

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPI İÇİ HAVA KİRLİLİĞİNİN GİDERİLMESİNDE  
DOĞAL HAVALANDIRMA İLKELERİ**

**Mimar Polat DARÇIN**

**FBE Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşe BALANLI (YTÜ)**

**İSTANBUL, 2008**

## İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|                                                                                                   |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| SİMGE LİSTESİ                                                                                     | iv   |
| KISALTMA LİSTESİ                                                                                  | v    |
| ŞEKİL LİSTESİ                                                                                     | vi   |
| ÇİZELGE LİSTESİ                                                                                   | ix   |
| DENKLEM LİSTESİ                                                                                   | xi   |
| ÖNSÖZ                                                                                             | xii  |
| ÖZET                                                                                              | xiii |
| ABSTRACT                                                                                          | xiv  |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                     | 1    |
| 1.1 Sorun.....                                                                                    | 1    |
| 1.2 Amaç.....                                                                                     | 2    |
| 1.3 Önem.....                                                                                     | 2    |
| 1.4 Sınırlılıklar.....                                                                            | 3    |
| 1.5 Varsayım.....                                                                                 | 3    |
| 1.6 Yöntem .....                                                                                  | 3    |
| 2. YAPI İÇİ HAVA NİTELİĞİ .....                                                                   | 5    |
| 2.1 Havanın Doğal Karışımını Oluşturan Maddeler ve İnsanın Hava Gereksinimi .....                 | 5    |
| 2.2 İç Ortam Hava Sıcaklığı .....                                                                 | 8    |
| 2.3 İç Ortam Bağlı Nem Oranı .....                                                                | 9    |
| 2.4 Ortam İçindeki Hava Akış Hızı .....                                                           | 11   |
| 2.6 Elektroiklimsel Oluşumlar.....                                                                | 13   |
| 2.7 Yapı İçi Hava Kirleticileri, Kaynaklar, Sınır Değerler ve Neden Olduğu Sağlık Sorunları ..... | 14   |
| 2.7.1 Kirletici Gazlar ve Buharlar.....                                                           | 17   |
| 2.7.2 Parçacıklar .....                                                                           | 30   |
| 2.7.2.1 Asılı Parçacıklar.....                                                                    | 32   |
| 2.7.2.2 Organizmalar .....                                                                        | 35   |
| 2.8 Yapı İçi Hava Niteliğinin İyileştirilmesi .....                                               | 37   |
| 3. YAPININ HAVALANDIRILMASI .....                                                                 | 39   |
| 3.1 Havalandırmanın Temel İlkeleri.....                                                           | 39   |
| 3.2 Havalandırma Yöntemleri .....                                                                 | 40   |
| 3.2.1 Havalandırmanın Yapma Hava Düzenleme Sistemleri ile Sağlanması.....                         | 40   |
| 3.2.1.1 Hava Düzenleme Sistemlerinin Türleri .....                                                | 41   |
| 3.2.1.2 Hava Düzenleme Sistemlerinin Bileşenleri .....                                            | 43   |
| 3.2.2 Havalandırmanın Doğal Yöntemler ile Sağlanması .....                                        | 46   |
| 3.2.3 Havalandırmanın Karma Sistemler ile Sağlanması .....                                        | 47   |
| 3.3 Havalandırma Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....                                            | 48   |
| 3.3.1 Havalandırma Yöntemi ve Enerji Tüketimi İlişkisi.....                                       | 48   |
| 3.3.2 Havalandırma Yöntemi ve Kullanıcı Sağlığı İlişkisi.....                                     | 50   |
| 3.3.3 Havalandırma Yöntemi ve Çevre Kirliliği İlişkisi.....                                       | 51   |
| 3.3.4 Havalandırma Yöntemi ve Maliyet İlişkisi.....                                               | 51   |

|         |                                                             |     |
|---------|-------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4     | Yapı için Uygun Havalandırma Yönteminin Belirlenmesi .....  | 52  |
| 4.      | DOĞAL HAVALANDIRMA İLKELERİ .....                           | 54  |
| 4.1     | Yakın Çevre – Doğal Havalandırma İlişkisi.....              | 55  |
| 4.1.1   | Doğal Çevre – Doğal Havalandırma İlişkisi.....              | 56  |
| 4.1.1.1 | İklim Özelliklerinin Doğal Havalandırmaya Etkisi .....      | 57  |
| 4.1.1.2 | Yönlenmenin Doğal Havalandırmaya Etkisi .....               | 59  |
| 4.1.1.3 | Hava Hareketlerinin Doğal Havalandırmaya Etkisi .....       | 64  |
| 4.1.1.4 | Topografyanın Doğal Havalandırmaya Etkisi .....             | 68  |
| 4.1.1.5 | Yeşil Dokunun Doğal Havalandırmaya Etkisi .....             | 71  |
| 4.1.2   | Yapma Çevre – Doğal Havalandırma İlişkisi .....             | 76  |
| 4.1.2.1 | Kent Planlamasının Doğal Havalandırmaya Etkisi .....        | 77  |
| 4.1.2.2 | Yakın Çevredeki Yapıların Doğal Havalandırmaya Etkisi ..... | 79  |
| 4.2     | Yapı Özellikleri – Doğal Havalandırma İlişkisi .....        | 87  |
| 4.2.1   | Yapı Biçiminin Doğal Havalandırmaya Etkisi .....            | 87  |
| 4.2.2   | Planlamanın Doğal Havalandırmaya Etkisi.....                | 91  |
| 4.2.2.1 | Güneş Odası (Sera) Kullanımı.....                           | 94  |
| 4.2.2.2 | Avlu Kullanımı .....                                        | 95  |
| 4.2.3   | Yapı Kabuğu Doğal Havalandırma İlişkisi.....                | 96  |
| 4.2.3.1 | Yapı Kabuğu Boşlukları .....                                | 96  |
| 4.2.3.2 | Çift Katmanlı Cephe Sistemleri.....                         | 103 |
| 4.2.4   | Bacalar .....                                               | 105 |
| 5.      | SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                      | 107 |
|         | KAYNAKLAR.....                                              | 116 |
|         | İNTERNET KAYNAKLARI.....                                    | 122 |
|         | ÖZGEÇMİŞ.....                                               | 123 |

## SİMGE LİSTESİ

|                                |                                                                          |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| A                              | Amper                                                                    |
| Bq                             | Bekerel – Radon için ölçü birimi                                         |
| °C                             | Santigrat derece                                                         |
| C <sub>o</sub>                 | Dış hava kalitesi (desipol)                                              |
| C <sub>j</sub>                 | İçeride istenilen hava kalitesi (desipol)                                |
| CO                             | Karbon monoksit                                                          |
| COHb                           | Karboksihemoglobin                                                       |
| CO <sub>2</sub>                | Karbondioksit                                                            |
| E <sub>v</sub>                 | Havalandırma sisteminin verimliliği                                      |
| °F                             | Fahrenhayt derece                                                        |
| G                              | Mekânda üretilen hava kirliliği (olf)                                    |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Sülfürik asit                                                            |
| Hz                             | Hertz                                                                    |
| NO                             | Azot monoksit                                                            |
| NO <sub>2</sub>                | Azot dioksit                                                             |
| µg                             | mikrogram                                                                |
| mg                             | miligram                                                                 |
| N <sub>2</sub>                 | Nitrojen dioksit                                                         |
| olf                            | Olfactory                                                                |
| O <sub>2</sub>                 | Oksijen                                                                  |
| O <sub>3</sub>                 | Ozon                                                                     |
| ppm                            | parts per million – bir milyon toplam hacimdeki kirletici hacmi          |
| pphm                           | parts per hundered million – yüz milyon toplam hacimdeki kirletici hacmi |
| ppb                            | parts per billion – bir milyar toplam hacimdeki kirletici hacmi          |
| Rn                             | Radon                                                                    |
| Q <sub>c</sub>                 | Kişi başına gerekli taze hava miktarı                                    |
| SO <sub>2</sub>                | Kükürt dioksit                                                           |
| T                              | Tesla                                                                    |
| Volt                           | Volt                                                                     |



## KISALTMA LİSTESİ

|        |                                                                                                                                             |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACGIH  | American Conference of Government Industrial Hygienists – Amerikan Endüstriyel Sağlık Bilimcileri Devlet Konferansı                         |
| ASHRAE | American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers – Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Topluluğu |
| CEPA   | Canadian Environmental Protection Act – Kanada Çevresel Koruma Hareketi                                                                     |
| EPA    | United States Environmental Protection Agency – ABD Çevresel Koruma Örgütü                                                                  |
| IARC   | International Agency for Research on Cancer – Uluslar arası Kanser Araştırmaları Ajansı                                                     |
| NAAQS  | National Ambient Air Quality Standards – Ulusal Atmosfer Havası Kalite Standardı                                                            |
| NAAQOs | CEPA National Ambient Air Quality Objectives – Kanada Çevresel Koruma Hareketi Ulusal Hedefleri                                             |
| NRPB   | The National Radiological Protection Board – Ulusal Radyolojik Korunma Kurulu                                                               |
| OSHA   | United States Department of Labour Occupational Safety and Health Administration – ABD İş Güvenliği ve Sağlığı Yönetimi                     |
| VOC    | Volatile Organic Compounds – Uçucu Organik Bileşikler                                                                                       |
| WHO    | World Health Organization – Dünya Sağlık Örgütü                                                                                             |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|            |                                                                                                                                 |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1  | Temiz hava miktarına bağlı olarak örneklem grubunun çalışma hızı .....                                                          | 8  |
| Şekil 2.2  | İç mekân köşelerinde iç ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak oluşan yüzey sıcaklığı .....                                       | 11 |
| Şekil 2.3  | Hava sıcaklığı, bağıl nem oranı ve hava akış hızı arasındaki ilişki .....                                                       | 13 |
| Şekil 2.4  | Kirleticilerin miktar, kapladıkları hacim ve kütle bakımından havadaki oranlarının karşılaştırılması .....                      | 31 |
| Şekil 3.1  | Tek merkezli hava emiş sistemi .....                                                                                            | 42 |
| Şekil 3.2  | Hava besleme sistemi .....                                                                                                      | 42 |
| Şekil 3.3  | Hava karışım – yer değiştirme sistemi .....                                                                                     | 43 |
| Şekil 3.4  | Algılayıcılar, yönetim birimi ve dış hava kapaklarının çalışma ilkesi .....                                                     | 46 |
| Şekil 3.5  | Türkiye’de yapılarda tüketilen enerjinin toplam enerji tüketimi içindeki payı .....                                             | 49 |
| Şekil 4.1  | Rüzgar ve baca etkisi ile doğal havalandırmanın sağlanması .....                                                                | 55 |
| Şekil 4.2  | Doğal havalandırma açısından dış çevre, yapı ve iç çevre ilişkisi .....                                                         | 56 |
| Şekil 4.3  | Doğal çevre özelliklerine göre değişen geleneksel yapı tipleri .....                                                            | 58 |
| Şekil 4.4  | Yönlere göre güneşlenme yüzdeleri .....                                                                                         | 60 |
| Şekil 4.5  | Yılın farklı dönemlerinde güneş açıları ve gündönümünde güneş yolu .....                                                        | 61 |
| Şekil 4.6  | Isı geçişleri .....                                                                                                             | 62 |
| Şekil 4.7  | Rüzgâr açısı ve oluşturduğu rüzgâr gölgesi .....                                                                                | 63 |
| Şekil 4.8  | Yönlenmeye bağlı olarak gelişen doğal havalandırma etkinliği .....                                                              | 63 |
| Şekil 4.9  | Hava akımlarının türleri .....                                                                                                  | 64 |
| Şekil 4.10 | Yükseklikle birlikte artan rüzgâr hızı .....                                                                                    | 66 |
| Şekil 4.11 | Hava moleküllerinin davranışı .....                                                                                             | 67 |
| Şekil 4.12 | Yamaç rüzgârları .....                                                                                                          | 68 |
| Şekil 4.13 | Kara ve deniz meltemleri .....                                                                                                  | 69 |
| Şekil 4.14 | Topografyanın rüzgâr ve güneşlenme üzerindeki etkileri ve buna bağlı olarak farklı iklim bölgeleri için uygun yerleşimler ..... | 70 |
| Şekil 4.15 | Yeşil doku öğelerinin kullanımıyla rüzgârın yönlendirilmesi .....                                                               | 71 |
| Şekil 4.16 | Yeşil doku öğeleri ile havalandırmanın etkiliğinin artırılması .....                                                            | 72 |
| Şekil 4.17 | Bitki dokusu çeşitlerinin rüzgâr gölgesine etkisi .....                                                                         | 73 |

|            |                                                                                  |     |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.18 | Ağaçların fiziksel yapısı ile oluşan rüzgâr gölgesinin boyutları .....           | 74  |
| Şekil 4.19 | İklim bölgelerine göre yapı çevresinde oluşturulacak bitki dokusu.....           | 75  |
| Şekil 4.20 | Çanak biçiminde yerleşim alanı ve kent üzerinde oluşturduğu hava kirliliği ..... | 77  |
| Şekil 4.21 | Kentsel alan ve çevresindeki kırsal bölgede rüzgâr hızı .....                    | 78  |
| Şekil 4.22 | İki yapının konumları ve biçimleri ile oluşan güneşlenme durumu 01 .....         | 80  |
| Şekil 4.23 | İki yapının konumları ve biçimleri ile oluşan güneşlenme durumu 02.....          | 81  |
| Şekil 4.24 | İki yapının konumları ve biçimleri ile oluşan güneşlenme durumu 03.....          | 82  |
| Şekil 4.25 | İki yapının konumları ve biçimleri ile oluşan güneşlenme durumu 04.....          | 83  |
| Şekil 4.26 | İki yapı arasında oluşan Venturi etkisi .....                                    | 84  |
| Şekil 4.27 | Sokak boyunca oluşan rüzgâr koridoru .....                                       | 84  |
| Şekil 4.28 | Dar sokak dokusu içinde oluşan hava kirliliği .....                              | 86  |
| Şekil 4.29 | İklim bölgelerine göre uygun yapılaşma .....                                     | 86  |
| Şekil 4.30 | Yapı biçimine göre oluşan basınç bölgeleri .....                                 | 88  |
| Şekil 4.31 | Bernoulli etkisi ile oluşturulan havalandırma .....                              | 88  |
| Şekil 4.32 | Aynı cephe üzerinde oluşan farklı basınç bölgeleri ve etek girdapları .....      | 89  |
| Şekil 4.33 | Saçak girdapları.....                                                            | 90  |
| Şekil 4.34 | Rüzgârın dairesel planlı yapılara etkisi .....                                   | 90  |
| Şekil 4.35 | Tek yönlü ve çapraz havalandırma için derinlik ve yükseklik oranı.....           | 91  |
| Şekil 4.36 | Planlamanın havalandırmaya etkisi.....                                           | 92  |
| Şekil 4.37 | Tek taraflı ve çapraz havalandırma .....                                         | 94  |
| Şekil 4.38 | Güneş odası ile havalandırma.....                                                | 95  |
| Şekil 4.39 | Havalandırmanın avlu ile sağlanması.....                                         | 95  |
| Şekil 4.40 | Pencere boşluğundaki hava akışı.....                                             | 97  |
| Şekil 4.41 | Pencere boşluğundaki hava akışının gösterimi .....                               | 97  |
| Şekil 4.42 | Pencere açılışları.....                                                          | 98  |
| Şekil 4.43 | Havanın pencere boşluğu içinde dolaştırılması.....                               | 99  |
| Şekil 4.44 | Havanın denetimli ızgaralarla yapı içine alınması .....                          | 99  |
| Şekil 4.45 | Pencerede hava borusu kullanımı.....                                             | 100 |
| Şekil 4.46 | Çatı pencereleri ile havalandırmanın sağlanması.....                             | 101 |
| Şekil 4.47 | İki mekânın bağlantısı ile çapraz havalandırma sağlanması .....                  | 101 |

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.48 Kapı boşluğunda hava hareketi .....                                 | 102 |
| Şekil 4.49 Kapıda ızgara ya da vasistas pencere ile havalandırma .....         | 102 |
| Şekil 4.50 Trombe duvarı ile havalandırma .....                                | 103 |
| Şekil 4.51 Hava giriş – çıkış açıklıklarına göre çift kabuk cam cepheler ..... | 104 |
| Şekil 4.52 Havanın kabuk boşluğuna ve iç mekâna alınması.....                  | 105 |
| Şekil 4.53 Havalandırma bacalarının işleyişi .....                             | 105 |
| Şekil 4.54 Güneş bacası.....                                                   | 106 |
| Şekil 4.55 Rüzgâr kepçesinin çalışma ilkesi .....                              | 106 |
| Şekil 5.1 Doğal havalandırmanın sağlanabilmesi için tasarım yaklaşımı .....    | 109 |
| Şekil 5.2 Yapıya ilişkin verilerin belirlenmesi .....                          | 111 |
| Şekil 5.3 Doğal çevreye ilişkin verilerin belirlenmesi .....                   | 112 |
| Şekil 5.4 Yapma çevreye ilişkin verilerin belirlenmesi.....                    | 113 |
| Şekil 5.5 Yapı tasarımı .....                                                  | 114 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 Havanın doğal karışımındaki gazların oranları ve yoğunlukları .....                             | 5  |
| Çizelge 2.2 Değişik çalışma düzeylerinde bir dakikadaki kalp atış sayısı ve tüketilen oksijen miktarı ..... | 6  |
| Çizelge 2.3 ASHRAE – TC 4.3 62 -1999 Standardı’na göre bazı mekânlar için temiz hava gereksinimleri .....   | 7  |
| Çizelge 2.4 Hava içindeki su buharının yoğuşma sıcaklıkları.....                                            | 10 |
| Çizelge 2.5 Havadaki su buharının kullanıcılar tarafından değerlendirilmesi .....                           | 10 |
| Çizelge 2.6 Yapı içinde bulunan kirleticilerin sınıflandırılması.....                                       | 16 |
| Çizelge 2.7. Kirletici birimleri ve açıklamaları .....                                                      | 16 |
| Çizelge 2.8 Desipol cinsinden hava kirliliği düzeyleri .....                                                | 17 |
| Çizelge 2.9 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir karbon monoksit sınır değerleri .....    | 18 |
| Çizelge 2.10 Karbon monoksit etkilenimi ve oluşan sağlık sorunları .....                                    | 19 |
| Çizelge 2.11 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir karbondioksit sınır değerleri .....     | 19 |
| Çizelge 2.12 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir azot dioksit sınır değerleri.....       | 21 |
| Çizelge 2.13 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir kükürt dioksit sınır değerleri .....    | 22 |
| Çizelge 2.14 Dünya Sağlık Örgütü tarafından uçucu organik bileşiklerin sınıflandırılması ..                 | 23 |
| Çizelge 2.15 Uçucu organik bileşiklere örnekler ve yapı içinde bulunan kaynakları .....                     | 24 |
| Çizelge 2.16 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir VOC sınır değerleri .....               | 26 |
| Çizelge 2.17 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir formaldehit sınır değerleri.....        | 28 |
| Çizelge 2.18 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir ozon sınır değerleri.....               | 29 |
| Çizelge 2.19 Radon için kabul edilen sınır değerleri .....                                                  | 30 |
| Çizelge 2.20 Bazı kirleticiler ve ortalama çapları .....                                                    | 31 |
| Çizelge 2.21 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir parçacık yoğunluğu .....                | 32 |
| Çizelge 2.22 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir asbest sınır değerleri.....             | 34 |
| Çizelge 2.23 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir kurşun sınır değerleri.....             | 35 |
| Çizelge 3.1 Yapma havalandırma sisteminin çalışma saatleri ve tüketilen enerjinin karşılaştırılması.....    | 50 |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1 Beaufort ölçeğine göre rüzgâr hızları..... | 65 |
|--------------------------------------------------------|----|

## DENKLEM LİSTESİ

|                                                            | Sayfa |
|------------------------------------------------------------|-------|
| Denklem 2.1 Gerekli taze hava miktarının hesaplanması..... | 6     |

## ÖNSÖZ

Tüm çalışmam süresince her türlü önerilerinden, yardımlarından, sabrından ve yol göstericiliğinden dolayı tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr Ayşe Balanlı'ya ve Sayın Yrd. Doç. Dr. S. Müjdem Vural'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında beni destekleyerek yönlendiren Sayın Dr. Fahrünnisa Bilecik'e, Sayın Y. Müh. Ali Şîr Olgaç'a ve yardımcı olan Dr. Serhat Onur'a teşekkür ederim.

Ayrıca;

beni her anlamda destekleyen değerli aileme,

çalışmamda başından sonuna maddi – manevi yardımcı olan Mimar Serkan Şahin'e,

sonsuz ve çok kıymetli yardımlarını esirgemedi beni yönlendiren Y. Mimar Özge Şahin'e,

kaynak taramalarım sırasında yol gösteren Diş Hekimi Dr. Rana Oral'a,

metin kontrollerimi ve araştırmalarımı yaparken yardımcı olan

Yüksek Tarihçi Üzeyir Karataş'a,

Y. Mimar Hande Nalçakan'a,

Mimar Volkan Dağdeviren'e ve

Y. Mimar Dilek Maşalı'ya

Metalürji Mühendisi Furkan Dünder'a

teşekkür ederim.

İstanbul, 2008



# YAPI İÇİ HAVA KİRLİLİĞİNİN GİDERİLMESİNDE DOĞAL HAVALANDIRMA İLKELERİ

## ÖZET

Yapının öncelikli amacı kullanıcıların her türlü gereksinmesine yanıt vermektir. İnsanın zamanının büyük çoğunluğunu içinde geçirdiği yapıların fiziksel iç çevresine ait yapı içi hava niteliğinin olumsuz olması insanda çeşitli sağlık sorunlarını ortaya çıkaran önemli etkenlerden biridir.

Havayı oluşturan maddelerin karışım oranları, iç ortam havalandırma miktarı, sıcaklığı, bağıl nem oranı, iç ortamda hava akış hızı hava niteliğini belirleyen ölçütlerdir. Hava içindeki maddelerin doğal karışım oranlarının değişmesi ya da insan sağlığını olumsuz etkileyen doğal ya da yapay kirleticilerin havada birikmesi hava kirliliği olarak tanımlanır. Yapı içi havasının istenen nitelikte olmaması durumunda kullanıcılarda çeşitli sağlık sorunları oluşmaktadır.

Yapı içi hava kirliliğini önlemek için uygulanacak en etkili yöntem iyi bir havalandırma sağlamaktır. Havalandırma yapma sistemlerin kullanımıyla ya da doğal ilkeler doğrultusunda gerçekleştirilir.

Yapma hava düzenleme sistemlerinin enerji tüketimi doğal havalandırmaya oranla fazladır. Düzenli olarak bakım ve onarım yapılması gerekir. Bu nedenlerle kullanım ve bakım – onarım maliyetleri yüksektir. Ayrıca bu sistemler tasarım, uygulama ve bakım – onarım hataları olması durumunda insan sağlığını bozmaktadır.

Doğal havalandırma yöntemleri planlaması yapının üzerine yapılacağı arazinin konumlanışı, çevresel iklim özellikleri, yönlenme gibi temel tasarım kararlarının özenli alınması ile yapının tasarım sürecinden başlar. Yapı kabuğu üzerinde oluşturulacak boşlukların tasarımı ve ayrıntı çözümleri ile yapı içine alınan temiz hava yine yapı kütesinin tasarımında yapılacak düzenlemeler ile yapı içinde dolaştırılır, kirlenen kullanılmış hava yapı dışına çıkartılır.

Yapılar doğal havalandırma ilkeleri göz önüne alınarak tasarlandığı durumda insan için konfor düzeyi yüksek, enerji tüketimi ve maliyeti düşük yapılar üretilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapı içi hava kalitesi, yapı içi hava kirleticileri, doğal havalandırma.

# **NATURAL VENTILATION GUIDELINES FOR REMOVING INDOOR AIR POLLUTION**

## **ABSTRACT**

The main aim of the buildings is to answer all kind of needs of the users. The negative features of the indoor air quality, which belongs to the physical environments of the buildings in which the humans spend their most of their times, are among the important factors which cause health problems for humans.

The mixture ratios of the substances which forms the air, the air change amount, temperature, relative humidity of the air and air flow speed are the factors that affect the indoor air quality. Indoor air pollution is known as the change of the natural mixture ratios of the substances in the air or the accumulation of the natural or artificial air pollutants in the indoor air. Various health problems occur when the indoor air is not in required quality.

The most effective method to prevent indoor air pollution is to have a adequate ventilation. Ventilation can be performed by using air conditioning systems or through the natural ventilation guidelines.

The energy consumption of the air conditioning systems are rather high compared to natural ventilation. They also require a periodic service. Because of these reasons their utilization and maintenance costs are high.

The planning of the natural ventilation methods start with design process of the building as determining the features of the area in which the building is going to be situated, environmental climate features, and the direction. The air is taken inside the building through the openings which is created on the skin of the building and the design of these openings and details are important. Again the air is transported to the rooms and the polluted air of the rooms is removed through the openings.

It is necessary that to know the properties of indoor air, the features of the pollutants, their effects on the users, the design strategies about natural ventilation methods in terms of increasing the indoor air quality.

**Key Words:** Indoor air quality, indoor air pollutants, natural ventilation.

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Sorun

Yapı insanlar tarafından, yaşamlarını sağlıklı bir şekilde sürdürmek için üretilen yapma çevredir. Kullanıcı grubunun büyük çoğunluğunu oluşturan insanlar yaşamlarının %80'nini bu yapma çevre içinde geçirir ve yapı ile insan sürekli etkileşim içerisinde. Bu etkileşim gereğince, yapıda bulunabilecek bir olumsuzluk etkeni bir olumsuzluk oluşturabilir. Olumsuzluk, insan sağlığını bozabilecek bir etkenin doğmasına ve sonuçta bir sağlık sorunun ortaya çıkmasına neden olabilir (Balanlı ve Öztürk, 2006). Yapıların fiziksel iç çevresine ilişkin, yapı içi hava niteliği ile ilgili özelliklerin olumsuzluğu, insanda çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkaran önemli etkenlerden birisidir.

Yapı içi havası dış atmosfer havasının bir parçasıdır. İç hava sıcaklığı, havanın bağıl nem oranı, havada bulunan maddelerin karışım oranları, ortam içindeki hava akış hızı ve elektroiklimsel oluşumlar yapı içi hava niteliğini belirler. Sayılan özellikler birbiri ile ilişkilidir ve birbirini etkilemektedir. Örneğin hava sıcaklığının artması bağıl nem oranının yükselmesine neden olabilir. Her bir özelliğin kullanıcı konforu ve sağlığı açısından belirli sınır değerleri bulunur. Bu sınır değerlerinin dışına çıkılması durumunda yapı içi havası kullanıcı sağlığını etkileyen bir olumsuzluğa dönüşür.

Havayı oluşturan maddelerin hava içindeki doğal oranlarının bozulması ya da çeşitli kaynaklardan çıkarak havaya karışan kirleticilerin canlı yaşamını etkileyecek düzeyde birikmesi hava kirliliğini oluşturur. Bu kirliliğin yapı içinde olması ise yapı içi hava kirliliği olarak tanımlanır.

Yapı içi havası;

- Kullanıcıların eylemleri sonucunda,
- Dış atmosfer havasında bulunan kirleticilerin yapı içine girmesiyle,
- Yapı ürünleri ile

kirlenebilmektedir.

Araştırmalarda farklı özelliklerine göre sınıflandırılan hava kirleticileri çok çeşitlidir. Bu çalışmada fiziksel özelliklerine göre gruplandırılmış kirleticilerin farklı kaynakları, insan sağlığı açısından çeşitli sınır değerleri vardır ve bu değerlerin dışına çıkılması durumunda değişik sağlık sorunları oluşabilir.

Yapı içi hava kirliliğinin giderilmesinde en önemli çözüm yeterli ve kaliteli bir havalandırma sağlamak ile olasıdır. Havalandırma kapalı bir ortamdaki kirletici yoğunluğu yüksek olan havanın temiz, kirletici içermeyen hava ile değiştirilmesidir.

Yapılarda havalandırma doğal ya da yapma yöntemler kullanılarak sağlanır. Yapma havalandırma sistemlerinin yapı biçimine, yapı işlevine ve dış fiziksel çevre koşullarına göre birçok olumlu yönü bulunmasına karşın, enerji tüketiminin fazla, üretim, kullanım ve bakım – onarım maliyetinin yüksek olduğu, bileşenlerinden kaynaklanan çeşitli nedenlerle sağlık sorunları ortaya çıkardığı bilinmektedir. Doğal havalandırma, atmosfer havasının mekanik sistemler kullanmadan yapı içine alınması ve kullanılmış olan iç havanın yapı dışına çıkarılması olarak tanımlanır. Havalandırmanın doğal olarak sağlanması belirli ilkeler doğrultusunda gerçekleştirilebilir. Yapı bu ilkeler ışığında tasarlandığı durumda etkin bir havalandırma gerçekleşir.

Tasarımcıların iç hava kalitesinin insan üzerindeki etkilerini bilmedikleri durumda, kullanıcılar açısından birçok sorun oluşturan yapılar üretilmektedir. Bununla birlikte iç hava kalitesinin artıran havalandırmayı doğal yöntemlerle sağlayacak tasarım ilkeleri göz ardı edildiği zaman tasarlanan yapı mekanik sistemlerle havalandırılmakta, enerji tüketimi yüksek, maliyeti fazla yapılar ortaya çıkmaktadır. Yapı içi havasının insan üzerindeki olumlu – olumsuz etkileri ve iç hava kirliliğinin giderilmesini sağlayan doğal havalandırmaya ilişkin ilkelerin tasarımcı tarafından iyi bilinmesini sağlamak ve bu ilkeler olmadığı durumda tasarlanan yapılarda karşılaşılabilecek sorunlar bu araştırmanın çıkış noktasıdır.

## **1.2 Amaç**

Yapı içi hava kirliliği oluşumunun, kirlilik sonucu ortaya çıkan sorunların ve yapıların doğal yöntemlerle havalandırılması için göz önünde bulundurulması gereken ilkelerin tasarımcı tarafından anlaşılmasını sağlamak çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Doğal havalandırma yönteminin /yapma havalandırma sistemlerinde olduğu gibi/ bir yapıya sonradan eklenmesi söz konusu olamaz. Bu nedenle tasarım aşamasında bu ilkelere dikkat edilmelidir.

## **1.3 Önem**

Doğal havalandırma ilkelerini göz önüne alarak ya da göz ardı ederek yapılacak tasarım

- Kullanıcıların yaşamlarını olumlu ya da olumsuz etkileyecek,
- Kullanıcıların sağlık durumlarına iyi ya da kötü etkisi olacak,

- Yapının üretim, kullanım ve bakım – onarım maliyetini etkileyecek,
- Kullanım sırasında tüketilecek enerji niceliğini belirleyecektir.

