri tabanı ve bunların ölçülen emisyonlarını içermektedir. Ayrıca araç, yapı malzemeleri ve mobilyalardan uçucu organik bileşiklerin (VOC) emisyonunu tahmin ederek, düşük emisyonlu malzemelerin ve etkili havalandırma stratejilerinin IAQ üzerindeki etkisini ölçmeye yardımcı olmaktadır. Kanada’da geliştirilmiştir.

IA-Quest kullanıcıları:

- Çeşitli yapı malzemeleri için ölçülen emisyon özelliklerinin bir veritabanına göz atabilir, veritabanını sorgulayıp arayabilir,
- Modellenen kimyasalların özelliklerine ve varsa sağlık etkilerine göz atabilir,
- Kullanılan malzeme miktarına ve havalandırma oranlarına göre seçilen malzemelerin VOC emisyon etkisini değerlendirmek için simülasyonlar yapabilir,
- Emisyon özellikleri ve simülasyon sonuçları hakkında raporlar oluşturabilirler [NRCC, WEB 10, 2025].



Şekil 3.5: IA-Quest Yazılımının Arayüzü [Won, 2008].

IA-Quest yazılımı veritabanı ve simülasyon bileşeni olmak üzere 2 bölümden oluşmaktadır:

- Veritabanı, Kanada'da yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden sağlıklı ilgili hedef uçucu organik bileşikler (VOC) hakkında bilgi sağlamaktadır.
- Simülasyon bileşeni, havalandırma hızı ve programı bilinen bir odada o alanda bulunan malzemelerden kaynaklanan emisyonlar nedeniyle oluşabilecek kirlenici konsantrasyonlarını hesaplamaktadır. Malzemelerin emisyon özellikleri, program içindeki veri tabanından elde edilmektedir. [NRCC, WEB 10, 2025].

Kullanıcılar, yapı malzemelerinden kaynaklanan kimyasalların iç hava konsantrasyonlarını simüle etmek için aşağıdaki bilgilere sahip olması gerekir:

- Mekânın hacmi,
- Havalandırma hızı ve programı,
- Malzemeler (veritabanından seçilmiş),
- Her malzeme için; maruz kalan/yayan yüzey alanı,
- Simülasyon süresi [NRCC, WEB 10, 2025].

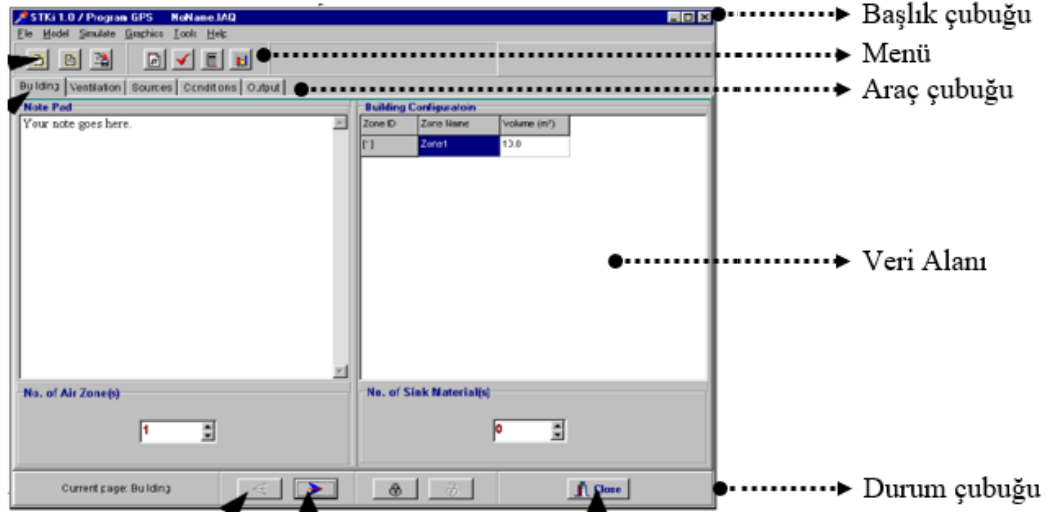
### 3.4. IAQX Simülasyon Aracı

IAQX (Simulation Tool Kit for Indoor Air Quality and Inhalation Exposure, İç Mekân Hava Kalitesi ve Soluma Maruziyeti için Simülasyon Araç Kiti) Microsoft Windows tabanlı bir iç mekân hava kalitesi simülasyon aracıdır.

IAQX kirlotici konsantrasyonunu hesaplayan geleneksel iç mekân hava kalitesi simülasyonlarını gerçekleştirmenin yanı sıra, IAQX belirli hava kalitesi kriterlerinin karşılanması gerektiğinde yeterli havalandırma oranını tahmin edebilir.

Programın içerdığı çıktıları:

- Ürün formülasyonuna dayalı olarak solvent bazlı iç mekân kaplama malzemelerinden uçucu organik bileşik (VOC) emisyonlarının tahmin edilmesi,
- İç mekân solvent dökülmeleri,
- Halıdan kaynaklanan VOC emisyonları,
- Partikül madde [EPA, 2000].



Şekil 3.6: IAQX Yazılımının Arayüzü [EPA, 2000].

### 3.5. Simülasyon Araçlarının Kıyaslanması

İç mekân hava kalitesi kapsamında incelemek üzere dört adet simülasyon aracı seçilmiştir. Bu araçların her birinin güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır **Çizelge 3.1**. Contam ile 2D çizim yapılabilir. TRNSYS ve Energy Plus ile entegrasyon sağlanabilir. Modelica en geniş kütüphaneye sahiptir. IA-Quest'te malzemelerin veritabanı bulunmaktadır. Contam, IA-Quest ve IAQX'in kılavuzu programın nasıl kullanılacağını açıklamaktadır.

Tez kapsamında yapılacak çalışmada Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok yapısı simüle edilecektir. Yapının zemin katındaki dersliklerin ve konferans salonunun iç mekân hava kalitesi analiz edilecektir. İncelenen tüm simülasyon araçları ile iç mekân hava kalitesi simüle edilebilir. Ancak seçilen yapıdaki mekânların birbiri ile hava akışının ve ilişkisinin de modellenmesi için Contam simülasyon aracının kullanılmasına karar verilmiştir. Contam simülasyon aracı sayesinde mekân iki boyutlu olarak kurgulanacaktır ve dersliklerin arasında bulunan mekânlar da modele entegre edilerek daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi sağlanacaktır. Çünkü mekânların kendi içlerindeki malzemeler ve kirletici konsantrasyonları kadar birbirleri ile olan ilişkileri ve hava akışları da simülasyon sonuçlarında önem arz etmektedir.

**Çizelge 3.1:** İç Mekân Hava Kalitesi Kapsamında Kullanılan Simülasyon Araçlarının Kıyaslanması.

|                                      | CONTAM                    | MODELICA                | IA-Quest | IAQX     |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------|----------|
| Ülke/Kurum                           | ABD                       | Kanada ve Asya ülkeleri | Kanada   | EPA      |
| Ücretli/<br>Ücretsiz                 | Ücretsiz                  | Ücretsiz                | Ücretsiz | Ücretsiz |
| Programda 2D<br>çizim<br>yapılabilir | 2D çizim<br>yapılmaktadır | -                       | -        | -        |
| Kılavuz                              | +                         | +                       | -        | +        |

## 4. GTÜ MİMARLIK BÖLÜMÜ N BLOK YAPISININ İÇ MEKÂN HAVA KALİTESİ SİMÜLASYONU VE DEĞERLENDİRMESİ

Tez çalışması kapsamında kullanılan CONTAM simülasyon programının akış şeması **Şekil 4.1**'de şematize edilmiştir. CONTAM simülasyon programıyla GTÜ (Gebze Teknik Üniversitesi) Mimarlık Bölümü N Blok yapısı simüle edilmiştir **Şekil 4.2**. İç mekân hava kalitesi simülasyonunda Contam simülasyon aracı kullanılmıştır. Yapının zemin katında bulunan konferans salonu ve beş adet derslik simüle edilmiştir. Yapının seçiminde;

- Erişim kolaylığı,
- Farklı doğal havalandırma çeşitlerine sahip dersliklere sahip olması,
- Farklı işlevlere ve boyutlara sahip mekânlara sahip olması belirleyici olmuştur.

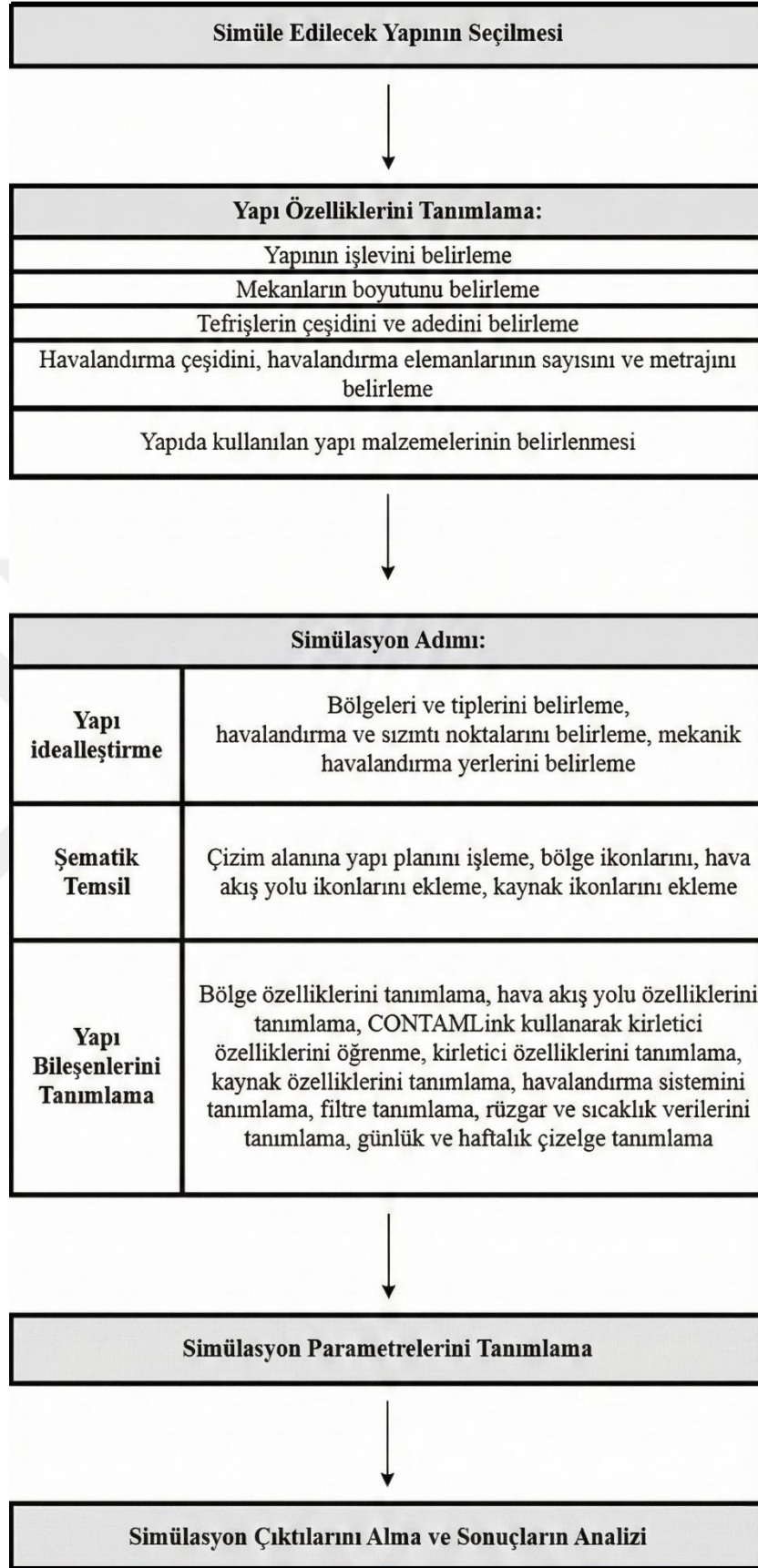
Contam simülasyon aracı ile yapının iki boyutlu planı oluşturulabilmektedir. Bu sayede plan üzerine yapı ile ilgili bilgiler işlenebilmektedir. Diğer simülasyon araçlarından daha işlevsel olacağı için Contam simülasyon aracı ile tercih edilmiştir.

Yapı simüle edilirken Contam simülasyon aracında kullanılan girdiler:

- Bina geometrisi ve topolojisi
- Hava akışı verileri
- Termal veriler
- Kirleticilerle ilgili veriler
- Zamanlama (çizelge) ile ilgili verdilerdir.

Simülasyon sonucu elde edilecek çıktılar ise:

- Rüzgar, hava akışı ve basınç çıktıları,
- Kirletici çıktılarıdır.



**Şekil 4.1:** CONTAM Simülasyon Programının Akış Şeması.



**Şekil 4.2:** Contam Simülasyon Aracı ile Simüle Edilen GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Binası [WEB 13, GTÜ, 2025].

#### **4.1. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısının Künyesi ve Özellikleri**

GTÜ (Gebze Teknik Üniversitesi) Mimarlık Bölümü yapısı Kocaeli ili, Gebze ilçesinde bulunmaktadır. Kampüs içerisinde “N Blok” olarak adlandırılmıştır **Şekil 4.3**. Yapı, mevcut Mimarlık Bölümü yapı birimlerinin oluşturduğu "Mimarlık Sokağı"na eklemlendirilmiştir [WEB 13, GTÜ, 2025]. Proje künyesi çizelgede belirtilmiştir **Çizelge 4.1**.

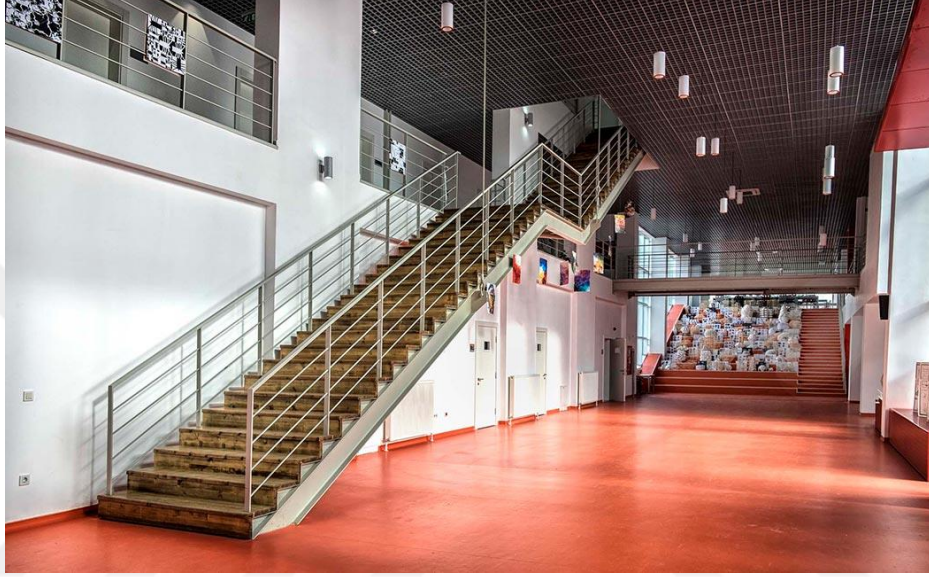


**Şekil 4.3:** GTÜ Mimarlık Bölümü (N Blok) Kampüs Yerleşimi [WEB 13, GTÜ, 2025].

**Çizelge 4.1:** GTÜ Mimarlık Bölümü Proje Künyesi [WEB 13, GTÜ, 2025 ve WEB 14, 2025].

|                           |                                                                                                                                      |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Proje Adı</b>          | Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü                                                                                            |
| <b>Mimari Tasarım</b>     | Ayla Ayyıldız Potur, Kutlu Sevinç Kayıhan, Cahide Aydın İpekçi, Göksun Akyürek Altürk, Ceren Bayazitoğlu, Nurşah Serter, Buket Metin |
| <b>Kontrol</b>            | GTÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı                                                                                           |
| <b>Projelendirme Yılı</b> | 2011                                                                                                                                 |
| <b>Yapım Yılı</b>         | 2015                                                                                                                                 |
| <b>Yüklenici Firma</b>    | Gülbüz İnşaat                                                                                                                        |
| <b>Proje Yeri</b>         | Gebze Teknik Üniversitesi Çayırova Kampüsü                                                                                           |
| <b>İnşaat Alanı</b>       | 4.892 m <sup>2</sup>                                                                                                                 |

İç mekânda turuncu hol ile bir ana omurga oluşturularak sergileme alanı tasarlanmıştır. **Şekil 4.4.** Sirkülasyon ekseni bu omurga üzerinden kurgulanmıştır. Eksene eklenilen ofis ve derslikler arasında görsel ve fiziksel süreklilik sağlanmıştır. Turuncu hol ana tasarım stüdyosuna amfi merdiven ile bağlanmıştır. Amfi merdivende jüriler, konferans ve sunumlar gerçekleştirilmektedir. Yapının da mimarlık eğitiminin önemli bir bileşeni olduğu düşünülerek bazı bölümlerde mekanik tesisat ve taşıyıcı strüktür, asma tavan gibi bileşenlerle kapatılmamıştır.

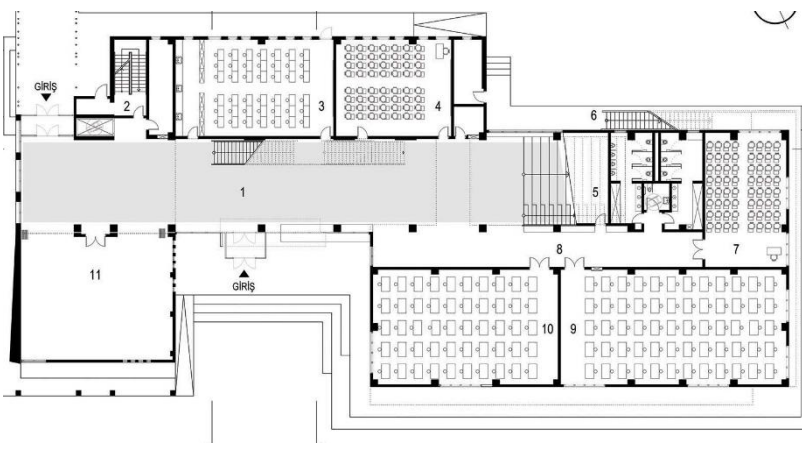
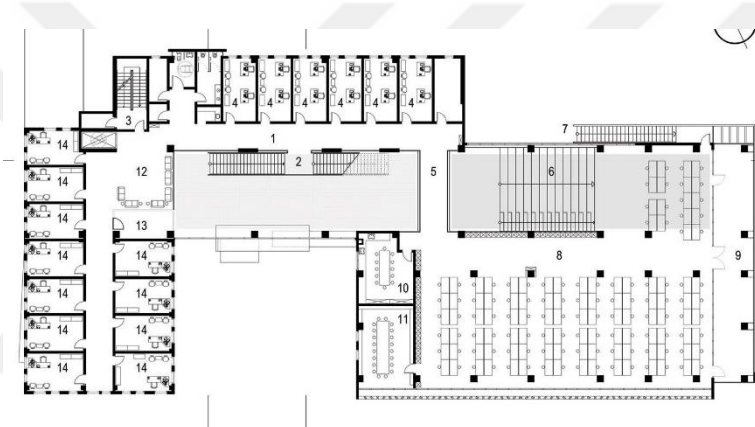


**Şekil 4.4:** GTÜ Mimarlık Bölümü (N Blok) Turuncu Hol ve Amfi Merdiven [WEB 14, 2025].

Yapının,

- Zemin katında konferans salonu, çizim atölyeleri, derslikler, sergileme alanı, ıslak hacimler ve teknik birimler,
- 1. katında akademik personel odaları, ana tasarım stüdyosu, maket atölyesi, teknik birimler ve ıslak hacimler,
- 2. katında ise idari personel odaları, teknik birimler, toplantı odası ve ıslak hacimler yer almaktadır **Çizelge 4.2.**

**Çizelge 4.2: GTÜ Mimarlık Bölümü Yerleşim Planı [WEB 15, Arkiv, 2025].**

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Zemin Kat Yerleşim Planı</b></p> |  <ul style="list-style-type: none"> <li>1 SERGİ HOLÜ</li> <li>2 YANGIN MERDİVENİ</li> <li>3 UYGULAMALI LİSANS DERSLİĞİ</li> <li>4 LİSANS DERSLİĞİ</li> <li>5 ARŞİV</li> <li>6 DIŞ MEKAN YANGIN MERDİVENİ</li> <li>7 LİSANS DERSLİĞİ</li> <li>8 DERSLİK KORİDORU</li> <li>9 ÇİZİM ATÖLYESİ</li> <li>10 ÇİZİM ATÖLYESİ</li> <li>11 KONFERANS SALONU</li> </ul>                                                                                                        |
| <p><b>1. Kat Yerleşim Planı</b></p>    |  <ul style="list-style-type: none"> <li>1 KORİDOR</li> <li>2 ÇELİK KONSTRÜKSİYON MERDİVENİ</li> <li>3 YANGIN MERDİVENİ</li> <li>4 ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ ODASI</li> <li>5 AHŞAP KAPLAMA KÖPRÜ</li> <li>6 AMFİ MERDİVENİ</li> <li>7 DIŞ MEKAN YANGIN MERDİVENİ</li> <li>8 LİSANS PROJE ATÖLYELERİ</li> <li>9 TERAS</li> <li>10 MAKET ATÖLYESİ</li> <li>11 KİTAPLIK</li> <li>12 DİNLENME ALANI</li> <li>13 FOTOKOPİ ODASI</li> <li>14 ÖĞRETİM ÜYESİ ODASI</li> </ul>    |
| <p><b>2. Kat Yerleşim Planı</b></p>    |  <ul style="list-style-type: none"> <li>1 YANGIN MERDİVENİ</li> <li>2 BÖLÜM BAŞKANI ODASI</li> <li>3 BÖLÜM BAŞKANI SEKRETERİ ODASI</li> <li>4 OFİS</li> <li>5 FAKÜLTE SEKRETERİ ODASI</li> <li>6 ÇAY OCAĞI</li> <li>7 KOKTEYL VB. KULLANIMLAR İÇİN TERAS</li> <li>8 ÖĞRENCİ İŞLERİ</li> <li>9 İDARİ OFİSLER</li> <li>10 ARŞİV-DEPO</li> <li>11 TOPLANTI ODASI</li> <li>12 DEKAN SEKRETERİ ODASI</li> <li>13 DEKANLIK ODASI</li> <li>14 DEKANLIK TERASI</li> </ul> |

## 4.2. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısında İç Mekân Hava Kalitesi İç Mekân Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi için Seçilen Mekânlar

Tez çalışması kapsamında Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nün zemin katındaki derslikler ve konferans salonu simüle edilecektir. Bu sınırlılığın oluşturulmasındaki sebepler;

- Zemin katta farklı havalandırma çeşitlerine sahip dersliklerin olması,
- Zemin kattaki dersliklerin boyutlarının farklı olması,
- Birim mekâna düşen kişi sayısının iç mekân hava kalitesine oranının belirlenmesi ihtiyacı,
- 1.katta bulunan açık amfinin simülasyon programı için duvarlarla sınır çizememesi sonucu kapsam dışı bırakılması,
- 1 ve 2. katta akademik ve idari personele ait mekânların boyut ve havalandırma açısından benzer niteliklere sahip olmasıdır.

Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde iç mekân hava kalitesi kapsamında saptanan sorunlar;

- Dersliklerin kendi işlevinden farklı olarak hem teorik hem de uygulamalı eğitim veren dersler için kullanılıyor olması,
- Derslik sayısının yeterli gelmemesi sonucu konferans salonunun teorik dersler için derslik olarak kullanılmaya başlanması,
- Uygulamalı derslerde öğrencilerin maket yaparken yapıştırıcı sprey ve jel malzemeler kullanmaları,
- Öğrenci sayılarının artışı nedeniyle sınıfların bazı durumlarda kapasitelerinin üzerinde kullanılıyor olmasıdır.

Zemin katta 5 adet derslik ve 1 adet konferans salonu bulunmaktadır. Bu mekânlar tez çalışması kapsamında D1, D2, D3, D4, D5 ve K (konferans salonu) olarak isimlendirilmiştir **Şekil 4.5**. Dersliklerin boyutu, kullanılan tefrişler, havalandırma çeşidi ve pencere sayısı **Çizelge 4.3**'te belirtilmiştir.



**Şekil 4.5:** GTÜ Mimarlık Bölümü (N Blok) Zemin Kat Simüle Edilecek Mekânlar [WEB 15, Arkiv, 2025'den uyarılama].

**Çizelge 4.3:** Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Mekân Özellikleri.

| Mekân İsmi | Mekân Boyutu      | Mekândaki Tefrişlerin Çeşidi ve Adedi                                 | Havalandırma Çeşidi                                               | Havalandırma Elemanı Sayısı ve Metraji                                                                                    |
|------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D1         | 87 m <sup>2</sup> | 33 adet sandalye ve masa, 2 adet beyaz tahta, 2 adet kara tahta       | Karışık Modlu Karma Havalandırma (Tek Taraflı Doğal H.+ Yapay H.) | -Pencereler: 5.1m, 15.3 m <sup>2</sup><br>-Kapı: 1.1 m, 3.3 m <sup>2</sup><br><br>Açılır kanat: 3.5 m ,7.9 m <sup>2</sup> |
| D2         | 76 m <sup>2</sup> | 67 adet sandalye, 30 adet masa, 2 adet beyaz tahta, 2 adet kara tahta | Karışık Modlu Karma Havalandırma (Tek Taraflı Doğal H.+ Yapay H.) | -Pencereler: 5.4m, 16.2 m <sup>2</sup><br><br>Açılır kanat: 2.4 m ,4.6 m <sup>2</sup>                                     |
| D3         | 75 m <sup>2</sup> | 72 adet sandalye, 30 adet masa, 2 adet beyaz tahta, 2 adet kara tahta | Karışık Modlu Karma Havalandırma (Çapraz Doğal H.+ Yapay H.)      | -Pencereler: 6.15m, 18.45 m <sup>2</sup><br><br>Açılır kanat: 3.2 m ,3.9 m <sup>2</sup>                                   |

\*H:Havalandırma

**Çizelge 4.3: Devamı.**

| Mekân İsmi | Mekân Boyutu       | Mekândaki Tefrişlerin Sayısı ve Adedi                                                                                     | Havalandırma Çeşidi                                          | Havalandırma Elemanı Sayısı ve Metraji                                                                                                                     |
|------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D4         | 178 m <sup>2</sup> | 86 adet sandalye, 78 adet masa, 4 adet açık raflı dolap, 2 adet beyaz tahta, 2 adet kara tahta                            | Karışık Modlu Karma Havalandırma (Çapraz Doğal H.+ Yapay H.) | -Pencereler: 12.3m, 36.9 m <sup>2</sup><br>Açılır kanat: 6.4 m ,7.7 m <sup>2</sup>                                                                         |
| D5         | 146 m <sup>2</sup> | 58 adet sandalye, 55 adet masa, 7 adet açık raflı dolap, 1 adet kapalı raflı dolap, 2 adet beyaz tahta, 2 adet kara tahta | Karışık Modlu Karma Havalandırma (Çapraz Doğal H.+ Yapay H.) | -Pencereler: 6.9m, 20.7 m <sup>2</sup><br>Açılır kanat: 3.2 m ,3.9 m <sup>2</sup>                                                                          |
| K          | 158 m <sup>2</sup> | 151 adet sandalye, 1 adet masa, 1 adet kürsü, 1 adet kara tahta, 1 adet beyaz tahta                                       | Karışık Modlu Karma Havalandırma (Çapraz Doğal H.+ Yapay H.) | -2 adet tamamı açılır hareketli bölme duvar: 8.5 m, 25.5 m <sup>2</sup><br>-Pencereler: 6.6m, 19.8 m <sup>2</sup><br>Açılır kanat: 4 m, 9.4 m <sup>2</sup> |

\*H:Havalandırma

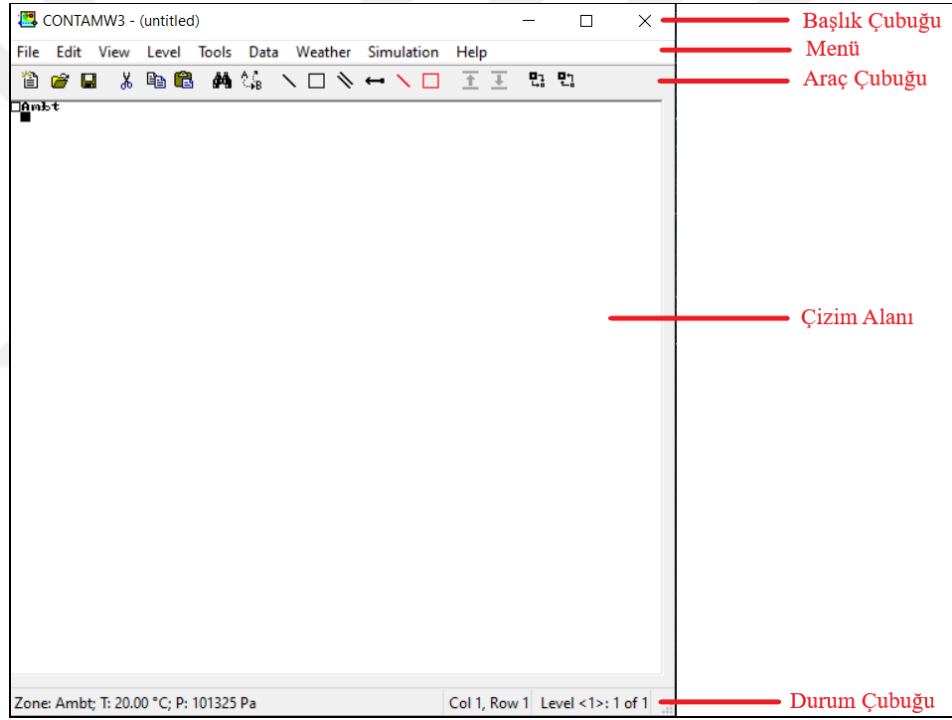
Dersliklerde kullanılan yapı malzemeleri **Çizelge 4.4**'te tespit edilmiştir. Zeminlerin tamamında yüksek aşınma dirençli 2 mm PVC (Polivinil Klorür) kaplama kullanılmıştır. Duvarların tamamına alçı sıva üzeri plastik iç mekân duvar boyası uygulanmıştır. D1, D2 dersliklerinde 60x60 cm boyutlarında akustik alüminyum asma tavan; D3, D4, D5 derslikleri ve konferans salonunda brüt beton tavan bulunmaktadır. Pencere ve kapı çerçeveleri alüminyum, içleri temperli cam ile üretilmiştir. Yapay havalandırma elemanları galvaniz çelikten imal edilmiştir. Dersliklerdeki sandalyeler lamine ahşap kaplama; masalar melamin kaplama ve çelik ayaklıdır. Dersliklerdeki yazı tahtaları laminat malzemedir. Dolaplar ve kürsü endüstriyel ahşaptan üretilmiştir. Konferans salonundaki sandalyeler plastik kaplama ve metal ayaklıdır.

**Çizelge 4.4:** Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok Yapısı Zemin Kat Derslikler ve Konferans Salonunda Kullanılan Yapı Malzemeleri.

| K                                                                                                       | D5                                                                                                                     | D4                                                                                                                     | D3                                                                                                                     | D2                                                                                            | D1                                                                                            | Mekân İsmi              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| PVC Kaplama                                                                                             | PVC Kaplama                                                                                                            | PVC Kaplama                                                                                                            | PVC Kaplama                                                                                                            | PVC Kaplama                                                                                   | PVC Kaplama                                                                                   | Zemin                   |
| Alçı sıva+ Plastik Boya                                                                                 | Alçı sıva+ Plastik Boya                                                                                                | Alçı sıva+ Plastik Boya                                                                                                | Alçı sıva+ Plastik Boya                                                                                                | Alçı sıva+ Plastik Boya                                                                       | Alçı sıva+ Plastik Boya                                                                       | Duvar                   |
| Brüt Beton                                                                                              | Brüt Beton                                                                                                             | Brüt Beton                                                                                                             | Brüt Beton                                                                                                             | Akustik Alüminyum Asma Tavan                                                                  | Akustik Alüminyum Asma Tavan                                                                  | Tavan                   |
| Plastik kaplama+ metal ayak sandalye, Melamin kaplama masa tablası+ çelik ayak, Endüstriyel ahşap kürsü | Lamine ahşap kaplama sandalye, Melamin kaplama masa tablası+ çelik ayak, Laminat yazı tahtası, Endüstriyel ahşap dolap | Lamine ahşap kaplama sandalye, Melamin kaplama masa tablası+ çelik ayak, Laminat yazı tahtası, Endüstriyel ahşap dolap | Lamine ahşap kaplama sandalye, Melamin kaplama masa tablası+ çelik ayak, Laminat yazı tahtası, Endüstriyel ahşap dolap | Lamine ahşap kaplama sandalye, Melamin kaplama masa tablası+ çelik ayak, Laminat yazı tahtası | Lamine ahşap kaplama sandalye, Melamin kaplama masa tablası+ çelik ayak, Laminat yazı tahtası | Tefrişler               |
| Alüminyum çerçeve+ temperli cam, Galvaniz çelik havalandırma kanalı                                     | Alüminyum çerçeve+ temperli cam, Galvaniz çelik havalandırma kanalı                                                    | Alüminyum çerçeve+ temperli cam, Galvaniz çelik havalandırma kanalı                                                    | Alüminyum çerçeve+ temperli cam, Galvaniz çelik havalandırma kanalı                                                    | Alüminyum çerçeve+ temperli cam, Galvaniz çelik havalandırma kanalı                           | Alüminyum çerçeve+ temperli cam, Galvaniz çelik havalandırma kanalı                           | Havalandırma Elemanları |

### 4.3. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısının Contam Simülasyon Aracı ile Analiz Edilmesi

Contam simülasyon aracı yapılardaki hava akışlarını, kirletici konsantrasyonlarını ve kullanıcıların kirleticilere maruziyetini belirlemek amacıyla kullanılır [NIST, 2020]. NIST, Contam için 340 sayfalık bir kullanım kılavuzu yayınlamıştır. Ayrıca programın resmi sitesinde programı tanıtan, kullanımına dair çeşitli bilgiler ve yönlendirmeler içeren videolar bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen simülasyon çalışması için söz konusu kılavuz ve videolardan yararlanılmıştır. Şekil 4.6’da Contam programının arayüzü tanıtılmıştır.



Şekil 4.6: Contam Simülasyon Aracı Arayüzü.

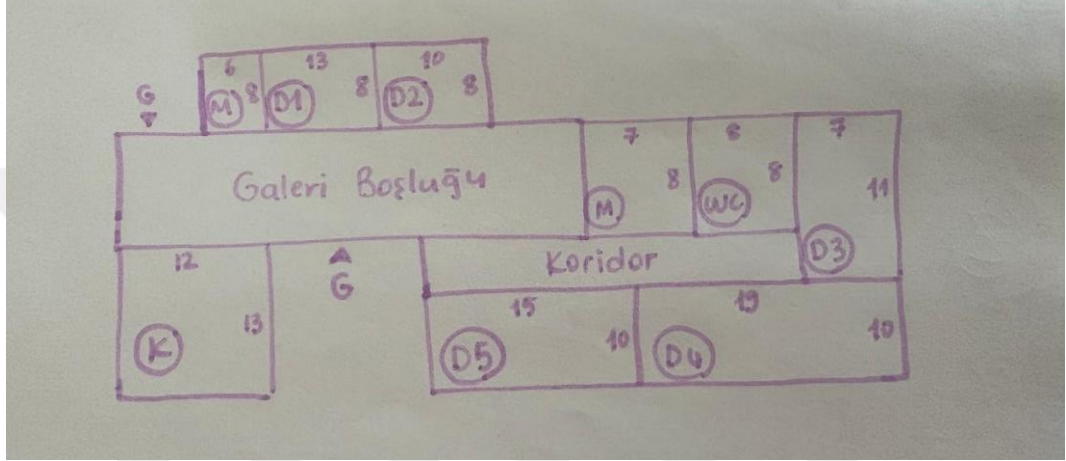
Contam’ da simülasyon yapılırken:

- Yapı idealleştirme,
- Şematik temsil,
- Yapı bileşenlerini tanımlama,
- Simülasyon,
- Sonuçları kaydetme adımları izlenmiştir.

Aşağıda bu adımlar sırasıyla detaylı olarak açıklanmaktadır.

#### 4.3.1. Yapı İdealleştirme Adımı

Simülasyonda birinci adım yapıyı idealleştirmektir **Şekil 4.7**. İdealleştirme kavramı yapıyı belirli bölgelere ayırma anlamına gelmektedir. Bir bölgenin iç mekân havası tavan, duvar ve zemin elemanları ile diğer hava hacimlerinden ayrılmıştır. Contam, bir bölgedeki havanın her noktada aynı sıcaklıkta olduğunu varsayar. Kirleticilerin de anlık olarak mekâna yayıldığını kabul eder. Baca etkisinin (stack effect) doğru bir şekilde modellenebilmesi için basıncın yükseklikle değiştiğini baz alır.



**Şekil 4.7:** Contam Simülasyon Aracındaki Birinci Adım: GTÜ Mimarlık Bölümü (N Blok) Zemin Kat Yapı İdealleştirme Adımı.

Contam’da dört farklı bölge tipi bulunmaktadır:

- Normal bölge: Her bir mahal normal bölge olarak isimlendirilir.
- Hayali bölge (Phantom zone): Bir seviyedeki alanın hemen altındaki seviyedeki normal bölgenin devamı olduğu belirtilmiş olur. Örneğin galeri boşluklarını modellemek için kullanılır.
- 1 Boyutlu (1D) Konveksiyon Bölgesi: Kirletici konsantrasyonlarının tanımlı bir eksen boyunca değişmesine izin verilen bir bölgeyi ifade eder. Örneğin merdiven ve koridorların tanımlanması için kullanılır.
- CFD Bölgesi: Yapının bir bölgesinin tamamı analiz edilirken CFD bölgesi tanımlanarak yalnızca bir bölge mikroskobik düzeyde analiz edilebilir.

İlk aşamada yapının bölgeleri, havalandırma ve sızıntı noktaları, yapay havalandırma bileşenlerinin bulunduğu noktalar belirlenmelidir. Hangi mekânın hangi bölge tipi olduğuna karar verilerek ikinci aşamaya geçilmelidir. Mekân kurgusu yapılırken tüm planın birlikte düşünülmesi önerilir.

GTÜ Mimarlık Bölümü zemin kat yerleşimi göz önüne alındığında derslikler ve konferans salonunun koridor ile olan hava alışverişi Contam için önemli bir veri sağlar. Çünkü koridor havalandırma, basınç ve kirletici dağılımını etkileyen ana dağıtım veya toplama bölgesidir. Tuvaletler de yoğun havalandırılan mekânlar olduğu için normal bölge olarak tanımlanmıştır.

#### 4.3.2. Şematik Temsil Adımı

İkinci adımda çizim alanı (Contam W Sketchpad) kullanılarak yapının plan görünümü şematik olarak çizilmiştir **Şekil 4.8**. Bu adımın amacı mekânlar arasındaki konumsal ilişkileri kurmaktır. Araç çubuğundaki dikdörtgen çizim aracı kullanılarak duvarlar çizilerek mekânlar tanımlanmıştır. Birden çok katlı yapılarda seviye tanımlaması da yapılmalıdır. Tez çalışması kapsamında sadece zemin kat çalışılacaktır. Zemin kata ek olarak galeri boşluğunun tanımlanabilmesi için sadece galeri boşluğunun üzerine gelecek şekilde kısmi bir seviye tanımlaması daha yapılmıştır.

Her bir kapalı alanın içerisine bölge ikonları yerleştirilmiştir. Bu ikonlar Contam’a bu kapalı alanın bir hava hacmi olduğunu ve simülasyonda bağımsız bir kontrol hacmi olarak hesaplanması gerektiğini tanımlar. Bölgeler tanımlandıktan sonra kapılar, pencereler ve sızıntı çatlaklarına hava akış yolu ikonu (flow path) yerleştirilmiştir. Bu adımda yerleştirilen ikonlar kırmızı renkte görünmektedir. Üçüncü adımda sayısal parametreler girilerek (kapı boyutu vb.) bu ikonların rengi siyaha dönmüştür.

Sızıntılar yapının havalandırma sisteminin parçası olmayan, küçük açıklıklardan meydana gelen hava akışıdır. Örneğin pencereler yeni üretilmiş olsa bile teknik olarak sızıntı yaratabilmektedirler. Gerçekçi hesaplamalar için bu sızıntıların da modele dahil edilmesi gerekmektedir. Ayrıca sızıntı yapının havalandırma yoluyla ne kadar enerji kaybettiğini ve dış mekândaki kirleticilerin ne kadar içeri sızdığını belirleyen bir mekanizmadır. Örneğin pencereler açıkken akış elemanı olarak; kapalıyken de sızıntı elemanı olarak değerlendirilir ve veriler buna göre girilir.

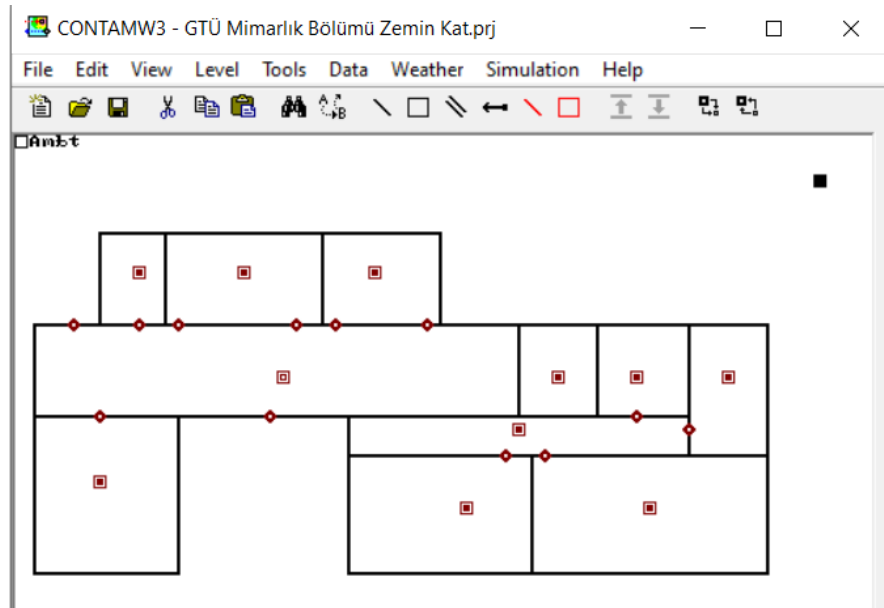
Tüm mekânlar normal bölge olarak belirtilmiştir. Sadece galeri boşluğu ve merdivenlerin üzerine ikinci bir seviye daha eklenerek o bölgeler hayali bölge olarak tanımlanmıştır. Böylece galeri boşluğu ve merdiven yüksekliğinin iki kat boyunca devam ettiği modele işlenmiştir. Yeni bir seviye eklemek için menüdeki seviye (level) butonuna tıklanır. “Boş seviye ekle” (insert blank level) seçeneğine gelinerek “mevcut

seviyenin üstünde” (above current level) seçilerek bir üst kat eklenmiştir. Alt katın referans olarak görülmesi isteniyorsa yine seviye butonu altındaki “aşağıdaki seviyeyi göster” (reveal level below) seçeneği işaretlenebilir. Menüdeki “Seviye” seçeneği altındaki “Seviye Bilgilerini Düzenle” seçeneğinden seviyelerin yükseklikleri girilir.

Merdiven ve koridorlarda bölge içinde kirletici konsantrasyonlarının ekseneel olarak değiştiği simüle edilecek olsaydı bu bölgelere 1 Boyutlu (1D) Konveksiyon Bölgesi ataması yapılabilirdi. Ancak sadece tek bir seviyede simülasyon yapıldığı senaryoda bu alanların normal bölge olarak tanımlanması yeterli gelmektedir.

Bölge tanımlaması yapmak için fare imleci bölgenin içine getirilerek sağ tıklanır. Bölge tipi (zone, phantom vb.) seçilerek bölgeler tanımlanmıştır. Bölgeler tanımlandıktan sonra kapı, pencere, sızıntı alanlarına hava akışı yolu (flow path) çizilerek hava akışı şeması çizilmiştir. Yapı bileşenlerini eklemek istediğimiz duvar üzerine sağ tıklayarak “flow path” seçeneği tıklanarak hava akışı yolları belirlenmiştir. Bu yolların parametreleri de üçüncü adımda girilecektir.

Yöntem olarak bölgeler işlendikten sonra hava akış yollarına geçilmiştir. Tüm hava akış yollarının tek seferde işaretlenmesi veri girişini zorlaştıracığı için öncelikle kapılar işaretlenerek parametreleri girilmiş; sonra pencere, sızıntı noktaları gibi alanlara geçilmiştir. **Şekil 4.8**'de bölgelerin ve kapılardaki hava akış yollarının işaretlenmiş hali görülmektedir.