Bu nedenlerle, tasarımcı doğal havalandırma ilkelerini iyi bilmeli, tasarladığı yapıda iç hava kirliliği oluşması ve giderilememesi durumunda kullanıcıların hangi sorunlarla karşı karşıya olduğunu bilinciyle tasarımını havalandırmayı doğal olarak sağlayacak tasarım ilkeleri doğrultusunda gerçekleştirmelidir.

#### **1.4 Sınırlılıklar**

Araştırma aşağıda belirtildiği şekilde sınırlanmaktadır.

- Yapı içi hava kalitesi konusunda yapı içi hava kirliliği değerlendirilmiş, kirleticiler belirlenerek, sınır değerleri ve oluşturduğu sağlık sorunları irdelenmiştir. Konu ile ilişkili olduğu için hava niteliğinin diğer ölçütleri ayrıntıya girilmeden araştırılmıştır.
- Konu iç hava kirliliğinin giderilmesine yönelik havalandırma ile sınırlandırılmıştır. Hava sıcaklığının düzenlenmesi, nem oranının dengelenmesi vb iklimlendirme konuları kapsam dışı tutulmuştur.
- Havalandırma konusu yapma sistemler ve doğal yöntemler olarak iki başlık altında incelenmiştir. Yapma havalandırma sistemleri konusunda ayrıntıya girilmeden genel araştırma yapılmıştır.
- Doğal havalandırma ilkelerinin belirlenmesinde fiziksel dış çevre koşulları, yapı ve yapı bileşenleri incelenmiş, etkin bir havalandırma için göz önüne alınması gereken tasarım girdileri ortaya konmuştur.

#### **1.5 Varsayım**

Tasarımda göz önüne alınacak doğal havalandırma ilkeleri ile yapı içi hava kirliliği giderilebilir. Tasarımcının bu ilkeleri benimsemesi durumunda kullanıcı sağlığı açısından olumlu, üretim, kullanım, bakım – onarım maliyeti ve enerji tüketimi uygun bir düzeyde olan yapılar üretilebilir.

#### **1.6 Yöntem**

Araştırmada öncelikle yapı içi havasının tanımı ve özellikleri, insan sağlığını olumsuz etkileyen iç hava kirleticileri, bu kirleticilerin sınır değerleri ve oluşturduğu sağlık sorunları

irdelenmiştir. Havalandırma ve havalandırmanın sağlandığı yapma ve doğal yöntemler maliyet, enerji tüketimi ve kullanıcı sağlığı ile ilişkili olarak üçüncü bölümde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde fiziksel dış çevre koşullarının, yapının ve bileşenlerinin tasarımında alınacak kararların havalandırmaya etkisi araştırılmıştır. Son bölümde ise havalandırmayı doğal yolla sağlayacak tasarım ilkelerine ilişkin sonuçlar ve öneriler bulunmaktadır.

## 2. YAPI İÇİ HAVA NİTELİĞİ

Yapının öncelikli işlevi kullanıcının temel gereksinmesi olan “yaşamını sağlıklı bir şekilde sürdürme”yi karşılamasıdır. Yapı, “yapı kabuğu dışında kalan dış ortam” ile “yapı kabuğunun sardığı iç ortam” arasında sınırlayıcı özelliktedir (Balanlı ve Öztürk, 2006). Yapı kabuğu içinde oluşan fiziksel iç çevre birçok yönü ile kullanıcıyı olumlu ya da olumsuz bir şekilde etkiler. İç ortam havasının kalitesi de bu fiziksel iç çevrenin bir özelliğidir. ASHRAE 62 – 1989 Standardı’nda iç hava niteliğinin iyi olması, hava içinde, bilinen kirletici maddelerin belirlenmiş sınır değerlerin altında tutulması ve insanların % 80’inden çoğunun hava ile ilgili bir rahatsızlık hissetmemesi olarak tanımlanmaktadır (Townsend, 2007).

Yapı içi havasının kalitesini belirleyen özellikler havayı oluşturan maddelerin karışım oranları, hava sıcaklığı, havanın bağıl nem oranı, hava akış hızı ve iç ortamdaki elektroiklimsel oluşumlar olarak sayılabilir.

### 2.1 Havanın Doğal Karışımını Oluşturan Maddeler ve İnsanın Hava Gereksinimi

Hava çeşitli maddeler içeren bir karışımdır. Hava içinde bulunan gazlar azot, oksijen, argon, karbondioksit, neon, helyum, kripton, ksenon, metan, hidrojen, azot dioksit, ozon ve su buharı olarak sayılabilir (Büyük Larousse, 1992). Çizelge 2.1’de bu gazlar hacimsel oranları ile gösterilmektedir. Bunların dışında hava içinde “sürekli atmosferik kirleticiler” adı verilen mikroskobik katı maddeler bulunur (ASHRAE, 1997a).

Çizelge 2.1 Havanın doğal karışımındaki gazların oranları ve yoğunlukları (Büyük Larousse, 1992; [1]; Tünay ve Alp, 1996’dan uyarlama)

| Madde         | Hacim %  | Yoğunluk ppm    |
|---------------|----------|-----------------|
| Azot          | 78,05%   | 780.900 ppm     |
| Oksijen       | 21,017%  | 209.400 ppm     |
| Argon         | 0,93%    | 9.300 ppm       |
| Karbondioksit | 0,03%    | 315 ppm         |
| Neon          | 0,001%   | 18 ppm          |
| Helyum        | 0,00054% | 5,2 ppm         |
| Kripton       | 0,0001%  | 0,5 ppm         |
| Ksenon        | 0,00001% | 0,08 ppm        |
| Metan         |          | 1,5 ppm         |
| Hidrojen      |          | 0,5 ppm         |
| Azot dioksit  |          | 0,02 ppm        |
| Ozon          |          | 0,01 - 0,04 ppm |

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). Çizelge 2.2’de değişik çalışma düzeylerine göre dakikadaki kalp atış sayısı ve gereksinilen oksijen miktarı görülmektedir. Solunum sonucu dışarı verilen havanın sıcaklığı 35° C’dir ve bağıl nem oranı %95’tir (Özgenalp, 2006).

Çizelge 2.2 Değişik çalışma düzeylerinde bir dakikadaki kalp atış sayısı ve tüketilen oksijen miktarı (Özgenalp, 2006)

|                                     | Oksijen Tüketimi (l/dk) | Kalp Atışı (atış/dk) |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>Hafif düzeyde çalışma</b>        | < 0,5                   | < 90                 |
| <b>Orta düzeyde çalışma</b>         | 0,5 - 1,0               | 90 - 110             |
| <b>Hafif - ağır düzeyde çalışma</b> | 1,0 - 1,5               | 110 - 130            |
| <b>Ağır düzeyde çalışma</b>         | 1,5 - 2,0               | 130 - 150            |
| <b>Çok ağır düzeyde çalışma</b>     | > 2,0                   | 150 - 170            |

Kapalı bir mekânda bulunan kullanıcılar için gerekli temiz hava miktarı Fanger tarafından aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$Q_c = 10 \cdot [G / (C_j - C_o)] \cdot (1 / E_v) \quad (2.1)$$

Q<sub>c</sub>: Konfor koşullarının sağlanması için kişi başına gerekli taze hava miktarı (l/sn kişi)

G: Mekânda üretilen hava kirliliği

C<sub>j</sub>: İstenilen iç hava kalitesi

C<sub>o</sub>: Dış hava kalitesi

E<sub>v</sub>: Havalandırma verimliliği (Cinemre, 2005).

Kullanıcıların gereksinim duyduğu temiz hava miktarı mekânın işlevine ve mekândaki kullanıcı sayısına göre değişir. Çizelge 2.3’te bazı iç mekânlar için gerekli temiz hava miktarı ve bu mekânlarda bulunabilecek en yüksek insan sayısı görülmektedir.

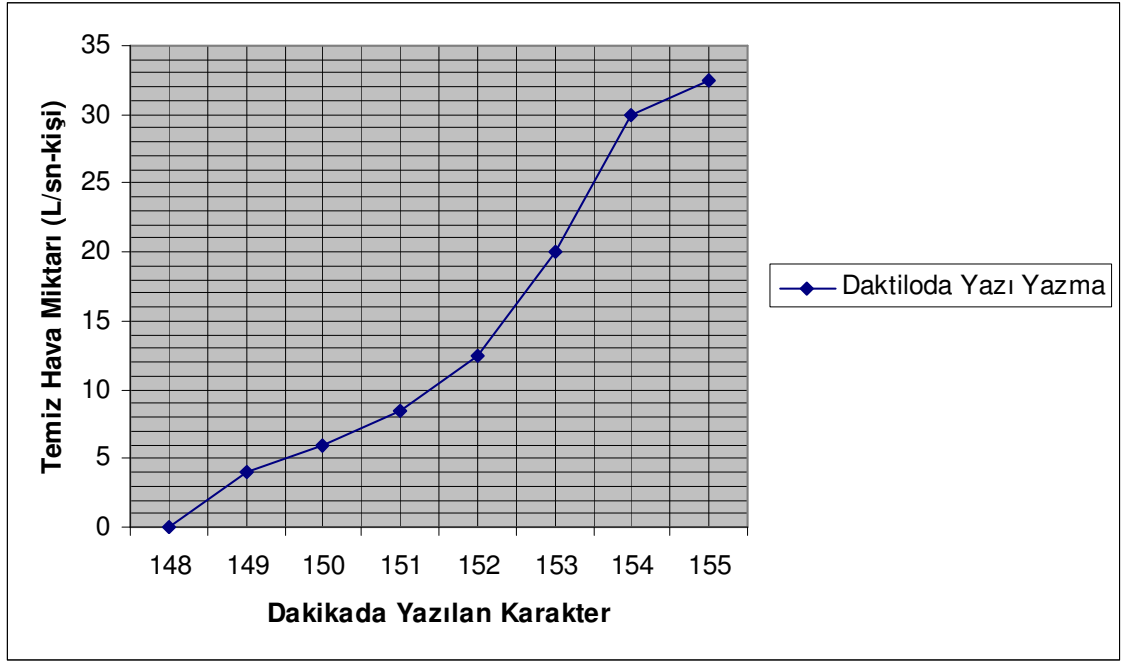


Çizelge 2.3 ASHRAE – TC 4.3 62 -1999 Standardı’na göre bazı mekânlar için temiz hava gereksinimleri

| 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                        |                     |
| Konutlarda yaşama mekânı  |                                                                 |                           | < 7,5               |

TS 12281’de (1997) gerekli temiz hava miktarı sigara içilmeyen ortamlar için kişi başına saatte 7 l – 12 l olarak belirlenmiştir.

Uluslararası İç Ortam Enerji Merkezi tarafından yapılan araştırmalar sonucu, temiz hava miktarının kullanıcıların üretkenliği ve yaşamı üzerinde önemli bir etkisi olduğu ortaya çıkarılmıştır (Fanger, 2000). ABD’de 40 ofiste yapılan bir araştırmada, 12 l/sn kişi’lik temiz hava miktarıyla havalandırılan ofislerde üretkenlik yitimi olarak nitelendirilebilecek hastalık izinlerinin; 24 l/sn kişi’lik temiz hava miktarıyla havalandırılan ofislere oranla %35 fazla olduğu görülmüştür (Fanger, 2002). Uluslararası İç Hava Kalitesi Merkezi’nde yapılan bir deneyde bir örneklem grubu 3, 10 ve 30 l/sn kişi değerlerinde üç farklı temiz hava miktarı ile havalandırılan mekânlarda aynı sürede çalıştırılmış ve iş üretkenliğinin önemli ölçüde arttığı saptanmıştır (Bkz Şekil 2.1) (Fanger, 2000).



Şekil 2.1 Temiz hava miktarına bağlı olarak örneklem grubunun çalışma hızı (Fanger, 2000)

## 2.2 İç Ortam Hava Sıcaklığı

İç ortam hava sıcaklığı yapı içi hava kalitesini etkileyen temel özelliklerden birisidir.

İnsan vücudu yaşam boyunca sürekli olarak değişik oranlarda ısı üretir. Üretilen ısı, bazal metabolizma ve kişinin etkinlik düzeyine göre oluşan kassal metabolizmanın toplamıdır. Aynı zamanda iletim (konveksiyon), ışıınım (radyasyon), buharlaşma ve taşınım (kondüksiyon) yolu ile ısı yitirir. Soğukkanlı canlıların tersine insanların ısı kazançları ısı yitimini dengelemelidir (Kwok, 2000).

Vücut sıcaklığı normal koşullarda 36,5 °C ile 37,5 °C arasında değişmektedir (Kwok, 2000). Bu sıcaklığa bağlı olarak deri yüzeyinin sıcaklığı 33,5 °C ile 36,5 °C arasındadır (Şerefhanoglu, 1981). İç ortam havası ve insan vücudu arasında sürekli bir ısı alışverişi olduğu için vücut sıcaklığı insanın bulunduğu iç ortam koşullarından etkilenir.

Bir iç mekânda kişinin ısısal konfor duygusu iç mekân hava sıcaklığı, kişinin etkinlik düzeyi, giysilerin yalıtım değeri, ortalama ışıınımsal sıcaklık, yaş, cinsiyet, vücut biçimi, deri altı yağı, kişinin genel sağlık durumu gibi özelliklere göre değişebilir (Şerefhanoglu, 1981).

Yapı içi hava sıcaklığının artması, algılanan iç hava kalitesini etkilemektedir. Aynı iç ortam havası sıcaklık düştükçe daha temiz olarak algılanmaktadır. Kullanıcılar daha çok kuru ve serin havayı yeğler. Havanın solunum sistemine alınışında duyumsanan serinlik hoşça gider.

Fang araştırmalarında hava sıcaklığının 23 °C'den 21 °C'ye dūřürölmesiyle algılanan hava kalitesini 1 – 2 faktör arttığını gözlemllemiştir (Fanger, 2005). Aynı zamanda yapı içi hava sıcaklığının artması insanın çalışma durumunu da etkilemektedir. İ sıcaklığın 20 °C'den 24 °C'ye çıkarılması daktiloda yazı yazma hızı ile ölçülen çalışma etkinliğini %18 – 49 oranında dūřürür (Fanger, 2002).

Bir i mekândaki yüzeylerin (duvarlar, dōřeme, tavan gibi) yüzey sıcaklığı iç hava sıcaklığına yakın bir değerde olmalıdır. İç ortamda yüzeylerin ve havanın sıcaklığı arasında fark olduğu durumda kullanıcıların algıladığı konfor düzeyinin yükselebilmesi için hava sıcaklığının artırılması gerekir. Örneğin iç yüzey sıcaklığı 10° C olan bir iç mekânda gerekli konforun sağlanabilmesi için havanın 24° - 26° C'ye kadar ısıtılması gerekir. Buna karşın iç yüzey sıcaklığı ve i hava sıcaklığı 18° olan bir iç mekânda algılanan konfor düzeyi daha yüksektir (Akman, 2005).

### 2.3 İç Ortam Bağıl Nem Oranı

Hava her sıcaklıkta bir miktar su buharı taşır. Bu su buharı düzeyi havanın nemliliğini belirler. Havanın nemliliği ise mutlak nem ya da bağıl nem olarak ölçülür.

Mutlak nem havanın birim hacminde ya da birim ağırlığında bulunan nemin ağırlığıdır ve birimi gr / m<sup>3</sup> ya da g/kg'dır. Bağıl nem belirli bir sıcaklıktaki havanın içinde bulunan su buharı çokluğunun aynı sıcaklıkta, aynı miktardaki havada bulunabilecek en yüksek su buharı çokluğuna oranıdır. Yüzde (%) olarak tanımlanır ve sıcaklık ile orantılıdır (şerefhanoğlu, 1981). Çizelge 2.4'te hava sıcaklığı - bağıl nem oranı ilişkisi gösterilmektedir. Buna göre 20° C'de %50 bağıl nem oranında olan hava 9,3° C'e kadar soğutulursa içindeki su buharını korur. 9,3° C'nin altına dūřtüęü durumda içindeki su yoğuşur.

Havadaki bağıl nem oranı doğada ortalama olarak %50 – 70 arasındadır. Yapı içi havasının 16° C – 20° C'de ve %40 – 60 bağıl nem oranında olması insan için gerekli konfor koşullarını oluşturur. Tıp uzmanlarınca insan fizyolojisine en uygun hava nemi oranı %50 olarak belirlenmiştir (Akman, 2005).

Uluslararası İç Ortam ve Enerji Merkezi'nde yapılan araştırmalar algılanan i hava kalitesinin solunan havanın neminden ve sıcaklığından büyük oranda etkilendiğini doğrulamaktadır. Kullanıcılar kuru ve serin havayı yeğlemektedir. Fang ve arkadaşlarının alışması 20 °C ve %40 bağıl nemde 3,5 l/sn kiři gibi dūřük bir temiz hava miktarında kullanıcıların algıladıkları iç hava kalitesinin; 23 °C ve %50 bağıl nem oranında 10 l/sn kiři gibi yüksek bir temiz hava

miktarında algıladıkları iç hava kalitesine oranla daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Böylece daha düşük sıcaklık ve nemde yeterli hava değişim sayısının yüksek sıcaklık ve nemde gerekli hava değişim sayısına oranla daha az olduğu anlaşılmaktadır (Fanger, 2000). Çizelge 2.5'te havadaki su buharı oranının solunum sırasındaki değerlendirmesi görülmektedir. Su buharı oranının düşük olduğu hava kullanıcılar tarafından en beğenilen hava olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2.4 Hava içindeki su buharının yoğuşma sıcaklıkları (Kandemir, 2003)

| sıcaklık<br>(°C) | bağıl nem oranı (%) |         |         |         |         |         |         |         |
|------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                  | 30                  | 35      | 40      | 45      | 50      | 55      | 60      | 65      |
| 30               | 10,5 °C             | 12,9 °C | 14,9 °C | 16,8 °C | 18,4 °C | 20 °C   | 21,4 °C | 22,7 °C |
| 29               | 9,7 °C              | 12 °C   | 14 °C   | 15,9 °C | 17,5 °C | 19 °C   | 20,4 °C | 21,7 °C |
| 28               | 8,8 °C              | 11,1 °C | 13,1 °C | 15 °C   | 16,6 °C | 18,1 °C | 19,5 °C | 20,8 °C |
| 27               | 8 °C                | 10,2 °C | 12,2 °C | 14,1 °C | 15,7 °C | 17,2 °C | 18,6 °C | 19,9 °C |
| 26               | 7,1 °C              | 9,4 °C  | 11,4 °C | 13,2 °C | 14,8 °C | 16,3 °C | 17,6 °C | 18,9 °C |
| 25               | 6,2 °C              | 8,5 °C  | 10,5 °C | 12,2 °C | 13,9 °C | 15,3 °C | 16,7 °C | 18 °C   |
| 24               | 5,4 °C              | 7,6 °C  | 9,5 °C  | 11,3 °C | 12,9 °C | 14,4 °C | 15,8 °C | 17 °C   |
| 23               | 4,5 °C              | 6,7 °C  | 8,7 °C  | 10,4 °C | 12 °C   | 13,5 °C | 14,8 °C | 16,1 °C |
| 22               | 3,6 °C              | 5,9 °C  | 7,8 °C  | 9,5 °C  | 11,1 °C | 12,5 °C | 13,9 °C | 15,1 °C |
| 21               | 2,8 °C              | 5 °C    | 6,9 °C  | 8,6 °C  | 10,2 °C | 11,6 °C | 12,9 °C | 14,2 °C |
| 20               | 1,9 °C              | 4 °C    | 6 °C    | 7,7 °C  | 9,3 °C  | 10,7 °C | 12 °C   | 13,2 °C |
| 19               | 1 °C                | 3,2 °C  | 5,1 °C  | 6,8 °C  | 8,3 °C  | 9,8 °C  | 11,1 °C | 12,3 °C |
| 18               | 0,2 °C              | 2,3 °C  | 4,2 °C  | 5,9 °C  | 7,4 °C  | 8,8 °C  | 10,1 °C | 11,3 °C |

Çizelge 2.5 Havadaki su buharının kullanıcılar tarafından değerlendirilmesi (Akman, 1991)

| Havadaki su oranı gr / kg | Solunum için uygunluğu | Deneklerin değerlendirmesi |
|---------------------------|------------------------|----------------------------|
| 0 - 5                     | çok iyi                | hafif ve taze              |
| 5- 8                      | iyi                    | normal                     |
| 8 - 10                    | orta                   | dayanılır                  |
| 10 - 20                   | kötü                   | ağır bastırıcı             |
| 20 - 25                   | tehlikeli - kötü       | ıslak ve sıcak             |
| 25'den fazla              | uygun değil            | dayanılmaz                 |

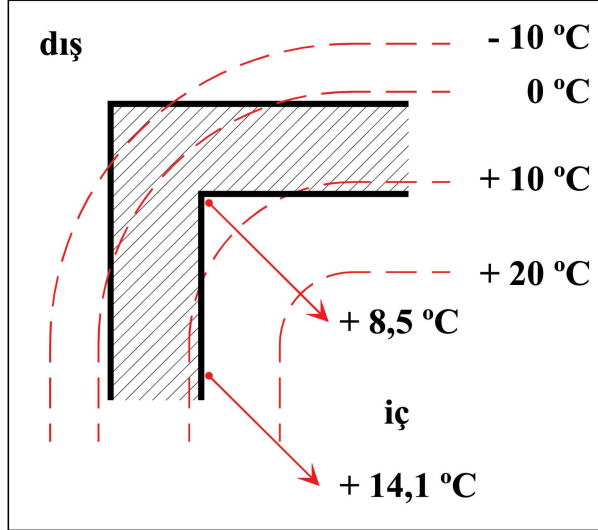
  

|                 |                                                  |
|-----------------|--------------------------------------------------|
| 43, 92          | solukla dışarı verilen havada bulunan su miktarı |
| 43,92'den fazla | hava akciğerlerde yoğuşur                        |

İç mekân havasındaki nem oranı bölgesel iklim özelliklerine, iç mekân boyutlarına, mekân içindeki insan sayısına, kullanılan yapı ürünlerinin ve donanımının niteliğine ve iç mekân yüzeylerinin sıcaklığına bağlıdır (Akman,2005).

Havanın bağıl nem oranı sıcaklık ile orantılı olduğu için soğuk iç mekân yüzeylerine çarpan

sıcak hava içindeki su buharı yüzey üzerinde yoğuşabilir (Rogatty, 2005; Kandemir, 2003). Şekil 2.2’de dış hava sıcaklığına bağlı olarak yeterli ısı yalıtımı yapılmamış bir yapıda iç mekân yüzey sıcaklığının özellikle yapı köşelerindeki değeri görülmektedir.



Şekil 2.2 İç mekân köşelerinde iç ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak oluşan yüzey sıcaklığı (Rogatty, 2005)

ASHRAE ve diğer standartlar kapalı hacimler için en uygun bağıl nemin %30 ile %60 arasında olduğunu belirtmektedir (Alioğlu, 2001). Bu veriler doğrultusunda ve Çizelge 2.6’ya göre gerekli olan en uygun hava değeri 18 – 20 °C sıcaklıkta, %40 bağıl nem oranında ve 4 – 5 gr / kg su içeren bir durumda olmasıdır (Akman, 1991).

İnsanın terlemesi vücuttan fazla suyun atılması olarak tanımlandığına göre havadaki su oranının fazla olması terlemeyi güçleştiren etkenlerden birisidir (Şenkal, 2001). Yetişkin bir insan normal koşullarda saatte 60 gr, günde 12 litre su buharı açığa çıkarır (Akman, 2005). Havadaki nem oranı yükseldikçe açığa çıkan su buharı düzeyi azalmaktadır. Örneğin havada %70’lik bir nem oranında 20 °C sıcaklıkta vücudun açığa çıkardığı su buharı saatte 30 gr’a düşer. Sıcak kuru bir havada hareket halinde bir insan saatte 120 gr su buharı çıkarabilir (Akman, 1991).

#### 2.4 Ortam İçindeki Hava Akış Hızı

İç 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).

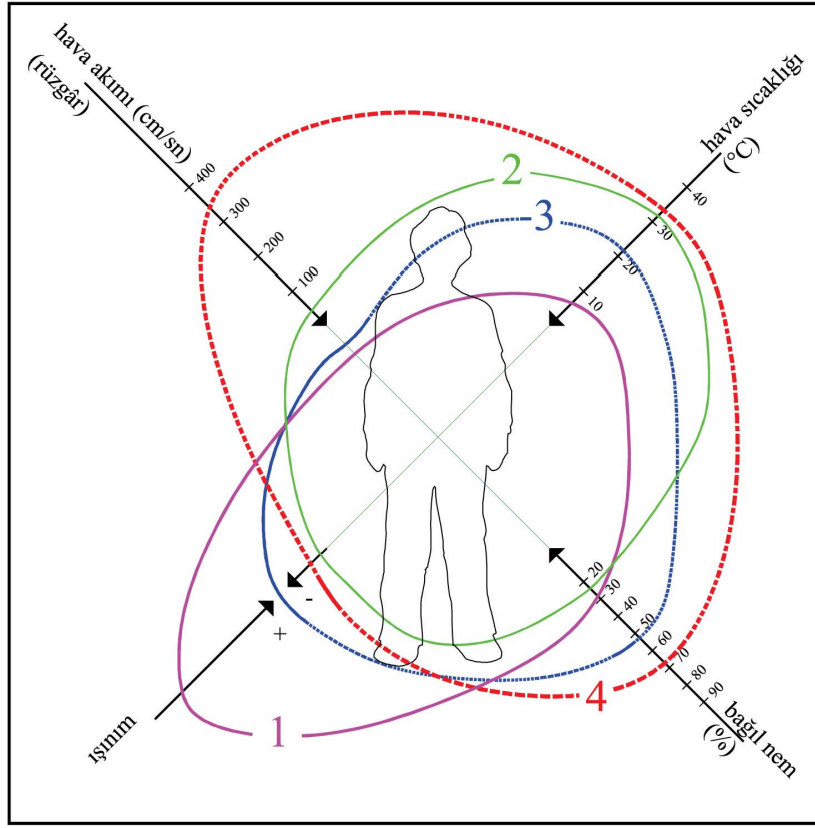
En iyi durum havanın homojen olarak ve düşük hızda mekâna verilmesidir (Köksal, 2001). TS 12281'e (1997) göre konut iç mekânlarında hava hızı kış aylarında 8 m/dk – 10 m/dk arasında, yaz aylarında ise 13 m/dk – 27 m/dk arasında olmalıdır.

Akış hızına duyarlılık kişiden kişiye değişiklik gösterir. Bununla birlikte 0,1 m/sn'den düşük olan hava hızı algılanmaz ve havasızlık hissi oluşturur. 0,25 m/sn ile 0,50 m/sn arasındaki hız hoş gider. 1,5 m/sn ve daha üstü hava hızı sinirlendirici hava akımı oluşturur (Zorer, 1992). Yapma sistemler ile havalandırılan yapılarda hava akış hızı 0 ile 0,5 m/sn arasında genellikle düşük bir hızdadır. Daha yüksek ve / ya da düzensiz hızda verilen hava özellikle vücudun boyun bölgesindeki olumsuz etkisi nedeniyle konforsuzluk oluşturur. Doğal havalandırma ile havalandırılan yapılardaki kullanıcılar 0,5 m/sn'nin üzerindeki hava akış hızlarını serinletme sağladığı için hoş görebilir (Kwok, 2000).

Yapı içinde kullanıcı eylemlerine ya da yapı ürünlerine bağlı olarak sürekli bir kirletici kaynağı bulunan ve havasında kirletici yoğunluğu yüksek olan mekânlarda hava akış hızı kullanıcı konfor sınırları içinde artırılmalıdır. Aynı durum iç donanımdan ötürü ısı artışı yaşanan mekânlar için de geçerlidir (Zorer, 1992). Ayrıca hava akış hızının yüksek olması sıcak hava koşullarında vücut yüzeyindeki suyun buharlaşmasını hızlandırır. Bağıl nemin %30'dan düşük olduğu durumda bu etki önemli değildir. Eğer hava hareketsizse ve nem oranı fazlaysa deriye yakın hava tabakası doymuş duruma gelir ve deriden buharlaşma olmasını önler. Hava akışı bu doymuş hava tabakasının dağılmasını ve deri yüzeyindeki suyun buharlaşmasını sağlar. Sıcak ve durgun havada yelpazelenerek vücut yüzeyi üzerindeki doymuş hava tabakasını dağıtmak bunun en bilinen örneğidir (Şerefhanoglu, 1981).

Havanın mekânlara homojen olarak dağılmasında hava akış hızının etkisi vardır (Alioğlu, 2001).

Kullanıcı konforunun sağlanmasında hava sıcaklığı, havanın nem oranı ve hava devinimleri birbiriyle bağlantılıdır. Şekil 2.3'de görüldüğü üzere hava sıcaklığı 21° C'deyken nemin %50 olması durumunda hava devinimi ve ışıma gerek duymadan kullanıcı için yeterli konfor sağlanmaktadır (3 numaralı eğri). Fakat hava sıcaklığının 32° C ve nemin %85 olduğu durumda konforun sağlanması yeterli hava akış hızının olmasına bağlıdır (4 numaralı eğri). Hava sıcaklığının düşük olduğu durumlarda ise hava akımlarına ve nem artışına gerek duyulmadan yalnız ısı yayan bir odaktan gelecek ısı kazancı ile uygun bir iç çevre sağlanabilir (1 numaralı eğri) (Önel, 1978).



Şekil 2.3 Hava sıcaklığı, bağıl nem oranı ve hava akış hızı arasındaki ilişki (Önel, 1978'den uyarlama)

## 2.6 Elektroiklimsel Oluşumlar

Elektroiklim havanın elektriksel niteliğini belirtir. Havada ortaya çıkan elektriksel oluşumlara elektroiklim denir. Doğal ve yapay elektriksel ve manyetik alanlar elektroiklimin içindedir (Topar, 1996).

Elektrik devingen elektron yüklü parçacıkların yol açtığı fiziksel bir olgudur (Büyük Larousse, 1992). Birbirini elektriksel olarak etkileyebilecek konumdaki iki cismin elektrik yükü farklı ise bu iki cisim arasında elektriksel bir gerilim oluşur. Elektriksel gerilimin birimi volt'tur (V). Her elektriksel gerilim bir elektriksel alan oluşturur. Elektriksel alanın birimi V/m'dir (Ana Britannica, 1988).