**Şekil 4.8:** Contam Simülasyon Aracındaki İkinci Adım: Bölgelerin, Kapıların Hava Akış Yollarının İşlenmiş Hali.

Contam’da tefrişler grafiksel olarak çizip eklenmemektedir. Yazılım, mekânı tek bir hacim olarak kabul ettiği için mobilyaların konumu veya boyutu gibi detaylar simülasyonda gösterilmemektedir. Ancak mobilyaların etkisi kirletici kaynağı olarak modele dahil edilebilir. Bu nedenle modelde mobilyaların bulunduğu bölgeye “kaynak” (source) ikonu eklenmiştir. Bir sonraki adımda mobilyaların yüzey alanı ve emisyon oranı girilecektir. Böylece tefrişlerin yarattığı emisyonlar sayısal parametrelerle modele işlenmiş olacaktır.

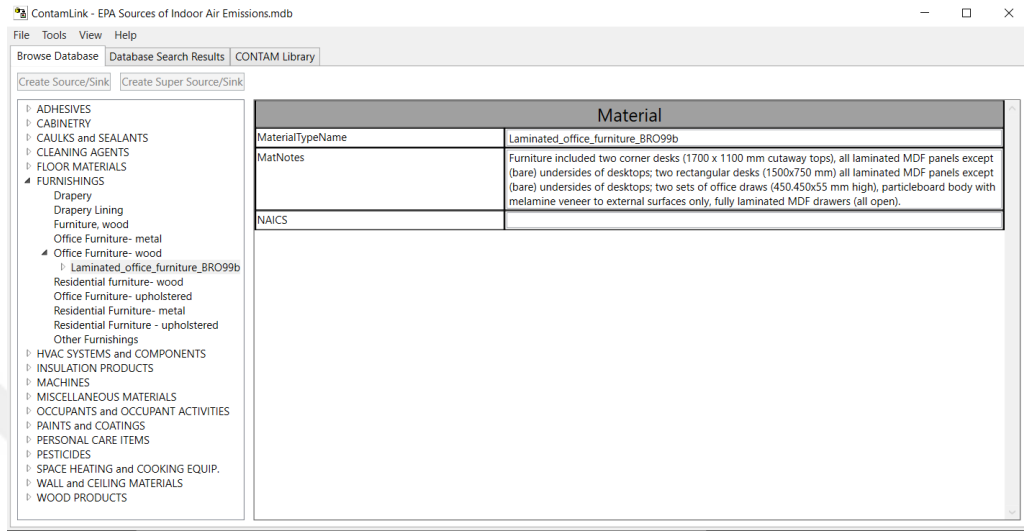
#### **4.3.3. Yapı Bileşenlerini Tanımlama Adımı**

Üçüncü adımın ilk aşamasında bölgeler isimlendirilmiştir. Bölge ikonuna farenin sol imleciyle çift tıklandığında “bölge özellikleri penceresi” açılmaktadır. Her bir bölge için isim, hacim, sıcaklık bilgileri girilmelidir. Hayali bölgelerde mekân iki katta devam ettiği için hacim iki kat olarak girilmiştir. Referans sıcaklık değeri 20°C alınmıştır.

Bölgeler tamamlandıktan sonra kapılara geçilmiştir. Kapılar hava akış yolu olarak tanımlanmaktadır. Kapıların bulunduğu alanlara hava akış yolu simgeleri eklenmiştir. Sonra simgeye çift tıklanarak özellik sekmesi açılmıştır. “Yeni element” seçeneği seçilerek kapının özellikleri girilmiştir. İki yönlü akış modeli ve tek açıklık seçeneği kapı için uygundur. Bu adımdan sonra kapının ismi, genişliği ve yüksekliği girilmiştir. Kapının deşarj katsayısı bir açıklıktan geçen gerçek hava akışı ile teorik olarak mümkün olan maksimum hava akışı arasındaki oranı belirten bir parametredir. Bu değeri 0-1 arasında olmaktadır. Contam’ın kendisi otomatik olarak 0.78 değerini vermektedir. Kapı, pencere gibi akış elemanlarında genelde bu değer kullanılmaktadır. Kapılar açık olarak kabul edilmektedir. Geniş açıklık seçeneği seçilerek kapı özellikleri tamamlanmıştır. Baca gibi açıklıklara küçük açıklık seçeneği seçilmektedir. Bir kapı özelliği girildikten sonra sisteme kaydolmaktadır. Aynı modeldeki kapılar için kapı modeli seçilerek hızlıca ilerlenebilir. Pencere için de aynı işlemler tekrar edilmiştir. Pencere açık olarak kabul edilmiştir.

Kapı ve pencerelerdeki geniş açıklıklara ek olarak dış cephedeki açıklıklara sızıntı elemanı da eklenmelidir. Çünkü kapı ve pencerelerden sızıntı yoluyla da hava akışı olmaktadır. Menüdeki “Akış Yolu Elemanları” seçeneği altındaki “Hava Akış Elemanı” seçeneği seçilir. Hava akışı elemanı tipi olarak “Sızıntı Alanı” (Leakage

Area) seçeneği seçilir. Dış cephede yer alan pencere ve kapı gibi açıklıkların yanına yeni akış elemanı ikonları eklenerek sızıntı alanı özelliği atanır. Sızıntı pencere veya kapının dış çerperinden gerçekleşeceği için kaç m dış çerçeve uzunluğu varsa çarpan değeri (multiplier) olarak girilir.



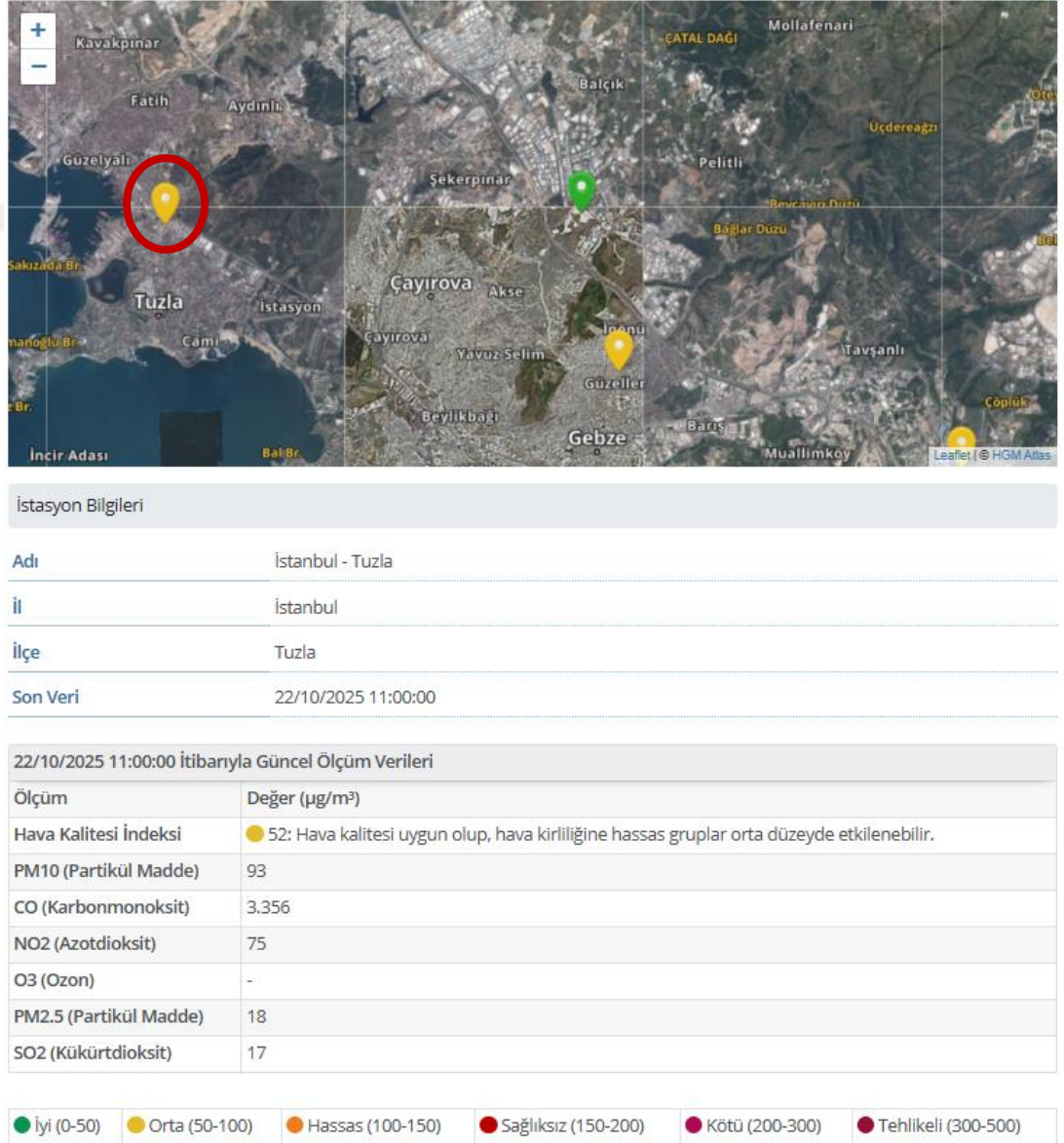
**Şekil 4.9:** ContamLink Programı Arayüzü.

Bir sonraki aşamada NIST'in resmi web sayfasındaki ContamLink programı yüklenmiştir **Şekil 4.9**. İçlerinde EPA'nın da bulunduğu beş farklı veri dosyası resmi websitesi üzerinden edinilerek ContamLink'e yüklenmiştir. Bu veri dosyalarından ve Çizelge 2.8 ile Çizelge 2.9'dan faydalanarak tefriş veya malzemelerde hangi kirleticilerin bulunduğu tespit edilmiştir **Çizelge 4.5**.

**Çizelge 4.5:** Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü İç Mekân Hava Kirleticisi Kaynaklarında Bulunan Kirleticisi Türleri.

| Kirleticisi Kaynağı              | Kirleticisi Kaynağında Bulunan İç Mekân Hava Kirleticisi          |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Lamine Ahşap<br>Kaplama Sandalye | Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC), Asetaldehit (AA) |
| Melamin Kaplama<br>Masa Tablası  | Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC), Asetaldehit (AA) |
| Laminat Yazı Tahtası             | Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC), Asetaldehit (AA) |
| Endüstriyel Ahşap<br>Dolap       | Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC), Asetaldehit (AA) |
| Plastik Kaplama<br>Sandalye      | Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC)                   |
| PVC Zemin Kaplaması              | Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC)                   |
| Plastik Duvar Boyası             | Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC)                   |
| Kullanıcı Kaynaklı               | Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ), Deri Döküntüleri                |

Kirletici kaynaklarının Contam'a aktarılabilmesi için öncelikle kirleticilerin özelliklerinin programa tanıtılması gerekmektedir. Kirletici özellikleri Contam'ın resmi web sitesindeki video eğitimlerinden elde edilmiştir. Ayrıca mekânlarda doğal havalandırma da yapıldığı için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı:Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı üzerinden yapıya en yakın istasyondaki kirletici verileri elde edilmiştir **Şekil 4.10**. Kirletici özellikleri girilirken mekândaki başlangıçtaki kirletici konsantrasyonu olarak bu veriler kullanılmıştır.



**Şekil 4.10:** Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı Kirletici Ölçüm Verileri [WEB 17, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Başkanlığı: Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı, 2025].

Contam'a kirletici eklemek için menüdeki "Veri" seçeneğinin altındaki "Kirletici" seçeneği seçilir. "Yeni" seçeneği seçilerek kirletici özellikleri girilir. Asetaldehit (AA), Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC), Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, Karbonmonoksit (CO), Azotdioksit (NO<sub>2</sub>), Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) kirleticilerinin özellikleri simülasyon aracına eklenmiştir **Şekil 4.11**. Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı'nda verilen kirletici konsantrasyonları da eklenmiştir. Bir sonraki aşamada iç mekândaki yapı malzemesi veya kullanıcılardan kaynaklanan kirletici kaynakları eklenecektir. Contam "kaynak" olarak eklenmeyen kirleticilerin dış mekândan kaynaklanan kirletici konsantrasyonları olduğunu ayırt edebilmektedir.

**Şekil 4.11:** Contam Kirletici Özelliği Ekleme Adımı.

Kirletici özellikleri eklendikten sonra kirleticiler mekânlara kirletici kaynağı olarak eklenmiştir. Formaldehit, VOC ve Asetaldehit Azalan Kaynak Modeli (Decaying Source Model); CO<sub>2</sub> Sabit Kaynak Modeli (Constant Source Model); PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub>

Birikme ve Yeniden Havalanma Modeli (Deposition with Resuspension Model) olarak tanımlanmıştır. Azalan kaynak modelinde zaman geçtikçe kaynaktan yayılan emisyon oranı azalmaktadır. Sabit kaynak modelinde konsantrasyon değişse de kirleticinin üretim hızı sabit kalmaktadır. Birikme ve yeniden havalanma modelinde ise partiküllerin yerçekimi ile zemine çöktüğü ve kullanıcı hareketi (ör: yürüme) ile yeniden havaya karıştığı varsayılır. Kirletici kaynaklarını eklemeyen önce her mekân için kirletici kaynaklarının kaç m<sup>2</sup> alan kapladığı hesaplanmıştır **Çizelge 4.6.**

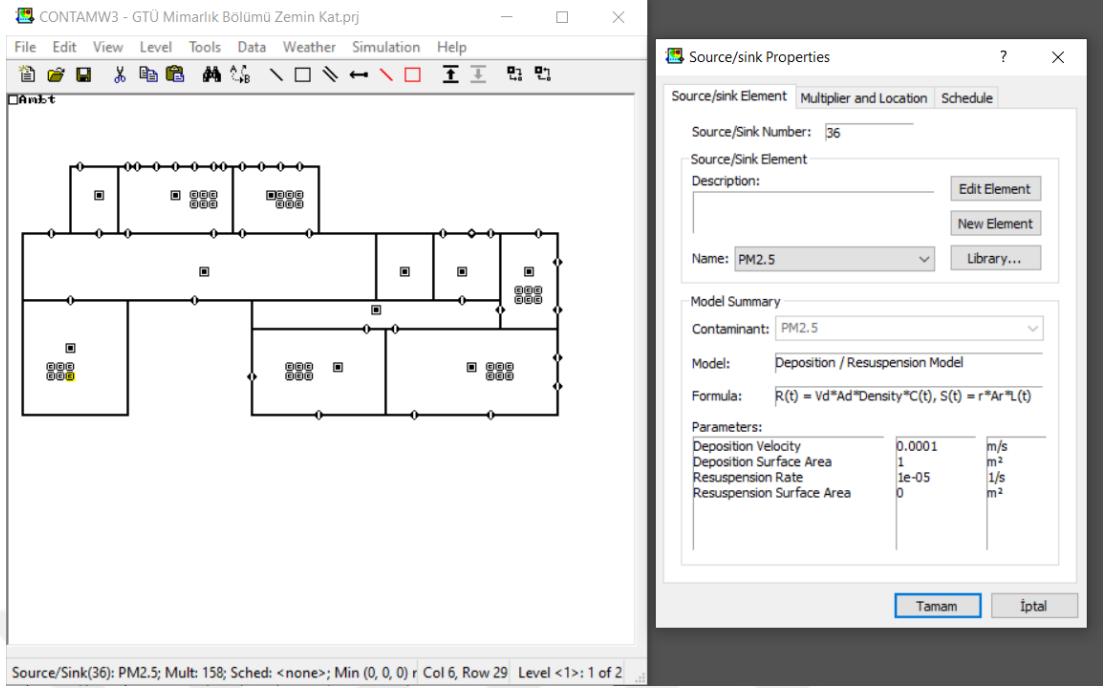
**Çizelge 4.6:** Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü İç Mekân Hava Kirletici Kaynaklarının Kapladığı Alan.

| Mekân     | Kirletici Kaynağı ve Birim Alanı                   | Toplam Adet ve Alan           |
|-----------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>D1</b> | Lamine Ahşap Kaplama Sandalye: 0,45 m <sup>2</sup> | 33 adet: 14,85 m <sup>2</sup> |
|           | Laminat Yazı Tahtası: 2,8 m <sup>2</sup>           | 4 adet: 11,2 m <sup>2</sup>   |
|           | Melamin Kaplama Masa Tablası: 0,95 m <sup>2</sup>  | 33 adet: 31,4 m <sup>2</sup>  |
|           | PVC Zemin Kaplaması                                | 87 m <sup>2</sup>             |
|           | Plastik Duvar Boyası (Tavan h:3.8 m)               | 125 m <sup>2</sup>            |
| <b>D2</b> | Lamine Ahşap Kaplama Sandalye: 0,45 m <sup>2</sup> | 67 adet: 30,2 m <sup>2</sup>  |
|           | Laminat Yazı Tahtası: 2,8 m <sup>2</sup>           | 4 adet: 11,2 m <sup>2</sup>   |
|           | Melamin Kaplama Masa Tablası: 0,95 m <sup>2</sup>  | 30 adet: 28,5 m <sup>2</sup>  |
|           | PVC Zemin Kaplaması                                | 76 m <sup>2</sup>             |
|           | Plastik Duvar Boyası (Tavan h:3.8 m)               | 108 m <sup>2</sup>            |
| <b>D3</b> | Lamine Ahşap Kaplama Sandalye: 0,45 m <sup>2</sup> | 72 adet: 32,5 m <sup>2</sup>  |
|           | Laminat Yazı Tahtası: 2,8 m <sup>2</sup>           | 4 adet: 11,2 m <sup>2</sup>   |
|           | Melamin Kaplama Masa Tablası: 0,95 m <sup>2</sup>  | 30 adet: 28,5 m <sup>2</sup>  |
|           | PVC Zemin Kaplaması                                | 75 m <sup>2</sup>             |
|           | Plastik Duvar Boyası (Tavan h:3.8 m)               | 95 m <sup>2</sup>             |
| <b>D4</b> | Lamine Ahşap Kaplama Sandalye: 0,45 m <sup>2</sup> | 86 adet: 38,7 m <sup>2</sup>  |
|           | Laminat Yazı Tahtası: 2,8 m <sup>2</sup>           | 4 adet: 11,2 m <sup>2</sup>   |
|           | Melamin Kaplama Masa Tablası: 0,95 m <sup>2</sup>  | 78 adet: 74 m <sup>2</sup>    |
|           | Endüstriyel Ahşap Dolap: 2,5 m <sup>2</sup>        | 4 adet: 10 m <sup>2</sup>     |
|           | PVC Zemin Kaplaması                                | 178 m <sup>2</sup>            |
|           | Plastik Duvar Boyası (Tavan h:3.8 m)               | 167,2 m <sup>2</sup>          |

**Çizelge 4.6: Devamı.**

| Mekân     | Kirletici Kaynağı ve Birim Alanı                   | Toplam Adet ve Alan           |
|-----------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>D5</b> | Lamine Ahşap Kaplama Sandalye: 0,45 m <sup>2</sup> | 58 adet: 26,1 m <sup>2</sup>  |
|           | Laminat Yazı Tahtası: 2,8 m <sup>2</sup>           | 4 adet: 11,2 m <sup>2</sup>   |
|           | Melamin Kaplama Masa Tablası: 0,95 m <sup>2</sup>  | 55 adet: 52,25 m <sup>2</sup> |
|           | Endüstriyel Ahşap Dolap: 2,5 m <sup>2</sup>        | 8 adet: 20 m <sup>2</sup>     |
|           | PVC Zemin Kaplaması                                | 146 m <sup>2</sup>            |
|           | Plastik Duvar Boyası (Tavan h:3.8 m)               | 157,3 m <sup>2</sup>          |
| <b>K</b>  | Plastik Kaplama Sandalye: 0,45 m <sup>2</sup>      | 151 adet: 68 m <sup>2</sup>   |
|           | Laminat Yazı Tahtası: 2,8 m <sup>2</sup>           | 2 adet: 5,6 m <sup>2</sup>    |
|           | Melamin Kaplama Masa Tablası: 0,95 m <sup>2</sup>  | 1 adet: 0,95 m <sup>2</sup>   |
|           | Endüstriyel Ahşap Kürsü: 2 m <sup>2</sup>          | 1 adet: 2 m <sup>2</sup>      |
|           | PVC Zemin Kaplaması                                | 158 m <sup>2</sup>            |
|           | Plastik Duvar Boyası (Tavan h:3.8 m)               | 123,5 m <sup>2</sup>          |

Kaynak eklemek için öncelikle mekân içerisinde bir noktaya tıklanır. Farenin sağ tuşuna basılarak “Kaynak” seçeneği seçilir. Böylelikle mekân içerisine bir kaynak eklenmiştir. Sonra çıkan sembole çift tıklanarak özellikler sayfası açılır. Burada öncelikle tanımlanacak kirletici türü seçilir. Her bir kirletici için “Çarpan” (Multiplier) değeri girilmelidir. Azalan Kaynak Modeli kirleticilerinde (Formaldehit, Asetaldehit, Uçucu Organik Bileşik) bu değer toplam emisyon yüzey alanı; Sabit Kaynak Modeli kirleticilerinde (CO<sub>2</sub>) mekândaki kişi sayısı; Birikme ve Yeniden Havalanma Modeli kirleticilerinde (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) ise mekânın zemin alanı olarak hesaplanır. Çizelge 4.6.’da yer alan hesaplamalardan faydalanılarak çarpan değerleri girilmiştir. Mekânda sandalye sayısı kadar kullanıcının bulunduğu varsayılmıştır. **Şekil 4.12**’de solda bölgelerin, pencerelerin, kapıların, kirleticilerin özelliklerinin eklenmiş hali; sağda ise kaynak özellikleri penceresi görülmektedir. Kaynakların özellikleri tanımlandığı için ikonlar kırmızıdan siyah renge dönmüştür.



**Şekil 4.12:** Contam Kaynak Ekleme Adımı.

Kaynaklar eklendikten sonra havalandırma sistemi modele eklenmiştir. Havalandırma sistemini Contam'a ekleyebilmek için dört bilgiye ihtiyaç duyulur:

- Toplam üfleme debisi (Supply flow rate),
- Toplam emiş debisi (Return flow rate),
- Cihazın dış ortamdan aldığı toplam temiz hava miktarı (Minimum OA Flow) ve filtre tipi,
- Kanalların toplam hacmi (System volume).

**Çizelge 4.7.**'de Mimarlık Bölümü zemin kat derslikleri ve konferans salonu için ilgili veriler GTÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan edinilmiştir. Mekânların tamamında ısı geri kazanım cihazı (VAM) kullanılmıştır. Bu cihazlar içerideki havayı alıp tekrar iç mekâna vermemektedir. İç mekândaki tüm kirli havayı alıp dış ortamdan temiz hava alarak iç mekâna iletmektedir. Isı geri kazanım cihazları kendinden filtreliidir. Filtreler G4 toz filtredir ve elyaf malzemeden üretilmiştir. Sadece kaba tozları tutmaktadır. Kanallar galvaniz metalden üretilmiştir.

Bazı mekânlarda aynı ısı geri kazanım cihazı kullanılmaktadır. Ancak mekânlardaki emiş ve üfleme egzozları farklıdır. Contam'da aynı cihazı kullanan iki mekânın havalandırma sistemi modellenirken cihazın dış ortamdan aldığı toplam temiz hava miktarı da iki mekâna oranlanarak bölüştürülmektedir.

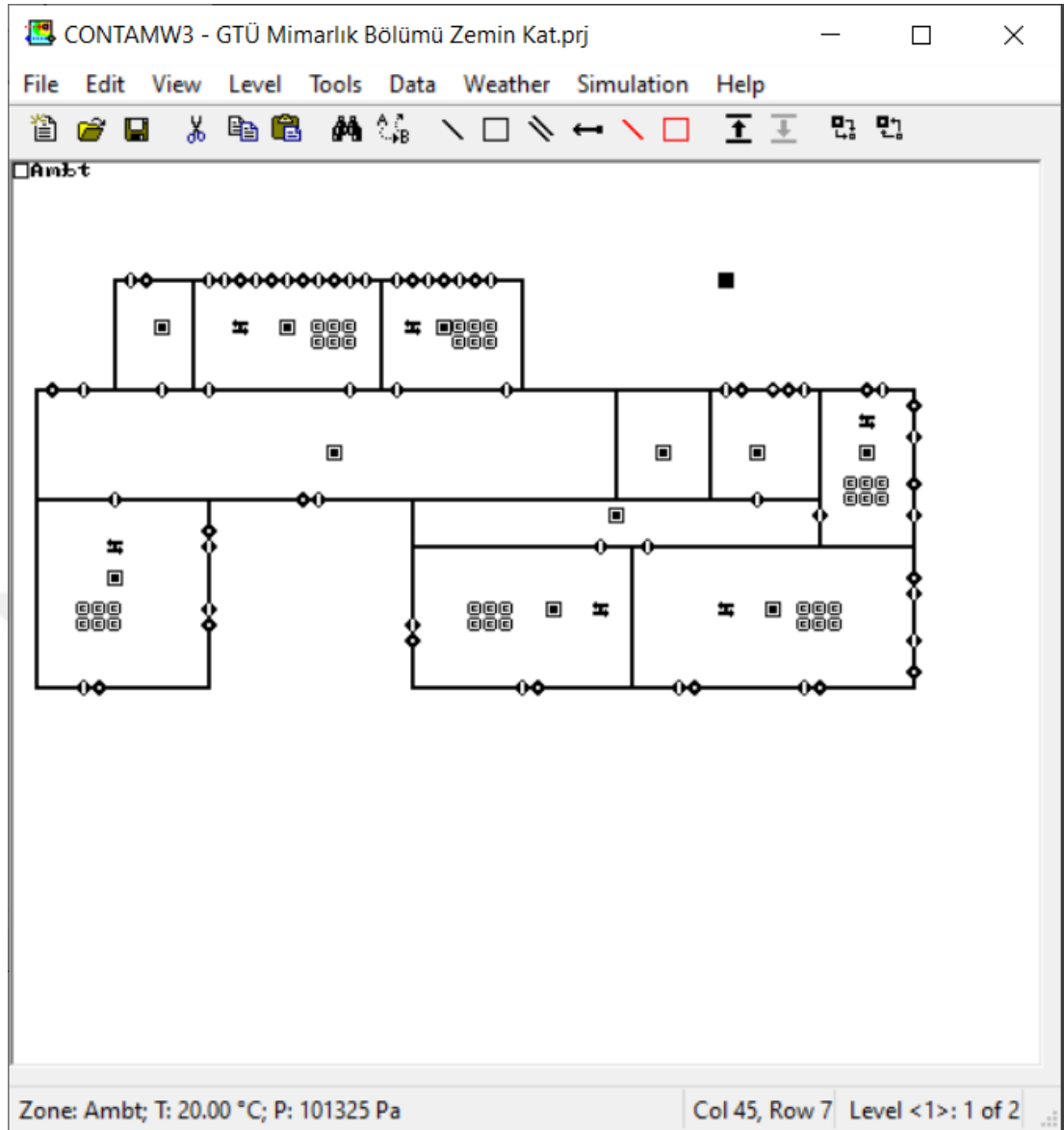
**Çizelge 4.7:** Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Havalandırma Sistemi Özellikleri.

| Mekân | Toplam Üfleme Debisi (m <sup>3</sup> /h) | Toplam Emiş Debisi (m <sup>3</sup> /h) | Cihazın Dış Ortamdan Aldığı Toplam Temiz Hava Miktarı (m <sup>3</sup> /h) | Filtre Tipi   | Kanalların Toplam Hacmi (m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|
| D1    | 600 m <sup>3</sup> /h                    | 600 m <sup>3</sup> /h                  | 600 m <sup>3</sup> /h                                                     | G4 Toz Filtre | 1,35 m <sup>3</sup>                       |
| D2    | 400 m <sup>3</sup> /h                    | 400 m <sup>3</sup> /h                  | 400 m <sup>3</sup> /h                                                     | G4 Toz Filtre | 0,5 m <sup>3</sup>                        |
| D3    | 500 m <sup>3</sup> /h                    | 500 m <sup>3</sup> /h                  | 500 m <sup>3</sup> /h                                                     | G4 Toz Filtre | 0,85 m <sup>3</sup>                       |
| D4    | 900 m <sup>3</sup> /h                    | 900 m <sup>3</sup> /h                  | 900 m <sup>3</sup> /h                                                     | G4 Toz Filtre | 2,4 m <sup>3</sup>                        |
| D5    | 600 m <sup>3</sup> /h                    | 600 m <sup>3</sup> /h                  | 600 m <sup>3</sup> /h                                                     | G4 Toz Filtre | 1,2 m <sup>3</sup>                        |
| K     | 1000 m <sup>3</sup> /h                   | 1000 m <sup>3</sup> /h                 | 1000 m <sup>3</sup> /h                                                    | G4 Toz Filtre | 1,6 m <sup>3</sup>                        |

Havalandırma sistemini eklerken ilk adım filtreleri tanımlamaktır. Menüdeki “Veri” butonu altındaki “Filtre” seçeneğine tıklanır. G4 toz filtresi sadece kaba tozları tuttuğu için partikül maddeleri bir miktar filtreleyebilmektedir. Bu nedenle “Sabit Verimli Filtre” seçeneği seçilir. Böylelikle sadece partikül maddeleri temizlediği tanımlanmıştır. İlerledikten sonra açılan sayfada “Elementleri Düzenle” seçeneği seçilir. Burada partikül maddeleri hangi verimle temizlediği tanımlanır. Contam’ın kullanıcı kılavuzu G4 toz filtresinde bu oranları PM<sub>10</sub> için 0.6; PM<sub>2,5</sub> için 0.2 önermektedir. Bu değerler eklenerek partikül boyutu büyük olan kirleticileri daha iyi filtrelediği tanımlanmıştır.

Filtre eklendikten sonra Sketchpad üzerinde havalandırma sistemi eklenecek mekâna gelinir. Sağ tıklanarak “Havalandırma Sistemi” (Air Handling System) seçeneği seçilir. Çıkan ikona çift tıklanarak debi, filtre ve kanal hacmi bilgileri girilerek havalandırma sistemi tanımlanmıştır **Şekil 4.13**. Modelde kullanılan ikonların anlamı **Çizelge 4.8**’de verilmiştir.

WC alanındaki egzozların görevi sadece içerideki kirli havayı dışarıya tahliye etmektir ve uzunlukları kısa olduğu için modelde ihmal edilmiştir. Bu nedenle bu egzozlar havalandırma sistemi (air handling system) değil akış elemanı olarak modellenmiştir. Ancak kapı ve pencerelerden farklı olarak “Sabit Hacim Akışı Fanı” olarak işaretlenmiştir. WC’deki egzozların hepsi tek panjurdan tahliye edildiği için egzozların toplam debisi (900 m<sup>3</sup>/h) hesaplanarak modele işlenmiştir.



**Şekil 4.13:** Contam Havalandırma Elemanları Ekleme Adımı.

**Çizelge 4.8:** Contam Simülasyon Aracında Kullanılan İkonların Anlamı.

| İkon | İkonun Anlamı                     |
|------|-----------------------------------|
|      | Bölge                             |
|      | Hava Akış Yolu<br>(Geniş açıklık) |
|      | Hava Akış Yolu<br>(Küçük açıklık) |
|      | Kirletici Kaynağı                 |
|      | Havalandırma Sistemi              |

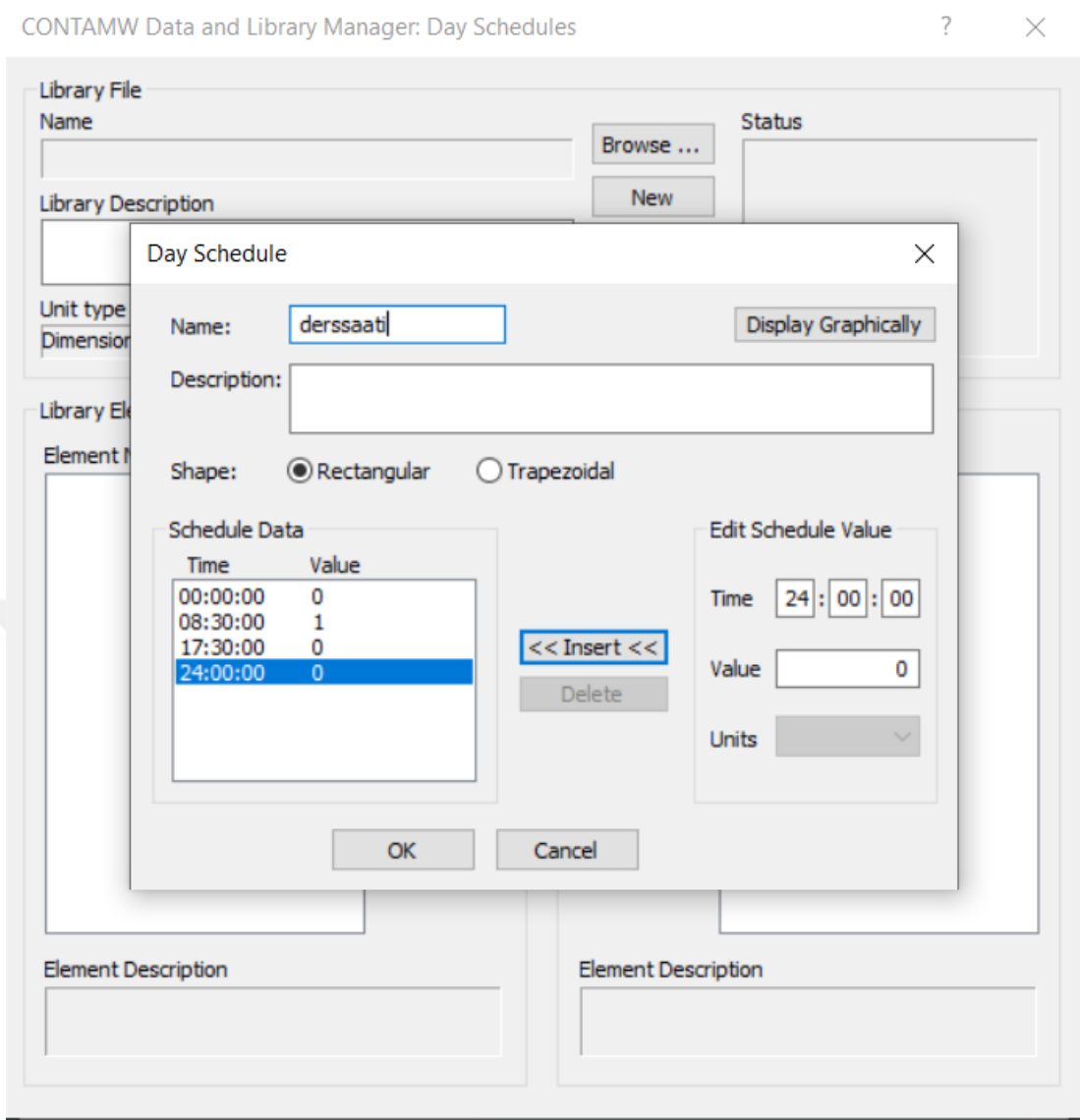
Hava akışının doğru simüle edilebilmesi için önemli bir parametre de rüzgâr yönüdür. Bölgedeki hakim rüzgâr kuzeydoğu yönünden esmektedir (MGM, 2024). Yapının yönelimi nedeniyle D1 ve D2 dersliği cephesi rüzgârı oldukça dik almaktadır. Dış cephedeki tüm küçük ve geniş açıklıklara rüzgarla ilgili parametreler işlenmiştir. Duvarların hakim rüzgâr yönüyle yaptığı açılar (Wall Azimut Angle):

- D1 ve D2 derslikleri için: 0°
- D4, D5 derslikleri ve konferans salonu için: 180°
- D3 dersliği için: 90°'dir.

Rüzgâr basıncı “değişken” olarak işaretlenmiştir. Alçak katlı ve etrafında yeşil alan bulunan yapılar için “Rüzgâr Hızı Değiştirici” (Wind Speed Modifier) değeri 0.6 olarak girilmektedir. Rüzgâr profili de Contam kütüphanesinden alçak katlı yapılar için Contam’ın otomatik olarak tanımladığı versiyon seçilmiştir. Tüm akış yollarında bu değerler korunmuştur. Duvarların hakim rüzgâr yönüyle yaptığı açılar programa girilmiştir.

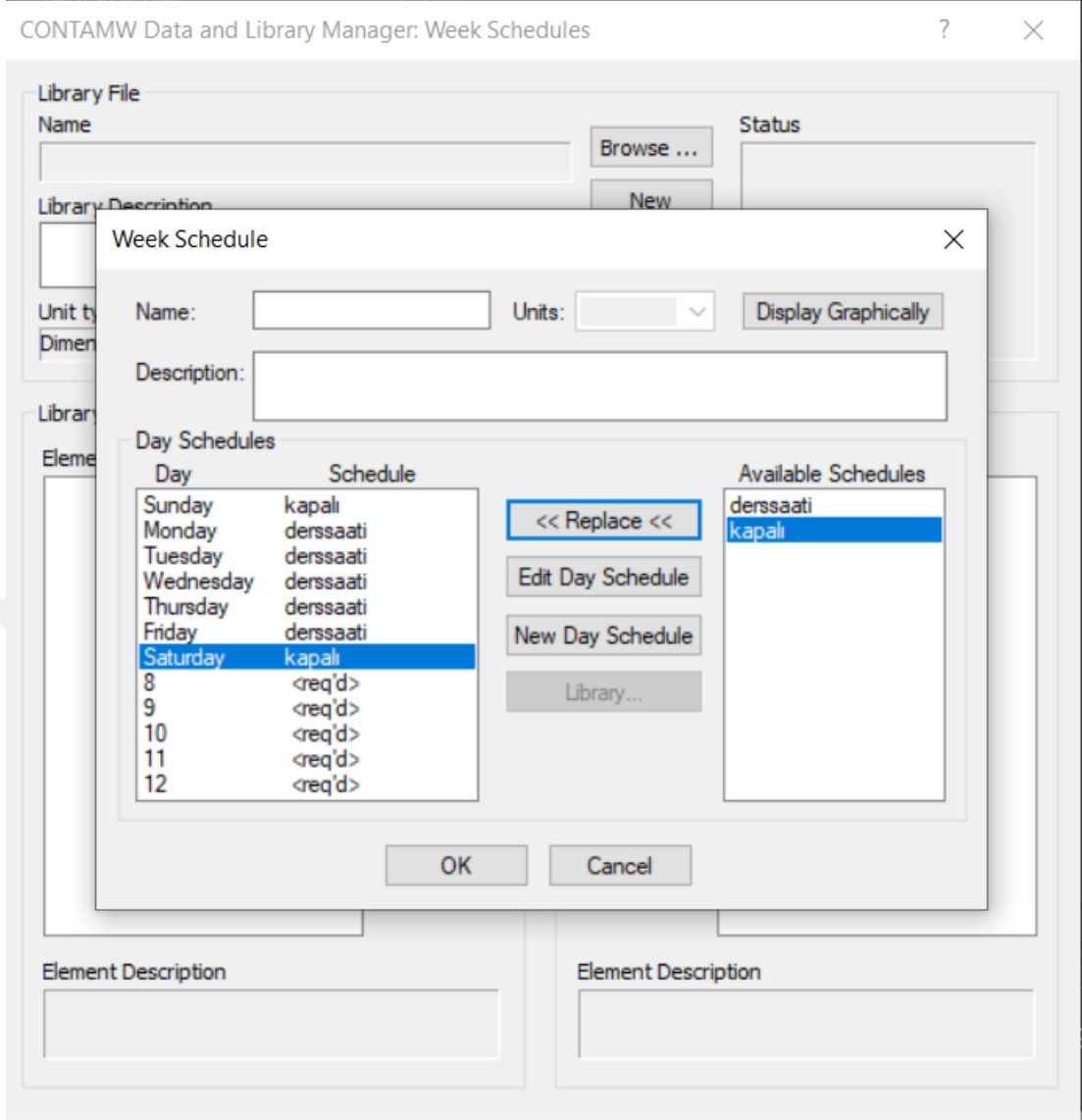
Bir sonraki aşamada çizelgeler oluşturulmuştur. Çizelgeler sayesinde hangi mekânın hangi zaman diliminde kullanıldığı tanımlanmaktadır. Şematik temsil adımı pencere ve kapıların açıkken akış elemanı olarak; kapalıyken de sızıntı elemanı olarak değerlendirildiği belirtilmişti. Kapı ve pencereler geniş açıklık olarak tanımlandığı için çizelge yardımıyla hangi zaman diliminde açık hangi zaman diliminde kapalı olduğu tanımlanmıştır.

2025-2026 Güz Yarıyılı ders programı incelendiğinde derslerin 08:30-17:30 saatleri arasında düzenlendiği görülmektedir. Pencere ve kapılar bu zaman aralığında açık kabul edilecektir. Diğer zaman dilimlerinde kapalı olduğu varsayılacaktır. Menüdeki “Veri” seçeneği altındaki “Günlük Çizelge” seçeneği seçilir. Contam burada iki tane seçenek sunmaktadır. Gün içerisindeki sıcaklık değişimi eklenmek isteniyorsa “Sıcaklık” (Temperature); bir elemanın açılıp kapanması kontrol edilmek isteniyorsa “Boyutsuz” (Dimensionless) seçeneği seçilmelidir. Boyutsuz seçeneği seçilerek yeni çizelge oluştur seçeneği seçilir. Burada başlangıç ve bitiş zamanları tanımlanır **Şekil 4.14**. Başlangıç saatine “1” değeri, bitiş saatine “0” değeri girilmiştir.



**Şekil 4.14:** Contam Günlük Çizelge Oluşturma Adımı.

Günlük çizelge oluşturulduktan sonra haftalık çizelge oluşturulmuştur. Yine “Menü” altındaki “Veri” seçeneğine tıklanır. “Haftalık çizelge” ve “Boyutsuz” seçenekleri seçilir. Açılan pencerede “Yeni haftalık çizelge oluştur” seçeneği tıklanır. Pazartesi ve Cuma günleri arasında ders işlendiği için bu günlere daha önceden oluşturduğumuz günlük çizelge atanır. Haftasonu ilgili mekânların kullanılmadığı varsayıldığı için haftasonu günlerindeki tüm saat dilimlerine “0” değeri atanır. Böylelikle haftalık çizelge oluşturulmuştur **Şekil 4.15**. Oluşturulan haftalık çizelge kullanıcı etkinliğinden etkilendiği için CO<sub>2</sub> kaynaklarına, havalandırma sistemlerine ve geniş açıklıklara tanımlanmıştır. Tanımlamayı yapmak için ilgili ikona çift tıklanır. “Çizelge” seçeneği altından daha önceden tanımlanmış haftalık çizelge seçilir.

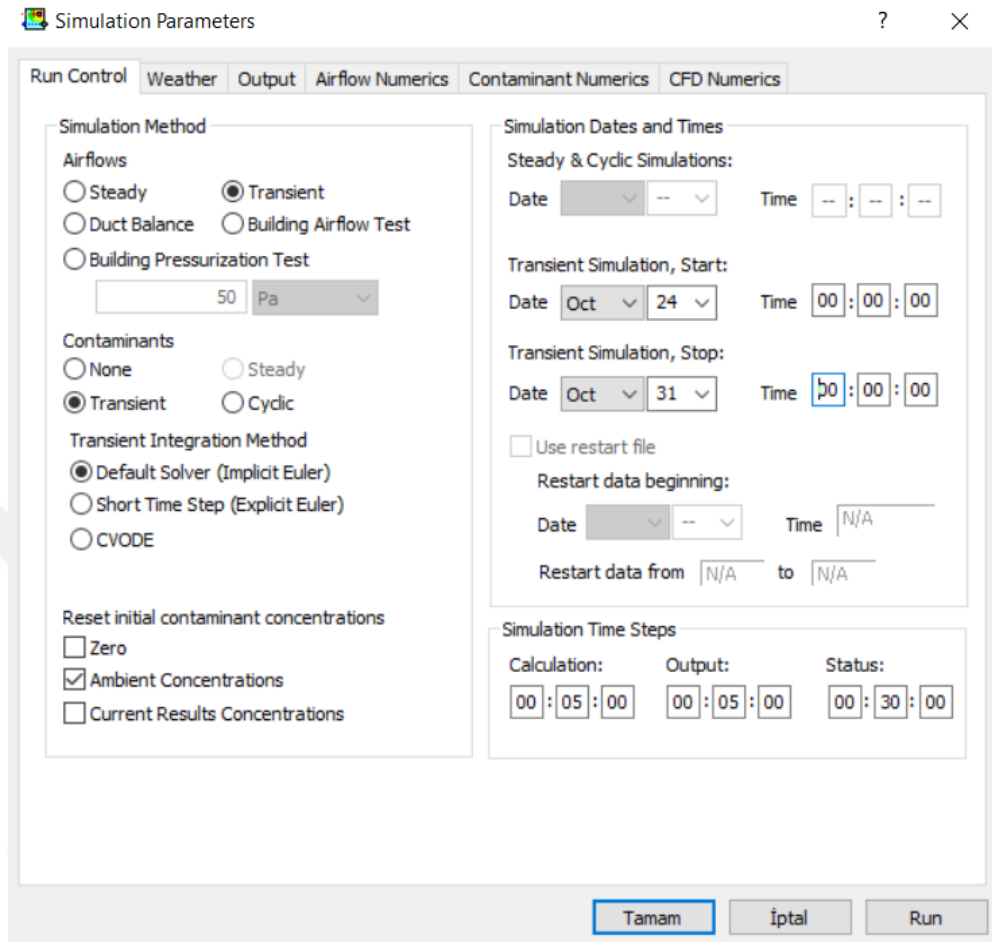


**Şekil 4.15:** Contam Haftalık Çizelge Oluşturma Adımı.

#### 4.3.4. Simülasyon Parametrelerini Tanımlama Adımı

Yapı bileşenleri tanımlandıktan sonra simülasyon parametrelerinin ayarları yapılmalıdır. Menüdeki “Simülasyon” (Simulation) seçeneği altındaki “Simülasyon Parametrelerini Ayarla” (Set Simulation Parameters) seçeneği seçilir. İlk olarak “Çalıştırma Kontrolü Özellikleri” (Run Control Properties) sekmesi düzenlenir. Hava akışları ve kirleticiler “Geçici” (Transient) olarak işaretlenir. Simülasyon başlangıç ve bitiş tarihi ayarlanır. Simülasyon süresi beş dakika olarak belirlenmiştir. “Dış Ortam Konsantrasyonları” (Ambient Concentrations) kutucuğu işaretlenir. Bu sayede önceden tanımlanmış dış mekân hava kirletici konsantrasyonları simülasyon

başlangıcında tanımlanmıştır. Bu özellikler tanımlanarak çalıştırma kontrolü özellikleri tamamlanmıştır **Şekil 4.16**.