Bir iletkenin geçen elektrik akımı bu iletkenin çevresinde bir manyetik alan oluşmasına neden olur. Akımın şiddetinin artması manyetik alan şiddetinin artmasıyla sonuçlanır. Manyetik alanlar amper/metre (A/m) birimiyle ya da manyetik indükleme akımı olan Tesla (T) birimiyle ölçülür (Ana Britannica, 1988). Oluşan manyetik alanın etkisi yapıda elektrik döşeminin konumu, yapının plan şeması ve kullanılan elektrikli aygıtın elektrik tüketim

düzeyi ile bağlantılıdır (Akman, 1997).

Elektrik döşemine bağlı her kablo, priz ve elektrikli aygıt, kullanılmadığı durumda bile bir elektriksel ve manyetik alan oluşturur. Bu alanların boyutları elektrik döşeminin standartlara uygun olduğu durumda oldukça küçüktür, ancak birkaç cm uzaklığı etkileyebilir (Akman, 1997). Yapı içi havasının bağıl nem oranı ve sıcaklığı elektrik alanı oluşumunu doğrudan etkiler. Bağıl nem oranının artışı elektrik alan şiddetinin artmasına neden olur (Topar, 1996).

İnsan vücudu zaman içinde doğadaki elektriksel ve manyetik alanlara uyum sağlamış ve bu alanlar ile doğal bir denge içine girmiştir (Akman, 2005). Kullanıcılar tarafından üretilen yapma çevrede doğadakiyle uyumsuz olan bir elektroiklim egemendir (Akman, 1997). Yapı içindeki elektrikli donanımlar ve uziletişim (telekomünikasyon) aracılığıyla oluşan düşük ve yüksek frekanslı elektriksel ve manyetik alanlar ve yapı ürünlerinden kaynaklanan elektrostatik yükler ile doğada var olmayan, yoğun, yapay bir elektroiklim oluşur (Akman, 2005). Havadaki elektroiklimsel oluşumların doğadaki normal düzeyi aşması ve canlı sağlığını olumsuz etkilemesi durumuna elektroiklimsel kirlilik denir (Topar, 1996).

Normal bir konutta elektrik alan şiddeti 1 – 20 V/m düzeyinde olmalıdır. Fakat konutta kullanılan bazı elektrikli aygıtların çevresinde oluşan elektrik alan şiddeti 250 V/m düzeyinde çıkabilmektedir (Topar, 1996). Elektriksel alan ve manyetik alan düzeyleri her ülkede farklı sınır değerler içeren standartlara bağlanmıştır. Almanya’da düşük frekanslı 50 Hz’lik elektriksel alanlar 20.000 V/m ile, manyetik alanlar ise 4000 A/m ya da 0,5 mT (miliTesla) ile sınırlandırılmıştır (Akman, 1997). Dünya Sağlık Örgütü ise kapalı iç ortamlarda uzun süreli elektrik alan şiddeti sınır değerini 10.000 V/m olarak belirlemiştir. Japonya’da ise bu değer 3.000 V/m’dir. Amerika’da 0,2 mT – 0,3 mT manyetik alan düzeyi kanser riskinin başladığı düzey olarak kabul edilmektedir (Topar, 1996).

İyon elektron kazanmış ya da yitirmiş atomlara verilen addır. Havadaki iyonlar hava içinde bulunan nitrojen, oksijen ya da hidrojen atomlarının sürtünerek elektriksel olarak yüklenmeleriyle oluşur (Ana Britannica, 1988). Doğal ya da yapay elektroiklimsel oluşumlarda havadaki iyon yoğunluğu etkilenir (Topar, 1996).

## **2.7 Yapı İçi Hava Kirleticileri, Kaynaklar, Sınır Değerler ve Neden Olduğu Sağlık Sorunları**

Havanın bileşimini bozabilecek nitelikte olan ve çeşitli kaynaklardan çıkarak havaya karışan kirleticilerin canlı yaşamını etkileyecek düzeylerde birikmesi hava kirliliğini oluşturur



(Balanlı, 2007). Avrupa Birliği'nin İtalya'da Ispra Kenti'nde kurmuş olduğu İç Hava Kalitesi Laboratuvarı Indoortron'da yapılan ölçümler insanların iç mekânda dış çevreye oranla 2 – 5 kat daha fazla hava kirliliğinden etkilendiğini göstermektedir (Cinemre, 2005).

Yapı içi hava kirliliği:

- Yapı dışındaki çevreden (fiziksel dış çevre)
- Yapının kullanımından (kullanıcının kendisi ve eylemleri) ve
- Yapı ürünlerinden

kaynaklanabilir (Balanlı ve Taygun, 2005).

Dış ortamda kimyasal tepkimeler sonucunda oluşan (karbondioksit, karbon monoksit vb) ürünler, toprak ya da sudaki bazı maddeler (radon, asbest, vb) bitki ve hayvanlardan kaynaklanan parçacıklar ve mikroorganizmalar yapı içine girerek iç havayı kirletebilir. İnsan solunum, deri parçaları, idrar, dışkı, bağırsak gazları vb metabolizma ürünleri dışında aydınlatma, ısıtma, yemek pişirme, sıcak su sağlama, sigara içme, temizlik, fotokopi vb eylemlerle kirlilik kaynağı oluşturabilir. Ayrıca yapıda kullanılan ürünler formaldehit, radon, asbest, kurşun gibi sağlığa zarar veren kirleticiler içerebilir (Balanlı, 2007).

Yapı içi hava kirleticileri

- Fiziksel özelliklerine göre
- Kimyasal özelliklerine göre
- Sağlık etkilerine göre
- Kaynaklarına göre

sınıflandırılabilir (Vural, 2004). Çizelge 2.6'da bu şekilde oluşturulmuş bir sınıflandırma görülmektedir.

Kirleticiler, deri yüzeyi ve gözler üzerindeki olumsuz etkilerinin yanı sıra çoğunlukla solunarak vücuda girdikleri için solunum ile ilgili sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Balanlı ve Taygun, 2005). Solunum yoluna giren kirleticiler dolaşım sistemi ile tüm organizmayı etkileyebilir (Duygulu, 1996). İnsan sağlığının olumsuz olarak etkilenmesi kirleticilerin türüne, yoğunluğuna, etkiye süresine, etkiye sırasında kişinin genel sağlık durumuna ve biyolojik yapısına bağlıdır.

Çizelge 2.6 Yapı içinde bulunan kirleticilerin sınıflandırılması (Vural, 2004; Günay, 1994'den uyarlama)

| Fiziksel Özelliklerine Göre | Kimyasal Özelliklerine Göre | Sağlık Etkilerine Göre | Kaynaklarına Göre | Oluşumlarına Göre |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| Gazlar ve buharlar          | Organik                     | Zehirleyici            | Dış kaynaklı      | Doğal             |
| Parçacıklar                 | İnorganik                   | Kanserojen             | İç kaynaklı       | Yapay             |
|                             |                             | Mutajenik              |                   |                   |
|                             |                             | Alerjen                |                   |                   |
|                             |                             | Rahatsız edici         |                   |                   |

Kirletici olarak kabul edilen bir maddenin yoğunluğu hacim ya da ağırlık olarak belirlenir. Hava içinde bulunan bir maddenin hacim olarak belirlenmesinde bir milyon toplam hacimdeki gaz hacmini gösteren ppm (parts per million) birimi kullanılır. Örneğin 1 m<sup>3</sup> havanın incelenmesi sonucunda bu hacimdeki hava içinde 5 cm<sup>3</sup> kükürt dioksit saptanırsa, kükürt dioksit yoğunluğu 5 ppm olur. Eğer yoğunluğu ölçülecek kirleticinin ağırlığı belli ise, ölçü mg/m<sup>3</sup> ya da µg/m<sup>3</sup> birimleri ile belirtilir [2]. Miligram (mg) ve mikrogram (µg) ağırlık ölçüsü birimidir (1mg = 1000 µg). Bu birim kirleticinin 1 m<sup>3</sup> hava içindeki miligram ya da mikrogram cinsinden ağırlığını belirtir. Kirletici birimleri Çizelge 2.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.7. Kirletici birimleri ve açıklamaları

|         | Kirletici birimi  | Açıklama                                                                                       |
|---------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ağırlık | mg/m <sup>3</sup> | miligram / metreküp: 1 m <sup>3</sup> hava içindeki kirleticinin miligram cinsinden ağırlığı   |
|         | µg/m <sup>3</sup> | mikrogram / metreküp: 1 m <sup>3</sup> hava içindeki kirleticinin mikrogram cinsinden ağırlığı |
| Hacim   | ppm               | parts per million: 1 milyon toplam hacim içindeki kirleticinin hacmi                           |
|         | pphm              | parts per hundered million: 100 milyon toplam hacim içindeki kirleticinin hacmi                |
|         | ppb               | parts per billion: 1 milyar toplam hacim içindeki kirleticinin hacmi                           |

İnsan solunum sonucunda; idrar, dışkı, bağırsak gazları gibi metabolizma ürünleri ile; deri parçaları dökerek; terleyerek ve aydınlatma, ısıtma, yemek pişirme, sigara içme vb eylemleri ile yapı içindeki havayı kirletir (Balanlı, 2007). Bir olf üç günde iki kez banyo yapan, her gün çamaşır değiştiren ve normal bir hareketlilik düzeyine sahip bir insanın [yalnızca solunum, metabolizma ürünleri ve terleme sonucunda] oluşturduğu kirlilik düzeyi temel alınarak geliştirilmiş, hava kirliliğini tanımlamada kullanılan bir birimdir (TS CR 1752, 2002; Cinemre, 2005). İç ortam havasında bulunan hava kirliliğinin algılanması bu kirliliğin olf cinsinden düzeyine bağlı olduğu kadar o mekânın havalandırılmasıyla da ilgilidir. Bunu tanımlamak için geliştirilmiş birime desipol adı verilir. Bir desipol, içinde 1 olf kirlilik

üretileen bir mekânın 10 l/sn kişi ile havalandırıldığı zaman algılanan kirlilik düzeyidir (1 desipol = 1 olf / 10 l/sn kişi = 0,1 olf/l/sn kişi) (TS CR 1752, 2002). Çizelge 2.8’de bazı mekânlar için desipol cinsinden hava kirliliği değeri verilmektedir.

Çizelge 2.8 Desipol cinsinden hava kirliliği düzeyleri (Cinemre, 2005)

| Hava Değeri (desipol) | Tanımlama                        |
|-----------------------|----------------------------------|
| 0,01 desipol          | dağ ya da açık denizlerdeki hava |
| 0,1 desipol           | şehir havası                     |
| 1,0 desipol           | sağlıklı yapı içi havası         |
| 1,4 desipol           | kabul edilebilir yapı içi havası |
| 10 desipol            | sağlıksız yapı içi havası        |

### 2.7.1 Kirletici Gazlar ve Buharlar

Yanma sonucu oluşaen karbon, kükürt, azot bileşikleri; uçucu organik bileşikler ve ozon, radon gibi doğal gazlar yapı içinde kirletici özelliği bulunan gaz ve buharlar içindedir.

- Karbon Gazları (CO<sub>x</sub>)

Karbon gazları (karbon monoksit ve karbondioksit) karbon içirikli organik maddelerin yanması sonucunda oluşur.

Karbon monoksit (CO): Karbon atomu içiren herhangi bir yakıtın tamamlanmamış yanması sonucunda ortaya çıkan kokusuz ve renksiz bir gazdır. Neredeyse bütün doğal yakıtlar karbon içirdiği için her türlü yanmada oluşabilir. 1 ppm karbon monoksit yaklaşık olarak 1145 mg/m<sup>3</sup>dür. Yapı içinde en büyük karbon monoksit kaynağı fosil yakıtlarıdır. Araç egzoz dumanı da karbon monoksit içirir ve dış çevreden yapı içine girer (Burr, 2000; Lassen ve Hagen, 1996). Sigara karbon monoksitin en yaygın kaynaklarından birisidir. Tüten sigara dumanında nefes ile içe çekilen dumandan 2,5 kat fazla karbon monoksit bulunur (Eğrikavuk, 1996).

Karbon monoksitin konutlardaki yoğunluğu 5 mg/m<sup>3</sup>’ten 60 mg/m<sup>3</sup>’e kadar değişmektedir. Londra’da normal bir mutfakta gazlı ocak ve doğal havalandırma varken oluşaen karbon monoksit yoğunluğu 15 dakikada 18 mg/m<sup>3</sup>; 24 saat içinde 184 mg/m<sup>3</sup> olarak ölçölmüştür (Burr, 2000). Çizelge 2.9’da karbon monoksit için dünyadaki çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen sınır değeri ve etkilenim süreleri bulunmaktadır.

Karbon monoksitin neden olduğu sağlık sorunları kandaki hemoglobin ile olan etkileşiminden

kaynaklanır. Hemoglobin tutuculuğu oksijene göre 200 kat daha fazla olan karbon monoksitin (Larssen ve Hagen,1997) hemoglobin ile buluşmasıyla karboksihemoglobin (COHb) maddesi oluşur, hemoglobinin oksijen tutuculuğu azalır, doku ve organlara oksijen taşıma kapasitesi düşer (Büyük Larousse, 1992). ACGIH COHb'nin kandaki en üst yoğunluk düzeyi olarak %3,5 oranını kabul etmiştir (Özmen, 2003).

Kullanıcının karbon monoksitten etkilenmesi havadaki karbon monoksit yoğunluğu ve etkilenme süresine bağlıdır. Çizelge 2.10'da iki farklı karbon monoksit yoğunluğunda etkilenme sürelerine bağlı olarak kandaki COHb yüzdeleri ve oluşan sağlık sorunları görülmektedir.

Çizelge 2.9 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir karbon monoksit sınır değerleri (Lassen ve Hagen, 1996; [3]; [4]; [5]; TS 12281,1997; Özmen,2003)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi | Etkilenim Süresi | Kabul Edilebilir Sınır Değerler       |         | Kuruluş                   |
|---------------------------|------------------|---------------------------------------|---------|---------------------------|
|                           |                  | mg/m <sup>3</sup> - µg/m <sup>3</sup> | ppm     |                           |
| <b>Karbon monoksit</b>    | 10 dk            | 100 mg/m <sup>3</sup>                 | -       | WHO                       |
|                           | 30 dk            | 60 mg/m <sup>3</sup>                  | 50 ppm  |                           |
|                           | 1 saat           | 30 mg/m <sup>3</sup>                  | -       |                           |
|                           | 8 saat           | 10 mg/m <sup>3</sup>                  | -       |                           |
|                           | 8 saat           | 55 mg/m <sup>3</sup>                  | 50 ppm  | OSHA                      |
|                           | 1 saat           | 40 mg/m <sup>3</sup>                  | 35 ppm  | NAAQS EPA                 |
|                           | 8 saat           | 10 mg/m <sup>3</sup>                  | 9 ppm   |                           |
|                           | 1 saat           | -                                     | 31 ppm  | NAAQOs CEPA               |
|                           | 8 saat           | -                                     | 13 ppm  |                           |
|                           | 8 saat           | -                                     | 9 ppm   | TS 12281                  |
|                           | 1 saat           | -                                     | 25 ppm  |                           |
|                           | 6 dk             | -                                     | 350 ppm | İngiliz Standardı BS 7860 |
|                           | 10 - 30 dk       | -                                     | 150 ppm |                           |
|                           | 60 dk            | -                                     | 45 ppm  |                           |
|                           | 30 dk            | -                                     | 100 ppm | Alman Standardı VDI2053   |
|                           | 15 dk            | -                                     | 100 ppm | İsveç Standardı BBR94     |

Çizelge 2.10 Karbon monoksit etkilenimi ve oluşan sağlık sorunları (Burr, 2000)

| 229 mg/m <sup>3</sup> | 1145 mg/m <sup>3</sup> | COHb (%) | Etkileri                                                                                                                        |
|-----------------------|------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 s                   | 20 dk                  | 10       | Hareket yetkinliği azalır.                                                                                                      |
| 7 s                   | 45 dk                  | 20       | Hareketlilikte nefessiz kalma, baş ağrısı                                                                                       |
| -                     | 75 dk                  | 30       | Şiddetli baş ağrısı, güçsüzlük, baş dönmesi, göz kararması, karar verme güçlüğü, mide bulantısı, kusma, ishal, nabızda hızlanma |
| -                     | 2 s                    | 40 - 50  | Zihin karışıklığı, hareket çabası sonucunda bayılma, koma, aşırı titreme ve kasılma,                                            |
| -                     | 5 s                    | 60 - 70  | Koma, aşırı titreme ve kasılma, düşük nabız, kan basıncında düşme, solunum yetersizliği, ölüm                                   |

Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>): Karbonun oksijen ile yanması sonucunda oluşan renksiz, kokusuz ve yoğun bir gazdır. Atmosferde %0,03 oranında bulunur (Büyük Larousse, 1992). Metabolizma işlevinin temel ürünlerindendir. Aynı zamanda yapı içinde her türlü yanma (ocak, şömine, sigara içme vb) işlemi sonucunda oluşur (Wadden ve Scheff, 1983). İnsan soluğunda 38 ppm karbon dioksit bulunur. İnsan ortalama olarak saniyede 0,005 litre karbon dioksit üretir. (Cinemre, 2005) Çizelge 2.11’de çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen karbondioksit etkilenim düzeyleri ve süreleri bulunmaktadır.

Çizelge 2.11 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir karbondioksit sınır değerleri (Vural, 2004; [3]; TS 12281, 1997)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi | Etkilenim Süresi | Kabul Edilebilir Sınır Değerler       |           | Kuruluş  |
|---------------------------|------------------|---------------------------------------|-----------|----------|
|                           |                  | mg/m <sup>3</sup> - µg/m <sup>3</sup> | ppm       |          |
| Karbondioksit             | -                | < 1800 mg/m <sup>3</sup>              | -         | WHO 1984 |
|                           | 8 saat           | 9000 mg/m <sup>3</sup>                | 5000 ppm  | OSHA     |
|                           | -                | -                                     | < 800 ppm | TS 12281 |

Karbondioksit suda olağan basınç altında az çözünür, basınç yükseldikçe çözünürlüğü artar. Havadaki oranı %30’u geçmesi durumunda kanda plazma içinde çözündüğünden boğulma gerçekleşir (Büyük Larousse, 1992). Uzun süreli %1,5’luk karbondioksit yoğunluğundan etkilenme sağlıklı kişilerde strese neden olmaktadır. %7 – 10 yoğunluk düzeyinde birkaç dakikalık etkilenme sağlıklı kişilerde bilinçsizliğe yol açar (Wadden ve Scheff, 1983).

- Azot Gazları(NO<sub>x</sub>)

Renksiz ve kokusuz bir gaz olan azotun oksijen ile tepkimeye girmesiyle azot monoksit (NO) ve azot monoksitin oksijenle tepkimeye girmesi sonucunda azot dioksit (NO<sub>2</sub>) oluşur (Büyük

Larousse, 1992; Larssen ve Hagen, 1996). Azot oksitlerin dış çevredeki başlıca kaynakları motorlu araç egzozları ve fosil yakıtlarının yakılmasıdır (Larssen ve Hagen, 1996).

Azot monoksit (NO): Yakıtların yanma evresinde ısı etkisiyle havadaki azotun oksitlenmesi, araçlardaki petrolün yanması, toprağın aşırı gübrelenmesi ve orman yangınları sonucu oluşan renksiz bir gazdır (Öztürk, 2005). Yapı içindeki önemli azot monoksit kaynakları yangınlar, gazlı ocaklar, su ve mekân ısıtıcıları, tütün dumanı ve bazı ofis donanımlarıdır (Yocom ve McCarthy, 1991; Vural, 2004).

Azot dioksit (NO<sub>2</sub>): Azot dioksit atmosferin doğal bileşenidir ve yoğunluğu  $940 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 500 \text{ ppb}$ 'dir (1 ppb azot dioksit  $1,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e eşittir) (Burr, 2000). Azot monoksit yoğunluğu azot dioksite göre daha fazladır (Larssen ve Hagen, 1996).

Azot dioksitin doğal ve yapay kaynakları bulunur. Doğal kaynaklardan bakteriyel etki, volkanik etki ve şimşek düşük düzeyde azot dioksit yoğunluğu oluşmasına neden olur. Yapay kaynaklar ise fosil yakıtların yakılmasıdır (Larssen ve Hagen, 1996).

Şehirlerdeki yıllık ortalama azot dioksit yoğunluğu genellikle  $20 - 90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasındadır. Esintinin az olduğu durumlarda saatlik yoğunluk düzeyi birkaç yüz  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün üstünde, günlük yoğunluk düzeyi  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün üstüne çıkabilmektedir (Larssen ve Hagen, 1996).

Azot dioksit yapı içi havasında birikerek havayı kirletir. Yapı içinde başlıca azot dioksit kaynakları ateş, gazlı ocaklar, su ve mekân ısıtıcılarıdır. Otomobil egzozunun yapı içine girmesi ve sigara dumanıyla da azot dioksit kirliliği oluşur (Burr, 2000).

İngiltere'nin Bristol kentinde yapılan bir araştırmada konutlardaki azot dioksitin daha çok mutfak kısmında bulunduğu, yatma ve yaşama mekânlarında daha az yoğunlukta olduğu belirtilmiştir. Bu araştırmada ana pişirmenin gazlı ocak olduğu mutfaklarda yıllık ortalama  $21,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , elektrikli pişirme olan mutfaklarda yıllık ortalama  $14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  azot dioksit düzeyi belirlenmiştir. Tek bir gazlı ocağın kullanımında kısa süre içinde  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , fırın kullanımında ise  $1100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yoğunluk düzeyi saptanmıştır. Bu araştırmadan daha önce yapılmış bir araştırmada ise daha yüksek değerler saptanmıştır. Gazlı ocakta haftalık yoğunluk  $211 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , elektrikli ocakta haftalık yoğunluk  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak belirlenmiştir. İlk araştırmada ikinci araştırmaya oranla daha yüksek azot dioksit yoğunluğunu olmasının nedeni bu araştırmanın yapıldığı dönemde dış havadaki azot dioksit yoğunluğunun daha fazla olmasıdır (Burr, 2000).

Dünya Sağlık Örgütü en düşük azot dioksit yoğunluğu olarak astımlı kişiyi etkileyebilecek

düzeyi temel almıştır (Vural, 2004). Çizelge 2.12’de dünyadaki çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen azot dioksit etkilenim düzeyleri ve süreleri bulunmaktadır.

Azot dioksit solunum sistemini etkilemektedir. İnsandaki azot dioksit etkilenimi araştırmaları daha çok yüksek düzeyde endüstriyel salınım ile ilgili yapılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü 1987 verilerine göre astımlı hastalarda akciğer işlevlerini etkileyen en düşük azot dioksit düzeyinin  $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (300 ppb) olduğu belirlenmiştir (Burr,2000). Denetimli insan etkilenimi deneyleri ile kısa ve uzun dönemli düşük yoğunluktaki etkilenimde solunum yolu hastalıklarında ve belirtilerinde; yüksek yoğunluktaki etkilenimde akciğer dokusunda tahrişler ve enfeksiyon riskinde artış görülmüştür (Larssen ve Hagen, 1996; Burr, 2000; ASHRAE, 1998). Küçük çocuklar ve solunum yolu rahatsızlığı olanlar azot dioksit etkilenimine daha duyarlıdır (Larssen ve Hagen, 1996).

Çizelge 2.12 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir azot dioksit sınır değerleri (Larssen ve Hagen, 1996; [3]; [4]; [5]; TS 12281,1997)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi | Etkilenim Süresi | Kabul Edilebilir Sınır Değerler                 |            | Kuruluş     |
|---------------------------|------------------|-------------------------------------------------|------------|-------------|
|                           |                  | $\text{mg}/\text{m}^3 - \mu\text{g}/\text{m}^3$ | ppm        |             |
| Azot dioksit              | 1 saat           | $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$                    | 0,08 ppm   | WHO         |
|                           | 24 saat          | $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$                    | 0,21 ppm   |             |
|                           | 8 saat           | $9 \text{ mg}/\text{m}^3$                       | 5 ppm      | OSHA        |
|                           | 1 yıl            | $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$                    | 0,053 ppm  | NAAQS EPA   |
|                           | 1 saat           | -                                               | 213 ppb    | NAAQOs CEPA |
|                           | 24 saat          | -                                               | 106 ppb    |             |
|                           | 1 yıl            | -                                               | 53 ppb     |             |
|                           | -                | -                                               | < 0,05 ppm | TS 12281    |

- Kükürt Gazları ( $\text{SO}_x$ )

Yüksek düzeylerdeki hava kirlenmelerinde en önemli etkenlerden birisi kükürt dioksittir (Öztürk, 2005).

Kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ): Belirgin keskin bir kokusu olan, renksiz bir gazdır. Enerji üretimi ve ısıtma için fosil yakıtların (açık yanan kömür ve akaryakıtlı ısıtıcılar) yakılması başlıca kükürt dioksit kaynağıdır (Larssen ve Hagen, 1996). Açığa çıkan kükürt dioksit düzeyi kullanılan ısıtıcının cinsine, kullanım sıklığına ve akaryakıt içindeki kükürt miktarına bağlıdır (Burr, 2000). Kent havasında kısa dönem yoğunluğu olarak birkaç yüz  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bazı dönemlerde ise birkaç bin  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e kadar çıkabilmektedir. Avrupa’da uzun dönem ortalaması olarak  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kükürt dioksit ölçülmektedir (Larssen ve Hagen, 1996).  $20^\circ \text{C}$ ’de 1 ppm kükürt dioksit

yaklaşık olarak 2660  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e eşittir (Burr, 2000). Kükürt dioksit nemli havalarda insan sağlığını olumsuz etkileyen sülfürik aside ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dönüşmektedir (Öztürk, 2005).

Çizelge 2.13'te dünyadaki çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen kükürt dioksit etkilenim düzeyleri ve süreleri bulunmaktadır.

Sağlık sorunları kükürt dioksitin burun mukozasında ve üst solunum yollarında emilmesi ile ortaya çıkar. Epidemiyolojik çalışmalar 250 – 450  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  düzeyinde etkilenimlerin çocukların akciğer işlevinde bozukluklara neden olduğunu belirtmektedir (Larssen ve Hagen, 1996). Kükürt dioksitin suda çözünürlüğü yüksektir (Öztürk, 2005). 26.600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  düzeyindeki etkilenim nemli göz, burun ve boğaz dokularını; 53.200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (20 ppm) düzeyindeki etkilenim gözleri yüksek düzeyde zedeler. Deneysel çalışmalarda astım hastalarında kükürt dioksitin kısa süreli etkileri araştırılmış, klinik astım üzerinde 1330  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,5 ppm) düzeyinde bir etkisi bulunamamıştır (Burr, 2000).

Çizelge 2.13 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir kükürt dioksit sınır değerleri (Larssen ve Hagen, 1996; [3]; [4]; [5]; Burr,2000)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi | Etkilenim Süresi | Kabul Edilebilir Sınır Değerler                                                                                       |          | Kuruluş                                                                                                                  |
|---------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           |                  | $\text{mg}/\text{m}^3$ - $\mu\text{g}/\text{m}^3$                                                                     | ppm      |                                                                                                                          |
| Kükürt dioksit            | 10 dk            | 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                                                                                          | -        | WHO                                                                                                                      |
|                           | 1 saat           | 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                                                                                          | -        |                                                                                                                          |
|                           | 1 yıl            | 100 - 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                                                                                    | -        |                                                                                                                          |
|                           | 8 saat           | 13 $\text{mg}/\text{m}^3$                                                                                             | 5 ppm    | OSHA                                                                                                                     |
|                           | 3 saat           | 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                                                                                         | 0,5 ppm  | NAAQS<br>EPA                                                                                                             |
|                           | 24 saat          | -                                                                                                                     | 0,14 ppm |                                                                                                                          |
|                           | 1 yıl            | -                                                                                                                     | 0,03 ppm |                                                                                                                          |
|                           | 1 saat           | -                                                                                                                     | 334 ppb  | NAAQOs<br>CEPA                                                                                                           |
|                           | 24 saat          | -                                                                                                                     | 115 ppb  |                                                                                                                          |
|                           | 1 yıl            | -                                                                                                                     | 23 ppb   |                                                                                                                          |
|                           | 24 saat          | 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                                                                                          | -        | Royal<br>Commission on<br>Environmental<br>Pollution 1984<br>tarafından<br>Avrupa Birliği<br>için belirlenen<br>değerler |
|                           | 1 yıl            | duman olan<br>durumda 80<br>$\mu\text{g}/\text{m}^3$<br><br>duman olmadığı<br>durumda 120<br>$\mu\text{g}/\text{m}^3$ | -        |                                                                                                                          |

- Uçucu Organik Bileşikler (VOC)

Uçucu organik bileşikler dış havada fotokimyasal tepkimelerde bulunan, karbon içeren kimyasallar sınıfı için kullanılmış bir terimdir. İç hava kalitesi araştırmacıları ise tüm organik



buhar bileşiklerini uçucu organik bileşikler olarak değerlendirir (Tucker, 2000). Bu bileşikler Dünya Sağlık Örgütü tarafından Çizelge 2.14'te görüldüğü gibi kaynama noktalarına göre dört sınıfa ayrılmıştır (Tucker, 2000; ASHRAE, 1998).

Konutlarda uçucu organik bileşiklerin kaynakları geniş bir yapı ürünü ve donanımı listesi oluşturur (Tucker, 2000). Bu kimyasallar temizlik ürünlerinde, boyalarda, cilalarda, yapıştırıcılarda, mastiklerde, dolgu maddelerinde, böcek – sinek ilaçlarında, naftalinde, kozmetik ürünlerde, sigara dumanında, yapı ürünlerinde ve ofis donanımlarında bulunur (Tucker, 2000; Cinemre, 2005; Çilingiroğlu, 2004). Yapı ürünlerinden kaynaklanan bileşiklerin salınımları sürekli ve düzenli niteliktedir. Gazlı fırınlar ve temizlik ürünlerinde oluşan salınım aralıklı ve düzenlidir. Halı temizleme ürünlerinden kaynaklanan salınım ise aralıklı ve düzensizdir. Yüksek salınım döneminde havadaki kirliliği emen kaynaklar normalde içermedikleri bileşikleri salan ikincil kaynaklara dönüşebilir (Tucker, 2000). Çizelge 2.15'te yapı içi havasında ölçülmüş tehlikeli uçucu organik bileşikler ve kaynakları görülmektedir.

Çizelge 2.14 Dünya Sağlık Örgütü tarafından uçucu organik bileşiklerin sınıflandırılması (Tucker, 2000)

| Tanımlama Grupları                                  | Kısaltma | Kaynama Noktası Aralığı °C               |
|-----------------------------------------------------|----------|------------------------------------------|
| Çok Ucucu Organik Bileşikler                        | VVOC     | 0 °C ile 50 °C - 100 °C arası            |
| Uçucu Organik Bileşikler                            | VOC      | 50 °C - 100 °C ile 240 °C- 260 °C arası  |
| Yarı Organik Uçucu Bileşikler                       | SVOC     | 240 °C- 260 °C ile 380 °C - 400 °C arası |
| Özel Organik Maddelerle İlişkili Organik Bileşikler | POM      | 380 °C'den yüksek                        |

Yapı ürünlerinden kaynaklanan uçucu organik bileşiklerin salınım düzeylerini etkileyen temel özellikler

- Ürün içindeki bileşiklerin toplam miktarı ve uçuculuğu,
- Bu bileşiklerin ürünün yüzeyi ve katmanları arasındaki dağılımı,
- Ürünün kullanıma süresi,
- Ürünün yüzey alanının hacmine oranı,
- İç hava sıcaklığı, bağıl nem oranı ve havalandırma miktarı gibi iç hava niteliği ölçütleri,
- Üründe oluşan kimyasal tepkimelerdir (Tucker, 2000).

Çizelge 2.15 Uçucu organik bileşiklere örnekler ve yapı içinde bulunan kaynakları (Tucker, 2000)

| Uçucu Organik Bileşikler   | Yapı İçi Kaynakları                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Asetaldehit *</b>       | Döşeme kaplamaları (halı, vinil, ahşap), havalandırma sistemleri ve bileşenleri, ofis aygıtları, ahşap ürünler                                                                                                  |
| <b>Benzen*</b>             | Mobilyalar (sentetik kumaşlar), boyalar, çözücüler, vernik, cila, ahşap ürünler, sigara dumanı                                                                                                                  |
| <b>Budatin</b>             | Halı, sigara dumanı                                                                                                                                                                                             |
| <b>Etilbenzen</b>          | Döşeme(halı, vinil, ahşap), duvar ve tavan kaplamaları (alçı levha, sıva, duvar kağıdı), yalıtım ürünleri (lifli ürünler v köpükler), boyalar, yapıştırıcılar, çözücüler, vernik, cila, ofis aygıtları          |
| <b>Etiltolüen</b>          | Boyalar, yapıştırıcılar, çözücüler, vernik, cila                                                                                                                                                                |
| <b>Hekzan</b>              | Döşeme Kaplamaları (halı, vinil, ahşap), mobilyalar (sentetik kumaş), boyalar, çözücüler, vernik, cila, ahşap ürünler                                                                                           |
| <b>Karbon tetraklorür*</b> | Böcek zehirleri                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Kloroform</b>           | Mobilyalar (sentetik kumaşlar), böcek zehirleri                                                                                                                                                                 |
| <b>Ksilenler</b>           | Döşeme kaplaması (halı, vinil, ahşap) duvar ve tavan kaplamaları (alçı levha, sıva, duvar kağıdı), mobilyalar (sentetik kumaşlar), boyalar, yapıştırıcılar, çözücüler, verni, cila                              |
| <b>Metilen klorür*</b>     | Mobilyalar (sentetik kumaşlar), boyalar, çözücüler, vernik, cila                                                                                                                                                |
| <b>Metil kloroform</b>     | Konut temizlik ürünleri                                                                                                                                                                                         |
| <b>Naftalin</b>            | Böcek zehirleri                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Paradikloro benzen*</b> | Böcek zehirleri, döşeme kaplamaları (halı, vinil, ahşap)                                                                                                                                                        |
| <b>Stiren</b>              | Yalıtım ürünleri (lifli ürünler ve köpükler), döşeme kaplamaları (halı, vinil, ahşap), boyalar, çözücüler, vernik, cila, ahşap ürünler, ofis donanımları                                                        |
| <b>Tetrakloro etilen*</b>  | Macunlar                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Tolüen</b>              | Macunlar, döşeme kaplamaları (halı, vinil, ahşap), duvar ve tavan kaplamaları (alçı levha, sıva, duvar kağıdı), mobilyalar (sentetik kumaşlar), boyalar, yapıştırıcılar, çözücüler, vernik, cila, ahşap ürünler |
| <b>Tri-kloroetilen*</b>    | Mobilyalar (sentetik kumaşlar)                                                                                                                                                                                  |
| <b>Tri-metilbenzen</b>     | Boyalar, yapıştırıcılar, çözücüler, vernik, cila                                                                                                                                                                |

\* ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından önerilen 33 zararlı hava kirleticisi listesinde bulunan ve kentlerde yaşayan insanlarda önemli sağlık sorunlarına neden olan kirleticiler

Uçucu organik bileşikler yapı içi hava kirleticilerinin en yaygınıdır. Birçok uçucu organik bileşik yoğunluğu yapı içinde yapı dışında olduğundan daha fazladır. Yapı içinde bazı durumlarda  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1 – 5 ppb) düzeyinde onlarca, bazen yüzlerce farklı bileşik bulunabilir. Bileşiklerin uzun dönemlerde yoğunluğu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  düzeyine varabilir (Tucker, 2000). Bu değer ise meslekî tehlike düzeyinin 100 – 1000 kat altındadır (ASHRAE, 1998). Çizelge 2.16’da bazı uçucu organik bileşikler için dünyadaki çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen sınır değerleri bulunmaktadır.

Endüstriyel olmayan iç ortamlardaki uçucu organik bileşiklerin sağlık üzerindeki olumsuz etkileri üç gruptur. Bunlar tahriş edici, yorgunluk ve bilinç dağınıklığına neden olan ve kanser yapıcı uzun süreli etkiler olarak sıralanabilir (AHSRAE, 1998).

İç ortam havasında sürekli olarak bulunan;  $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$  düzeyinin altındaki uçucu organik bileşiklerin herhangi bir tahriş etkisinin bulunmadığı Molhave tarafından belirlenmiştir.  $3 \text{ mg}/\text{m}^3$  düzeyinin üzerindeki yoğunlukta tahriş edici etkiler ve baş ağrısı gözlenmiştir. 50 dk süresince  $8 \text{ mg}/\text{m}^3$  yoğunlukta 20 tür uçucu organik bileşik karışımının bulunduğu bir iç ortamda kullanıcıların göz, burun ve boğaz mukozası önemli ölçüde tahriş olmuştur (AHSRAE, 1998).

Çizelge 2.16 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir VOC sınır değerleri (TS 1228, 1997; [3]; Vural, 2004)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi | Etkilenim Süresi                | Kabul Edilebilir Sınır Değerler       |                                    | Kuruluş  |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------|
|                           |                                 | mg/m <sup>3</sup> - µg/m <sup>3</sup> | ppm                                |          |
| <b>VOC - genel</b>        | -                               | < 500 µg/m <sup>3</sup>               | -                                  | TS 12281 |
| <b>Asetaldehit</b>        | 8 saat                          | 360 mg/m <sup>3</sup>                 | 200 ppm                            | OSHA     |
| <b>Benzen</b>             | 10 dk                           | -                                     | 50 ppm                             | OSHA     |
|                           | 8 saat zaman ağırlıklı ortalama | -                                     | 10 ppm                             |          |
|                           | -                               | -                                     | Kabul edilebilir üst düzey 25 ppm  |          |
|                           | -                               | 0,01 mg/m <sup>3</sup>                | -                                  | TS 12281 |
| <b>Etil benzen</b>        | 8 saat                          | 435 mg/m <sup>3</sup>                 | 100 ppm                            | OSHA     |
| <b>Hekzan</b>             | 8 saat                          | 1800 mg/m <sup>3</sup>                | 500 ppm                            | OSHA     |
| <b>Karbon tetraklorid</b> | her 3 saatte bir en fazla 5 dk  | -                                     | 200 ppm                            | OSHA     |
|                           | 8 saat zaman ağırlıklı ortalama | -                                     | 10 ppm                             |          |
|                           | -                               | -                                     | Kabul edilebilir üst düzey 25 ppm  |          |
|                           | -                               | -                                     | -                                  | -        |
| <b>Kloroform</b>          | 8 saat                          | 240 mg/m <sup>3</sup>                 | 50 ppm                             | OSHA     |
| <b>Ksilenler</b>          | 8 saat                          | 435 mg/m <sup>3</sup>                 | 100 ppm                            | OSHA     |
| <b>Metil kloroform</b>    | 8 saat                          | 1900 mg/m <sup>3</sup>                | 350 ppm                            | OSHA     |
| <b>Naftalin</b>           | 8 saat                          | 50 mg/m <sup>3</sup>                  | 10 ppm                             | OSHA     |
| <b>Stiren</b>             | her 3 saatte bir en fazla 5 dk  | -                                     | 600 ppm                            | OSHA     |
|                           | 8 saat zaman ağırlıklı ortalama | -                                     | 100 ppm                            |          |
|                           | -                               | -                                     | Kabul edilebilir üst düzey 200 ppm |          |
|                           | -                               | -                                     | -                                  | -        |
| <b>Tetrakloro etilen</b>  | her 3 saatte bir en fazla 5 dk  | -                                     | 300 ppm                            | OSHA     |
|                           | 8 saat zaman ağırlıklı ortalama | -                                     | 100 ppm                            |          |
|                           | -                               | -                                     | Kabul edilebilir üst düzey 200 ppm |          |
|                           | -                               | -                                     | -                                  | -        |

Çizelge 2.16 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir VOC sınır değerleri  
(devam)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi | Etkilenim Süresi                | Kabul Edilebilir Sınır Değerler       |                                    | Kuruluş  |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------|
|                           |                                 | mg/m <sup>3</sup> - µg/m <sup>3</sup> | ppm                                |          |
| Toluen                    | 30 dk                           | 1 µg/m <sup>3</sup>                   | -                                  | WHO 1987 |
|                           | 24 saat                         | 7,5 µg/m <sup>3</sup>                 | -                                  |          |
|                           | 10 dk                           | -                                     | 500 ppm                            | OSHA     |
|                           | 8 saat zaman ağırlıklı ortalama | -                                     | 200 ppm                            |          |
|                           | -                               | -                                     | Kabul edilebilir üst düzey 300 ppm |          |
|                           | -                               | < 0,01 mg/m <sup>3</sup>              | -                                  | TS 12281 |
| Trikloro etilen           | her 2 saatte bir en fazla 5 dk  | -                                     | 300 ppm                            | OSHA     |
|                           | 8 saat zaman ağırlıklı ortalama | -                                     | 100 ppm                            |          |
|                           | -                               | -                                     | Kabul edilebilir üst düzey 200 ppm |          |

Formaldehit: Formaldehit normal oda sıcaklığında renksiz ve kokulu bir gazdır (Jones, 1994; Vural, 2004). Bu madde lif levha, kontrplak ve laminat yapımında yapıştırıcı olarak; boya işlerinde; kâğıt, köpük şeklindeki ısı yalıtım, plastik kaplama, temizlik ürünlerinde; kozmetikte ve kumaşlarda bulunmakta ve yanma işleminde yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır (Vaizoğlu vd., 2004; Akman, 2005).

Ürünlerin formaldehit salınım düzeyi değişkendir. Eski ürünler daha az formaldehit salınımı yapar. Yeni ürünler ise ürünün bulunduğu ortamın sıcaklığı ve bağıl nem oranına paralel olarak daha yüksek düzeyde formaldehit yayar (Vaizoğlu vd., 2004). Yapı içi formaldehit yoğunluğu zamana göre değişir. Meyer 1983, Wanner ve Kuhn 1984 tarihli çalışmalarında formaldehit yoğunluğunun yapının yaşına, yapı içindeki sıcaklık düzeyine ve bağıl neme bağlı olduğunu belirlemiştir (Yocom ve McCarthy, 1991; Vural, 2004). Kent havasında ortalama 5 – 10 µg/m<sup>3</sup> düzeyinde bulunmasına karşın yapı içinde 200 µg/m<sup>3</sup>'ü aşabilmektedir (Wadden ve Scheff, 1983). Çizelge 2.17'de dünyadaki çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen formaldehit etkilenim düzeyleri ve süreleri bulunmaktadır.

0,1 – 5 ppm düzeyindeki formaldehit etkilenimi göz yaşarmasına, göz yanmasına ve üst solunum yollarının tahriş olmasına; 10 – 20 ppm'lik formaldehit yoğunluğu öksürük, göğüste

sıkışma, baş bölgesinde basınç hissi ve kalp çarpıntısına; 50 – 100 ppm'nin üstündeki etkilenimler akciğerde ödem, iltihaplanma gibi ciddi rahatsızlıklara ya da ölüme neden olabilmektedir (Wadden ve Scheff, 1983). Ayrıca formaldehitin deri alerjilerine ve böbrek hastalıklarına da yol açtığı bilinmektedir (Akman, 2005).

Çizelge 2.17 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir formaldehit sınır değerleri (Vural, 2004; [3]; TS 12281, 1997)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi | Etkilenim Süresi                | Kabul Edilebilir Sınır Değerler       |             | Kuruluş  |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------|----------|
|                           |                                 | mg/m <sup>3</sup> - µg/m <sup>3</sup> | ppm         |          |
| Formaldehit               | 30 dk                           | 0,1 mg/m <sup>3</sup>                 | -           | WHO 1987 |
|                           | 15 dk kısa süreli etkilenim     | -                                     | 2 ppm       | OSHA     |
|                           | 8 saat zaman ağırlıklı ortalama | -                                     | 0,75 ppm    |          |
|                           | -                               | -                                     | < 0,065 ppm | TS 12281 |

- Ozon (O<sub>3</sub>)

Ozon çevre kirliliği çok olan kentlerin özellikle sanayi bölgelerinde atmosfere salınan azot dioksitin ışılkimyasal ayrışması ile oluşur, mavi renklidir ve güçlü, keskin bir kokusu vardır (Büyük Larousse, 1992). Solunumu tehlikeli bir gaz olan ozon (Larssen ve Hagen, 1996) oksijenden farklı olarak bir tane daha oksijen atomu içerir (Cinemre, 2005).

Fotokopi makineleri ve elektrostatik hava temizleyicileri yapı içindeki bazı ozon kaynaklarındandır. Bu gazın dış atmosfer havasındaki genel düzeyi 30 µg/m<sup>3</sup>'ün altındadır, ancak 120 µg/m<sup>3</sup>'e kadar yükseldiği de görülmektedir. Gün içindeki düzeyi gün ışığına bağlıdır. Kırsal alanlarda en çok 300 µg/m<sup>3</sup>'e, kentlerde 350 µg/m<sup>3</sup>'e kadar yükselebilmektedir (Yocom ve McCarthy, 1991; Vural, 2004). Çizelge 2.18'de dünyadaki çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen ozon etkilenim düzeyleri ve süreleri bulunmaktadır.

Bünyesinde bulunan üçüncü atom ozona çok hareketli ve dengesiz bir yapı kazandırır. Ozon bu yapısı nedeniyle karşılaştığı herhangi bir hidrokarbon molekülü ile tepkimeye girerek onu parçalar. Böylece havada kirlenici özelliği olan uçucu organik bileşikler oluşturarak çeşitli hidrokarbon molekülleri ozon ile tepkimeye girerek bünyelerinde bulunan hidrojen, su buharına; karbon ise karbondioksit dönüşerek zararsız duruma gelir (Cinemre, 2005).

Ozonun insan sağlığı üzerinde göz, burun ve boğaz tahrişi, göğüs rahatsızlıkları, öksürük ve baş ağrısı gibi akut etkileri vardır. Bu etkiler 200 µg/m<sup>3</sup> düzeyindeki ozon ile bir saatlik

etkileşim sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bir saat süresince  $160 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  düzeyindeki ozondan etkilenen çocuklarda akciğer işlevlerinde azalma izlenmiştir. Benzer düzeydeki etkilenim astım hastalarında krizlerin yükselmesine yol açar (Larssen ve Hagen, 1996).

Çizelge 2.18 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir ozon sınır değerleri (Larssen ve Hagen, 1997; [3]; [4]; [5]; TS 12281, 1997)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi | Etkilenim Süresi | Kabul Edilebilir Sınır Değerler                 |                           | Kuruluş     |
|---------------------------|------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|-------------|
|                           |                  | $\text{mg}/\text{m}^3 - \mu\text{g}/\text{m}^3$ | ppm                       |             |
| Ozon                      | 1 saat           | $150 - 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$              | $0,076 - 0,1 \text{ ppm}$ | WHO         |
|                           | 8 saat           | $100 - 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$              | $0,05 - 0,06 \text{ ppm}$ |             |
|                           | 8 saat           | $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$                     | $0,1 \text{ ppm}$         | OSHA        |
|                           | 1 saat           | -                                               | $0,12 \text{ ppm}$        | NAAQS EPA   |
|                           | 8 saat           | -                                               | $0,08 \text{ ppm}$        |             |
|                           | 1 saat           | -                                               | $82 \text{ ppb}$          | NAAQOs CEPA |
|                           | 24 saat          | -                                               | $25 \text{ ppb}$          |             |
|                           | 1 yıl            | -                                               | $15 \text{ ppb}$          |             |
|                           | 1 saat           | $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$                    | -                         | TS 12281    |
|                           | -                | $< 0,12 \text{ mg}/\text{m}^3$                  | -                         |             |

- Radon (Rn)

Radon doğal yollardan oluşan kokusuz, tatsız, radyoaktif bir gazdır. Uranyumun birkaç kademeli bozunmasıyla oluşan radyumun radyoaktif bozunmasından ortaya çıkar (AHSRAE, 1998). Yarı ömrü 3,8 gündür ve kendisi alfa parçacığı yayarak plütonyuma dönüşür (Samet, 2000). Ölçü birimi bekerel (Bq)'dir.

Radon yapı içine yapının çevresindeki toprak, kayalar, su kaynakları, doğal gaz ve yapı ürünleri ile girer (Balanlı vd, 2004). Ayrıca hammaddesi topraktan elde edilen taş, kum, çimento, beton, tuğla, alçı gibi yapı ürünleri değişik oranlarda radyum içerebilir. Radyumun bozunması ile bu yapı ürünleri radon kaynağına dönüşebilir (Makofske ve Edelstein, 1988: Balanlı vd, 2004). Yapı içi havasındaki radon düzeyi yapı çevresindeki toprakta bulunan radon yoğunluğu, toprağın gözeneklilik ve geçirgenliği, toprak ve yapı arasındaki basınç farkı ya da yapının değişik mekânlarında oluşan basınç farkları gibi etkenlere bağlıdır (ASHRAE, 1998).

Yapı ürünlerinden kaynaklanan radon düzeyi

- Ürünün içerdiği radon yoğunluğuna,
- Kullanılan ürün miktarına,

- Mekânın hacmine,
- Havalandırma sayısına

bağılıdır (Balanlı vd, 2004). Çizelge 2.19’da radon dünyadaki çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen sınır düzeyleri bulunmaktadır.

Çizelge 2.19 Radon için kabul edilen sınır değerleri (Balanlı vd, 2004 ve TS 12281, 1997’den uyarlama)

| Kurum                                                          | Var olan yapılarda aşılması durumunda iyileştirmeye başlama düzeyi Bq/m <sup>3</sup> | Yeni yapılar için sınır değer Bq/m <sup>3</sup> |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| EPA                                                            | 148                                                                                  | 148                                             |
| ICRP                                                           | 200                                                                                  | 200                                             |
| WHO                                                            | 370                                                                                  | 111                                             |
| Fennos Candian (Danimarka, Finlandiya, İzlanda, Norveç, İsveç) | 400                                                                                  | 96,4                                            |
| ASHRAE                                                         | -                                                                                    | 37                                              |
| TAEK                                                           | 400                                                                                  | 400                                             |
| TS 12281                                                       | -                                                                                    | 400                                             |

Radon miktarı ölçüm araçları ile belirlenebilir. İngiltere’de NRPB radon miktarını yapı dışında 4 Bq/m<sup>3</sup>; yapı içinde ortalama 20 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlemiş, radon miktarının yapı içinde 200 Bq/m<sup>3</sup>’ün üzerine çıkması durumunda sağlık açısından sakıncalı olduğunu belirtmiştir [5]. Dünya Sağlık Örgütü ve EPA radonu A sınıfı kanserojen madde olarak tanımlamaktadır (Balanlı vd, 2004).

### 2.7.2 Parçacıklar

Parçacıklar tek molekül boyutu olan 0,0002  $\mu$ ’dan büyük ve 500  $\mu$ ’dan küçük; havada asılı kalan ya da çökebilan katı ya da sıvı maddelerdir (Tünay ve Alp, 1996). Parçacıklar, asılı parçacıklar ve mikroorganizmalar olmak üzere iki gruba ayrılır (Vural, 2004). Asılı parçacıklar ise havaya karıştıktan bir süre sonra çökenler ve havada uzun süre kalabilenler şeklinde ikiye ayrılır (Önel, 1978).

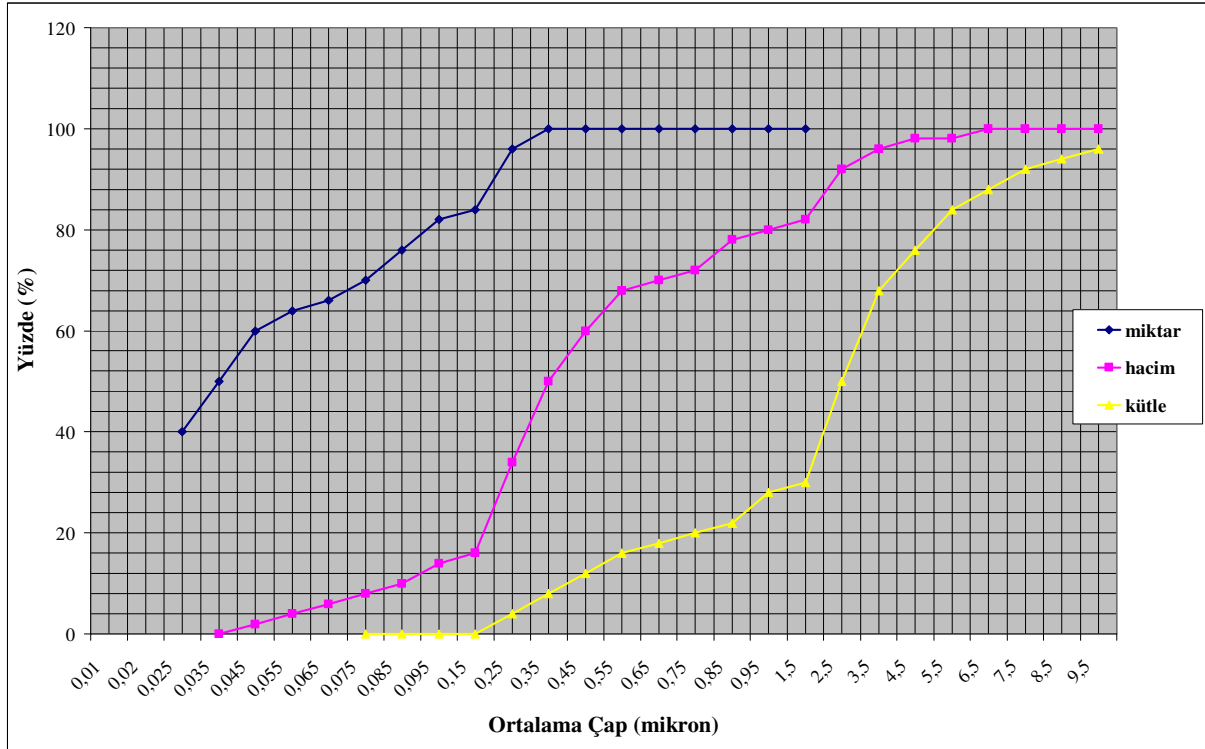
Parçacıkların ölçümü için mikron ( $\mu$ ) birimi kullanılır (1 milimetre = 1000 mikron). Gözle görülebilen en küçük parçacık ortalama 10 mikron, insan saç teli 100 mikron çapındadır. 1 mikrondan küçük parçacıklar çok az bir kütleye sahiptir, yer çekiminden etkilenmez, dolayısıyla sürekli havada asılı kalır (Eğrikavuk, 1996). Çizelge 2.20’de bazı kirleticiler ve ortalama çapları gösterilmiştir.



Çizelge 2.20 Bazı kirleticiler ve ortalama çapları (Alioğlu, 2001)

| Bazı Kirleticiler | Ortalama Çap (mikron) |
|-------------------|-----------------------|
| Sigara Dumanı     | 0.05 - 0.1            |
| Endüstriyel Duman | 0.1 - 1               |
| Pus ve Sis        | 2.5 - 40              |
| Atmosfer Tozu     | 1 - 100               |
| Polen             | 20 - 100              |
| Bakteri           | 0.2 - 8               |
| Virüs             | 0.3'den küçük         |

Atmosfer havasında bulunan 0,1 mikron ya da daha küçük çaptaki parçacıklar atmosferde bulunan tüm parçacıkların sayıca %80'ini ve kütle olarak %1'ini oluşturur. Bir mikrondan daha büyük çaplı paracıklar ise sayıca toplam parçacıkların %0,1'ini, toplam kütleinin ise %70'ini oluşturur. Kirlilik oluşturan parçacıkların toplam kütleinin %80 kadarı çapları 5 mikrondan daha küçüktür (Bkz Şekil 2.4). Kent içinde havada bulunan parçacıkların çapı genel olarak 1 mikrondan küçüktür (Köksal, 2001).



Şekil 2.4 Kirleticilerin miktar, kapladıkları hacim ve kütle bakımından havadaki oranlarının karşılaştırılması (Alioğlu, 2001)

Havada bulunan virüsler 0,003 ile 0,06 mikron çapındadır. Bakteriler 0,4 ile 5 mikron, mantar sporları 10 ile 30 mikron, bitki tozları ve polenler ise 10 ile 100 mikron çap aralığında

bulunmaktadır (Köksal, 2001).

İki mikron çapından daha küçük parçacıkların akciğerde tutunma olasılığı fazladır. Sekiz ile 10 mikron çapından daha büyük parçacıklar üst solunum yolları tarafından ayrılır ve tutulur. Ara boyuttaki parçacıklar çoğunlukla akciğerlerin hava kanallarında çöker ve burada temizlenerek yutulur ya da öksürükle dışarı atılır (Öztürk, 2005).

### 2.7.2.1 Asılı Parçacıklar

Çapı birkaç yüz mikrometreden küçük, uçan, katı ve düşük buhar basınçlı sıvı parçacıklardan oluşur (Wadden ve Scheff, 1983). Bu parçacıklar doğal yollarla oluşabilecekleri gibi, üretme, yakma gibi yapay işlemler sonucunda da oluşabilir. Rüzgârın neden olduğu erozyon, deniz suyunun buharlaşması ya da volkanik patlama gibi doğal olaylar sonucunda oluşan parçacıklara sürekli atmosferik kirleticiler adı verilmektedir (ASHRAE, 1997a). Çizelge 2.21’de parçacıkların çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen etkileşim süresi ve sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.21 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir parçacık yoğunluğu ([4]; [5]; TS 12281, 1997)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi        | Etkilenim Süresi | Kabul Edilebilir Sınır Değerler              | Kuruluş     |
|----------------------------------|------------------|----------------------------------------------|-------------|
| Çapı 10µ'dan küçük parçacıklar   | 24 saat          | 150 µg/m <sup>3</sup>                        | NAAQS EPA   |
| Çapı 2,5 µ'dan küçük parçacıklar | 24 saat<br>1 yıl | 35 µg/m <sup>3</sup><br>15 µg/m <sup>3</sup> |             |
| Parçacıklar - genel              | 24 saat          | 120 µg/m <sup>3</sup>                        | NAAQOs CEPA |
|                                  | 1 yıl            | 70 µg/m <sup>3</sup>                         |             |
|                                  | -                | 100 µg/m <sup>3</sup>                        | TS 12281    |

- Asbest

Asbest, doğal olarak oluşan, ezildiği ya da işlendiğinde kolaylıkla uzun ince ve esnek liflere ayrılabilen inorganik silikat bileşiklerine verilen addır. (Lif tek tip ya da farklı kristallerin birbirine eklenmesiyle oluşan uzun mineral bir yapıdır. (TS 11597, 1995)) Asbest lifi havada uçuşarak uzun süre asılı kalabilir (ASHRAE, 1998).

Asbest özelliklerine göre serpantin ve amfibol olarak iki ana gruba ayrılır. Amfibol ise

krokidolit (mavi asbest), amosit (grünerit asbesti – kahverengi asbest) antofilit, tremolit ve aktinolit olarak beş ayrı türde incelenmektedir (Balanlı ve Taygun, 2005).

İnsanlar asbestten üretim (çıkarma ve ayrıştırma), işleme (yalıtım ve fren ürünleri vb) inşaat ve yıkım işlerinde olmak üzere dört durumda etkilenebilir. Asbestin yapı içi havasına karışması yapı dışındaki çevrede asbestin işlenmesi, asbestli kaplamaların uygulanması, asbestli yapının yıkılması, asbestli araçların sökülmesi sırasında ya da motorlu taşıtlardan ve içinde asbest bulunan maden atıklarından açığa çıkarak yapı içine girmesiyle oluşabilir. Yapı içinde ise asbest endüstrisinde üretim sırasında, oto tamirinde, asbestli ev aletlerinin kullanımı ile, asbest içeren toprakla yapılan eylemler sırasında, asbestli yapı ürünlerinin uygulanması ve kullanımı sırasında havaya karışmasıyla bulunabilir (Balanlı ve Taygun, 2005). Yapı ürünü olarak en çok kullanılan asbest türleri:

- Amosit (%1)
- Krokidolit (%3 – 5)
- Krizotil'dir (~ %90) (Curwell, 1986; Godish, 1997; NIEHS, 2001: Balanlı ve Taygun, 2005)

Hammaddesinde asbest bulunan çimentolu borular, kalsiyum silikat ısı ve elektrik yalıtım ürünleri, kumaşlar, dolgulu plastikler, boyalar, kaplamalar ve sızdırmazlık ürünleri, vinil asbest yer karoları, fren ve debriyaj balataları, levha ve panolar, çatı kaplama ürün ve doğramaları vb yapı ürünlerinde asbest bulunur (TS 11597, 1995).

Normal koşullarda havada 1 lif/cm<sup>3</sup>'ten az asbest lifi bulunur (Dunfort, 1994). Çizelge 2.22'de bazı kuruluşlar tarafından kabul edilebilir asbest sınır yoğunlukları görülmektedir.