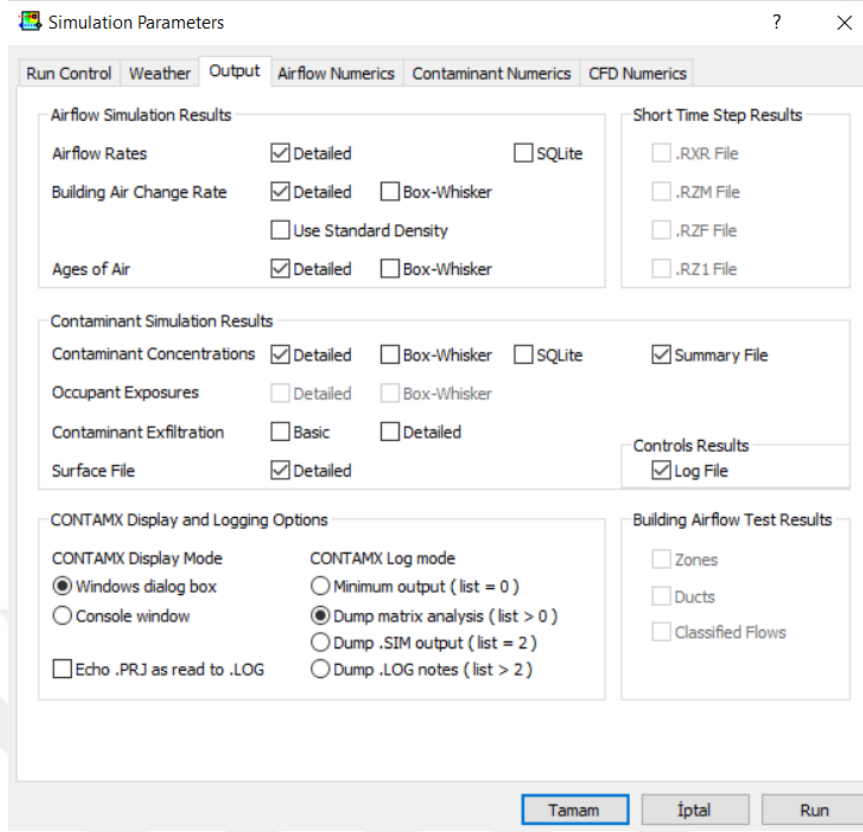


**Şekil 4.16:** Contam Simülasyon Parametresi, Çalıştırma Kontrolü Özelliklerinin Tanımlanması Adımı.

Çıktı ayarlarını organize etmek için de gene aynı sayfadaki “Çıktı Özellikleri” (Output Properties) sekmesine tıklanır. Burada istenen çıktılar şunlardır:

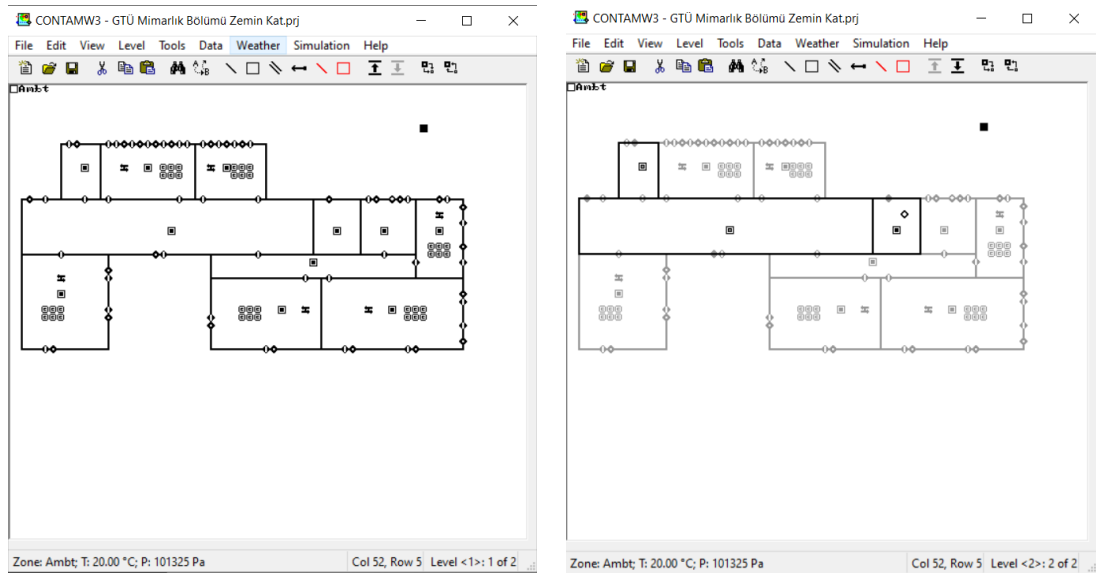
- Hava Akış Hızları (Airflow Rates),
- Kirlenici Konsantrasyonları (Contaminant Concentrations),
- Bina Hava Değişim Hızı (Building Air Change Rate),

Aynı sekmedeki Kontrol Log Dosyası (Log File) seçilerek havalandırma sisteminin haftalık çizelgeye uyduğu teyid edilmiştir. Bu seçenekler seçildikten sonra çıktı parametreleri tanımlanmıştır. **Şekil 4.17**.



**Şekil 4.17:** Contam Simülasyon Parametresi, Çıktı Özelliklerinin Tanımlanması Adımı.

Bu adımlar tamamlandıktan sonra simülasyon başlatılarak sonuçlar elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları bir sonraki 4.4. numaralı başlık altında analiz edilmiştir. Çizim alanının son durumu **Şekil 4.18**'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.18:** Contam Simülasyon Çizim Alanı Tamamlanmış Hali.

#### 4.4. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısında Contam Simülasyon Aracı ile Gerçekleştirilen Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

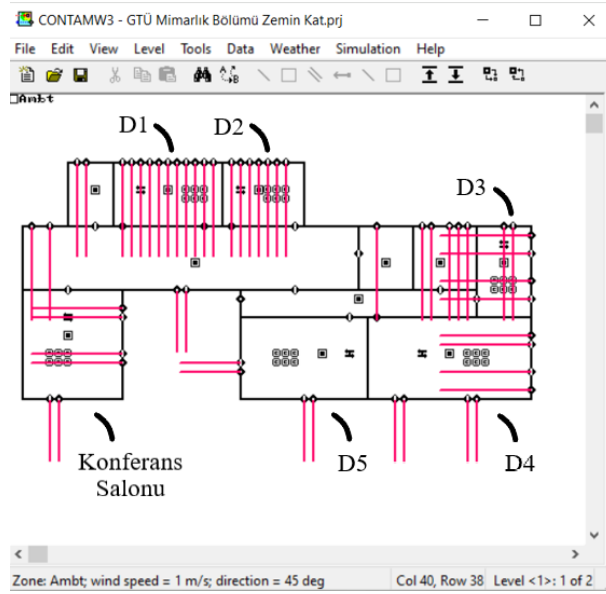
Contam simülasyon aracında yapı idealleştirme, şematik temsil veya yapı bileşenlerini tanımlama adımları tamamlandıktan sonra simülasyon parametreleri tanımlanmıştır. Tüm veriler girildikten sonra sonuç çıktıları alınmıştır. Simülasyon çizelgesi oluşturulurken bir hafta ile sınırlandırılmıştır. Pencere ve kapı elemanlarının ders saatleri dışında kapalı olduğu varsayılmıştır.

Simülasyon sonucu elde edilen çıktıları:

- Rüzgar (Pa), hava akışı ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ve basınç (Pa) çıktıları,
- Kirlenici çıktılarıdır.

##### 4.4.1. Rüzgâr, Hava Akışı ve Basınç Çıktıları

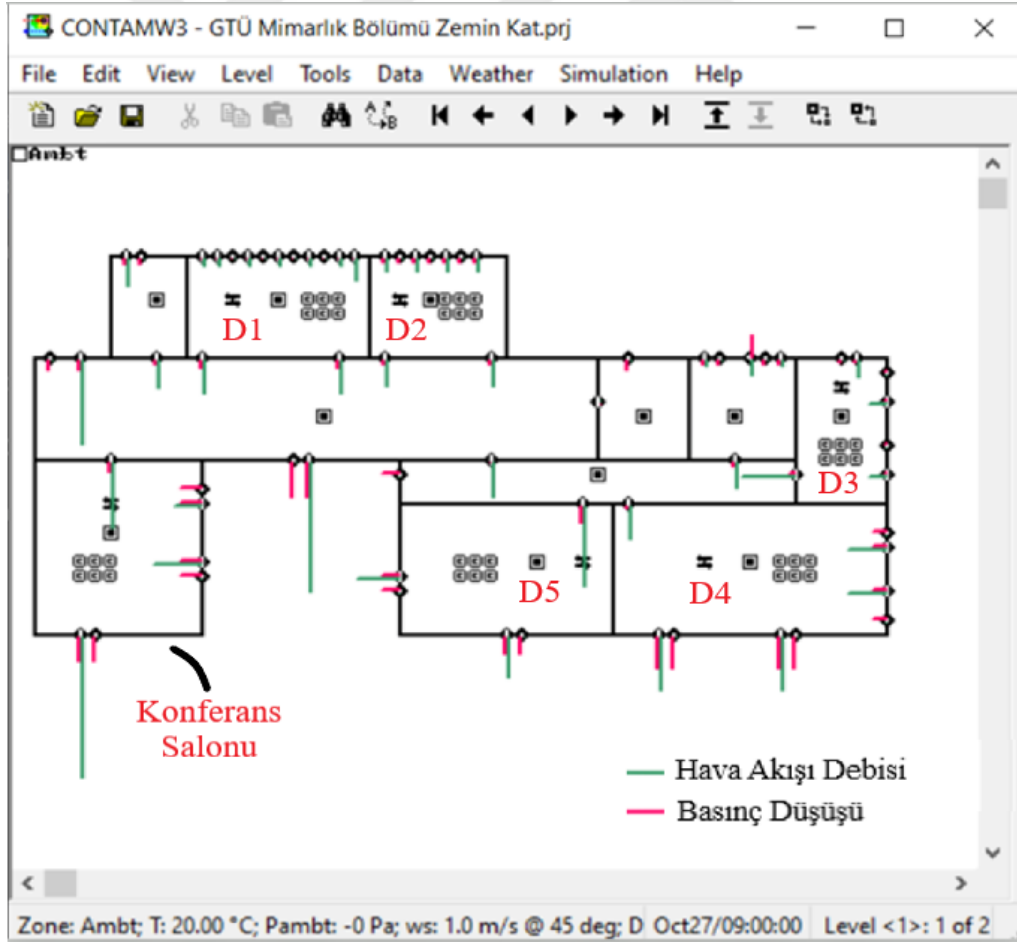
Simülasyonda hakim rüzgar kuzeydoğu olarak tanımlanmıştır. Rüzgar verileri işlendikten sonra Contam, yapının hakim rüzgar yönüne tepki olarak verdiği basınç ve hava akışı sonuçlarını göstermektedir **Şekil 4.19**. Kırmızı çubukların yönü rüzgar etkisiyle gerçekleşen hava akışının yönünü göstermektedir. Çubukların uzunluğu ise basınç farkının büyüklüğünü temsil etmektedir. Uzun çubuk yüksek basınç farkı anlamına gelmektedir.



**Şekil 4.19:** GTÜ Mimarlık Bölümü Zemin Kat Rüzgâr Basıncı Çıktıları.

Ders saati içerisindeki hava akışı ve basınç çıktıları Şekil 4.20’de verilmiştir. Kırmızı renk çubuklar basınç düşüşünü; yeşil renk çubuklar ise hava akışı debisini göstermektedir. Havalandırma sistemleri iç mekânda pozitif hava basıncı oluşturmaktadır. WC egzozları ise yapıdan hava çekerek yapı içerisinde bir negatif basınç yaratır.

Rüzgar yapının D1 dersliği cephesine (kuzeydoğu) dik olarak etki etmektedir. Bu cepheyi iterek bir pozitif basınç yaratırken D5 dersliğinin olduğu cephede (güneybatı) tam tersine bir negatif basınç yaratır. Tüm mekânlarda havalandırma sistemi pozitif basınç alanı yaratarak iç mekâna temiz hava çekmektedir. Ancak güneybatı cephesindeki mekânların rüzgar etkisi ile negatif basınç altında kaldığı; bu nedenle emme kuvveti oluştuğu görülmektedir. Yani güneydoğu cephesinde yeşil çubuklar rüzgar etkisi ile dışarıya doğru uzanmaktadır. D1, D2 ve D3 dersliklerinde pozitif basınç etkisiyle iç mekâna doğru; D4 dersliği ve konferans salonunda hem iç hem dış mekâna doğru; D5 dersliğinde dış mekâna doğru bir basınç kuvveti oluşmuştur.



Şekil 4.20: GTÜ Mimarlık Bölümü Zemin Kat Hava Akışı ve Basınç Çıktıları.

#### 4.4.2. Kirletici Çıktıları

Gebze Teknik Üniversitesi N Blok Zemin kattaki derslikler ve konferans salonu için Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC), Asetaldehit (AA), Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> kirletici çıktıları alınmıştır. Bu kirletici konsantrasyonları Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye İklimlendirme Meclisi, İç Hava Kalitesi Komisyonu bünyesindeki Sınır Değerler Çalışma Grubu'nun (SÇG) limit değerleri ile kıyaslanmıştır.

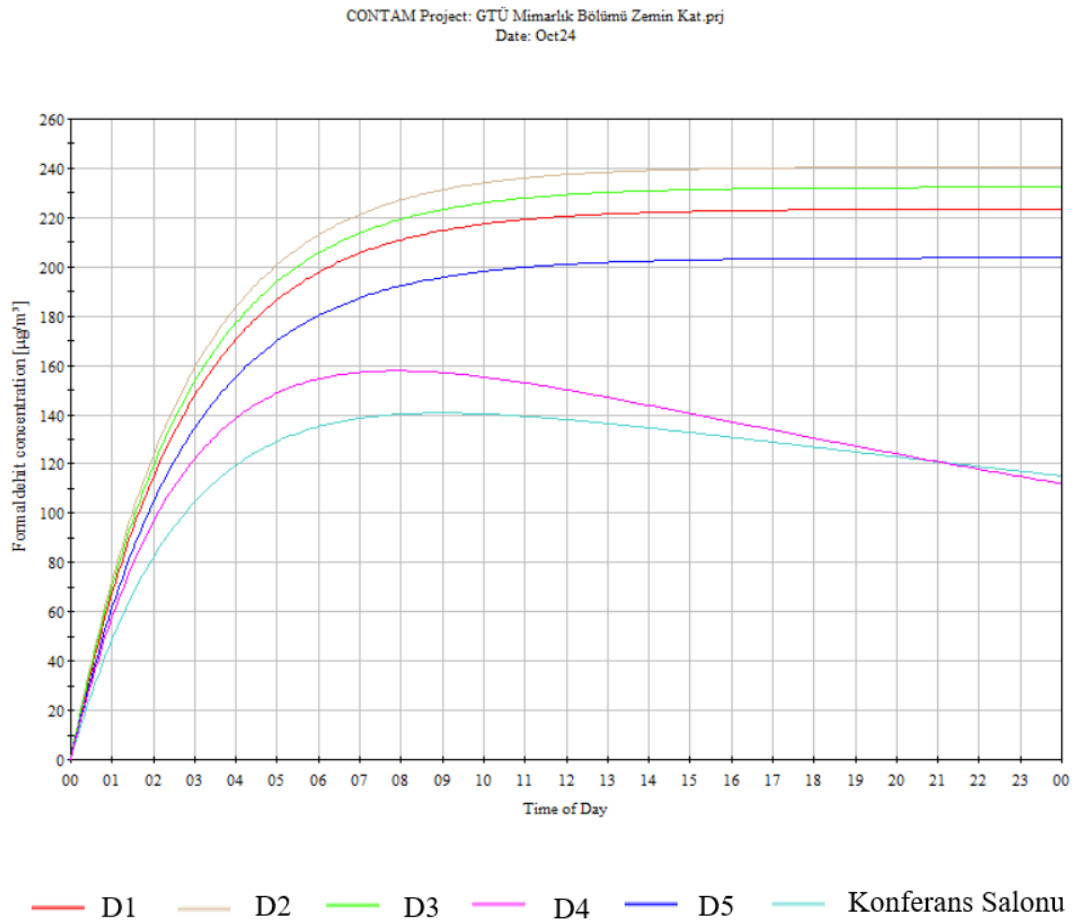
Kirletici konsantrasyonlarına dış mekân kirletici konsantrasyonları da eklenmiştir. Bu veriler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı'ndan elde edilmiştir. Dış mekân havası iç mekâna doğal veya yapay havalandırma ile alındığı için bu konsantrasyonlar da verilere dahil edilmiştir. Havalandırma sisteminde bulunan filtrelerin partikül maddelere olan etkisi de incelenmiştir. Oluşturulan haftalık çizelge ile hafta içi 08:30-17:30 saatleri arasında yapay ve doğal havalandırmanın kullanıldığı; kalan saatlerde mekânın kullanılmadığı ve sadece sızıntı yoluyla havalandırmanın gerçekleştiği varsayılmıştır. Bu saatler Mimarlık Bölümü haftalık ders programı üzerinden elde edilmiştir.

Her bir mekân için grafikte kullanılan çizgisel anlatım renginin lejantı **Şekil 4.21**'de verilmiştir. D1, D2, D3, D4 ve D5 dersliklerin kodlarını ifade etmektedir. Grafiklerde D1 kırmızı, D2 gri, D3 yeşil, D4 pembe, D5 lacivert, konferans salonu mavi renk ile gösterilmiştir.

|          |                 |
|----------|-----------------|
| 3: <1>\  | D1              |
| 4: <1>\  | D2              |
| 8: <1>\  | D3              |
| 10: <1>\ | KonferansSalonu |
| 11: <1>\ | D5              |
| 12: <1>\ | D4              |

**Şekil 4.21:** GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekân Çizgisel Anlatım Renk Lejantı.

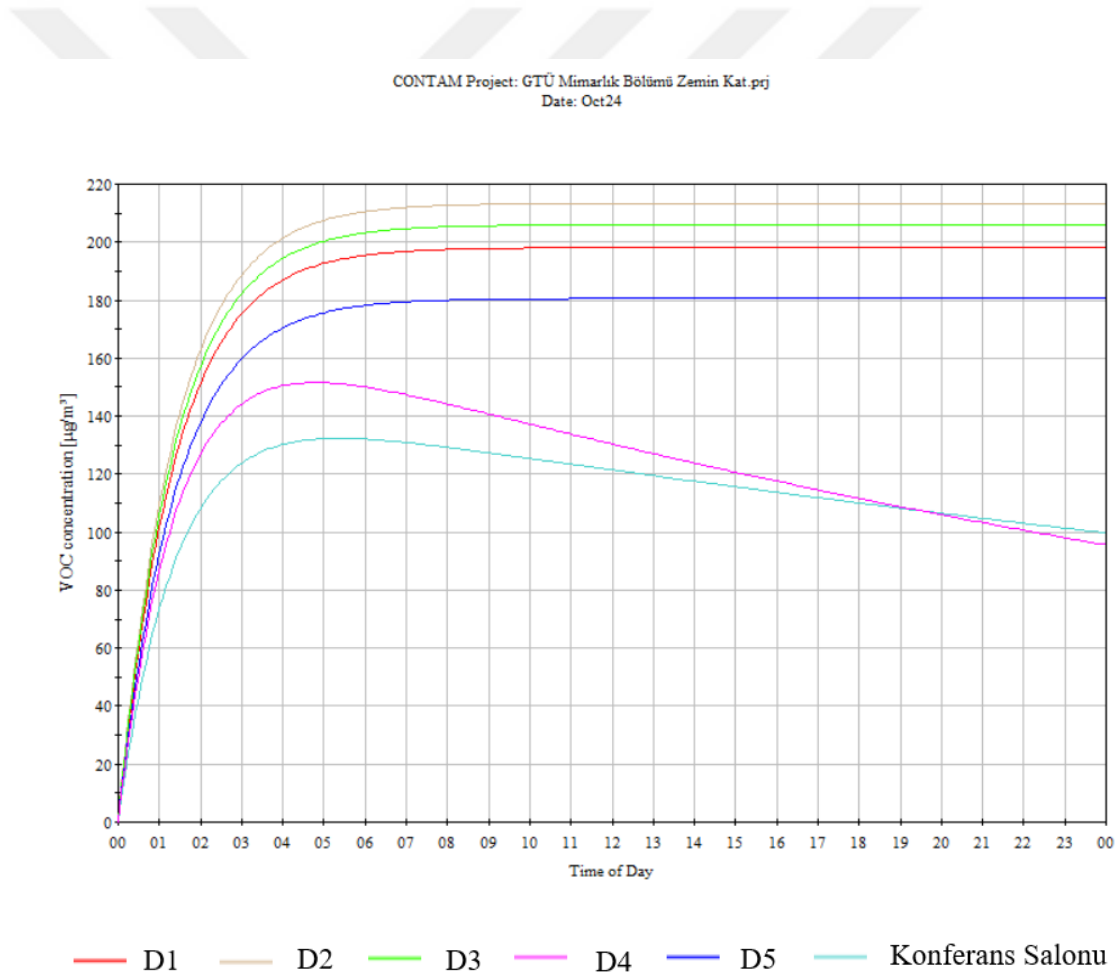
Contam simülasyon aracının kirletici çıktılarına Formaldehit kirleticisi ile başlanmıştır. Yapay havalandırma mekânlarda saat 08:30'da aktif olmaktadır. Saat 08:30'a kadar kirletici konsantrasyonun arttığı görülmektedir. Yapay havalandırma devreye girdikten sonra formaldehit konsantrasyonları dengelenmeye başlamıştır. Öğle saatlerinde ise denge konumuna ulaşmıştır. Konferans salonu ve D4 dersliğinde kirletici konsantrasyonları bir süre sonra düşmeye başlamıştır **Şekil 4.22**. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye İklimlendirme Meclisi, İç Hava Kalitesi Komisyonu bünyesindeki Sınır Değerler Çalışma Grubu'nun (SÇG) Formaldehit için önerdiği limit değer 30 dakika için  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Tüm mekânlarda bu limit değerin aşıldığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.22:** GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların Formaldehit (HCHO) Kirletici Çıktıları.