Solunması en tehlikeli asbest lifleri çapları 3µm'den, uzunluk / kalınlık oranları 3'ten, uzunlukları ise 5 µm'den büyük olan kahverengi ve mavi asbest lifleridir. (TS 11597, 1995) Asbest genel olarak dört tür akciğer hastalığına neden olmaktadır. Bunlar asbestosis, mezotelyoma, akciğer kanseri ve plevra tümörüdür. (WHO, 2000; [7]) Ayrıca mide – bağırsak kanseri de görülebilir. (TS 11597, 1995) Bu hastalıklar liflerin çok kısa sürede ve çok az sayıda solunması ile de oluşabilir. Hastalık belirtilerinin görülmesi bazı türler için 10 – 30 yılı bulmaktadır. (WHO, 2000) Asbestin bütün türleri IARC tarafından kanserojen olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 2.22 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir asbest sınır değerleri ([8]; TS 12281, 1997;Balanlı ve Taygun, 2005; TS 11597, 1995)

| Yapı İçi Hava Kirleticisi        | Etkilenim Süresi                         | Kabul Edilebilir Sınır Değerler                  | Kuruluş      |
|----------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------|
| <b>Asbest</b>                    | 30dk                                     | 1,0 lif/cm <sup>3</sup>                          | OSHA         |
|                                  | 8 saat zaman ağırlıklı ortalama          | 0,1 lif/cm <sup>3</sup>                          |              |
|                                  | -                                        | 0 lif/cm <sup>3</sup>                            | TS 12281     |
|                                  | uyuma alanlarında<br>çalışma alanlarında | 100 lif/m <sup>3</sup><br>500 lif/m <sup>3</sup> | Yeni Zelanda |
| <b>krizotil</b>                  | 8 saat                                   | 0,6 lif/cm <sup>3</sup>                          | TS 11597     |
| <b>krizotil dışındaki lifler</b> | 8 saat                                   | 0,3 lif/cm <sup>3</sup>                          |              |
| <b>krizotilli karışımlar</b>     | 8 saat                                   | 0,3 lif/cm <sup>3</sup>                          |              |

- Kurşun

Kurşun özel bir tadı ve kokusu olmayan mavimsi - gri renkli bir metaldir (Büyük Larousse, 1992). Kurşun atmosferde genellikle parçacık olarak bulunur, fakat küçük bir kısmı da organik kurşun bileşikleri şeklinde buhar olarak ortaya çıkar (Larssen ve Hagen, 1996). Organik kurşun bileşikleri şeklinde bir katkı maddesi olarak kullanımıyla bazı durumlarda havaya karışabilir. Çevreye yayılmış durumda olan kurşun kendiliğinden parçalanmaz ve havada 10 gün asılı kalabilir. Aynı zamanda birçok metal (kurşun, bakır, demir, çelik vb) belirli düzeyde kurşun salınımı yapar.

Toprak parçalarına yapışmış durumda bulunan kurşun havaya karışır. İnsanlar hava, içme suyu, gıdalar, kurşun bulaşmış toprak, eskimiş boyalar ve tozlar yoluyla kurşundan etkilenmektedir. Özellikle yapı içinde kurşun içeren eski ve dökülmüş boyalar önemli kurşun kaynaklarıdır (Vaizoğlu vd., 2004). Çizelge 2.23'te bazı kuruluşlar tarafından kabul edilen kurşun yoğunluğu için sınır değerler bulunmaktadır.

Kurşun özellikle vücutta dolaşım, sinir ve boşaltım sistemlerini, bununla birlikte karaciğeri, sindirim sistemini, bağışıklık sistemini ve iç salgı bezlerini de etkilemektedir. Çocuklar kurşun zehirlenmesine en duyarlı gruptur. Tartışmalı olmakla birlikte bazı çalışmalar çocuklarda kurşunun zekâ düzeyinde düşüklüğe, konsantrasyon zorluklarına ve davranışsal bozukluğa neden olduğunu göstermektedir. EPA çocuklarda 0,1 µg/m<sup>3</sup> düzeyinde etkilenimle

kan hücrelerinde sorunlara,  $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  düzeyinde anemiye,  $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  düzeyinde beyinsel sorunlara neden olduğunu belirtmiştir (Larssen ve Hagen, 1996).

Çizelge 2.23 Bazı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir kurşun sınır değerleri (Larssen ve Hagen, 1996; [9]; [4])

| Yapı İçi Hava Kirleticisi | Etkilenim Süresi | Kabul Edilebilir Sınır Değerler  | Kuruluş   |
|---------------------------|------------------|----------------------------------|-----------|
| Kurşun                    | 24 saat          | $0,5 - 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ | WHO       |
|                           | 8 saat           | $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$      | OSHA      |
|                           | 3 ay             | $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$     | NAAQS EPA |

- Toz

Genel olarak çapları  $100 \mu\text{m}$  değerinden küçük parçacıklara toz adı verilir. Tozlar kaya, metal ya da kil kaynaklı (madensel); hububat, un, ağaç ya da polen kaynaklı (bitkisel), yün, kıl, ipek, tüy ya da kösele kaynaklı (hayvansal) olabilir (ASHRAE, 1997a).

- Duman

Odun, kömür, yağ ve diğer karbon kökenli maddelerin tam yanmaması durumunda oluşan küçük katı ya da sıvı parçacıklardır. İs ya da karbon parçacıkları, kül, cüruf, katranlı maddeler, yanmamış gazlar ve gaz yanma ürünleri içerir. Çoğunlukla ortalama çapları  $0,1 - 0,3 \mu\text{m}$  arasındadır (AHSRAE, 1997a).

- İs

Gazların yoğunlaşması ya da kimyasal reaksiyon sonucu oluşan bir mikrondan küçük boyutlu parçacıklardır (Tünay ve Alp, 1996).

- Sis

Sis buharın yoğunlaşmasıyla oluşan, havada bulunan küçük sıvı damlacıklarıdır (AHSRAE, 1997a).

### 2.7.2.2 Organizmalar

Mikroorganizma çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük olan, ancak mikroskop yardımıyla görülebilen organizmalara verilen genel addır (Ana Britannica, 1988). Havada bulunan mikroorganizmalar mantar ve bitki sporları, polen, bakteri, virüsler, küfler, hayvan atıkları ve ev tozu akarları gibi parçacıklardan oluşur. Bu parçacıklara genel olarak bioaerosoller

denmektedir (Yocom ve McCarthy, 1991: Vural, 2004).

Birçok mikroorganizma genellikle 10 °C atındaki sıcaklıklarda büyüyemez. 20 °C civarında büyümeleri hızlanır, 70 °C üzerinde çoğu ölür (Çamurdan, 1995). Bu canlılar genelde yüksek nem düzeyinde üredikten sonra, düşük nem düzeyinde yaşar (Alioğlu, 2001). Bağlı nem oranının %80 dolaylarında olması birçok mikroorganizmanın üremesi için en uygun değerdir (Şenkal, 2001).

Mikroorganizmalar 10 – 200 µm çapındaki tozlar, bitkisel lifler, hayvansal doku artıkları gibi diğer parçacıklar üzerinde bulunur (Şenkal, 2001).

Yapı içi havasında bulunan mikroorganizmaların önemli kaynaklarından birisi temizlenmeyen mekanik havalandırma ve iklimlendirme sistemleridir (AHSRAE, 1998). Bu sistemlerin kanallarında biriken toz, kir, ölü böcekler, kuşlar, fareler, çeşitli çöpler bakteri ve virüslerin üremesi için ortam oluşturur. Havalandırma sisteminin çalışması sırasında açığa çıkan nem ve ısı da bu mikroorganizmaların üremesine katkıda bulunur (Eğrikavuk, 1996).

Bu canlılar bağlı nem oranı %60'ın üzerinde olan mekânlarda doğal ve yapma ahşap levhalarda, alçı levhalarda, vinil duvar kaplamalarında, akustik ve ısı yalıtım ürünleri üzerinde çoğalır ve üreme sırasında zehirli gazlar oluşturur (Çilingiroğlu, 2004; Cinemre, 2005).

Mantar sporları 10 – 30 µm çapındadır (AHSRAE, 1997a). TS 12281'e (1997) göre mantar sporlarının kapalı ortam yoğunluğu 1000 spor/m<sup>3</sup>'ü aşmamalıdır.

Ev tozu akarları için TS 12281'in (1997) belirlediği en üst yoğunluk düzeyi 60 mayt/gr toz'dur.

Mikroorganizmaları ya da bunların sporları ve enzimlerini soluyanlarda alerjik solunum rahatsızlıkları görülebilir. Bu rahatsızlıklar kırıklık, ateş, titreme, nefes darlığı ve öksürük gibi akut belirtiler ile ortaya çıkar (AHSRAE, 1998).

Virüsler genelde havada koloniler halinde ya da havaya asılı başka parçacıkların üzerinde bulunur. Çapları 0,003 – 0,06 µm arasında değişir (AHSRAE, 1997a).

Bakteriler içinde yapı içi havasında yayılan bir tür l. pnömofila bakterisidir. Küçük bir çubuk biçiminde olan bu bakteri lejyonellosis hastalıklarına neden olur (Barry, 2000), genellikle durgun, bayat, yosunlaşmaya uygun sularda 0 °C ve 60 °C arasında ve 5 – 8,5 Ph düzeyinde yaşayabilir ve 20 °C ile 45 °C arasında ürer, buna karşın 60 °C ve üstü sıcaklıklarda ölmektedir (Köksal, 2001). Buharlaştırma ve püskürme sonucu havaya karışır, havadaki

parçacıklara asılı olarak iki saat canlı kalabilir (Barry, 2000).

*L. pnömofila* bakterisi yapıda sağlık döşeminde, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde ve havuz, kaplıca gibi ıslak hacimlerde bulunur (Balanlı ve Öztürk, 2005). Duş sırasında sağlık döşemi ve yaşama mekânlarında havalandırma sistemi aracılığıyla mekân havasına ulaşır ve insanlar tarafından solunur (Cinemre, 2005).

Bakterinin neden olduğu lejyonellosis lejyoner hastalığı ve pontiak humması olarak tanımlanır. Lejyoner hastalığı bakterinin üst solunum yolları ve akciğere yerleşmesi ile ortaya çıkan zatürre ve bazen zatülcenp ile seyreden, kısa süreli ve öldürücü bir hastalıktır. Pontiak humması ise üşüme, baş ve karın ağrısı gibi belirtilerle ortaya çıkmakta hasta birkaç günde iyileşebilmektedir (Balanlı ve Öztürk, 2005).

## 2.8 Yapı İçi Hava Niteliğinin İyileştirilmesi

Yapı içi havasının niteliği belirleyen ölçütlerden her birisi diğerleri ile bağlantılıdır ve ayrıca yapı içi hava kirliliğine neden olan kirleticilerin düzeylerini ve niteliğini etkilemektedir. İç hava kalitesinin bozulması ise önceki başlıklar altında ayrıntılarıyla açıklandığı gibi kullanıcı olan insanın sağlığını etkilemekte ve verimliliğini düşürmektedir.

Yapı içi hava niteliğinin iyileştirilmesi için

- Hava sıcaklığının konfor sınırları içinde olması sağlanmalı,
- İç mekân yüzeylerinin sıcaklığı hava sıcaklığına yakın olmasını sağlayacak biçimde gerekli ürün seçimi ve yalıtım yapılmalı,
- Bağlı nem oranı kullanıcı için yeterince yüksek, mikroorganizmaların çoğalmasını ve iç mekân yüzeyleri üzerinde terleme ve terlemeye bağlı olarak küflenmenin önlenmesi için uygun değere getirilmeli, ayrıca yapı ürünleri ve donanımı iç hava nem oranını koruyacak şekilde seçilmeli (Akman, 2005),
- Hava mekân içinde eşit bir dağılım sağlayacak, fakat kullanıcıyı rahatsız etmeyecek uygun hızda verilmeli,
- Kullanıcı sağlığını olumsuz bir biçimde etkileyen manyetik ve elektriksel alan oluşumu engellenmeli, gerekli yalıtım yapılmalı ve buna bağlı olarak havadaki iyon dengesi korunmalı,
- Kent planlaması yapılırken yörenin fiziksel dış çevre özellikleri göz önünde

bulundurulmalı (iklim, topografya, yönlenme, rüzgâr vb) ve kent fonksiyonlarının (endüstriyel alanlar, konut bölgeleri, yeşil alanlar ve otoyollar vb) yerleşiminin birbirini olumsuz bir şekilde etkilemesi engellenmelidir.

Bu özelliklerin sağlanması yanında hava kirleticilerinin iç mekânda birikmesi önlenmeli ve her bir kirletici düzeyinin yetkin kuruluşlar tarafından oluşturulan standartlara uygun sınırlar içinde kalması sağlanmalıdır. Hava kirleticileri yapı dışındaki fiziksel çevreden, kullanıcı eylemlerinden ve yapı ürünlerinden kaynaklandığına göre her bir kirletici için alınması gereken önlemler farklıdır.

- Bünyesinde radon ve asbest bulunan arazilere yapı yapılması yasaklanmalıdır (Balanlı ve Taygun, 2005; Balanlı vd, 2004).
- Yapı ürünlerinin seçimi kullanıcı sağlığı açısından çok önemlidir. Buna göre bünyesinde asbest, radon, uçucu organik bileşikler gibi kirletici maddeler bulunan ve kirletici salınımı fazla olan ürünler kullanılmamalıdır (Balanlı ve Taygun, 2005; Balanlı vd, 2004). Aynı şekilde yapı donanımlarının seçilmesinde ve kullanılmasında özen göstermek oluşabilecek kirliliği (ozon ve uçucu organik bileşikler gibi kirleticilerin salınımı) önleyecektir.
- Yanma ürünü olan karbon, azot, kükürt bileşikleri, yapı ürünlerinden ve donanımından kaynaklanan ozon ve uçucu organik bileşikler, dış çevreden ve yapı ürünlerinden kaynaklanan asbest ve radon gibi kirleticilerin yapı içinde insan sağlığını bozacak düzeyde birikmesi iyi bir havalandırma yaparak önlenabilir.



### 3. YAPININ HAVALANDIRILMASI

Kullanıcı açısından önemli sağlık etkileri bulunan yapı içi hava kirleticilerinin giderilmesi yapının havalandırılması ile sağlanabilir.

#### 3.1 Havalandırmanın Temel İlkeleri

Kapalı bir mekândaki kullanılmış olan kirli havanın yerini temiz havanın alması, yani düşük kalitede olan, içinde kirleticiler bulunan havanın yüksek kalitede, kirletici içermeyen hava ile değiştirilmesi havalandırma olarak tanımlanır (Balanlı, 2007).

Yapının havalandırılmasında; temiz atmosfer havasının yapı içine alınması, bu havanın iç mekânda dağılmasının sağlanması ve kullanılan kirli havanın yapı dışına atılması temel adımlardır (Kayhan, 2005). Bu adımların gerçekleştirilmesi mekân içinden geçirilecek bir hava akışının yaratılmasıyla olur (Saraç, 2003). Hava akışının oluşturulmasında hava basıncı, mekân içindeki engeller, hava akışının hızı ve mekân içinde izlediği yol havalandırmanın niteliğini belirleyen etkenlerdir.

Hava yüksek basınçlı noktadan alçak basınçlı noktaya doğru akar. Bir iç mekânda hava devriminin sağlanabilmesi için havanın mekâna girdiği nokta ile mekândan çıktığı nokta arasında bir basınç farkı yaratılması gerekir. Basınç farkı ne kadar yüksek olursa akacak hava miktarı o kadar artacaktır (Lencher, 2001).

İki nokta arasında bulunan dirençler yani havanın yapı içindeki bölücülere ya da yapı donanımlarına sürtünmesi ve hava akış yolu üzerinde bulunan engellerden ötürü yön değiştirmek zorunda kalması hava basınç yitimlerini oluşturmaktadır (Santamouris, 1998).

Mekân içindeki hava akışı, kullanıcının hava hareketini duyumsaması ve hava kirleticilerinin mekândan uzaklaştırılması açısından önemlidir. Kullanılan hava kirlenir ve ısınır. Isınmasıyla genişler, hafifler ve böylece yükselir. Yükselen sıcak havanın yerini soğuk ve temiz hava alır. Buna göre bir iç mekânda temiz ve soğuk hava döşemeye, kirli ve sıcak hava tavana yakın kısımlarda bulunur (Balanlı, 2007). İnsan fizyolojisi gereğince mekânda temiz havanın döşeme üzerinden 2 metre yüksekliğe kadar etkin olması beklenir. Ayrıca kullanıcı, konfor sınırları içinde hava devrimini belirli bir akış hızında duyumsamak ister (Yeang, 2001).

İç hava kirliliğinin giderilmesi için gerekli olan havalandırma çeşitli yöntemler ile sağlanır.

### 3.2 Havalandırma Yöntemleri

Havalandırma yapıda yapma havalandırma sistemlerinin kullanılmasıyla ve yapının doğal havalandırma ilkeleri göz önünde bulundurularak tasarlandığı durumda doğal havalandırma ile sağlanabilir. Her iki yöntemde de hedeflenen durum yapı içinde kullanıcı sağlığını bozmayan ve istenen konfor koşullarını gerçekleştiren uygun bir iç ortam havası sağlamaktır.

#### 3.2.1 Havalandırmanın Yapma Hava Düzenleme Sistemleri ile Sağlanması

Hava düzenleme sistemleri dış atmosfer havasının yapma sistemler ile yapı içine alınması, filtre edilmesi, sıcaklık ve nem açısından konfor koşullarına getirilmesi ve kullanım mekânlarına taşınması; kullanılmış kirli havanın ise mekândan çekilerek yapı dışına atılması için tasarlanmıştır. Ayrıca sistemler iç ve dış çevredeki hava basıncı arasındaki ilişkiyi denetleyerek düzenler (Bearg, 2000; Liddament, 2000; Sev ve Özgen, 2003).

Yapma hava düzenleme sistemleri yapının işlevine ve kullanıcı gereksinmelerine göre tasarlanmalıdır. Dış atmosfer havasının yakın çevrede bulunan bir kaynak ile sürekli kirlenmesi, çok kuru, çok soğuk ya da sıcak olması durumunda hava düzenleme sistemlerine gereksinim doğar (Özgen ve Eşsiz, 2004). İyi tasarlanmış ve uygulanmış hava düzenleme sistemleri ile dış iklim koşulları ne olursa olsun yapı içinde kullanıcı için uygun konfor koşulları sağlanabilir (Liddament,2000).

Hava düzenleme sistemlerinin iki önemli işlevi vardır: Havalandırmanın, ısısal konforun sağlanması ve yapının basınçlandırılması (Bearg, 2000). Özellikle dış çevrede radon gibi bir kirletici kaynağının bulunması durumunda yapı hava düzenleme sistemleriyle basınçlandırılarak kirleticinin yapı içine girmesi önlenir.

### 3.2.1.1 Hava Düzenleme Sistemlerinin Türleri

Yapma hava düzenleme sistemleri dört ana başlık altında sınıflandırılabilir.

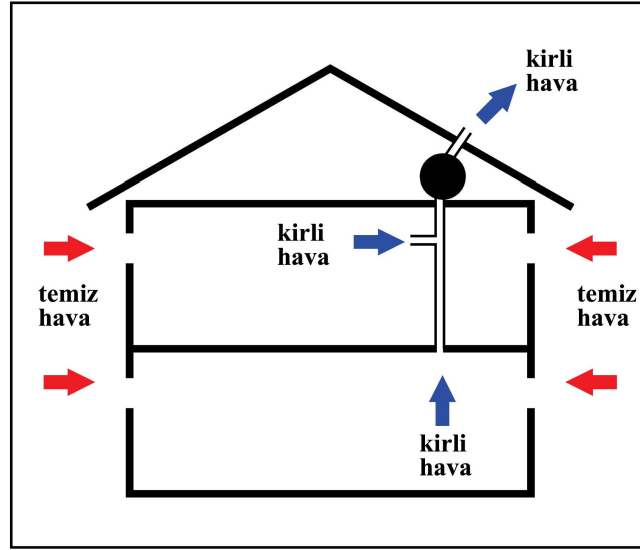
- Temel işlevlerine göre:
  - Konfor amaçlı
  - Endüstri amaçlı
- Mevsimlere göre:
  - Kış sistemleri
  - Yaz sistemleri
  - Tüm yıl kullanılan sistemler
- Donatı düzenlemesine göre:
  - Büyük merkez  sistemler
  - Tekil sistemler
  - Birleşik sistemler
- Çalışma ilkelerine göre:
  - Havalı sistemler
  - Havalı – sulu sistemler
  - Sulu sistemler
  - Doğrudan genleşmeli sistemler (Günay, 1994)

Havalı sistemler yapı içinde oluşturdukları hava hareketi temel alınarak gerçekleştirdiği havalandırma türüne göre üç grup içinde incelenebilir. Buna göre sistemler

- Hava emiş sistemleri
- Hava besleme sistemleri
- Hava karışım – yer değiştirme sistemleri

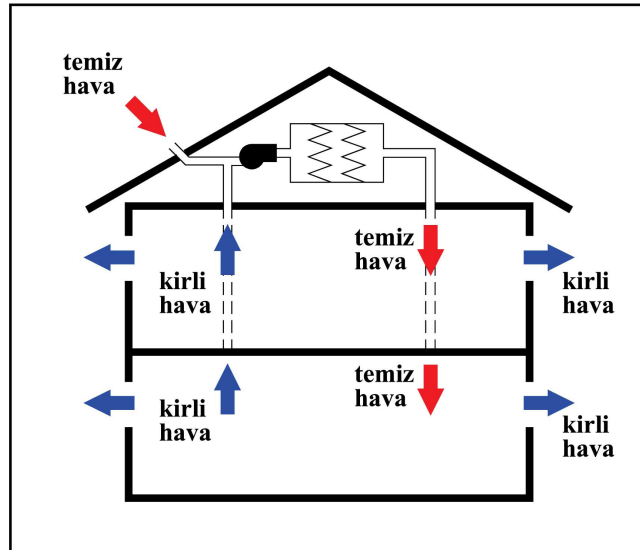
olarak sınıflandırılabilir.

Hava emiş sistemlerinde mekândaki kullanılmış hava bir aspiratör ile emilir. Bu emiş ile mekân içindeki basınç düştüğü için emilen havaya eşit hacimde temiz hava tasarlanmış açıklıklardan mekâna dolar (Rogatty, 2005; Liddament, 2000). Bu sistem bir merkezden işleyen ya da doğrudan kullanım mek nında olacak şekilde düzenlenebilir (Rogatty, 2005). şekil 3.1’de bir merkezden işleyen emiş sistemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Tek merkezli hava emiş sistemi (Liddament, 2000)

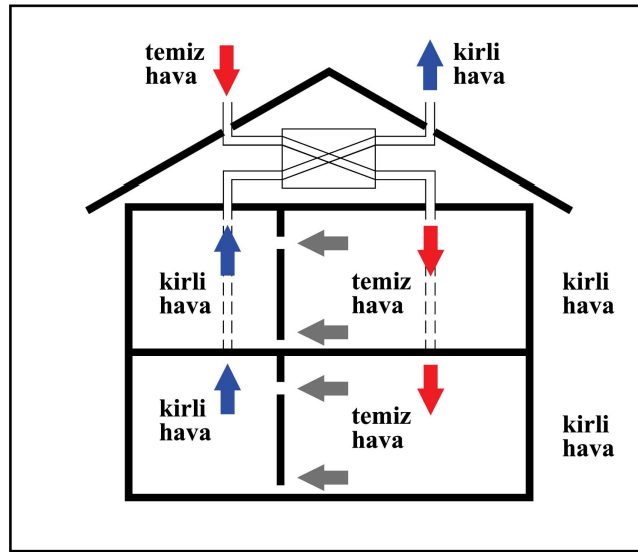
Hava besleme sistemlerinde dış atmosfer havası sistem ile alınarak yapı içine verilir. Böylece yapı içinde pozitif basınç oluşturulur. Kullanımda olan hava ise belirlenmiş açıklıklardan çıkar. Emiş sistemlerinin tersidir (Rogatty, 2005). Şekil 3.2’de hava besleme sisteminin çalışma ilkesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Hava besleme sistemi (Liddament, 2000’den uyarlama)

Hava karışım – yer değiştirme sistemlerinde emiş ve besleme sistemleri bir arada kullanılır. Dış atmosfer havası yapı içine alınır, düzenlenir, kullanım mekânına verilir. Kullanılmış hava ise mekândan emilir. Bu sistemin uygulama ve işletim maliyeti diğerlerine göre daha

yüksektir. Şekil 3.3'te sistemin çalışma ilkesi şematik olarak gösterilmektedir. Karışım sistemlerinde iç mekâna verilen temiz hava mekândaki kirli kullanım havası ile karışmaktadır. Yer değiştirme sistemlerinde ise besleme havası kirli iç mekân havası ile karışmadan yer değiştirmesi sağlanır. Mekândaki havadan  $1^{\circ} - 2^{\circ} \text{ C}$  daha düşük sıcaklıkta hazırlanan besleme havası alt kottan ve düşük bir hızda mekâna verilir. Besleme havası ısınmaya dek döşemeye yakın kotlarda kalır, ısındıkça yükselir ve tavandan emilir (Liddament, 2000).



Şekil 3.3 Hava karışım – yer değiştirme sistemi (Liddament, 2000'den uyarlama)

### 3.2.1.2 Hava Düzenleme Sistemlerinin Bileşenleri

Yapma hava düzenleme sistemlerinin havanın dış çevreden alınması, koşullandırılması, dağıtılması ve kullanılan havanın toplanarak atılması için çeşitli mekanik aygıtlardan oluşan bileşenleri bulunur.

Bu bileşenler temel olarak

- Dış hava kapakları ve denetim aygıtları,
- Aspiratörler
- Filtreler
- Sıcaklık değiştiriciler
- Nem süzme tavaları
- Nemlendiriciler

- Vantilatörler
- Kanal sistemi
- Hava ayar kapakları
- Ses yutucular
- Dağıtıcı ve toplayıcı menfezler
- Karıştırma birimi
- Algılayıcılardan oluşmaktadır (Yönet, 2005, Liddament, 2000; Bearg, 2000, Rogatty, 2005; Fanger, 2000).

Yapının işlevine ve kullanıcılara göre bu bileşenlerin hepsi havalandırma sistemine katılabilir ya da gereksinime göre birkaç tanesi kullanılabilir.

Dış atmosfer havası sistem içine aspiratör yoluyla alınır (Liddament, 2000). Aspiratör bölgesi dış hava kapaklarına bağlıdır (Bearg, 2000).

Filtreler ortama gönderilecek havanın temizlenmesi ya da ortamdan atılan havadaki çevreye zararlı maddelerin tutulması için kullanılır. Havadaki kirletici parçacıkların büyüklüğüne bağlı olarak çeşitli türleri vardır. Ayrıca kokuyu engellemeye yönelik tipleri de bulunur (Yönet, 2005). Filtrelerin ve uygulamanın kalitesi sistem bileşenlerinin korunmasında ve iyi bir iç hava kalitesi sağlanmasında önemlidir (Bearg, 2000).

İç ortama verilecek havanın uygun sıcaklıkta olması için kullanılan aygıtlar sıcaklık değiştiricilerdir. Boru demeti içinde dolaşan sıcak ya da soğuk su ile boru ve kanatçık yüzeylerinin üzerinden geçirilen hava arasındaki ısı alış verişi sonucunda hava sıcaklığı gereksinime göre ayarlanır (Yönet, 2005). Fazla nemli atmosfer havasının nemi, soğutma birimiyle alınır (Bearg, 2000).

Hava, soğutma biriminden geçerken sıcaklığının düşmesi ile içindeki fazla su buharı yoğuşur ve soğutma birimi içinde birikir. Soğutma birimi altına yerleştirilen nem süzme tavaası ile biriken su boşaltılır. Nem süzme tavalalarının temizliği ve bakımı düzenli olarak yapılmalı içinde organizmaların üremesi engellenmelidir (Fanger, 2000).

Dış atmosfer havasının çok kuru olması durumunda nemlendiriciler kullanılır.

Filtre edildikten sonra sıcaklığı ve nem oranı ayarlanan hava vantilatörler yoluyla kanallara gönderilir (Bearg, 2000). Vantilatörler elektrikle çalışarak havanın kanal boyunca ilerlemesi

ve kullanım mekânına ulaşması için gerekli itme gücünü oluşturur (Yönet, 2005). Kısa kanal sistemi için düşük kapasiteli pervane vantilatörler, uzun kanal sistemi için yüksek kapasiteli santrifüjlü ve eksenel vantilatörler bulunur. Vantilatörün kullandığı enerji sistemin toplam enerji tüketiminin yarısından fazladır (Liddament, 2000).

İklimlendirilmiş hava kullanım mekânlarına ve kullanılmış kirli hava dış ortama kanallar yolu ile iletilir (Bearg, 2000; Yönet, 2005). Kanallar hava akışı için bir direnç oluşturur. Oluşan bu direnç:

- Kanal içindeki hava akım oranına,
- Kanal kesitinin alanına,
- Kanal uzunluğuna,
- Kanal boyunca oluşturulan dirseklerin sayısına ve dönüş açısına,
- Kanalın iç yüzey yapısına bağlıdır (Liddament, 2000).

Hava akımına karşı oluşan direnç enerji tüketimini ve sistemin verimini etkiler. Direncin çok olması vantilatör kapasitesinin artmasına ve kullanılan enerji düzeyinin yükselmesine neden olur (Liddament, 2000).

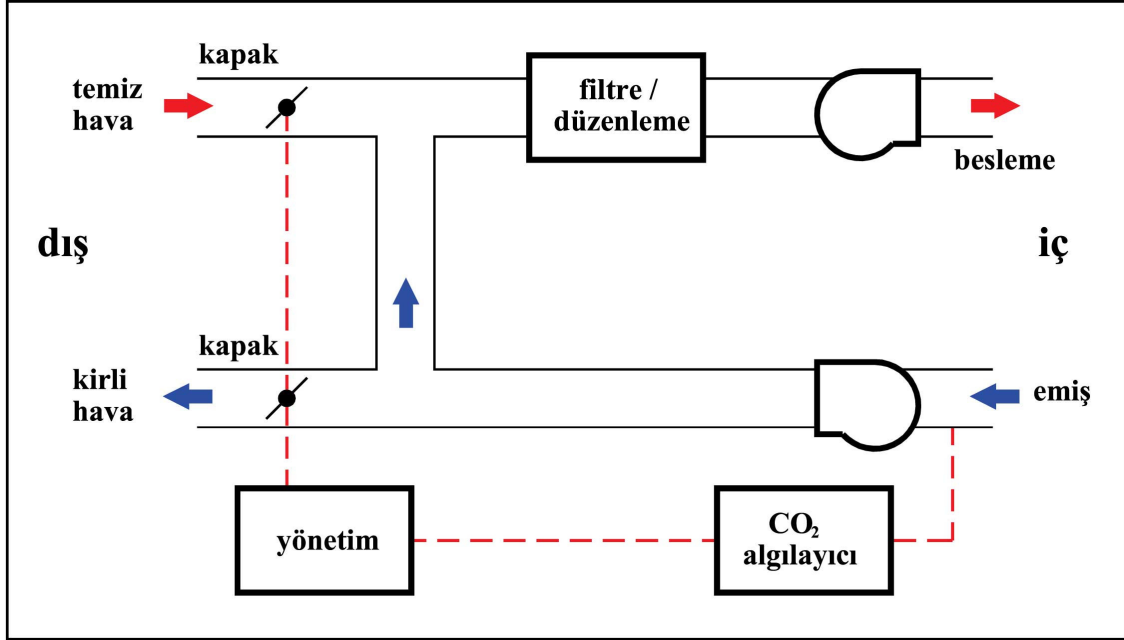
Hava ayar kapakları havanın ortam içindeki çeşitli bölgelere istenilen miktarda ulaşmasını ya da bu bölgelerden belirlenen miktarda toplanmasını sağlamak için kanal sistemi üzerine yerleştirilen ve kısılıp açılarak hava miktarının ayarlanmasına olanak veren aygıtlardır. (Yönet, 2005).