Formaldehit'te olduğu gibi Uçucu Organik Bileşikler'de (VOC) de yapay havalandırmanın devreye girmesiyle kirletici konsantrasyonları dengelenmeye başlamıştır. SÇG'nin VOC için önerdiği limit değer 8 saat için  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Tüm mekânlarda maksimum değerde bile bu limit değerinin altında kalmıştır **Şekil 4.23**.

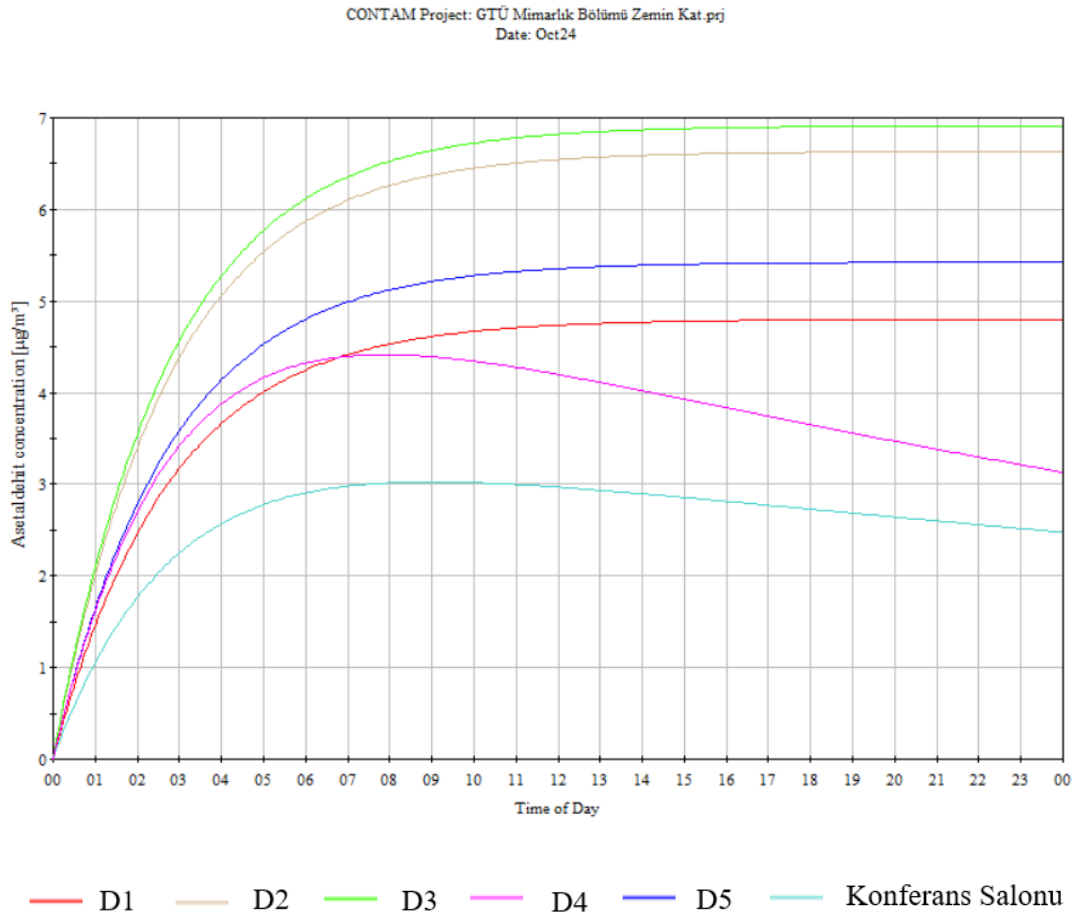
En düşük konsantrasyon D4 dersliğinde ve konferans salonunda görülmüştür. Havalandırma sisteminin devreye girmesiyle beraber D4 dersliğinde %40; konferans salonunda %30'luk bir konsantrasyon düşüşü yaşanmıştır. Diğer mekânlarda havalandırma sisteminin devreye girmesiyle beraber bir düşüş yaşanmamıştır ancak konsantrasyonlar denge noktasına ulaşmıştır. En yüksek konsantrasyon D2 dersliğinde gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.23:** GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların Uçucu Organik Bileşik (VOC) Kirletici Çıktıları.

Asetaldehit bir uçucu organik bileşiktir. Bu nedenle çalışmada SÇG'nin VOC için önerdiği 8 saat için  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  limit değeri baz alınmıştır. Tüm mekânlarda Asetaldehit kirletici değeri  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten daha az çıkmıştır **Şekil 4.24**.

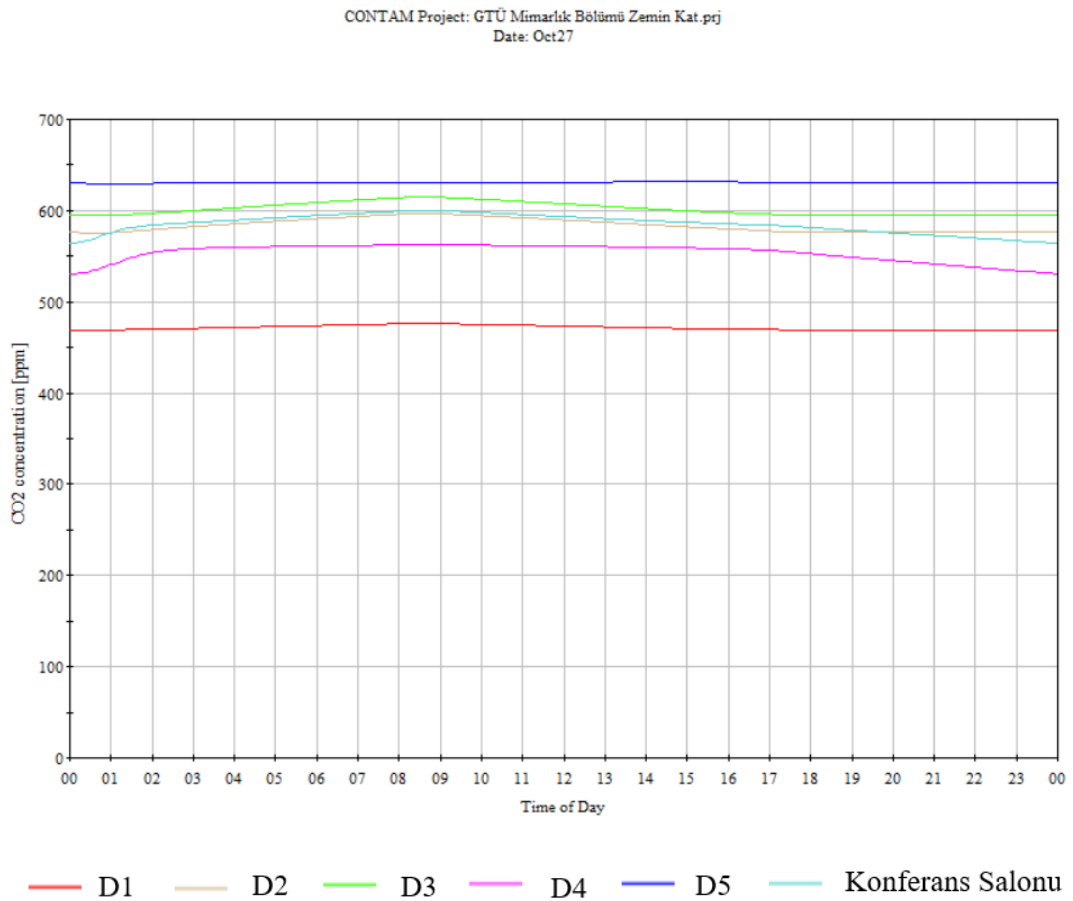
En düşük konsantrasyonlar D4 dersliğinde ve konferans salonunda gözlenmiştir. D4 dersliği ve konferans salonunda havalandırma sisteminin açılmasıyla kirletici seviyesinde sırasıyla yaklaşık %30'luk ve %17'lik bir düşüş yaşanmıştır. En yüksek kirletici seviyesi D3 dersliğinde oluşmuştur. D1, D3 ve D5 dersliklerinde havalandırma sisteminin açılmasıyla kirletici konsantrasyonları denge noktasına ulaşmıştır.



**Şekil 4.24:** GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların Asetaldehit (AA) Kirletici Çıktıları.

SÇG, CO<sub>2</sub> kirleticisi için anlık limit değerini 1000 ppm olarak belirlemiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde maksimum kirletici yoğunluğunun D5 dersliğinde gözlemlendiği ve 650 ppm olduğu belirlenmiştir. En düşük CO<sub>2</sub> yoğunluğu 475 ppm ile D1 dersliğinde saptanmıştır **Şekil 4.25**. Yapay ve doğal havalandırmanın etkisiyle CO<sub>2</sub> yoğunluğu tüm mekânlarda dengede kalmıştır. Bu sonuç havalandırma sistemi ve mekân kullanıcı sayısının dengeli olduğu anlamına gelmektedir.

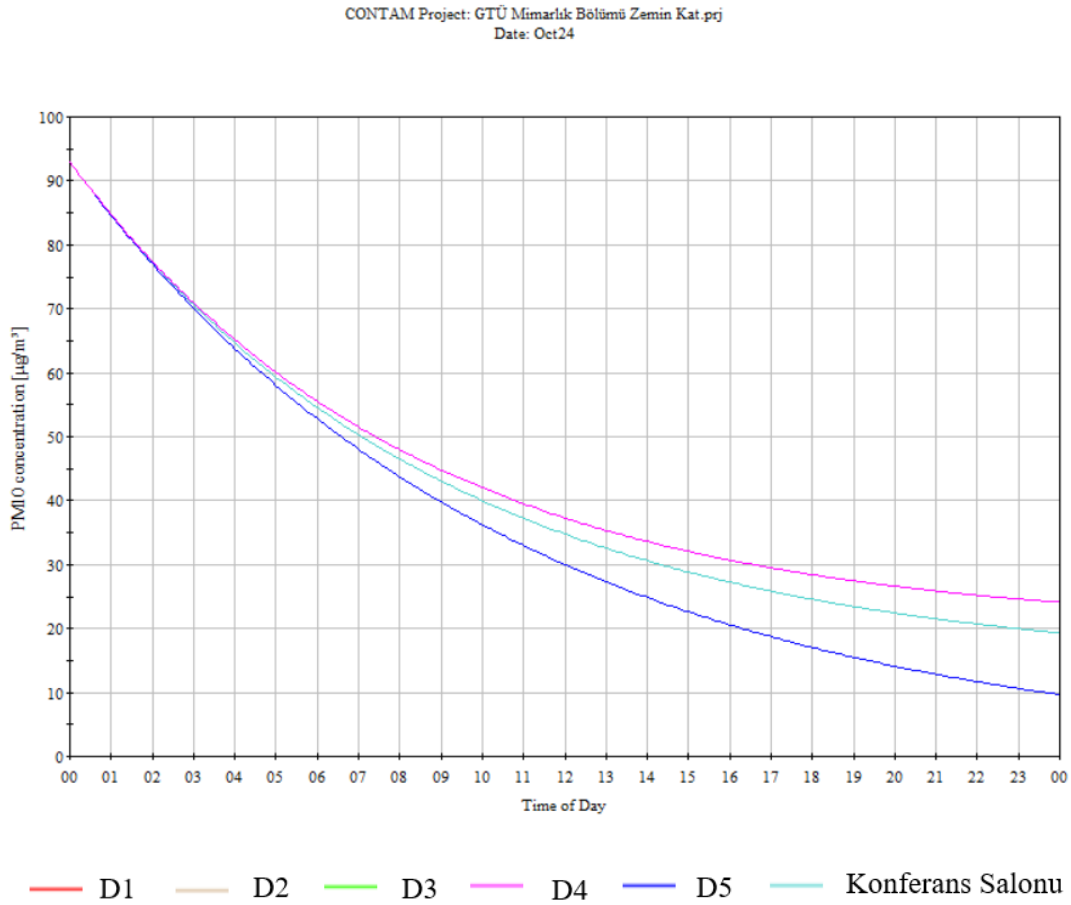
Havalandırma sisteminin iç mekândaki havayı kaç kere sirküle ettiği “hava değişim katsayısı” terimi ile ifade edilmektedir. Dersliklerde 1.5-2 kere sirküle eden hava, simülasyon sonuçları göz önünde bulundurulduğunda yeterli sayılmaktadır. Ancak simülasyon sırasında mekândaki kişi sayısının sandalye sayısı kadar olduğu varsayılmıştır. Mekândaki kullanıcı sayısının kapasite üzerine çıktığı durumda simülasyon sonucunun değişmesi kaçınılmazdır.



**Şekil 4.25:** GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) Kirletici Çıktıları.

**Şekil 4.26'**da PM<sub>10</sub> kirleticisi için simülasyon çıktıları görülmektedir. D1, D2, D3, D5 derslikleri için aynı grafik eğrisi oluşmuştur. D4 ve konferans salonu için farklı iki değer gözlenmiştir. Tüm mekânlarda başlangıç kirletici konsantrasyonu yaklaşık 92,5 µg/m<sup>3</sup>'tür. Havalandırma sisteminin devreye girmesi sonucu fitreler partikül maddeleri yakalamış ve kirletici konsantrasyonunda düşüş yaşanmıştır.

D1 dersliği 330 m<sup>3</sup>, D2 dersliği 290 m<sup>3</sup>, D3 dersliği 285 m<sup>3</sup>, D4 dersliği 675 m<sup>3</sup>, D5 dersliği 555 m<sup>3</sup>, konferans salonu 600 m<sup>3</sup> alana sahiptir. Yine sırasıyla havalandırma debileri 600 m<sup>3</sup>/h, 400 m<sup>3</sup>/h, 500 m<sup>3</sup>/h, 900 m<sup>3</sup>/h, 600 m<sup>3</sup>/h, 1000 m<sup>3</sup>/h'tir. Bu verileri birbirine oranladığımız zaman hava değişim katsayılarının D1 dersliği için 1,8; D2 dersliği için 1,4; D3 dersliği için 1,8; D4 dersliği için 1,3; D5 dersliği için 1,1; konferans salonu için 1,7 olduğu görülmüştür. D4 dersliği hem düşük hava değişim katsayısına hem de fazla kullanıcı sayısına sahip olduğu için; konferans salonu yüksek hava değişim katsayısına sahip olmasına rağmen yoğun kullanıcıya sahip olduğu için daha yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir.

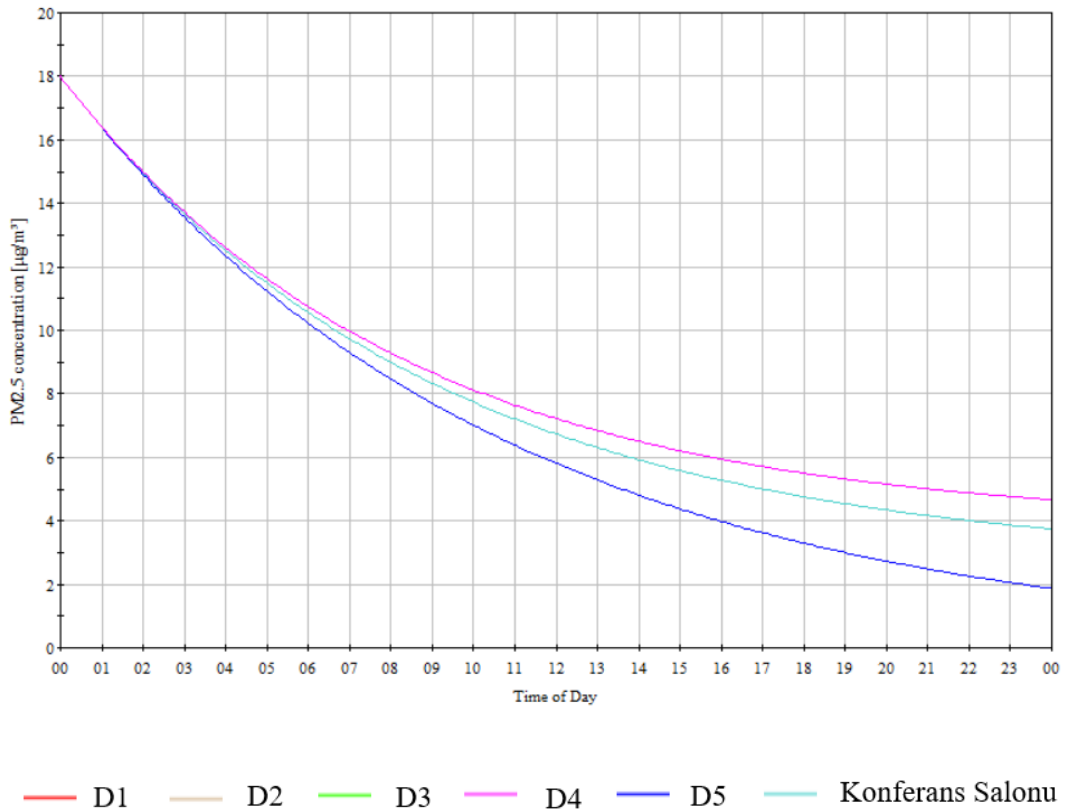


**Şekil 4.26:** GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların PM<sub>10</sub> Kirletici Çıktıları.

Aynı şekilde **Şekil 4.27**'de  $PM_{2,5}$  kirleticisi için simülasyon çıktıları görülmektedir. D1, D2, D3, D5 derslikleri için aynı grafik eğrisi oluşmuştur. D4 ve konferans salonu için farklı iki değer gözlenmiştir. Yapay havalandırmanın aktifleşmesi sonucu  $PM_{2,5}$  kirletici konsantrasyonu düşmüştür. İki partikül madde düşüş hızı birbiri ile kıyaslandığında  $PM_{10}$  kirleticisinin düşüş hızının yüzdelik olarak daha fazla olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni G4 filtresinin daha büyük boyutlu kirleticileri yakalama kabiliyeti olmasıdır.

Hava değişim katsayılarının D1 dersliği için 1,8; D2 dersliği için 1,4; D3 dersliği için 1,8; D4 dersliği için 1,3; D5 dersliği için 1,1; konferans salonu için 1,7 olduğu önceki hesaplamalarda belirlenmiştir.  $PM_{10}$  kirleticisinde olduğu gibi, D4 dersliği hem düşük hava değişim katsayısına hem de fazla kullanıcı sayısına sahip olduğu için; konferans salonu yüksek hava değişim katsayısına sahip olmasına rağmen yoğun kullanıcıya sahip olduğu için daha yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir.

CONTAM Project: GTÜ Mimarlık Bölümü Zemin Kat.prj  
Date: Oct24



**Şekil 4.27:** GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Zemin Kat Mekânların  $PM_{2,5}$  Kirletici Çıktıları.

**Çizelge 4.9'**da Gebze Teknik Üniversitesi N Blok Mimarlık Bölümü Zemin Katındaki dersliklerin ve konferans salonunun maksimum kirletici konsantrasyonları belirlenmiştir. Gün içerisindeki maksimum değerler tabloya işlenmiştir.

Önerilen limit değerlerde TOBB Sınır Değerler Çalışma Grubu'nun verileri kullanılmıştır. Formaldehit için D4 dersliği ve konferans salonunda değerler gün içerisinde düşse de önerilen limit değer olan  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  altına düşmemiştir.  $\text{PM}_{10}$  ve  $\text{PM}_{2,5}$  kirleticilerinde ise tüm mekânlarda yüksek kirletici konsantrasyonları gözlene de gün sonunda tüm mekânlarda kirletici konsantrasyonları önerilen limit değer altına düşmüştür.  $\text{PM}_{10}$ 'un 8 saatlik ortalaması  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ile  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  limit değerini aşmıştır.  $\text{PM}_{2,5}$  'in 8 saatlik ortalaması ise  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ile  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  limit değerinin altında kalmıştır. Uçucu organik bileşik, asetaldehit ve  $\text{CO}_2$ 'nin maksimum değerleri limit değer altında kaldığı için 8 saatlik ortalamaları da önerilen limit değer aralığındadır.

Ashrae ve Dünya Sağlık Örgütü Standartları bu çalışmada ele alınan her bir kirletici için limit değerleri vermemektedir. Bu nedenle Contam ile elde edilen kirletici (Formaldehit, Uçucu Organik Bileşik, Asetaldehit,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ) konsantrasyonlarına ilişkin değerler TOBB Sınır Değerler Çalışma Grubu verilerine göre değerlendirilmiştir **Çizelge 4.9**.

**Çizelge 4.9:** Gebze Teknik Üniversitesi N Blok Mimarlık Bölümü Zemin Kat Derslik ve Konferans Salonu Maksimum Kirletici Konsantrasyonları.

|                             | HCHO                                        | VOC                                      | AA                                       | $\text{CO}_2$       | $\text{PM}_{10}$                        | $\text{PM}_{2,5}$                       |
|-----------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| D1                          | 225 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                | 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 4,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 475 ppm             | 92,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$           | 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             |
| D2                          | 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                | 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 6,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 600 ppm             | 92,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$           | 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             |
| D3                          | 230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                | 205 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$               | 625 ppm             | 92,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$           | 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             |
| D4                          | 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                | 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 4,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 550 ppm             | 92,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$           | 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             |
| D5                          | 205 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                | 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 650 ppm             | 92,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$           | 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             |
| K                           | 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                | 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             | 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$               | 600 ppm             | 92,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$           | 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$             |
| SÇG Önerilen<br>Limit Değer | 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(30 dakika) | 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(8 saat) | 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(8 saat) | 1000 ppm<br>(anlık) | 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(8 saat) | 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(8 saat) |

## 4.5. GTÜ Mimarlık Bölümü N Blok Yapısının İç Mekân Hava Kalitesi Kapsamında İyileştirme Önerileri

Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok yapısında iç mekân hava kalitesinin artırılması için yapılması gereken iyileştirme önerileri şunlardır:

- İç mekânda kullanılan tefrişlerden yayılan kirleticiler iç mekân hava kirliliğine neden olmaktadır. Endüstriyel ahşap ürünlerinde bulunan yapıştırıcılar, cilalar vb. bu kirliliğin kaynaklarıdır. Bunun yerine emisyon oluşturmayacak doğal ahşap kökenli tefrişler kullanılarak iç mekân havasının kirlenmesi önlenabilir.
- Doğal havalandırma ile dış mekândaki temiz havanın içeriye alınması sağlanabilir. Dış mekân havasının kirletici konsantrasyonunun azalması için kullanıcılar eğitilerek bilinç sahibi olmaları sağlanabilir.
- Havalandırma sisteminde kullanılan filtrelerin sadece kaba tozları yakalayan türde değil, daha ince partiküllü kirleticileri tutacak özellikte filtrelerle değişimi yapılabilir.
- Havalandırma sisteminin iç mekândaki havayı kaç kere sirküle ettiği “hava değişim katsayısı” terimi ile ifade edilmektedir. Mekânlarda ortalama 1.5-2 kere hava sirküle edildiği tespit edilmiştir. Maket yapımında kullanılan yapıştırıcılar, kullanıcı faaliyetleri, kirletici kaynakları göz önünde bulundurulduğunda bu değişim katsayısının yeterli olmadığı kanısına varılmıştır. Havalandırma kapasitesi daha yüksek havalandırma cihazları kullanılarak mekândaki hava sirkülasyonu sayısı artırılmalıdır.
- Öğrenciler, maketlerini dersliklerde değil maket atölyesinde yapmaları konusunda bilinçlendirilmelidir.
- Mekânlar, içlerinde bulunan sandalye sayısı kadar kullanıcı olduğu varsayılarak simüle edilmiştir. Derslikler kapasitelerinden fazla öğrenci tarafından kullanılmamalıdır.
- Konferans salonu derslik yetersizliği nedeni ile bazı dönemlerde derslik olarak kullanılmaktadır. Mekânlar kendi işlevleri doğrultusunda kullanılmalıdır. Çünkü havalandırma sistemlerinin kapasitesi mekânların kullanım süresi ve yoğunluğu düşünülerek belirlenmektedir.
- Tasarımcılar iç mekân hava kalitesi simülasyon programlarını tasarım aşamasında kullanmalı ve yapı malzemesi seçiminde daha bilinçli tercihler yapmalıdır.

- Dersliklere iç mekân hava kalitesini ölçen cihazlar konabilir. Bu kontrol cihazları sayesinde iç mekân havasının kirlendiği durumlarda kullanıcı tarafından aksiyon alınabilir.
- Dış mekân havasındaki kirletici seviyesi kampüs ve çevre etkisi ile yüksekse kontrolsüz pencere açımı içeri kirleticileri taşıyabilir. Bu nedenle “dış mekân havası uygunken doğal havalandırma, uygun değilken filtrasyon/açık kalma süresi kontrolü” şeklinde koşullu bir yaklaşım benimsenmelidir. İç mekâna ek olarak dış mekân havasındaki kirletici değerlerini ölçen cihazlar konabilir.
- İç mekân hava kalitesinin önemi kullanıcı ve tasarımcılara eğitimlerle aktarılmalı ve bilinç oluşturulmalıdır.
- Simülasyon çıktıları, formaldehit konsantrasyonlarının önerilen limit değerlerin üzerinde seyrettiğini ve PM<sub>10</sub> için 8 saatlik ortalamanın limit değeri aştığını göstermektedir; uçucu organik bileşik, asetaldehit ve CO<sub>2</sub> değerleri ise önerilen limit değerlerin altında kalmaktadır. Bu nedenle iyileştirme stratejisi formaldehit ve PM odaklı kaynak kontrolü ile havalandırma/filtrasyon kapasitesinin işletme senaryolarına göre optimize edilmesi üzerine kurulmalıdır.

## 5. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Eğitim yapıları; kullanıcı sirkülasyonunun sıklığı, kullanım yoğunluğu ve kullanım süresinin uzunluğu nedeniyle iç mekân hava kirliliği kontrolü sağlanması gereken yapılardır. İç mekân hava kirleticilerinin kaynağını bilmek tasarımcı ve kullanıcılar için önem arz etmektedir. Tasarlanan ve kullanılan mekânın iç mekân hava kalitesine uygun düzenlenmesi veya dönüştürülmesi bir bilinç oluşturması için önemlidir.

İç mekân hava kirleticileri uzun veya kısa maruziyet sonucu mekân kullanıcılarında çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu sağlık sorunları kullanıcıda fiziksel veya psikolojik etkiler gösterebilir. İç mekân hava kirleticilerin tahriş edici, zehirli veya kanserojen etkileri olabilir. Kirleticiler kullanıcının fizyolojisine olduğu kadar psikolojisine de etkide bulunabilir. İç mekân hava kirleticilerinin neden olduğu hastalıklardan biri Sağlıksız Bina Sendromu'dur. SBS belirtileri kullanıcı yapıya girdikten kısa bir süre sonra başlayıp kullanıcı yapıyı terkettikten kısa bir süre sonra da yok olmaktadır. İç mekân hava kirleticileri bronşit, zehirlenme, kanser, alerji gibi birçok rahatsızlığa neden olabilir. Bu rahatsızlıklardan en çok çocuk, hasta, yaşlı gibi risk grupları etkilenebilir.

Türkiye'de ve Dünya'da iç mekân hava kalitesinin limit değerlerini belirleyen bazı yönetmelik ve standartlar bulunmaktadır. Türkiye'de Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, Ulusal Hava Kalitesi İndeksi, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Türkiye İklimlendirme Meclisi İç Hava Kalitesi Komisyonu Sınır Değerler Çalışma Grubu'nun belirlediği limit değerler bulunmaktadır. Dünya'da ise Ashrae, Avrupa Birliği, Dünya Sağlık Örgütü gibi kurumların çalışmaları bulunmaktadır. Bu limit değerler, belirli zaman periyotlarında kirleticilerin tehlike arz edecek güvenli değerlerini belirtmektedir. Her bir yönetmelik veya standart ülkelerin ve kurumların hava kalitesine karşı izlediği politikaya veya coğrafi özelliklere göre değişiklik göstermektedir.

Havalandırma sistemleri, dış mekândan iç mekâna taze havanın alınmasına olanak sağlayan sistemlerdir. Doğal, yapay ve karma havalandırma sistemleri bulunmaktadır. Dış mekân havası bazı sistemlerde filtrelenerek iç mekâna alınmaktadır. Doğal havalandırma yapı kabuğundaki boşluklardan iç mekâna alınan havadır. Tek taraflı, çapraz veya baca etkisiyle gerçekleşir. Yapay havalandırma ise mekanik sistemler

kullanılarak dış mekân havasının içeri alınmasıyla gerçekleştirilir. Doğal hava girişi ve yapay hava çıkışı sağlanarak; yapay hava girişi ve doğal hava çıkışı sağlanarak; yapay hava girişi ve yapay hava çıkışı sağlanarak yapılabilir. Karma havalandırma sistemleri karışık modlu ve hibrit havalandırma olarak ikiye ayrılır. Doğal ve yapay havalandırma sistemlerinin birlikte kullanıldığı havalandırma çeşididir. Tasarımcı tarafından mekânın kullanım amacı ve ihtiyacına göre uygun havalandırma sistemi seçilir.

İç mekân hava kalitesinin simüle edilebilmesi için çeşitli yazılımlar kullanılabilir. Çalışma kapsamında Contam, Modelica, IA-Quest ve IAQX simülasyon araçları incelenmiştir. Contam ABD'DE, Modelica Kanada ve Asya'da, IA-Quest Kanada'da geliştirilmiştir. IAQX ise EPA tarafından geliştirilmiştir. Bu simülasyon araçlarının güçlü ve zayıf yönleri mevcuttur. Tüm yazılımlara ücretsiz olarak erişim sağlanabilir. Contam 2D çizim olanağı sunması, TRNSYS ve Energy Plus ile entegrasyonu, kılavuzu ve resmi sitesinde yer alan eğitim videoları nedeniyle en güncel simülasyon aracı olarak seçilmiştir.

Literatür taraması yapılırken son bir sene içerisinde Contam için yapılmış makale çalışmaları analiz edilmiştir. Çalışmalar Contam'ın güvenilir ve işlevsel bir simülasyon programı olduğunu vurgulamaktadır. Ancak çalışmalarda Contam'ın kullanımına dair detaylı bir açıklama yer almamaktadır. Bu tez çalışması Contam simülasyon aracı için bir rehber görevi görecek ve ileride yapılacak çalışmalar için bir altlık oluşturacaktır.

Çalışma kapsamında Contam simülasyon aracı ile Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok yapısının zemin katı simüle edilmiştir. Yapı erişim kolaylığı, farklı doğal havalandırma çeşitlerine sahip derslikler bulundurması ve farklı boyutlara sahip mekânlara sahip olması nedeniyle tercih edilmiştir. Yapının zemin katındaki konferans salonu, derslikler, ıslak hacimler ve sirkülasyon alanları modellenmiştir. Derslikler ve konferans salonuna ait rüzgâr, hava akışı ve basınç çıktıları ile kirletici çıktıları alınmıştır.

Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok yapısında;

- Dersliklerin kendi işlevinden farklı olarak hem teorik hem de uygulamalı eğitim için kullanılması,
- Derslik sayısının yeterli gelmemesi sonucu konferans salonunun teorik derslik olarak kullanılması,
- Uygulamalı derslerde öğrencilerin maket yaparken derslik içerisinde yapıştırıcı jel ve spreylere ürünler kullanması,
- Öğrenci sayılarının artışı nedeniyle dersliklerin bazı durumlarda kapasitelerinin üzerinde kullanılması gibi sorunlar saptanmıştır.

Contam simülasyon aracında ilk olarak yapı özellikleri tanımlanmıştır. Yapı işlev, mekân boyutu, tefrişler, havalandırma çeşidi, yapı malzemeleri açısından analiz edilmiştir. Yapı idealleştirme adımıyla bölgeler ve tipleri, havalandırma ve sızıntı noktaları, yapay havalandırma yerleri belirlenmiştir. Şematik temsil adımıyla ise çizim alanına yapı planı işlenmiş; bölge, hava akış yolu ve kaynak ikonları eklenmiştir. Yapı bileşenlerini tanımlama adımıyla ise bölge özellikleri, hava akış yolu özellikleri, tanımlanmıştır. CONTAMLink kullanılarak iç mekân hava kirlenimlerinin özellikleri öğrenilerek Contam simülasyon aracında kirlenim özellikleri tanımlanmıştır. Kaynak özellikleri, havalandırma sistemi, filtre, rüzgâr ve sıcaklık verileri, günlük ve haftalık çizelge tanımlandıktan sonra yapı bileşenlerini tanımlama adımı tamamlanmıştır. Simülasyon parametreleri tanımlanarak simülasyon çıktıları alınmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Kuzeydoğu yönünden esen hakim rüzgâr yapının D1 cephesine yaklaşık olarak dik etki etmektedir. Bu cepheyi iterek pozitif bir basınç yaratmakta; D5 dersliğinin bulunduğu cephede ise negatif bir basınç yaratmaktadır. Tüm mekânlarda pozitif bir basınç alanı yaratarak iç mekâna temiz hava çeken yapay havalandırmanın etkisi; D5 dersliğinin bulunduğu cephedeki negatif basınçtan olumsuz etkilenmektedir. Bunun sonucunda D1 cephesindeki mekânlarda iç mekâna doğru; D5 cephesinin olduğu mekânlarda dış mekâna doğru bir akış yaşanmaktadır.

Gebze Teknik Üniversitesi N Blok Zemin kattaki derslikler ve konferans salonu için Formaldehit (HCHO), Uçucu Organik Bileşik (VOC), Asetaldehit (AA), Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> kirlenim çıktıları alınmıştır. Bu kirlenim konsantrasyonları Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye İklimlendirme Meclisi,

İç Hava Kalitesi Komisyonu bünyesindeki Sınır Değerler Çalışma Grubu'nun (SÇG) limit değerleri ile kıyaslanmıştır. Dış mekân konsantrasyonları Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı'ndan elde edilerek simülasyona dahil edilmiştir. Yapay havalandırma sistemi ve filtrelerin iç mekân hava kirleticilerine etkisi de incelenmiştir. Mimarlık Bölümü haftalık ders programından elde edilen veriler sonucu hafta içi 08:30-17:30 saatleri arasında mekânların kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu saat dilimlerinde yapay ve doğal havalandırmanın kullanıldığı; geri kalan zaman diliminde ise mekânın kullanılmadığı ve sadece sızıntı yoluyla havalandırmanın gerçekleştiği varsayılmıştır. Ayrıca dersliklerde bulunan sandalye sayısı kadar kullanıcı olduğu varsayılmıştır.

Simülasyon sonucunda VOC, Asetaldehit ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının SÇG'nin önerdiği limit değerlerin altında kaldığı bulunmuştur. Formaldehit için D4 dersliği ve konferans salonunda değerler gün içerisinde düşse de önerilen limit değer olan 100 µg/m<sup>3</sup> altına düşmemiştir. PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> kirleticilerinde ise tüm mekânlarda yüksek kirletici konsantrasyonları gözlenirse de gün sonunda tüm mekânlarda kirletici konsantrasyonları önerilen limit değerinin altına düşmüştür.

Simülasyon ideal koşullar düşünülerek gerçekleştirildiği için mekânın sandalye sayısı adedince öğrenci tarafından kullanıldığı varsayılmıştır. Ancak derslik sayısı yeterli gelmediği için mekânın kapasitesinden fazla kullanıcı tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca maket atölyesi bulunduğu halde öğrencilerin dersliklerde yapıştırıcı malzemeler kullanması da iç mekân hava kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kullanılan yapıştırıcı miktarı ve süresi belirlenemeyeceği için simülasyonda kapsam dışı bırakılmıştır. Simülasyon sonuçlarında hava değişim katsayıları ve kirletici konsantrasyonları oldukça yeterli görülse de gerçek kullanım koşullarındaki bu etkenlerin de göz önünde bulundurulması ve ileride yapılacak çalışmaların ölçüm yapılarak desteklenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü N Blok yapısında iç mekân hava kalitesinin artırılması için çeşitli iyileştirmeler yapılabilir. İç mekânda kullanılan tefrişlerde bulunan yapıştırıcılar ve cilaların neden olduğu kirliliğin önlenmesi için emisyon oluşturmayacak doğal ahşap kökenli tefrişler kullanılabilir. Dış mekân havasının korunması için insanlarda bir bilinç oluşturulabilir. Temiz tutulan dış mekân havasının doğal havalandırma ile iç mekâna alınması sağlanabilir. Havalandırma sisteminde kullanılan filtrelerin ince tozları tutacak filtrelerle değişimi sağlanabilir.

Havalandırma kapasitesi daha yüksek cihazlar kullanılarak hava değişim katsayısı sayısı artırılabilir. Öğrencilerin maket atölyesini kullanmasının teşvik edilmesinin yanı sıra dersliklerin kapasitesinden fazla öğrenci tarafından kullanılmaması sağlanabilir. Konferans salonunun derslik olarak değil kendi işlevi doğrultusunda kullanımı sağlanabilir. İleride çeşitli yapı ve mekânların tasarımcısı olacak mimar adayı öğrencilerin iç mekân hava kalitesi konusunda bilinçlenmesi ve malzeme seçiminde eğitilmesi sağlanabilir. Mekânlara iç mekân hava kalitesini ölçen cihazlar konarak kullanıcının anlık olarak iç mekân hava kalitesini takip etmesi sağlanabilir.

Simülasyon araçları kullanım ve tasarım aşamasında iç mekân hava kalitesinin değerlendirilmesi için önemli yazılımlardır. Bu yazılımların kullanımının yaygınlaştırılması ve iç mekân hava kalitesinin yapı tasarımındaki öneminin tasarımcılar tarafından benimsenmesi gerekmektedir. Contam güvenilir ve işlevsel bir iç mekân hava kalitesi simülasyon aracıdır. Ancak arayüzü daha modern, kullanımı daha kolay, Türkçe ve ülkemizin yapı malzemesi veritabanı bulunan bir iç mekân hava kalitesi simülasyon aracının gerekliliği önem arz etmektedir. İç mekân hava kalitesi simülasyon çalışmalarının ölçümlerde desteklenmesi, farklı simülasyon araçlarının sonuçlarının birbiri ile kıyaslanması ve ülkemize ait bir iç mekân hava kalitesi simülasyon aracının üretilmesi; ayrıca iç mekân hava kalitesine dair simülasyon çalışmalarının sonuçlarının saha deneyleri sonucunda elde edilen verilerle validasyonunun yapılması gelecek çalışmalar için öneri niteliğindedir.

Jel/sprey yapıştırıcı malzemelerden yayılan iç mekân hava kirleticileriyle ilgili literatür eksikliği bulunmaktadır. Simülasyon sonuçları ve gerçek ölçümler kıyaslanarak kirletici konsantrasyonlarında bir fark saptanabilir. Bu saptama sonucunda yapıştırıcı malzemelerin emisyon oranlarıyla ilgili veriler elde edilebilir. Mekânlarda uygulamalı ve teorik dersler aynı gün içerisinde farklı zaman dilimlerinde yapılabilir. Gerçekleştirilecek simülasyonun uygulamalı derslerin zaman aralığı ve kişi sayısı ile örtüşmesi gerekmektedir. Çünkü kullanıcı sayısı mekândaki CO<sub>2</sub> ve PM emisyonunu doğrudan etkilemektedir. Kullanıcı ve senaryo bazlı gelecek simülasyon çalışmaları yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Abbaspour, A., Bahadori-Jahromi, A., Janbey, A., & Tahayori, H., (2025). "Advancing Energy and Indoor Environmental Quality Through Integrated Co-Simulation and Multi-Objective Optimisation for SARS-CoV-2 Risk Mitigation: A UK Case Study". *Energy Science & Engineering*, 2025, ese3.70314.
- Akgül, G., (2014). "Türk İnşaat Sektöründeki Proje Paydaşlarının Sürdürülebilirlik Algısı". Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akgün, N., (2019). "Yeşil Ofis Yapıları ve Bu Yapılardaki Konfor Koşullarının Kullanıcı Memnuniyeti Açısından Araştırılması". Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.
- Akyıldız, B., (2022). "Çağdaş Ahşap Hibrit Sistemlerin Yapı Biyolojisi Bağlamında İrdelenmesi". Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Alptekin, O., (2007). "Binalarda İç Hava Kalitesi Toz Partiküllerinin İç Mekan Hava Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Apak, H., (2014). "Yapılarda Radon Etkisini Azaltmaya ya da Yok Etmeye Yönelik Bir Yaklaşım". Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Apdik, S.N., (2025). "Yenilikçi Sürdürülebilir Eğitim Mekânı Geliştirilmesi: Sürdürülebilir Meta Sınıf Örneği". Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Artuç, Ü., (2025). "Türkiye'de Karbon Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Lamine Masif Ahşap Mimarisi ve Yöntemleri". Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aslan, D.E., (1997). "İç Hava Kalitesi ve Kontrolü", III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Makine Mühendisleri Odası, 97' Teskon Program Bildirileri/İHK 005, 55-63.
- Atmaca, İ. ve Yiğit, A., (2007). "İklimlendirilen Ortamlar için Isıl Konforun Geçici Rejim Enerji Dengesi Modeli ile Değerlendirilmesi", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 99:47–56.
- Balanlı, A., Öztürk A., (2006). "Yapı Biyolojisi:Yaklaşımlar", Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: YTÜ.MF.YK – 06.0759, Faküte Yayın No: MF.MİM – 06.002, İstanbul.
- Bernstein, J. A., Alexis, N., Bacchus, H., vd., (2008). "The Health Effects of Nonindustrial Indoor Air Pollution", *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(3): 585-591.

Betuz, N.E., (2012). “Assessment of indoor air quality in crowded educational spaces”. A Master’s Thesis, Middle East Technical University, Ankara.

Bıyıkoglu, A., (2015). “Türkiye İklimlendirme Sanayi Sektör Raporu”, Tobb İklimlendirme Meclisi, Ankara.

Biler, A., (2024). “A Real Time Experimental Data-Based Method For Assessing The Impact Of Glazed Curtain Walls With Trickle Vents On Indoor Environmental Quality”. Ph.D. Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Bostancıoğlu, A., (2025). “Mobilya ve Donatılardan Kaynaklanan Formaldehit ve Uçucu Organik Bileşiklerin Okul Öncesi Eğitim Yapılarının İç Mekân Hava Kalitesine Etkisinin Araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

Bulgurcu, H., (2015). “Havalandırma ve İç Hava Kalitesi”, Deneysan Ders Notu. [http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1\\_46167331.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1_46167331.pdf)

Cengiz Yılan, T., (2008). “Yapı Ürünlerinden Kaynaklanan Yapı İç Hava Kirliliğinde Risk Yönetimi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Ceylan, A., (2011). “İklimlendirme Sistemlerinin Yapı İç Hava Niteliği Üzerindeki Olumsuz Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Choi, Y. J., Choi, E. J., Byun, J. Y., Moon, H. J., Sung, M. K., & Moon, J. W., (2025). "CO<sub>2</sub>- and PM<sub>2.5</sub>-Focused Optimal Ventilation Strategy Based on Predictive Control". Indoor Air, 2025, 6652442.

Coşkun, M., (2003). “Coğrafya Öğretiminde Nem Konusundaki Kavram Yanlışlıkları ve Giderilmesine Yönelik Öneriler”, GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 3,147-158.

Çilingiroğlu, S., (2010). “İç Hava Kalitesi”, TMOOB Makina Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, 29.

Çokal, G., (2016). “Sürdürülebilirlik Bakış Açısıyla Mevcut Otellerin Yeniden Tasarlanması: Güral Premier Tekirova”. Yüksek Lisans Tezi, Yaşar Üniversitesi, İzmir.