Dağıtıcı ya da toplayıcı menfezler havanın istenilen bölgelerden belirli miktarda emilmesini ya da istenilen mekânlara belirlenen oranda ve gerekli atış uzaklığını sağlayacak şekilde gönderilmesini sağlar. (Yönet, 2005).

Karıştırma birimi bazı sistemlerde mekân içinden emilen kullanılmış hava ile temiz havanın bulunduğu bölümdür. Karıştırma oranı dış hava, dönüş havası ve hava kapaklarının konumları arasındaki basınç ilişkisine bağlıdır (Bearg, 2000).

İç ortamda oluşan hava kalitesi ortama yerleştirilen algılayıcılar yoluyla denetlenir. İç ortam hava sıcaklığını, nem oranını ve belirli kirleticilerin ortam içindeki yoğunluğunu algılayabilen türleri bulunur. Bu algılayıcılar havalandırma sistemini denetleyen bir yönetim birimine bağlıdır. Böylece algılayıcılardan gelen veriler doğrultusunda havalandırma sisteminin çalışma düzeyi ayarlanabilir, dış hava kapakları açılarak ya da kapatılarak hava girişi ve çıkışı

yönlendirilebilir (Liddament, 2000). Şekil 3.4'te algılayıcıların, yönetim biriminin ve dış hava kapaklarının çalışma ilkesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Algılayıcılar, yönetim birimi ve dış hava kapaklarının çalışma ilkesi (Liddament, 2000'den uyarlama)

Hava düzenleme sistemlerinin her bileşeninin sağlanan iç hava kalitesine ve sistemin toplam verimine etkisi vardır (Bearg, 2000). Kanallarda oluşan dirence benzer özellikte sistemin her bileşeni belirli bir düzeyde hava akışına direnç gösterir. Ortamın kullanım amacına uygun olarak, belirlenen hava değişim miktarına göre sistemde dolaşacak hava miktarı hesaplanır. Hesaplanan hava miktarı ve toplam sistem direncine göre uygun kapasitede fan seçilir. Bu durum sistemin verimini, iç hava kalitesini, enerji tüketimini ve kullanım maliyetini doğrudan etkiler (Yönet, 2005).

### 3.2.2 Havalandırmanın Doğal Yöntemler ile Sağlanması

Dış atmosfer havasının yapı kabuğundaki açıklıklardan yapı içine girmesi ve yapı içindeki kullanılmış olan havanın dışarı atılması ile oluşan hava hareketi doğal havalandırma olarak tanımlanır.

Doğal yöntemlerle sağlanan havalandırma oranı temel olarak

- Dış çevredeki hava hareketlerine
- İç çevre – dış çevre ya da iç çevrenin değişik bölümlerindeki sıcaklık farkına bağlıdır



(Liaddament, 2000).

Doğal havalandırma yapının bütününde ele alınması gereken bir kavramdır (Sev ve Özgen, 2003). Yapı doğal havalandırma ilkeleri göz önüne alınarak tasarlanmalıdır. Özenli bir yapı ve yapı kabuğu tasarımı ile bu ilkeler değerlendirilerek etkin bir doğal havalandırma sağlanabilir, yapma hava düzenleme sistemlerine gereksinim azalarak, kullanıcı için yeterli kalitede bir iç hava oluşturulur.

Doğal havalandırma ilkeleri dördüncü bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

### **3.2.3 Havalandırmanın Karma Sistemler ile Sağlanması**

Yapıların gereksinimine göre yapma hava düzenleme sistemleri ve doğal havalandırma birlikte kullanılabilir. Bu yöntemlerin etkin bir şekilde kullanılması için geliştirilen sistemlere yapı özişler (otomasyon) sistemleri adı verilmektedir.

Özişler sistem yapının iç ve dış çevre koşulları izlenerek havalandırma, pasif ve aktif güneş sistemleri, yapı kabuğu boşlukları, aydınlatma, asansör gibi yapı bileşen ve öğelerinin yönetim, işletim ve denetiminin tek bir merkezde toplanmasıdır. Bu sistem havalandırma ya da ısıtma – soğutma gerektiren koşulları algılayarak gerekli sistemleri işleme sokar, kullanılmayan mekânların ısıtma – soğutma ya da aydınlatma gibi hizmetlerini devre dışı bırakır. Dış çevre koşullarına göre yapı kabuğunu kapatarak yapma hava düzenleme sistemini çalıştırır. Özişler sistemle yönetilen yapılara akıllı yapı adı verilmektedir. Bu yapılar kullanıcı konforunu ve yaşam kalitesini yükseltmek ve kullanım, işletim ve bakım – onarım için gerekli enerji ve maliyeti düşürmek için geliştirilmiştir (Utkutuğ, 2001).

İşletim sistemine bağlı olarak kullanılan ilk karma havalandırma sistemleri:

- Bölgesel karma havalandırma,
- Mevsimsel karma havalandırma sistemleridir (CIBSE, 1997).

Gelişen yapı teknolojileri ve değişen konfor gereksinimi ile bölgesel ve mevsimsel karma sistemler farklı şekillerde birleştirilerek

- Olası karma havalandırma,
- Bölgelere ayrılmış karma havalandırma,
- Dönüşümlü karma havalandırma,
- Eş zamanlı karma havalandırma çözümleri üretilmiştir (CIBSE, 1997).

### 3.3 Havalandırma Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Tasarlanacak yapı için uygun havalandırma yönteminin değerlendirilmesinde seçilecek yöntemin enerji tüketimi, kullanıcı sağlığı, çevre kirliliği ve yapı maliyeti üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

#### 3.3.1 Havalandırma Yöntemi ve Enerji Tüketimi İlişkisi

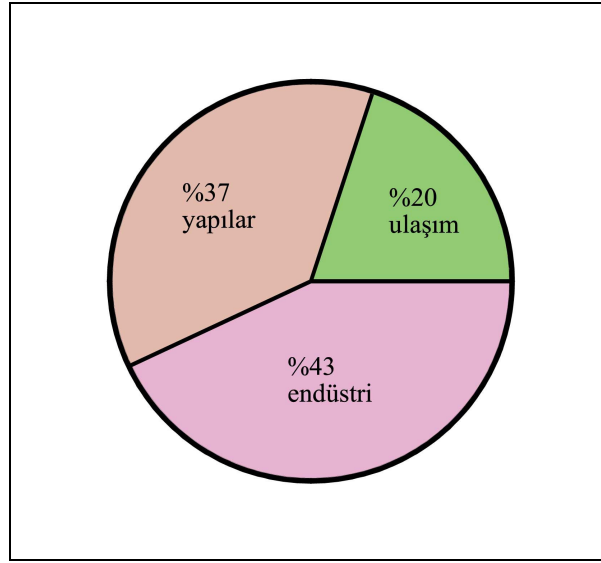
Yirmi birinci yüzyılda artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi dünya üzerindeki kısıtlı kaynaklarla karşılanamamaktadır. Dünyada ve Türkiye’de tüketilen toplam enerjinin büyük bir kısmı yapılarda kullanıcı konforunu sağlamak için hava düzenleme ve aydınlatma amaçlı (Bkz Şekil 3.5) kullanılmaktadır (Yılmaz, 2005). 1950’li yıllarda Londra’da 4 bin kişinin ölümüne neden olan hava kirliliği ve 70’li yıllardan başlayarak küresel ısınmanın neden olduğu çevresel sorunların giderek artması enerji tüketimine yönelik önlemlerin alınmasını gündeme getirmektedir. Böylece enerji gereksinimini en aza indirmeyi amaçlayan sürdürülebilir ve çevreye duyarlı enerji etkin yapı tasarımı kavramı oluşmuştur (Özbalta, 2005). 1987 yılında Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu sürdürülebilirliği, bugünün gereksinimlerini gelecek kuşakları kendi gereksinimlerini karşılama yetisinden yoksun bırakmadan karşılamak olarak tanımlamıştır (Sev ve Özgen, 2003). Sürdürülebilir bir çevreyi sağlamak ise enerji korunumu için doğal enerji kaynaklarından yararlanmayı gerekli kılar (Oral ve Altun, 2006). Bu nedenle yapılarda fosil yakıt kaynakları ve elektrik enerjisi yerine rüzgâr gücü ve güneş gibi daha temiz, doğal ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmektedir (Arisoy ve Çilek, 2006).

İç hava kalitesinin artırılması yapma hava düzenleme sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen yapılarda havanın yapı içine alınması, dağıtılması ve kirlenen havanın atılması için tüketilen enerji doğal ilkelerle havalandırılan yapılara göre yüksek düzeydedir. Bu enerji tüketimini azaltmak için yapı işletmecilerinin dış ortamdan alınan hava miktarını azaltma yoluna gitmesi durumunda iç havada kirlilik oranı artmakta ve yapı içi hava kalitesi düşmektedir (Allard, 1998).

Arisoy ve Çilek (2006) tarafından İstanbul’da yapılan uygulama doğal havalandırma yöntemlerinin enerji tüketimi ile yapay hava düzenleme sistemlerinin enerji tüketimi arasındaki farkı açıkça ortaya koymaktadır.

Uygulama beş katlı bir ofis yapısının ikinci katındaki 635 m<sup>2</sup> alana sahip açık ofis bölümünde yapılmıştır. Tasarlanan doğal havalandırma yöntemi ofis gereksinimine göre seçilmiş yapma

havalandırma sistemi ile birlikte çalıştırılmıştır. Uygulama için doğal havalandırma ve yapma sistemin birlikte çalışmasını sağlayacak bir özişler sistem tasarlanmış, yapı içi hava niteliğini ve dış hava koşullarını ölçen algılayıcılar bu özişler sisteme bağlanmıştır. Böylece hem içerdeki hem dışarıdaki algılayıcılardan gelen bilgilere göre özişler sistem yapma havalandırma sistemini devreye sokarak çalıştırmış ya da kapatarak ofis katının yalnızca doğal yöntemle havalanmasını sağlamıştır.



Şekil 3.5 Türkiye’de yapılarda tüketilen enerjinin toplam enerji tüketimi içindeki payı (Yılmaz, 2005)

Kullanılan algılayıcılar karbondioksit ölçer ve iç hava sıcaklığını ölçen bir aygıttır. Çatıda ise dış hava sıcaklığını, rüzgârın yönünü ve hızını ölçen bir istasyon bulunur. Yapma sistem kapalı iken karbondioksit düzeyinin 1000 ppm değerini aşması durumunda yapma havalandırmayı devreye sokan özişler sistem, karbondioksit düzeyi 1000 ppm’nin altında düştüğü zaman rüzgâr hızını ve açısını kontrol eder. Rüzgâr hızı 2,5 m/sn’den büyükse ve açısı istenen değerin  $\pm 30^\circ$  içinde ise, sistem, yapma havalandırmayı kapatarak doğal havalandırma kapaklarını açmaktadır. Aynı durum sıcaklık algılayıcılar ile de gerçekleştirilir. Bir nisan ayı boyunca yapay sistemin çalışması izlenmiş ve Çizelge 3.1’de görülen değerler ortaya çıkmıştır.

Böylece yapıda doğal havalandırma yönteminin kullanılmasıyla yapay sistem ısıtma ve soğutma için yılda %38’lik bir oranda, havalandırma için ise %47’lik bir oranda az çalışmıştır.

Çizelge 3.1 Yapma havalandırma sisteminin çalışma saatleri ve tüketilen enerjinin karşılaştırılması (Arısoy ve Çilek, 2006'dan uyarılama)

|           |                                                                                              |                                                                                                 |                                                                 |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Nisan ayı | Yapma havalandırma sisteminin çalışma saatleri (doğal yöntemle desteklenerek)                | Yapma havalandırma sisteminin çalışma saatleri (doğal havalandırma olmaksızın)                  | Doğal havalandırmanın kullanılmasıyla sağlanan enerji tasarrufu |
|           | <b>228 saat</b>                                                                              | <b>360 saat</b>                                                                                 | <b>132 saat</b>                                                 |
|           | Yapma ve doğal havalandırmanın birlikte çalışmasıyla oluşan CO <sub>2</sub> yoğunluğu        | Yalnızca yapma havalandırma olması durumunda gerçekleşmesi hesaplanan CO <sub>2</sub> yoğunluğu | CO <sub>2</sub> yoğunluğundaki azalma                           |
|           | <b>443 ppm</b>                                                                               | <b>538 ppm</b>                                                                                  | <b>95 ppm</b>                                                   |
|           | Soğutma için yapma sistemin çalışma saati (Doğal havalandırma ile dönüşümlü)                 | Yalnızca yapay sistemin çalışmasında hesaplanan çalışma saati                                   | Doğal havalandırmanın kullanılmasıyla sağlanan enerji tasarrufu |
|           | <b>62 saat</b>                                                                               | <b>160 saat</b>                                                                                 | <b>98 saat</b>                                                  |
| Yıllık    | Soğutma için yapma sistemin çalışmasıyla tüketilen enerji (Doğal havalandırma ile dönüşümlü) | Yalnızca yapay sistemin çalışmasında hesaplanan enerji tüketimi                                 | Doğal havalandırmanın kullanılmasıyla sağlanan enerji tasarrufu |
|           | <b>76626 kWh</b>                                                                             | <b>125814 kWh</b>                                                                               | <b>49118 kWh</b>                                                |

### 3.3.2 Havalandırma Yöntemi ve Kullanıcı Sağlığı İlişkisi

Havalandırma yönteminin belirlenmesi ve işletilmesi kullanıcı sağlığı açısından önemlidir.

Yapma havalandırma sistemleri bileşenlerinde oluşabilecek çeşitli sorunlar nedeniyle iç ortam havasının kirlenmesine yol açarak kullanıcı sağlığını bozabilir. İç mekân havasında bulunan kirleticiler incelenmeden seçilmiş ya da kullanım sırasında düzenli bakım ve temizliği yapılmamış filtreler iç hava kirleticileri kaynağına dönüşebilir (Alioğlu, 2001; Fanger, 2005). Temizlenmeyen havalandırma kanallarında biriken toz, kir, ölü böcekler, kuşlar, fareler ve çeşitli çöpler bakteri ve virüslerin yaşaması için uygun bir ortam oluşturur. Havalandırma sisteminin çalışmasıyla ortaya çıkan nem ve ısı da bu mikroorganizmanın üremesine neden olur (Eğrikavuk, 1996; Alioğlu, 2001; Vaizoğlu vd, 2004). Ayrıca sistem kanallarının ya da komşu kanalların cephelerinde oluşan yoğuşma nedeniyle mikroorganizmalar üreyebilir (Eğrikavuk, 1996). Hava düzenleme sisteminin nemlendirici bölümünde ve soğutma kulelerinin havuzlarında lejyonellosis hastalıklarına neden olan *L. pnömofila* bakterisi üreyebilmektedir (Balanlı ve Öztürk, 2005). Tüm bu mikroorganizmalar sistemden geçen havaya karışarak kullanım mekânlarına gelir. Bu durum bakımsız yapma hava düzenleme sistemlerinin kullanıldığı iç ortamlarda doğal havalandırma yapılan ortamlara göre düşük

kalitede iç hava oluşmasının temel nedenidir (Fanger, 2005).

Yapma havalandırma sistemlerinde vantilatörün çalışmasıyla, havanın kanalda yayılmasıyla, eksik uygulama nedeniyle, hava ayar kapaklarıyla ya da havanın menfezden çıkışı sırasında gürültü oluşabilir. Ayrıca sistem dış ortam gürültüsünü de yapı içine taşıyabilir. Ses yutucu ürünler ile kanalların kaplanması ve susturucu adı verilen aygıtların kanala bağlanması ile bu sorun bir dereceye kadar giderilebilmektedir. Fakat susturucular akış hızını azaltmasından ötürü enerji tüketimini artırır (Liddament, 2000).

ABD’de yapı içi hava kalitesi ile ilgili yapılan bir araştırmada 10 yıl içinde incelenen 530 yapının %55’inde yapma hava düzenleme sistemi sorunlu bulunmuştur (Eğrikavuk, 1996).

Tüm bu nedenlerden ötürü yapma sistemlerin tasarımı ve uygulaması dikkatle yapılmalıdır. Mikroorganizmaların oluşumunu önleyecek şekilde kurulum yapılmalı, bakım – onarımın etkin olarak sağlanabilmesi için sistem bileşenlerine kolayca erişilmelidir (Alioğlu, 2001). Filtrelerin ise çok sık değiştirilmesi gerekir (Fanger, 2005).

### **3.3.3 Havalandırma Yöntemi ve Çevre Kirliliği İlişkisi**

Dünya genelinde karbondioksit salınımının büyük bir kısmı yapılarda kullanılan fosil yakıtların yanması sonucunda ortaya çıkar. Yapma hava düzenleme sistemlerinde ısıtmada ve sistemin gereksinim duyduğu elektriğin üretiminde fosil yakıtları kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yakılması ise atmosferdeki karbondioksit salınımını artırır (Arısoy, 2006).

Yaşanılan küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunun atmosferde biriken karbondioksitin oluşturduğu sera etkisi sonucunda ortaya çıktığı bilinmektedir (Yıldız, 2002).

### **3.3.4 Havalandırma Yöntemi ve Maliyet İlişkisi**

Fisk ve Rosenfeld ABD’de, Seppänen ise Kuzey Avrupa’da düşük iç hava kalitesinin neden olduğu hastalık, izin ve üretim yitiminin yol açtığı ekonomik zararlar üzerine çalışmıştır. Her iki çalışma sonucunda oluşan yitimlerin hava düzenleme sistemlerinin işletilmesi maliyetinden daha yüksek olduğu ortaya çıkarılmıştır (Fanger, 2000). Özellikle ofis yapılarında kullanım süresince maliyete bakıldığında

- Ofislerde çalışan personele ödenen ücretler toplam maliyetin %92’sini,
- Yapının işletme maliyeti toplam maliyetin %6’sını,
- Yapının ilk yatırım maliyeti toplam maliyetin %2’sini oluşturmaktadır (Küçükçalı, 2004).

Uygun olmayan iç hava koşulları nedeniyle çalışanların üretkenliğinde yitirilecek %6'lık pay yapının bütün enerji ve işletim maliyetlerine eş değer olduğu belirtilmektedir. ABD'de ofislerde yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre var olan yapılarda iç hava kalitesini artırmakla ilişkili toplam yatırım tutarı 87,9 milyar dolar ve bunun getireceği ek yıllık işletme maliyetinin 4,8 milyar dolar olduğu, buna karşın iyileştirilen sağlık ve üretkenlik nedeniyle yılda 62,7 milyar dolar kâr elde edilebileceği hesaplanmıştır (Küçükçalı, 2004).

Arısoy ve Çilek (2006) tarafından yapılan uygulama sonuçlarında da görüldüğü gibi yapma hava düzenleme sistemlerinin çalışması için gereken enerji düzeyi ve enerji tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan enerji maliyetlerinin değeri büyük boyutlara varmaktadır.

Yapma hava düzenleme sistemlerinin doğru işleyebilmesi ve yapı içi havasında ek kirlilik kaynaklarına dönüşmemesi için bakım ve onarımlarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu durum da kullanım maliyetine ek olarak bakım – onarım maliyetinin ortaya çıkmasına neden olur (Kayhan, 2005).

Doğal havalandırma yöntemi yapma sistemlere göre çok daha az düzeyde enerji tüketir. Bu nedenle mekanik sistemlere oranla kullanım maliyeti çok daha düşük düzeydedir. Ayrıca mekanik sistemde ortaya çıkabilecek sorunlar doğal havalandırmada söz konusu olmadığı için bakım – onarım maliyeti de ortadan kalkar (Kayhan, 2005; Eşsiz, 2005).

Doğal havalandırmanın etkin bir şekilde sağlanabilmesi için üretilen ayrıntı çözümleri karışık olabilmekte, bu durum yapının üretim maliyetini artırabilmektedir (Eşsiz, 2005; Özbalta, 2005). Buna karşın yapma havalandırma sistemlerinin kullanıldığı bir yapıda üretim maliyeti sistem seçimine bağlı olarak yüksek olabilmektedir (Çetiner, 2003).

Yapının doğal havalandırma ilkelerine uygun tasarlanması durumunda yapma sistemler için gerekli yatırım, işletim ve bakım - onarım maliyeti ortadan kalkacağı gibi oluşacak yüksek kaliteli iç hava ile kullanıcı sağlığı iyileşecek, dolayısıyla üretkenliği ve verimi artacaktır.

### **3.4 Yapı için Uygun Havalandırma Yönteminin Belirlenmesi**

Tasarlanan yapı için uygun havalandırma yönteminin belirlenmesinde birçok etken bulunmaktadır.

- Yapının konumlanacağı arsadaki fiziksel dış çevre koşulları belirlenmelidir. Yakın çevrede bulunabilecek bir kirlilik kaynağının varlığı, bölgede atmosfer havasının çok kirli, çok nemli ya da çok kuru olması gibi olumsuz durumlar yapı içine alınacak havanın

düzenlenmesini zorunlu kılar.

- Yapının işlevi ve kullanıcı gereksinimleri belirlenmeli buna göre gerekli havalandırma miktarı ortaya çıkarılmalıdır.
- Yapma hava düzenleme sistemlerinin kullanımında tasarım ve uygulama titizlikle yapılmalıdır. Ayrıca düzenli olarak bakımlarının ve gerektiği durumda onarımlarının yapılması sağlanmalıdır. Tasarımcı, uygulayıcı ve kullanıcı yanlış seçimden ve uygulamadan kaynaklanan sorunları ve bakım onarımdan kaynaklanacak maliyet düzeyini iyi bilmelidir.
- Havalandırma yönteminin belirlenme aşamasında enerji tüketimi, enerji tüketimiyle bağlantılı kullanım maliyeti ve oluşacak çevre kirliliği göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapının doğal havalandırma ilkelerine uygun şekilde tasarlanması /ilk maddede belirtilen özel durumlar dışında/ yapma hava düzenleme sistemleri ile elde edilmesi güç bir iç ortam havası oluşturmasının yanında, yapının toplam maliyetini düşürecek, enerji tüketimini azaltacak, yenilenebilir, doğal ve temiz enerji kaynaklarının kullanılmasını sağlayacak ve yapılardan kaynaklanan çevre kirliliğinin önüne geçecektir.

#### 4. DOĞAL HAVALANDIRMA İLKELERİ

İç mekânda sağlanacak doğal havalandırma dış çevre, yapı ve iç çevre arasında oluşan fiziksel ilişkinin bir sonucudur.

Doğal havalandırma temel olarak;

- Dış çevrede yapıyı etkileyen hava hareketlerine,
  - Yapı içi ve dış atmosfer havası arasındaki sıcaklık farkına,
  - Bu sıcaklık farkı ile yaratılan baca etkisinin düzeyine
  - Hava hareketleri ve sıcaklık farkı ile yapı çevresinde ve yapının içinde oluşan hava basıncı düzeylerine
  - Yapı kabuğundaki hava giriş – çıkış boşluklarının düzenine ve boyutlarına
  - Yapı içinde hava akışı için oluşturulan doğrultuya, yola ve bu yol üzerindeki engellere
- bağlı olarak oluşur (Özteker, 2005; Sev ve Özgen, 2003).

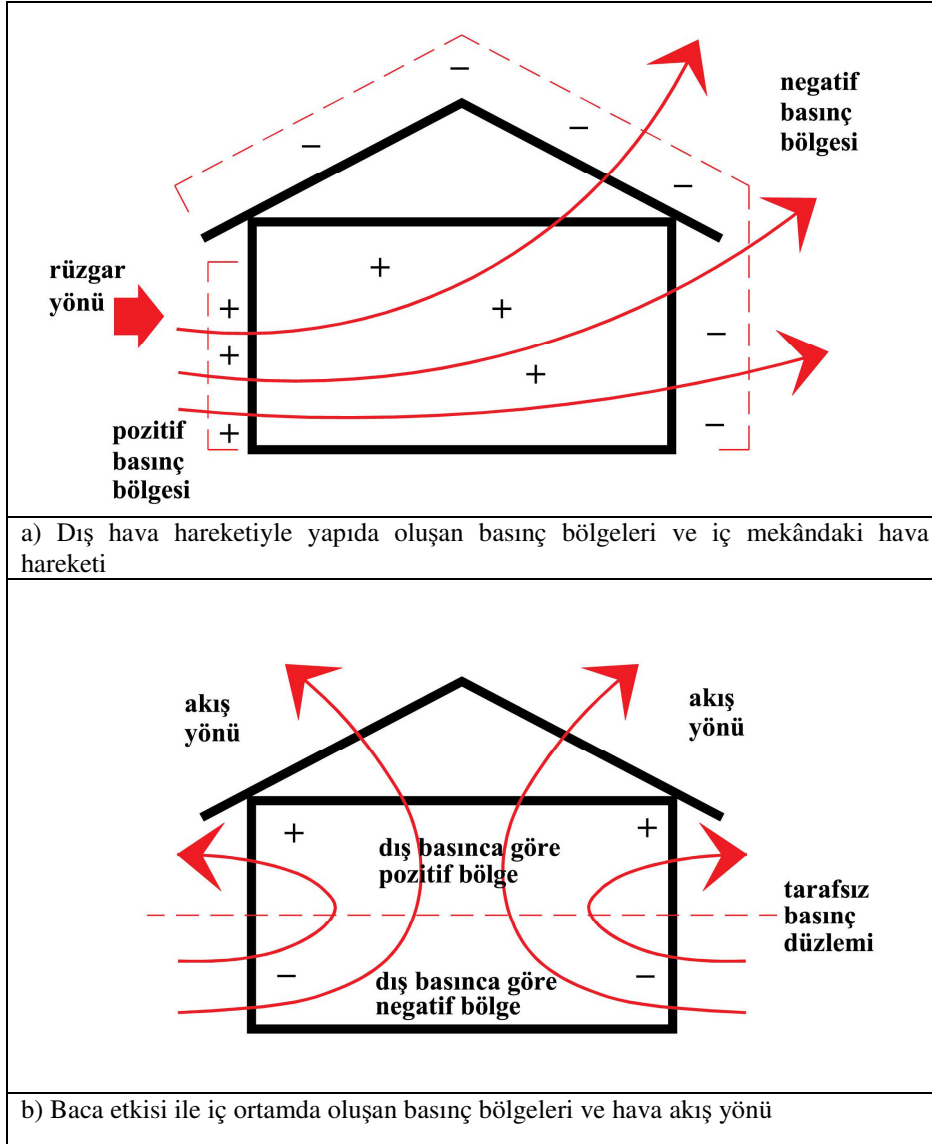
Hava hareketleri ile oluşan basınç; yapı biçimi, yapının plan şeması ve yapı kabuğu boşluklarına göre iç mekânda tek taraflı ya da çapraz havalandırma oluşturur (Liddament, 2000). Çapraz havalandırma rüzgâr basıncından yararlanarak aynı düzlemde karşılıklı yüzeylerdeki açıklıklarla gerçekleştirilir. Tasarım aşamasında havalandırma için gereken açıklıkların biçimlerine, ölçülerine ve konumlarına ilişkin alınan kararlar mekân içinde oluşacak hava akımının hızını, dağılımını ve mekâna alınacak temiz hava miktarını belirler (Ok, 2005).

Baca etkisi, “ısınan hava yükselir” ilkesine dayanmaktadır. Bu etki dış ve iç çevre arasındaki sıcaklık farkıyla oluşan değişik hava yoğunluğu ile gelişir. İç ve dış hava kütlelerinin basınç yönlerinde oluşan dengesizlik düşey basınç farkı oluşmasına neden olur. Yapı içindeki hava sıcaklığının dış hava sıcaklığından fazla olması durumunda iç hava yükselir, üst kotlardaki açıklıklardan çıkar ve dış hava alt kotlardaki açıklıklardan yapı içine girer. Eğer iç hava sıcaklığı, dış hava sıcaklığından düşükse akım ters yönde oluşur (Liddament, 2000; Yeang, 2001). Bu etki iç mekânda istenen hava hareketinin oluşmasında yetersiz kalabilir.

Yapılacak tasarım ile rüzgâr ve baca etkilerinin birbirine uyumlu olacak şekilde çalışması, birbirini engellememesi gerekir. Bu iki etki birleştirilerek birbirini tamamlayıcı şekilde değerlendirilmelidir. Her iki yöntemde de basınç dağılımını iyi bir doğal havalandırma için



kullanmak, açıklıkları en uygun şekilde tasarlamak ile sağlanabilir (Liddament, 2000). Şekil 4.1’de rüzgâr etkisi ve baca etkisinin çalışma ilkesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Rüzgâr ve baca etkisi ile doğal havalandırmanın sağlanması (Liddament, 2000’den uyarlama)

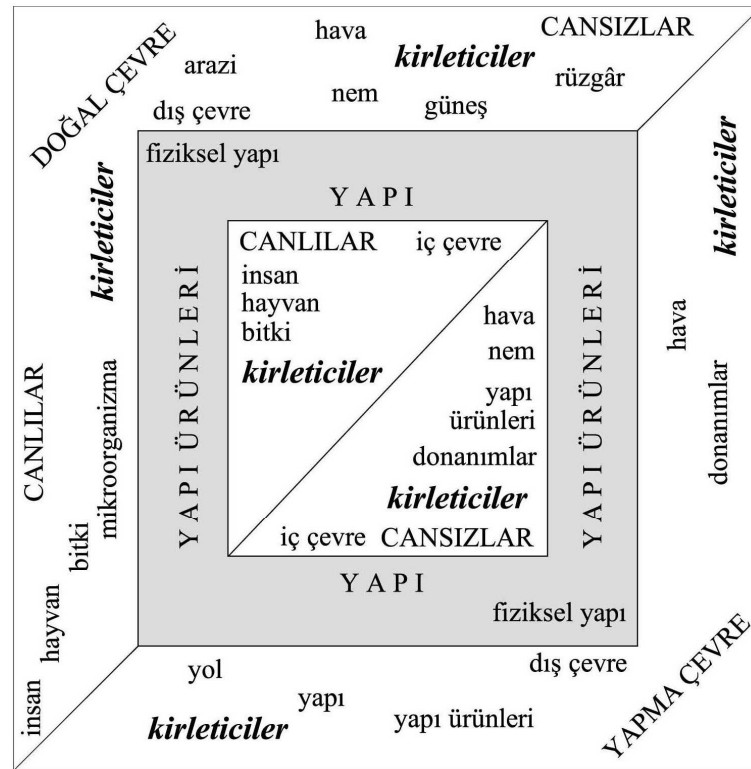
Doğal havalandırma ilkelerinin anlaşılabilmesi için dış çevre, yapı ve iç çevre arasındaki ilişki irdelenmelidir.

#### 4.1 Yakın Çevre – Doğal Havalandırma İlişkisi

“Yapı kullanıcıların gereksinmelerini gidermek için tasarlanmış ve üretilmiş yapma bir çevredir.” Çevre ise bir varlığı sararak onunla ilişki içinde olan, ondan etkilendiği gibi onu etkileyen, bazı durumlarda karmaşık ve çok yönlü olabilen ortamdır. Yapı ile sınırlanmış iç

çevrenin dışında kalarak onu saran dış çevre; doğal ve yapma fiziksel çevreden oluşur. Doğal çevre sürekli devinim özelliği gösteren canlı ve cansız varlıkların bütünüdür ve tasarımcı oluşturduğu yapı kabuğu ile bu doğal çevrenin bir parçasını ayırır, sınırlar, böylece bu kabuğun içinde, dışarıda kalan uygun olmayan koşullardan farklı istediği koşulları gerçekleştirmeye çalışır (Balanlı ve Öztürk, 2006).

Yapı kabuğu ile ayrılmış yapma iç çevre ve doğal /yapma dış çevre birbiriyle sürekli etkileşim durumundadır. Bu etkileşim doğal havalandırma açısından Şekil 4.2’deki gibi gösterilebilir. Yapının doğal ilkelerle havalandırılması sırasında doğal dış çevreye ilişkin canlılar, güneş, rüzgâr, hava, yerel özellikleri, bu etmenlerden kaynaklanabilecek hava kirleticileri; yapma dış çevreye ilişkin yapılar, yollar, donanımlar ve yapma çevreden kaynaklanabilecek kirleticiler ve iç çevreye ilişkin canlılar, yapı ürünleri gibi etmenler ve neden olduğu kirleticiler önem kazanır.



Şekil 4.2 Doğal havalandırma açısından dış çevre, yapı ve iç çevre ilişkisi (Balanlı, 1997’den uyarlama)

#### 4.1.1 Doğal Çevre – Doğal Havalandırma İlişkisi

Doğal havalandırmanın sağlanmasında etkili olan doğal çevre etmenleri; güneş ışıınımı, dış

hava sıcaklığı, hava hareketleri, arazi eğimi ve yeşil dokudur (Asımgil, 2006; Akşit, 2005). Bu etmenler, yapının tasarlanacağı bölgenin iklim özelliklerine göre şekillenir.

#### 4.1.1.1 İklim Özelliklerinin Doğal Havalandırmaya Etkisi

İklim bir bölgedeki genel atmosfer olaylarının uzun yıllar boyunca gözlenerek elde edilen ortalaması olarak tanımlanır (Watt ve Wilson, 2007). Bölgedeki güneş ışıınımı, hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgârlar, nem oranı, bulutluluk oranı, bulut tipleri, yağış tipi ve yağış düzeyi o bölgede ortaya çıkan iklimin öğelerini oluşturmaktadır (Atalay, 2005).

İklim tipleri dört ana grup oluşturur.

- Soğuk iklim
- Ilıman iklim
- Sıcak – nemli iklim
- Sıcak – kuru iklim (Zorer, 1992; Oral, 2007).

Soğuk iklim tipinde en soğuk dönemde ortalama sıcaklık  $-15^{\circ}\text{C}$ 'nin altında, yıllık en düşük sıcaklık  $-40^{\circ}\text{C}$ , bağıl nem oranı soğuk dönemde yüksektir (Zorer, 1992). Özellikle gece saatlerinde hava sıcaklığının azalması ile havanın yoğunluğu artar ve çukur bölgeler, vadi tabanları gibi çevreye göre alçakta kalan yerlere çöker (Oral, 2007). Hava hareketleri ise bu iklim tipinde soğuk ve hızlıdır (Akşit, 2005). Bu nedenle havanın yapı içine alınmasında iç mekân hava sıcaklığının düşmemesine dikkat edilmelidir (Yeang, 2001). Isıl kazanç önemli olduğu için doğal havalandırma ile birlikte ek sistemlerden yararlanarak hava koşullandırılabilir (Sev ve Özgen, 2003). Soğuk iklimin üç alt iklim tipi vardır: Ilıman soğuk iklim, Tundra iklimi ve kutup iklimi (Zorer, 1992).

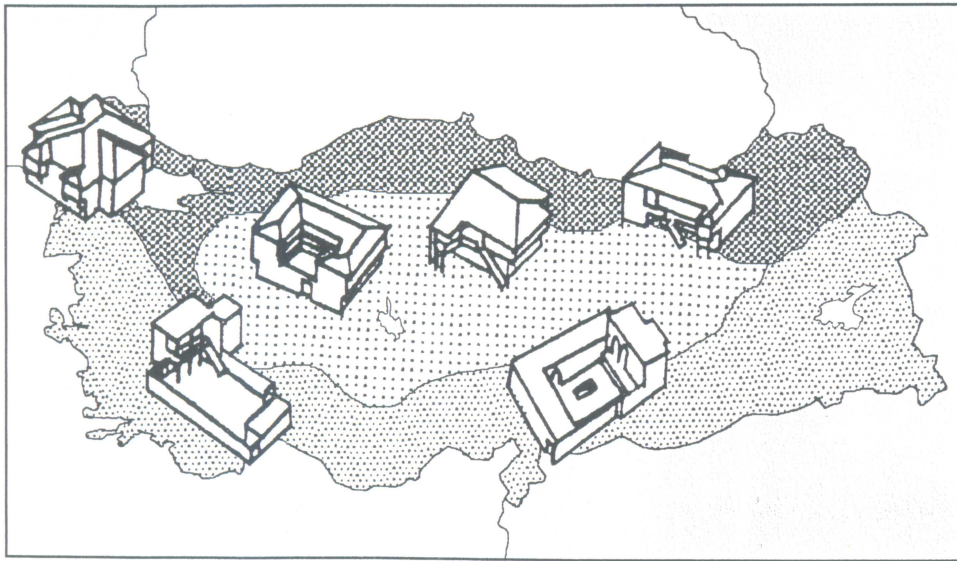
Ilıman iklim tipinde en sıcak dönemde ortalama sıcaklık  $25^{\circ}\text{C}$  ve üstünde, en soğuk dönemde  $-15^{\circ}\text{C}$  dolayında, bağıl nem oranı bazı dönemlerde %80'in üzerinde olabilmektedir (Zorer, 1992). Doğal havalandırma bu iklim tipinde etkili olarak kullanılabilir (Sev ve Özgen, 2003). İki alt iklim tipi bulunur: Ilıman – nemli iklim ve ılıman – kuru iklim (Zorer, 1992). Ilıman – kuru iklimde kış dönemi boyunca rüzgâr güneş ışıınımının etkisini azaltır ve hava sıcaklığını düşürür. Ilıman – nemli iklim tipinde ise özellikle yaz döneminde havada oluşan fazla nemi dağıtmak için rüzgâra gereksinim vardır (Oral, 2007).

Sıcak – nemli iklim tipinde ortalama sıcaklık en sıcak dönemde (kısa bir süre için)  $40^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde ve en soğuk dönemde  $18^{\circ}\text{C}$  ve altındadır, günlük - yıllık sıcaklık değişimi fazla

değildir ve ortalama bağıl nem oranı %80'dir (Zorer, 1992). Bu iklimde buharlaştırıcı soğutma yöntemi ile baca etkisi oluşturarak yapı içindeki havayı emmek ve gece serinletmesi ile doğal havalandırma etkili bir şekilde kullanılabilir (Yeang, 2001). Özellikle yaz döneminde fazla olan nem düzeyini düşürmek için rüzgârdan en üst düzeyde yararlanılmalıdır (Oral, 2007; Akşit, 2005). Sıcak iklimin iki alt iklim tipi vardır; sıcak – tam nemli (yağmur ormanı), sıcak – değişken nemli (muson) (Zorer, 1992).

Sıcak – kuru iklim tipinde yıllık en yüksek sıcaklık  $45^{\circ}\text{C}$ , ortalama sıcaklık en sıcak dönemde  $22^{\circ}\text{C}$ , en soğuk dönemde  $-10^{\circ}\text{C}$  dolaylarındadır, günlük - yıllık sıcaklık değişimi fazladır ve ortalama bağıl nem oranı düşüktür. Bu iklim tipinde hava akımları güçlüdür ve çok fazla kum ve toz taşıma özelliği vardır (Zorer, 1992). Sıcak dönem soğuk döneme oranla yıl boyunca daha uzun süre etkili olur (Oral ve Manioğlu, 2005). Neme gereksinim düzeyi diğer iklimlere göre daha fazladır (Akşit, 2005). Bu nedenle rüzgâr, bitki dokusu içinden ya da su yüzeyi üzerinden geçirilerek nemlendirilebilir. Gece döneminde hava sıcaklığının düşmesi, havanın yoğunlaşarak alçak bölgelere çökmesine neden olur (Oral, 2007). İki alt iklim tipi bulunur: Step ve çöl iklimi (Zorer, 1992).

Tarih içinde her bölgedeki geleneksel yapı, o bölgenin iklim koşullarına uygun bir şekilde gerçekleşmiştir (Hacaloğlu, 2007). Şekil 4.3'te Türkiye'nin farklı bölgelerinde, değişen iklim koşullarına uygun olarak yapılmış geleneksel yapılar arasındaki fark açıkça görülmektedir.



Şekil 4.3 Doğal çevre özelliklerine göre değişen geleneksel yapı tipleri (Hacaloğlu, 2007)

İklim özelliklerine bağlı olarak bir bölgede tasarlanan yapının havalandırılması için üretilecek

uygun çözümler ile doğal havalandırma /gerekli durumlarda yapay havalandırma ile desteklenerek/ etkin bir şekilde kullanılabilir. Yine iklimlerdeki mevsimsel koşullara göre farklı havalandırma senaryoları oluşturulabilir (Sev ve Özgen, 2003; Yeang, 2001).

Yapı iç çevresinde gereksinim duyulan havalandırmanın doğal yollarla sağlanması, yapıyı etkileyen dış iklim koşulları ile doğrudan ilişkilidir. Yapının enerjiyi koruyarak iç mekân havasını belirli bir kalite düzeyinde tutması, dış çevredeki iklim koşullarını iç çevreye kullanıcı konforuna uygun olacak şekilde aktarması ile gerçekleşebilir. Başka bir deyişle, yapıda sağlanacak doğal havalandırma niteliğinin dış çevre iklim koşullarına göre alacağı değer, yapı tasarımına bağlıdır (Demirbilek ve Yılmaz, 1996). Tasarım aşamasında bölgesel iklim koşulları veri olarak kullanılmalı, etkin bir doğal havalandırma için iklimin olumlu etkilerinden yararlanma, olumsuz etkilerinden korunmaya olanak sağlayacak uygun çözümler üretilmelidir.

#### **4.1.1.2 Yönlenmenin Doğal Havalandırmaya Etkisi**

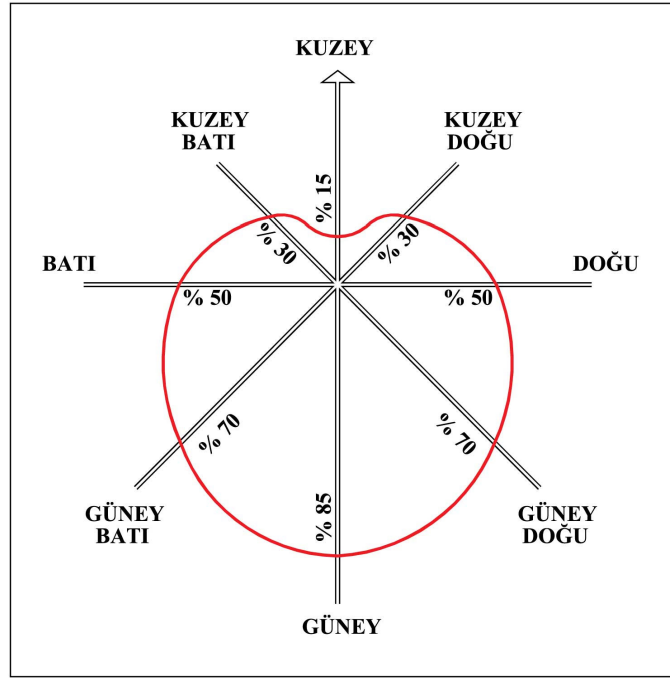
Yapının yönlenmesinde doğal havalandırma açısından önemli özellikler, güneş ışıınımlarından yararlanma ve egemen rüzgâr etkisini kullanmadır.

Cephelerin güneş ışıınımdan yararlanma oranı, dolayısıyla toplam güneş enerjisi kazancı yapının yönlenmesi ile belirlenir (Yılmaz, 2005). Buna göre güneş ışıınımlarının yıl boyunca değişiklik gösteren yaklaşım ve yönelim açıları göz önünde bulundurulmalıdır.

32° - 56° kuzey enlemleri arasında yer alan yapıların güney yüzleri güneş ışıının geliş doğrultusuna ve güneşlenme süresine bağlı olarak kış döneminde doğu ve batı yüzlerine göre yaklaşık üç kat daha fazla, yaz döneminde ise bu yüzlerin yarısı kadar güneş ışıınımları alır. Güneşlenme süresi açısından güney yüzü tüm yıl boyunca en uzun süre güneş gören yapı yüzüdür. Doğru ve batı yüzleri ise güney yüzüne göre kışın daha soğuk, yazın ise daha sıcak olur. Doğru yüzünün güneş görmeye başladığı sabah saatlerinde toprak ve hava henüz ısınmamıştır. Batı yüzünün güneş görmeye başladığı saatlerde ise hava sıcaklığı artmış buna bağlı olarak yapının batı yüzünde zaten belli bir düzeyde sıcaklık artışı oluşmuştur. Bu duruma bir de güneş ışıınımlarının ısıtıcı etkisi eklenince batı yüzü doğu yüzünden çok daha fazla ısınacaktır (Zorer, 1992). Şekil 4.4'te yönlerle göre değişen güneşlenme yüzdeleri görülmektedir. Yapının güney yönüne bakan cephesi %85 oranında güneş ışıınımları alırken, kuzey cephesi ise %15 oranında ışıınımları alır.

Güneş ışıının yapı yüzeylerinde yutularak ısıya dönüşmesinde yapı yüzeyine geliş

doğrultusu etkilidir. Işığın yapı yüzey normali ile yaptığı açı küçüldükçe yutulan ışık artar. Bu açı büyüdüğünde yutulan ışık azalacağından yüzey sıcaklığındaki artış az olur. Şekil 4.5'te kuzey yarımküre (51,5° kuzey enlemi) için yılın farklı dönemlerinde güneşin yeryüzüne geliş açıları ve güneş yolu görülmektedir.

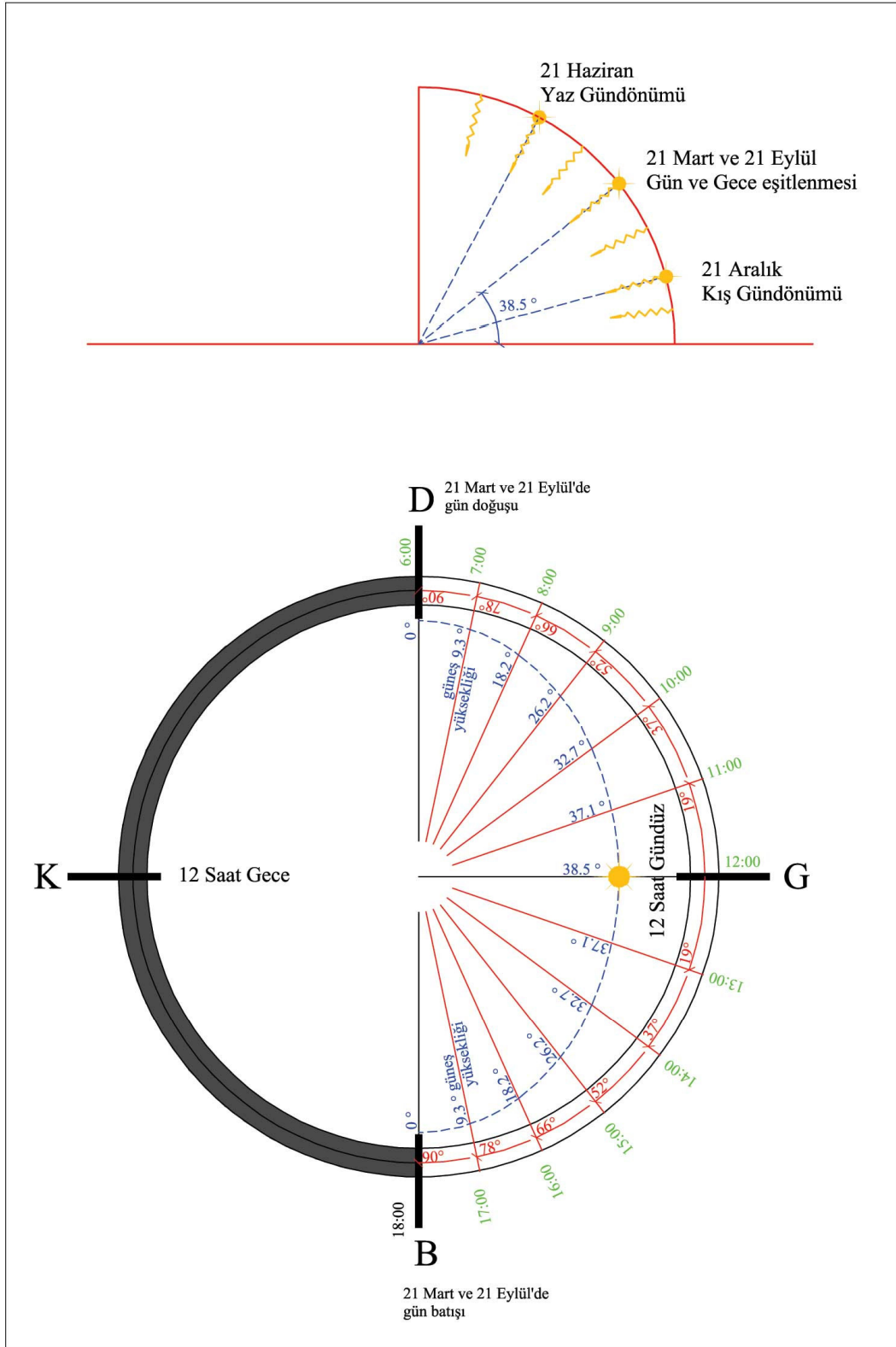


Şekil 4.4 Yönlere göre güneşlenme yüzdeleri (Bolak, 1971: Arcan ve Evci, 1999)

Gün boyunca depolanan güneş enerjisi ile iç mekân havası ısıtılarak rüzgâr olmadığı durumlarda bile baca etkisi ile hava akışı sağlanır (Çakmanus ve Böke, 2001). Özellikle yapının güneş gören cephesinin ısınması ile bu cepheyi oluşturan iç mekânlardaki hava ısınarak yükselir, daha soğuk olan diğer mekânlardaki hava sıcak mekâna doğru hareketlenir ve böylece bir hava akımı oluşur. Benzer akım, yapının çevresinde de gerçekleşir. Güneş gören cephe çevresindeki hava ısınır, gölgeli cephelerdeki soğuk hava bu cepheye doğru akarak bir hava akımı doğurur.

Isınan yapı yüzünün yapı içindeki havayı ısıtması ise ısı geçişi ile sağlanır. Isı sürekli sıcak olan ortamdan soğuk olan ortama doğru akar. Bu akış önlenemez, ancak etkilenebilir. Isı temel olarak üç yolla yayılır:

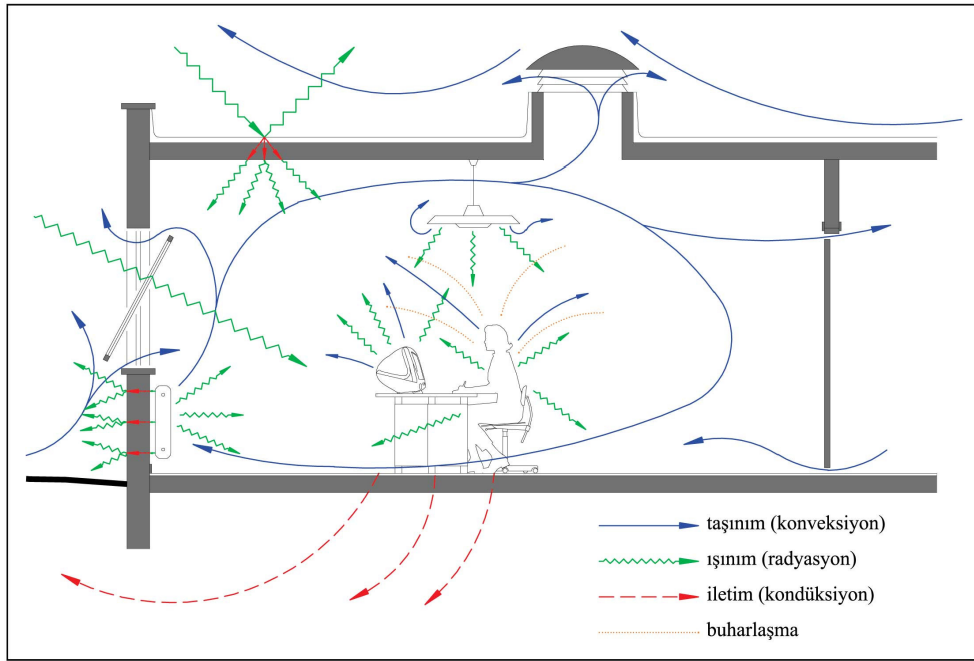
- İletim (Kondüksiyon) yolu ile: Isının bir madde içinde molekülden moleküle yayılmasıdır. Maddenin ısı iletkenliği düzeyine göre hızlı ya da yavaş gerçekleşir.



Şekil 4.5 Yılın farklı dönemlerinde güneş açıları ve gündönümünde güneş yolu (Neufert, 2000'den uyarılama)

- Taşınım (Konveksiyon) yolu ile: Isı sıvı ya da gaz olan maddelerde kütlenin küçük parçalarının yer değiştirmesi ile yayılır.
- Işınım (Radyasyon) yolu ile: Isı ışıınımları elektromanyetik titreşimlerdir. Değişik ısıya sahip iki maddeden daha sıcak olandan soğuk olana doğru ısı devinir. (Şerefhanoglu, 1981)

Bu geçiş ortamlar arasında sıcaklık dengesi kuruluncaya kadar devam eder. Şekil 4.6'da bir iç mekânda ısı geçişleri ve ısınan iç havanın hareketi (baca etkisi) görülmektedir.

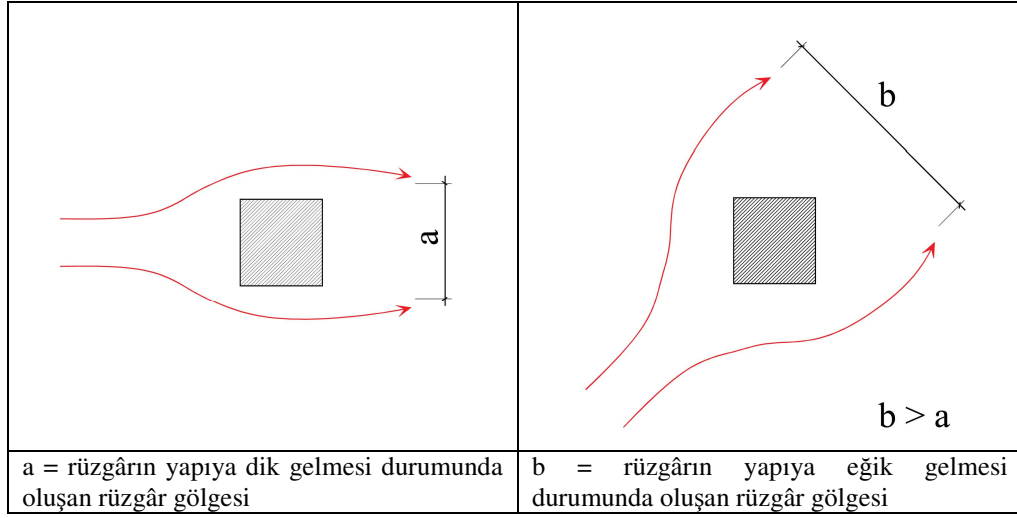


Şekil 4.6 Isı geçişleri (Önel, 1978)

Yapının yönlendirmesinde doğal havalandırma açısından etkin olan diğer özellik; bölgenin egemen rüzgâr yönüdür. Bölgesel iklim özelliklerine göre egemen rüzgâr yönü yaz ve kış dönemlerinde farklı olabilmektedir Yapının uzun ve yapı kabuğu boşlukları fazla olan cephesi etkin rüzgâr doğrultusu göz önüne alınarak tasarlandığı durumda, doğal havalandırma daha etkili bir şekilde sağlanacaktır (Sev ve Özgen, 2003).

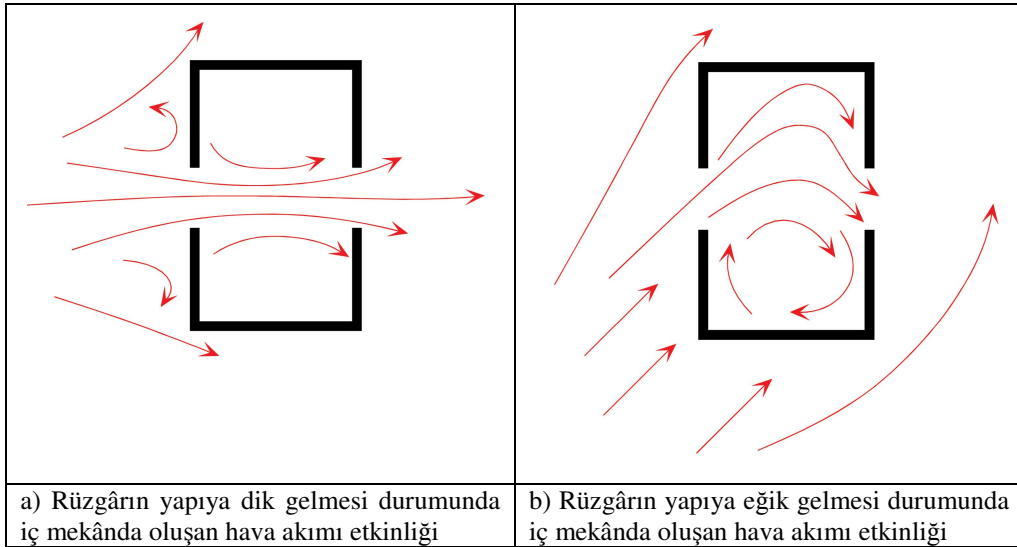
Rüzgâr yapıya eğik olarak geliyorsa rüzgâra karşı olan yapı köşesi ve bunun karşıtı olan köşeye doğru oluşan basınçta önemli bir azalma söz konusudur. Ayrıca yapıya 40°'lik açıyla gelmesi durumunda oluşan basınç, 90° ile geldiği durumda oluşan basınçtan küçüktür. Bu durumda rüzgâr gölgesi Şekil 4.7'de görüldüğü gibi büyür.





Şekil 4.7 Rüzgâr açısı ve oluşturduğu rüzgâr gölgesi (Özdeniz, 1979)

Yapının yönlendirilmesinde yapı kabuğunda oluşturulacak boşluklar egemen rüzgâr yönüne paralel bir şekilde düzenlenirse mekân içinde bir eksen üzerinde oluşan hava akımının hızı yüksek olsa da havalandırma etkili olmaz. Rüzgârın mekân içinde yön değiştirdiği durumda ortalama hava deviniminin hızı yüksek olur ve mekânın daha büyük bir alanında dolaşır (Zorer, 1992) (Bkz Şekil 4.8).