Darçın, P., Balanlı, A., (2012). “Yapılarda Doğal Havalandırmanın Sağlanmasına Yönelik İlkeler”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, s.33-42.

Darçın, P., (2008). “Yapı İç Hava Kirliliğinin Giderilmesinde Doğal Havalandırma İlkeleri”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Darçın, P., (2014). “Yapı İç Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Demir, D., (2025). “Perakende Satış Mağazalarının İç Ortam Kalitesinin Değerlendirilmesine Yönelik Örnek Bir Çalışma”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.

Demir, E., (2010). “A Study On Elementary School Buildings In Terms Of Sustainable Design Principles With The Object Of Developing Intervention Opportunities”. Master Thesis, Yeditepe University, İstanbul.

Demirarslan, K. O., & Başak, S. (2018). “Hasta Bina Sendromu Kavramı Literatür Araştırması ve Çeşitli Mekânların İç Hava Kalitelerinin Karşılaştırılması”, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(2), 190-201. <https://doi.org/10.21923/jesd.340029>

Dohal, S., (2023). “A decision making approach for the selection of interior finishing materials in terms of iaq, environmental impact and LCC: Hotel room cases”. A Master’s Thesis, Bahçeşehir University, İstanbul.

Enginkalp, H., (2016). “İç Mekan Donatısında Kullanılan Ahşap Esaslı Lif Levhaların Formaldehit Salınım Düzeylerinin İncelenmesi ve İç Mekan Hava Kalitesine Etkilerinin Araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EPA, (1994). “Indoor Air Pollution: An Introduction for Health Professionals”, EPA 402-R94-007, American Lung Association, Environmental Protection Agency, Consumer Product Safety Sommission, American Medical Association.

EPA, (1989). “Report to Congress on Indoor Air Quality, Volume II: Assessment and Control of Indoor Air Pollution”, EPA/400/1-89/001C, Indoor Air Division, Office of Atmospheric and Indoor Air Programs, Office of Air and Radiation, US EPA, Washington DC.

EPA Research anda Development, (2000). “Simulation Tool Kit For Indoor Air Quality And Inhalation Exposure (Iaqx) Version 1.0 User’s Guide”.

EPA, U.S. Environmental Protection Agency, “Protect Your Family and Yourself from Carbon Monoxide Poisoning”, USA, 1 - 5 (1996).

EPA, U.S. Environmental Protection Agency, “The Inside Story: A guide to Indoor Air Quality”, EPA, USA, 1 – 7 (1995).

Erdoğan, M., (2009). “Dünyada ve Türkiye’de Üniversite Yerleşkelerinin Peyzaj Planlama ve Tasarımında, “Üniversite Başarımı ve Sürdürülebilirlik” İlişkisinin İrdelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Eres, B., (2019). “Turizm yapılarında HVAC sistemlerin ısı konfor ve iç hava kalitesi bakımından kullanıcı sağlığı ile ilişkisinin incelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Ertürk M., (2017). “Yatılı okul yatakhanelerinde iç hava kalitesi probleminin araştırılması ve yeni bir sistem geliştirilmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Doi:10.16984/saufenbilder.30075.

Eser, H.Ç., (2006). “Konfor Kliması Uygulanan Hacimde Hız ve Sıcaklık Dağılımının İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Eshtiwi, E.A., (2018). “The Effect of Occupants’ Lifestyle on The Indoor Air Quality in Residential Units: A Case Study of Arab Residents in Ankara”. Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Fanger, P.O. (2000), “Geleceğin İklimlendirilmiş Ortamlarında İnsan İhtiyaçları ve Mükemmelliğe Ulaşma Çabaları”, TTMD Dergisi, 12: 33 – 36.

Fathi Ajirlou, İ., (2022). “Yeşil Bina Kriterleri Kapsamında Havalandırılmalı Pencere İle İç Hava Kalitesinin Kontrolü ve Isıl Performans Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Fuqaha, S., Zaki, A., & Nugroho, G., (2025). "Optimizing indoor air quality in sustainable homes: A simulation-based evaluation of VOC emissions from bamboo-based materials". Res. Eng. Struct. Mater., 11, 1767-1786.

Garg, A., Kashtan, Y., Nicholson, M., Finnegan, C. J., Lebel, E. D., Michanowicz, D. R., Shonkoff, S. B. C., Nadeau, K. C., & Jackson, R. B., (2025). "Exposure and health risks of benzene from combustion by gas stoves: A modelling approach in U.S. homes". Journal of Hazardous Materials, 492, 137986.

Gülşeker, E., (2018). “LEED Sertifikasyon Sisteminde Temel Eğitim Binası Değerlendirilmesi: Konya Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.

Gültekin,H., (2001). “Yapay Ahşap Malzeme ve Yapı İç Havanın Niteliğine Etkisi Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü.

Günay, E., (1994). “Yapay Hava Düzenleme Sistemlerinin Seçimi için Bir Yöntem”. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul. (*Ulusal Tez Merkezi'nden özetine erişilmiştir.*)

Güneyli, C., (2019). “İlköğretim Sınıf Mekanlarının İç Ortam Hava Kalitesi Bakımından Değerlendirilmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Gündoğan, Y.E., (2024). “Tekirdağ İnönü Ortaokulu: Mevcut Durum, Koruma Sorunları ve Önerileri”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Gürel, K., (2022). “Yeşil Binalarda Kalite Göstergelerinin Bibliyometrik Analizi”. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Habibzadeh, A. (2018). “Konut Yapılarında Doğal Havalandırmanın Önemi ve Badgir Bağlamında Günümüz Koşullarında Değerlendirilmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Heibati, S., Maref, W., Saber, H.H., (2019). “Assessing the Energy and Indoor Air Quality Performance for a Three-Story Building Using an Integrated Model, Part One: The Need for Integration”, *Energies*, 12, 4775; doi:10.3390/en12244775.

Issa, R.Z., (2021). “Improving indoor air quality for greener school buildings via simulation-based decision support tools: A case study in Erbil”. A Master’s Thesis, Bahçeşehir University, İstanbul.

Işık, Z.S., (2014). “Yüksek Yapılarda Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri ile Cephe Sistemlerinin İlişkilendirilmesi ve Uygulama Örnekleri”, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

İldeş, E., (2019). “Konfor Koşullarının Alışveriş Merkezi Çalışanları Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi; Edirne Erasta Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

Kara, E., (2025). “İç Mekânlarda Tarım Sistemlerinin Sürdürülebilirlik ve Çevre Kontrolü Bağlamında İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Karadağ, P., (2025). “Perakende Mağazacılıkta İç Mekân Çevre Kalitesinin Müşteriler Üzerindeki Etkisi: Giyim Mağazaları Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, İstanbul.

Khalifa, I., Gharbi-Ernez, L., Znouda, E., Bouden, C., (2017). “Assessment of the inner skin composition impact on the double-skin façade energy performance in the Mediterranean climate”. *Energy Procedia* 111, 195 – 204.

Khıdır, B.K., (2020). “İç mekânlardaki led lambaların iç hava kalitesi üzerindeki etkisi”. Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kim, D. D., & Kang, K., (2025). "Experimental Study of Energy Recovery Ventilator for Enhancing Indoor Air Quality in Daycare Centers: A Case Study in South Korea". *Buildings*, 15, 566.

Kleiven, T., (2003). “Natural Ventilation in Buildings: Architectural Concepts, Consequences and Possibilities”, Doktora Tezi, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture and Fine Art, Department of Architectural Design, History and Technology.

Knudsen, H.N., Kjaer, U.D., Nielsen P.A., Wolkoff, P., (1999). “Sensory and Chemical Characterization of VOC Emissions from Building Product: Impact of Concentration and Air Velocity”, *Atmospheric Environment* 33, 1217—1230.

Korkmaz, H., (2024). “Ofis Yapılarında Havalandırmanın İç Mekân Hava Kalitesine Etkisi: Konya Selçuklu Belediye Binası Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya.

Korkmaz, Ş.I., (2019). “Alışveriş Merkezlerindeki Akustik Konforun İrdelenmesine Yönelik İç Mekân İşitsel Peyzaj Çalışması: Eskişehir Espark Avm Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir.

Koyuncu, K., (2025). “Leed Sertifikasının Sürdürülebilir Arazi ve İç Mekân Hava Kalitesi Kriterlerinin Kullanıcı Memnuniyetine Etkisinin Araştırılması”. İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Köksal, Y., (2014). “Kapalı Mahallerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi”, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 625-645.

Küçüker, S., (2019). “Mimari Tasarım Sürecinde Doğal Havalandırma İlkeleri”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Lencher, N., “Heating, Cooling, Lightining: Design Methods for Architects”, John Wiley & Sons, New York, 2014.

Liang, W., Yu, X., Yang, X., (2026). “The ASHRAE Indoor Air Quality Procedure (IAQP): Introduction of Method and Discussion on Practical Implementation”. Building and Environment, 288, 114004.

Lopes, M. B., Kanama, N., Poirier, B., Guyot, G., Ondarts, M., Gonze, E., & Mendes, N., (2024). "A Numerical and Experimental Study to Compare Different IAQ-Based Smart Ventilation Techniques". Buildings, 14, 3555.

Lütfi, M., (2024). “Post Occupancy Evaluation Of Indoor Environmental Quality With A Focus On Thermal Comfort In A Green Office Building”. Master Thesis, Özyeğin University, İstanbul.

Mihlayanlar, E., Kartal, S., Yılmaz Erten, Ş., (2017). “Yükseköğretim Yapılarında Isıl Konfor Şartlarının Araştırılması: Mimarlık Fakültesi Örneği”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 21, Sayı 3, 917-927.

Modelica Language (2023). Modelica a Unified Object-Oriented Language for Systems Modeling Version 3.6.

Muder, M.M.H., (2017). “Analysis of Vegetated Building Elements to Achieve Energy Efficiency and Improve Indoor Air Quality in Buildings”. Master of Science, Çankaya University, Ankara.

Najafinasab, S., (2022). “İran’daki Geleneksel Hamam Yapılarında Doğal Havalandırma: Mirza Mehdi Hamamı Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

NIST (National Institute of Standards and Technology) (2020). CONTAM User Guide and Program Documentation Version 3.4.

Ölker, L., (2022). “Günümüz Kullanıcılarının Avlulu Mekân Örgütlenmelerine İlişkin Algıları”. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.

Özbay, S.N., (2023). “Konutlarda Balkon Tasarımının Biyofili Kavramı ile Pandemi Sonrası Yeniden Ele Alınması: İstanbul Bakırköy Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.

Özbey, F., (2019). “Mikroalglerin İç Mekân CO<sub>2</sub> Seviyesi Üzerindeki Etkisi”. Yüksek Lisans Tezi, Yaşar Üniversitesi, İzmir.

Özcan, U., (2008). “Günümüz Mimarisinde Kullanılan HVAC Sistemleri, Mimariyle Olan İlişkileri ve High Tech Yapılarda Uygulama Örnekleri”. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, İstanbul.

Özdamar, M., (2017). “Ofis Yapılarında İç Mekân Konforunun Değerlendirilmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

Özekmekçi, A., (2021). “Okul Öncesi Eğitim Yapılarında İç Mekan Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma”. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Özkan, B., (2022). “Kütüphanelerde iç hava kalitesinin incelenmesi ve doğal havalandırmayla iyileştirilmesi: Konya İl Halk Kütüphanesi örneği”. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya.

Öztürk, A.E., (2024). “Yapılarda havalandırma sistemleri ve iç hava kalitesi: Bir meta analizi”. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.

Öztürk, H.K., Yılcı, A., Atalay, Ö., (2005). “Konutlarda Doğal ve Zorlanmış Havalandırma Sistemleri”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 89, s. 21-26.

Öztürk, P., (2024). “Sürdürülebilir Ofis Mekanlarında Konfor Yönetimi Modeli”. Doktora Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul.

Ranjbar, A., (2017). “Analyzing The Effects of Thermal Comfort And Indoor Air Quality in Design Studios and Classrooms on Student Performance”. A Master’s Thesis, İhsan Doğramacı Bilkent University, Ankara.

ResGaz1, (2008). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 6 Haziran 2008 tarih ve 26898 sayılı Resmi Gazete.

Saka, Z.A., (2019). “Mimarlık Ofislerinde ‘Konfor’ Ve Kullanıcı Memnuniyetinin Değerlendirilmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

Sapmaz, S., (2003). “Konutlarda Ekolojik Kriterlerin Uygulanmasına Yönelik Araştırma ve Değerlendirme Çalışması”. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli. (*Ulusal Tez Merkezi’nden özetine erişilmiştir.*)

Sarioğlu, B.D., (2024). “Covid-19’un Getirdiği Mekânsal Gereklilikler Kapsamında Doğal Havalandırma İhtiyacına Kinetik Mimari Çözümler: Ankara

Cer Modern Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Schulze, T., (2015). “Natural Ventilation Of High-Rise Buildings A Methodology For Planning With Different Analysis Tools And Case-Study Integration”. Ph.D. Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul.

Shakran, Y., (2022). “Rethinking primary health care facilities' archetype design in terms of energy efficiency, thermal comfort and indoor air qualities under COVID-19 measures”. A Master’s Thesis, Bahçeşehir University, İstanbul.

Sofuoğlu, S.C., Ari, A., Civan, M., Dumanoglu, Y., Güllü, G., Menteşe, S., Onat, B., Alver Şahin, Ü., Toksoy, M., (2025). “A proposal of indoor air pollutant limit values for Turkish schools based on a literature review of emission sources, concentrations, health effects, and limits/guidelines”, Atmospheric Pollution Research, S1309-1042(25)00345-9, APR 102743.

Spencer-Williams, I., Engelmeier, J., & Haig, S.-J., (2025). "An in silico investigation of activity-related physical, chemical, and biological pollutant exposure in basements using CONTAM". Science of the Total Environment, 986, 179710.

Şaylan, G., (2007). “Yapı İçi Hava Kirleticileri ve Risk Yönetimi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şen, E., (2021). “Impact Of Indoor Environmental Quality On Occupant’s Comfort & Energy Use In An Office Building”. Master Thesis, Özyeğin University, İstanbul.

T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), (2024). “Meteorolojik Parametrelerin Türkiye Analizi, Türkiye Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı ve Hakim Rüzgar Yönü Dağılımı (1970-2024)”, MGM Türkiye Ortalama Rüzgar Raporu.

Tham, K.W., (2016). “Indoor air quality and its effects on humans—A review of challenges and developments in the last 30 years”, Energy and Buildings 130, 637–650.

Temiz, B.S., (2025). “An Approach For The Selection Of The Optimum Interior Finishing Materials In Accordance With The Sustainability Criteria: Office Building Cases In Istanbul.” Master Thesis, Bahçeşehir University, İstanbul.

Tian, X., Cummings, B. E., Waring, M. S., Touchie, M. F., Robinson, E. S., Nault, B. A., et al., (2025). "Predicting indoor concentrations and chemical composition of outdoor-originated particulate matter with a CONTAM building model". Aerosol Science and Technology, 59, 1166–1179.

Tohidi, S., (2022). “Pasif Havalandırma Tasarımında Geleneksel Mimari Yöntemlerinin Kullanımı ve Mevcut Eğitim Binalarında İç Mekan Hava

Optimizasyonu İçin Bir Yöntem”. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği, (2021). “DSÖ Hava Kalitesi Kılavuzlarının Gelişimi, Hermes Ofset Matbaacılık.

Türkkan, F.D., (1997). “Islak Mekanlar İçin Rehber Önerileri”. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara. (*Ulusal Tez Merkezi’nden özetine erişilmiştir.*)

Uçak, E., (2024). “Indoor Air Quality In Changing Workplace Dynamics: The Case Of Additive Manufacturing”. The Degree Of Master Of Science, Middle East Technical University, Ankara.

Usta, Y., Ng, L., Santantonio, S., & Mutani, G., (2025). "Lumped-Parameter Models Comparison for Natural Ventilation Analyses in Buildings at Urban Scale". Energies, 18, 2352.

Vural, M., (2004). “Yapı içi hava niteliği risk süreci modeli belirlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul. (*Ulusal Tez Merkezi’nden özetine erişilmiştir.*)

Vural, S.M. ve Balanlı, A., (2005). “Yapı Ürünü Kaynaklı İç Hava Kirliliği ve Risk Değerlendirmede Ön Araştırma”, Megaron, YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi, Cilt 1, Sayı 1.

Wang, Y., Petrou, G., Symonds, P., Hsu, S.-C., Milner, J., Hutchinson, E., Davies, M., & Macintyre, H. L., (2025). "Investigating the impacts of home energy retrofit on the indoor environment through co-simulation: A UK case study". Journal of Building Engineering, 100, 111794.

WHO, (1987). “Air Quality Guidelines for Europe”, WHO Regional Publications, European Series No.23, Denmark.

Wolkoff, P., (1998). “Impact of Air Velocity, Temperature, Humidity and Air on Long-Term VOC Emissions from Building Product”, Atmospheric Environment, cilt 32: 2659-2668.

Won, D. (2008). IA-QUEST (Indoor Air Quality Emission Simulation Tool), IRC-ORAL-850 Presentation. National Research Council Canada.

WEB 1, İstanbul Hava Kalitesi İzleme Merkezi, <https://havakalitesi.ibb.gov.tr/Icerik/mevzuat/turkiye-standartlari> , (Erişim Tarihi: 09/09/2025).

WEB 2, İstanbul Hava Kalitesi İzleme Merkezi, <https://havakalitesi.ibb.gov.tr/Icerik/mevzuat/hava-kalitesi-indeksi> , (Erişim Tarihi: 11/09/2025).

WEB 3, Ashrae, <https://www.ashrae.org/about> , (Erişim Tarihi: 11/09/2025).

WEB 4, İBB Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, <https://cevre.ibb.istanbul/hava-kalitesi/avrupa-birligi-standartlari/> , (Erişim Tarihi: 11/09/2025)

WEB 5, İBB Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, <https://cevre.ibb.istanbul/hava-kalitesi/dunya-saglik-orgutu-standartlari/> , (Erişim Tarihi: 11/09/2025)

WEB 6, File Extension, <https://www.file-extension.info/downloads/contam> , (Erişim Tarihi: 12/09/2025)

WEB 7, TRNSYS, <https://www.trnsys.com/#1> , (Erişim Tarihi: 15/09/2025)

WEB 8, Energy Plus, <https://energyplus.net/> , (Erişim Tarihi: 15/09/2025)

WEB 9, Modelica Libraries (Modelica Kütüphanesi), <https://modelica.org/libraries/> , (Erişim Tarihi: 13/10/2025)

WEB 10, NRCC (National Research Council Canada), IA-Quest: Indoor Air Quality Emission Simulation Tool, <https://nrc.canada.ca/en/research-development/products-services/software-applications/ia-quest-indoor-air-quality-emission-simulation-tool> , (Erişim Tarihi: 13/10/2025)

WEB 11, Ulusal Tez Merkezi, Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı, <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/> (Erişim Tarihi: 01/11/2025)

WEB 12, Türk Dil Kurumu (TDK), Güncel Türkçe Sözlük, <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 20/11/2025)

WEB 13, Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ), <https://www.gtu.edu.tr/icerik/8/3611/display.aspx> , (Erişim Tarihi: 17/09/2025)

WEB 14, Gürbüz İnşaat, <https://www.gurbuz-as.com/portfolio/gtu-mimarlik-fakultesi/> , (Erişim Tarihi: 17/09/2025)

WEB 15, Arkiv, Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü, <https://www.arkiv.com.tr/proje/gebze-teknik-universitesi-mimarlik-bolumu/5739> , (Erişim Tarihi: 18/09/2025)

WEB 16, United States Government, National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS), Indoor Air Quality, <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/indoor-air> , (Erişim Tarihi: 19/09/2025)

WEB 17, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı, <https://www.turkiye.gov.tr/cevre-ve-sehircilik-ulusal-hava-kalite-izleme-agi> , (Erişim Tarihi: 22/10/2025)

Yağmur, T., (2025). “Türkiye’de Havalandırma Yönetmeliği: Karşılaştırmalı Değerlendirme ve Politika Önerileri”. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

Yan, D., Song, F., & vd., (2008). “An integrated modeling tool for simultaneous analysis of thermal performance and indoor air quality in buildings”, Building and Environment 43, s. 287–293.

Yanılmaz, Z., (2020). “Sürdürülebilir Temel Eğitim Yapılarında İç Mekân Konfor Koşullarının Değerlendirilmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Yeşilata, M.Y., (2022). “Machine Learning Based Indoor Air Pollutant Source Recognition With Gas Resistance and Multi-Sensor Array Electronic Noses”. Master Of Science, Middle East Technical University, Ankara.

Yetiş, C., (2021). “Atriumlu Yapılarda İç Mekan Hava Kalitesine Yönelik İyileştirme Önerilerinin Belirlenmesi: Kamil Güleç Kütüphanesi Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Yılmaz Yücel, T., (2024). “İklim Bağlamında Doğal Havalandırma Odaklı Mimari Tasarıma Dair Bir Kılavuz Önerisi”. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Yurdakul,S., (2018). T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, İç Mekân Kalitesi Parametreleri ve Ölçümleri Sunumu, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi.

Yurdakul,S., (2019). “Süleyman Demirel Üniversitesi Seçili Dersliklerinin İç Çevre Kalitesi Açısından İncelenmesi”, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 7(4), 811 – 818, 2019 e-ISSN: 1308-6693.

Zeytun, A.B., (2000). “Çevre, İnsan Sağlığı ve Enerji Bakımından Sürdürülebilir Binalar ve Bina Malzemeleri”. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara. (*Ulusal Tez Merkezi’nden özetine erişilmiştir.*)

Zhang, X., Liang, Y., Shi, S., & Shen, G., (2024). "A study of the impact of entrance space on indoor air quality in vernacular dwellings in desert areas during sandstorms". Built Heritage, 8, 34.

Zorlu, K., (2019). “Yapı Malzemelerinin İç Mekan Hava Kalitesine Etkisi Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

## ÖZGEÇMİŞ

Rana KİBAROĞLU KANTARCI, Lisans eğitimini 2019 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde, Yüksek Lisans eğitimini 2026 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı'nda tamamlamıştır. 2024 yılına kadar İstanbul'da bulunan Atelye Deniz Mimarlık Ofisi'nde çalışmıştır. Evli ve bir çocuk annesidir.



## TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Kibaroğlu Kantarcı, R., Özer Yüksel, E., (2025). “Comparative Assessment of Simulation Tools in the Scope of Indoor Air Quality”, V. International Architectural Sciences Congress, October 29-30-31, 2025, Antalya, Türkiye.