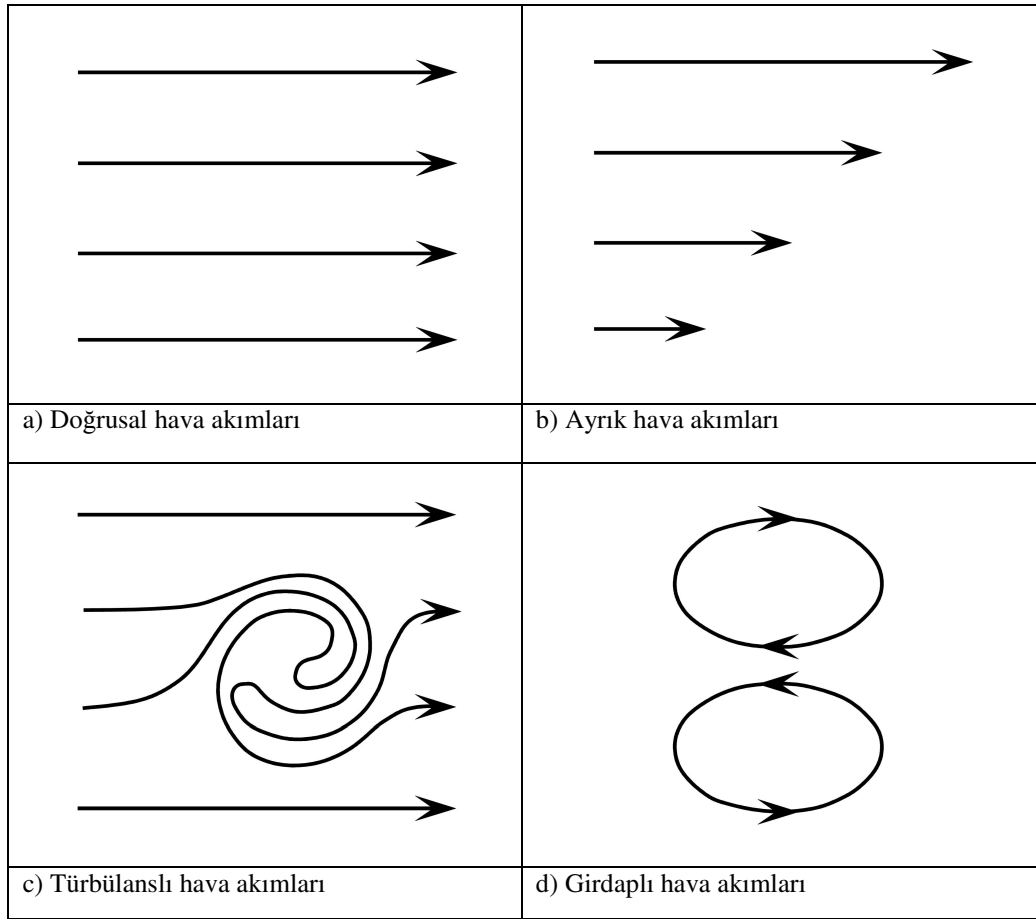


Şekil 4.8 Yönlenmeye bağlı olarak gelişen doğal havalandırma etkinliği

#### 4.1.1.3 Hava Hareketlerinin Doğal Havalandırmaya Etkisi

Hava hareketleri ısısal ya da dinamik kökenli basınç sistemi; dünyanın dönmesi ile oluşan “koriolis”, yeryüzü pürüzlülüğü ile oluşan “sürtünme”, düşey sıcaklık gradyanı (bayırgısı) nedeniyle oluşan “yüzdürme” ve havanın akışkanlığı ile bağlantılı “viskozite” kuvvetleri ile oluşmaktadır (Ok, 2005). Rüzgârlar temel olarak taşınım akımlarıdır. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi farklı düzeylerde ısıtması nedeniyle atmosferde oluşan sıcaklık ve basınç farkları hava akımlarını yaratır (Watt ve Wilson, 2007). Yeryüzüne gelen güneş enerjisinin yaklaşık %1 – %2’si rüzgâr enerjisine dönüşür (Yıldız, 2002).

Hava akımları dört farklı tipte şekillenir. Şekil 4.9’da bu akım tipleri görülmektedir.



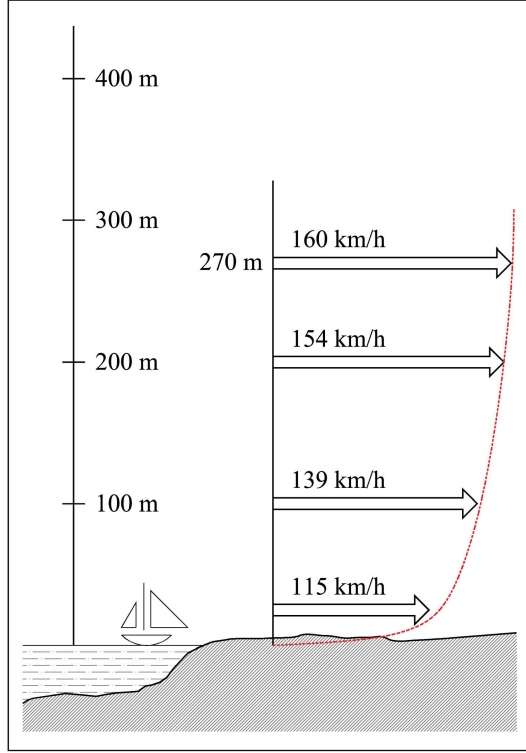
Şekil 4.9 Hava akımlarının türleri (Lechner, 2001)

Rüzgâr hızı, akımın olduğu atmosfer katmanının yeryüzüne olan uzaklığına göre değişmekte, yükseklikle birlikte rüzgâr hızı da Şekil 4.10’da görüldüğü gibi artmaktadır (Taranath, 1997). Bununla birlikte yeryüzü üzerinde oluşan hava hareketleri hızlarına göre Beaufort ölçeğinde Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 4.1 Beaufort ölçeğine göre rüzgâr hızları (Gemmel, 2006)

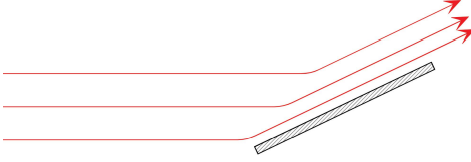
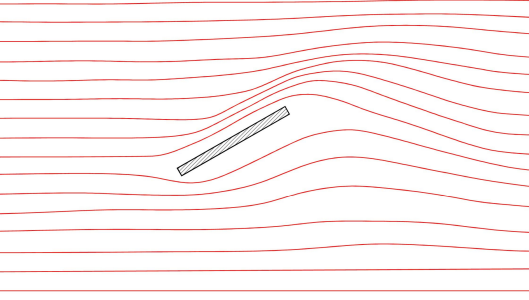
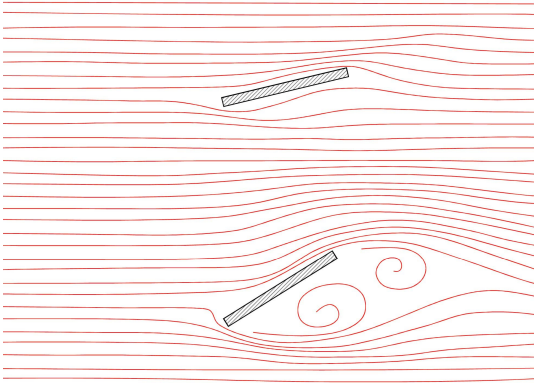
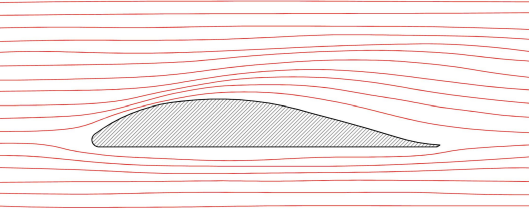
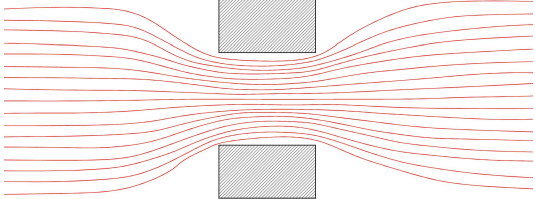
| Sınıflandırma | Fiziksel Tanımı      | Belirtisi                                                                     | Hızı (km/saat)     |
|---------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 0             | sakin                | Duman dikey olarak yükselir                                                   | 0 km/saat          |
| 1             | esinti               | Dumanın yönü rüzgârın yönünü gösterir.                                        | 1 - 5 km/saat      |
| 2             | hafif rüzgâr         | Rüzgâr yüzde hissedilir, yapraklar hışırdar.                                  | 6 - 11 km/saat     |
| 3             | rüzgâr               | Yapraklar ve ince dallar sürekli hareket eder, bayraklar dalgalanmaya başlar. | 12 - 19 km/saat    |
| 4             | orta şiddette rüzgâr | Toz ve kâğıt parçaları havalanır, küçük ağaç dalları hareket eder.            | 20 - 29 km/saat    |
| 5             | sert rüzgâr          | Küçük ağaçlar sallanır, su yüzeylerinde dalgalar oluşur.                      | 30 - 39 km/saat    |
| 6             | kuvvetli rüzgâr      | Ağaçların büyük dalları hareket eder, şemsiye kullanmak zorlaşır.             | 40 - 50 km/saat    |
| 7             | fırtınamsı rüzgâr    | Bütün ağaçlar sallanır ve rüzgâra karşı yürümek zorlaşır.                     | 51 - 61 km/saat    |
| 8             | hafif fırtına        | Ağaç dalları kırılır, rüzgâra karşı yürümek çok zordur.                       | 62 - 74 km/saat    |
| 9             | orta fırtına         | Bacalar ve çatı kiremitleri kopar.                                            | 75 - 87 km/saat    |
| 10            | şiddetli fırtına     | Ağaçlar köklerinden sökülür, yapılar zarar görür.                             | 88 - 101 km/saat   |
| 11            | çok şiddetli fırtına | Çok seyrek görülür, geniş ölçekli hasarlara neden olur.                       | 102 - 117 km/saat  |
| 12            | kasırga              | Toplu yıkım                                                                   | 118 - .... km/saat |

Rüzgârın yön, şiddet ve doğrultusu değişkendir. Rüzgârda oluşan bu değişme özelliğine sağnaklık adı verilir (Ok, 2005). Hava akımları her zaman yüksek basınç bölgesinden alçak basınç bölgesine doğru akar (Bkz Şekil 4.11a), bir engelle karşılaşp yönü değişinceye dek aynı yönde ilerler (Bkz Şekil 4.11b). Yerey üzerindeki toplam rüzgâr etkisi büyük olduğu durumda, hava akışı bir engelle bölgesel olarak saptırılsa bile tekrar eski yönüne ve hızına döner (Bkz Şekil 4.11c). Hava hareketinin hassas ve yavaş değiştirilmesi, hava akımının düzenini korurken ani değişimler, hava akımlarının girdaplı ve tahmin edilemeyen yönlerle ayrıldığı türbülanslı akımları oluşturur (Bkz Şekil 4.11d). Bir hava akımının hızı bitişik hava akımının hızına oranla artarsa bu hava akımının basıncı azalır. Uçak kanatları bu ilke ile havalanmaktadır. Buna Bernoulli etkisi adı verilir (Bkz Şekil 4.11e). Katmanlı hava akımı, bir açıklıktan geçmesi için sıkıştırıldığında hızı artar ve basıncı düşer. Bu duruma ise Venturi etkisi adı verilmektedir (Yaşa, 2004) (Bkz Şekil 4.11f).



Şekil 4.10 Yükseklikle birlikte artan rüzgâr hızı (Gandemer ve Guyot, 1976'dan uyarlama; Ok, 2005 s:71'deki alıntı)

Yapı içinde oluşacak hava hareketinin niteliği, yapı dışında etkili olan hava hareketinin özelliklerine bağlı olarak gelişir (Demirbilek ve Yılmaz, 1996). Birbirine paralel lifler şeklinde düzenli olarak gelen hava akımları, yapıların rüzgârı karşılayan (rüzgâr üstü) yüzeylerine çarptığı zaman pozitif basınç oluşturarak artı ya da itme kuvveti, arka yüzeylerinde (rüzgâr altı) ise negatif basınç ile eksi ya da emme etkisi oluşturur. Ortaya çıkan basınç farklılığı ile hava akımları pozitif bölgeden negatif bölgeye doğru hareketlenir. Yapıların rüzgâr üstü yüzeyinde hava molekülleri yüzeye çarptığı anda duracak, yüzeyi yalayıp yönünü değiştirecek, sonunda bu yüzeyden ayrılarak yan yüzeyleri izleyip yapı arkasına geçecek ya da yüzey üzerindeki boşluklardan yapı içine dolacaktır (Ok, 2005; Liddament, 2000). Yapının rüzgâr altı yüzeyinde oluşan emme etkisi ise içeri giren havanın dışarı emilmesine neden olur (Özteker, 2005). Ayrıca, negatif basınç bölgesi içinde oluşan farklı düzeylerdeki negatif basınç alanları arasında da bir akım gerçekleşir (Yaşa, 2004). Yapı içine dolacak hava miktarı; rüzgârın yapı yüzeyi ile oluşturduğu açı, rüzgârın hızı, yapı biçimine göre oluşan basınç bölgelerinin dağılımı ve kuvveti ile bağlantılıdır.

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| a) Yüksek basınçtan alçak basınca doğru akan hava                                   | b) Hava akımlarının sürekliliği                                                      |
|   |   |
| c) Hava akımının bir engelle karşılaştıktan sonra eski durumuna dönmesi             | d) Hava akımlarının ani olarak değiştirilmesi ve girdap oluşumu                      |
|  |  |
| e) Hava moleküllerinin hızlanmasıyla basınçta azalma – Bernoulli etkisi             | f) Hava moleküllerinin sıkışarak hızlanması ve basınçta azalma – Venturi etkisi      |

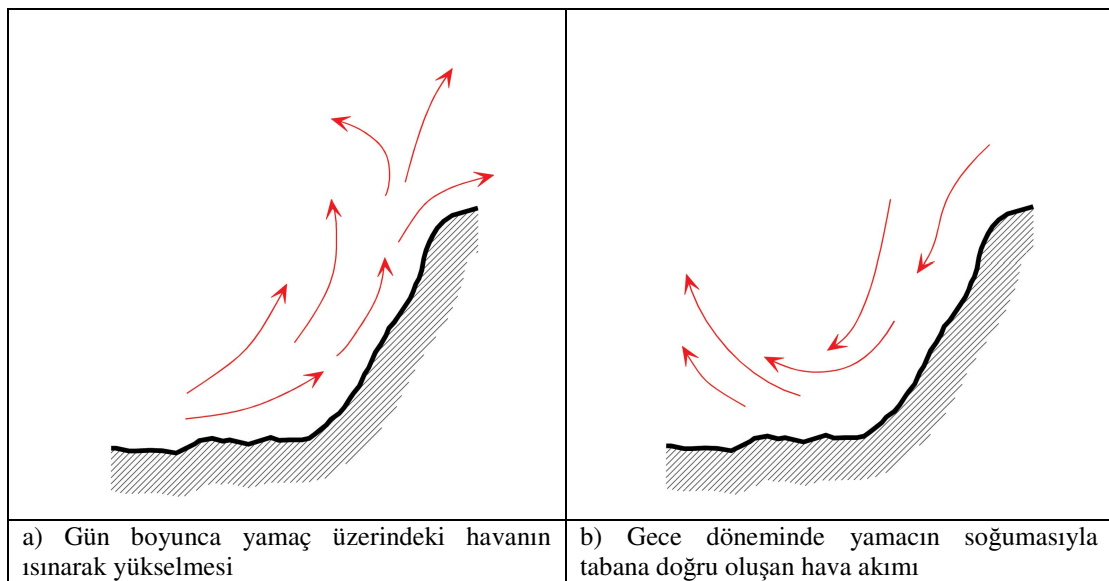
Şekil 4.11 Hava moleküllerinin davranışı (Yaşa, 2004)

#### 4.1.1.4 Topografyanın Doğal Havalandırmaya Etkisi

Yerey parçasının topografik özelliği ve deniz yüzeyinden yüksekliği, güneş ışıını ve hava hareketleri açısından önemlidir. Deniz yüzeyinden yükseldikçe güneş ışıınımlarının ısıtıcı etkisinde bir artış söz konusu olur. Bu artışın nedenleri; güneş ışıınlarının geçtiği atmosfer tabakasının incelmesi ve atmosfer koşullarının değişimidir (Özdeniz, 1979).

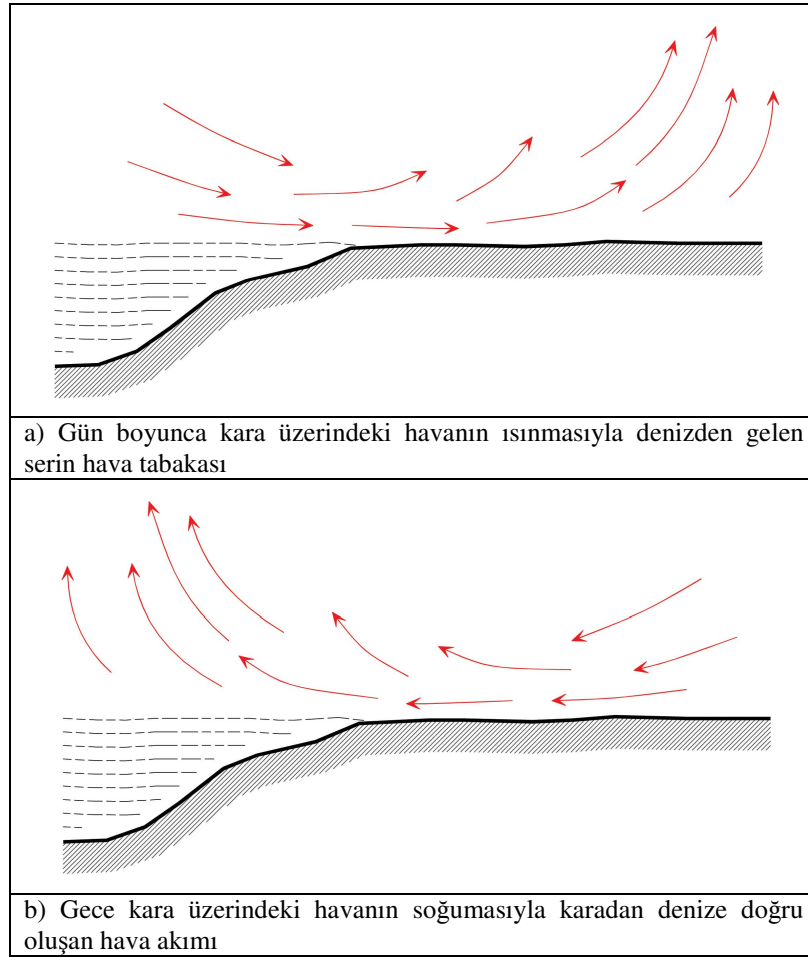
Topografik özelliklerin yeryüzündeki şekillenişine göre rüzgâr üzerinde çeşitli etkileri bulunur. Yerey parçasının topografyası egemen rüzgâr yönünü değiştirebilir, rüzgâr hızının artmasına ya da azalmasına neden olabilir, hatta yeni rüzgârların oluşmasını sağlayabilir (Bowen ve Yannas, 1985).

Yerey parçasının güneş ışıınımdan etkilenmesine göre rüzgâr oluşumu şekillenir. Güneş ışıını alan yerey parçası üzerindeki hava ısınarak yükselirken, güneş ışıını almayan parça üzerindeki hava soğuk kalır. Gün boyunca yamaçların eğimli yüzeyleri yamacın altındaki düzlük alanlara oranla daha çok güneş ışıını alır. Bu nedenle yamaç bölgelerindeki hava tabakası ısınarak yükselir. Yükselen hava tabakasının yerine alt düzlük alan üzerindeki soğuk hava tabakası geçer. Böylece gün boyunca yamaç tabanından tepeye doğru yönelen bir hava akımı oluşur. Gece ise yükseklikten ötürü tepeler ve yamaçların üst bölgeleri taban bölgelerine göre daha çabuk ısı yitirerek soğur. Taban üzerindeki hava sıcaklığı tepelere oranla daha yüksek olduğu için bu kez tepe üstlerinden taban yönünde bir hava akımı gerçekleşir (Erinç, 1996). Bu akımlar şematik olarak Şekil 4.12’de gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Yamaç rüzgârları (Watt ve Wilson, 2007’den uyarlama)

Deniz ya da göl kıyısında bulunan toprak parçalarında gün boyunca denizden karaya doğru karadaki hava sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta hava akımları oluşur. Bunun nedeni; kara parçasının güneş ışınımını su yüzeyine göre daha hızlı soğurmasıdır. Böylelikle kara parçası üzerindeki hava ısınarak yükselir. Yerini, su yüzeyi üzerindeki daha soğuk hava alır. Gece döneminde ise kara denizden daha çabuk ısı yitirerek soğur, böylece su üzerindeki daha sıcak hava tabakası yerini karadan gelen soğuk hava tabakasına bırakır (Atalay, 2005). Deniz ve kara arasında oluşan bu akımlar Şekil 4.13'te şematik olarak gösterilmektedir.

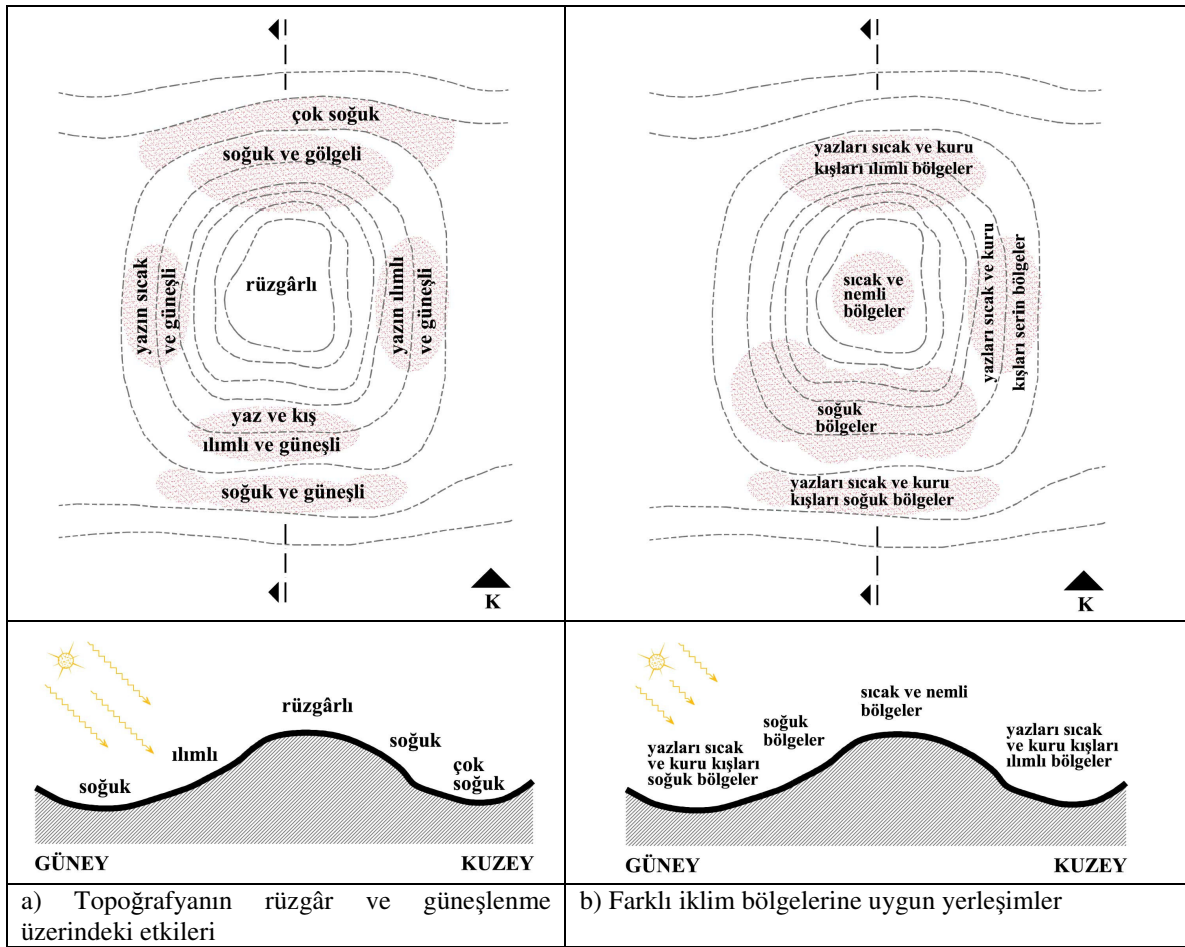


Şekil 4.13 Kara ve deniz meltemleri (Gemmell, 2006'dan uyarlama)

Eğimli bir bölge üzerindeki konumlanış, yerey parçasının eğimine göre farklı güneş ışınımı alması ve rüzgâr özellikleri oluşturması nedeniyle, bölgenin iklimine göre doğal havalandırmayı etkileyecektir. Yamaçların alt kısımlarını oluşturan eğimli yerey parçaları soğuk iklim bölgesi için uygun yerleşim alanlarıdır. Gece boyunca soğuyan hava taban bölgesine doğru hareketlenerek burada birikir. Tabanlarda soğuk hava gölleri oluşur. Buna karşın eğimli yüzey gün boyunca taban bölgesine oranla daha fazla gün ışığı alır. Ilıman –

nemli iklim bölgelerinde eğimli arazinin tepeye yakın noktaları rüzgârdan yararlandığı için uygundur. Ilıman – kuru iklim tipinde ise yamaçların alt bölgeleri daha uygun yerleşim alanlarıdır. Eğimli yerey parçasının bu kısmı egemen rüzgâra çok açık değildir ve güneş ışınlımlıyla oluşan hava akımları bu bölgede daha etkindir. Sıcak – nemli iklim bölgesinde egemen rüzgârdan yararlanmak için tepeler uygun alanlardır. Bu bölgeler yamaç yüzeyine göre düz olduğu için güneş ışınlımının aşırı ısıtıcı etkisi de önlenmiş olur. Sıcak – kuru iklim bölgelerinde gece döneminde soğuk hava göllerinin olduğu vadi tabanlarına yerleşmek, bu soğuk havadan yararlanmak açısından uygundur. Bu bölgeler de yamaçlara oranla daha az ışınlım alır (Oral, 2007; Akşit, 2005).

Şekil 4.14'te yereyin eğimi ile oluşan sıcaklık farkları ve bununla bağlantılı olarak farklı iklim tipleri için uygun yerleşim alanları belirtilmiştir.



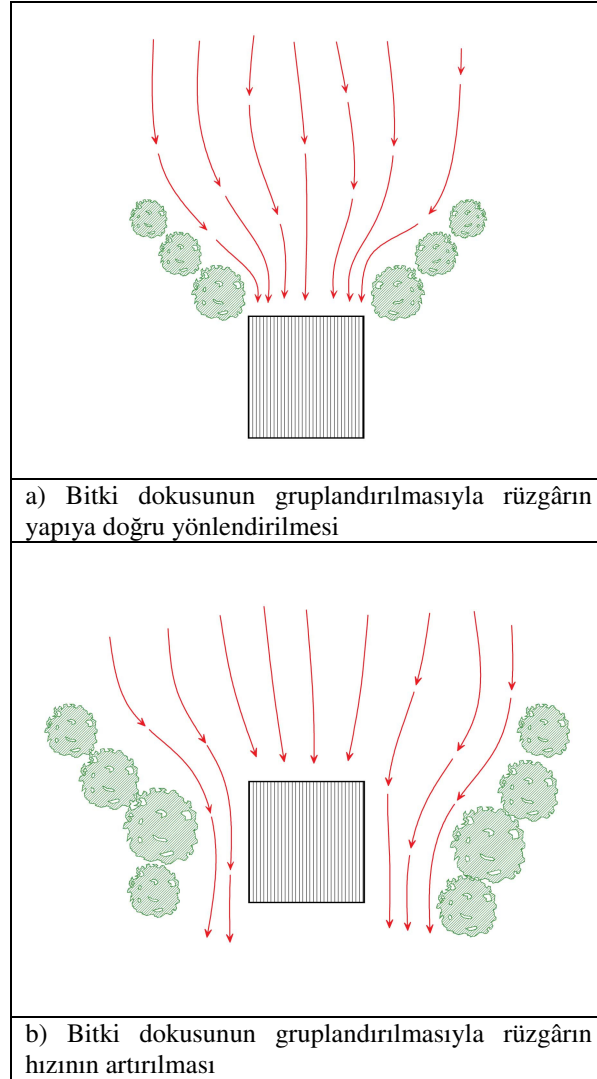
Şekil 4.14 Topoğrafyanın rüzgâr ve güneşlenme üzerindeki etkileri ve buna bağlı olarak farklı iklim bölgeleri için uygun yerleşimler (Lencher, 2001'den uyarlama)



#### 4.1.1.5 Yeşil Dokunun Doğal Havalandırmaya Etkisi

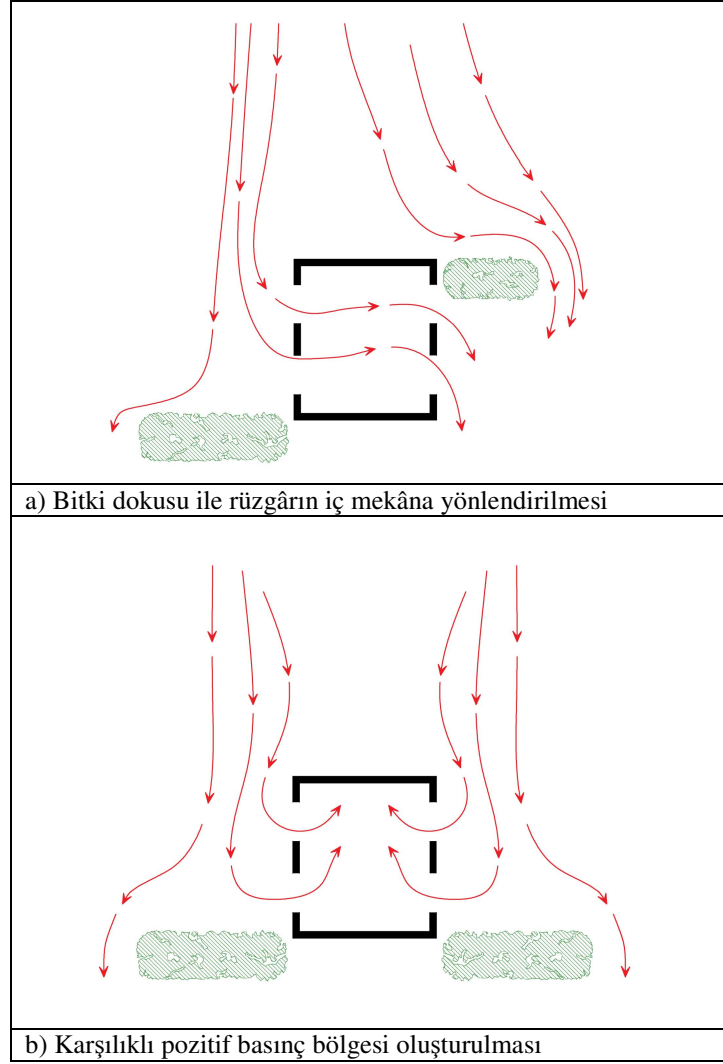
Yapı çevresinde tasarlanan yeşil dokunun doğal havalandırma için gerekli olan rüzgârın ve güneş ışınımının denetiminde büyük etkisi bulunur.

Oluşturulan yeşil dokuya bağlı olarak rüzgârın engellenmesi, rüzgârın yönlendirilmesi ya da hızının değiştirilmesi olasıdır (Çakır, 2003). Yeşil öğelerin gruplandırılması ve yapı çevresindeki konumları ile hava akımı yapıya doğru Şekil 4.15a’da görüldüğü gibi yönlendirilebilir. Düzenlemede bitki dokusunun yapıya olan uzaklığı önemlidir. Şekil 4.15b’de olduğu gibi yapıya yakın konumlandırılan ve yapı ile arasında bir koridor oluşturulan bitki dokusu ile hava akımının hızı artırılarak (Venturi etkisi) negatif basınç bölgeleri oluşturulabilir.



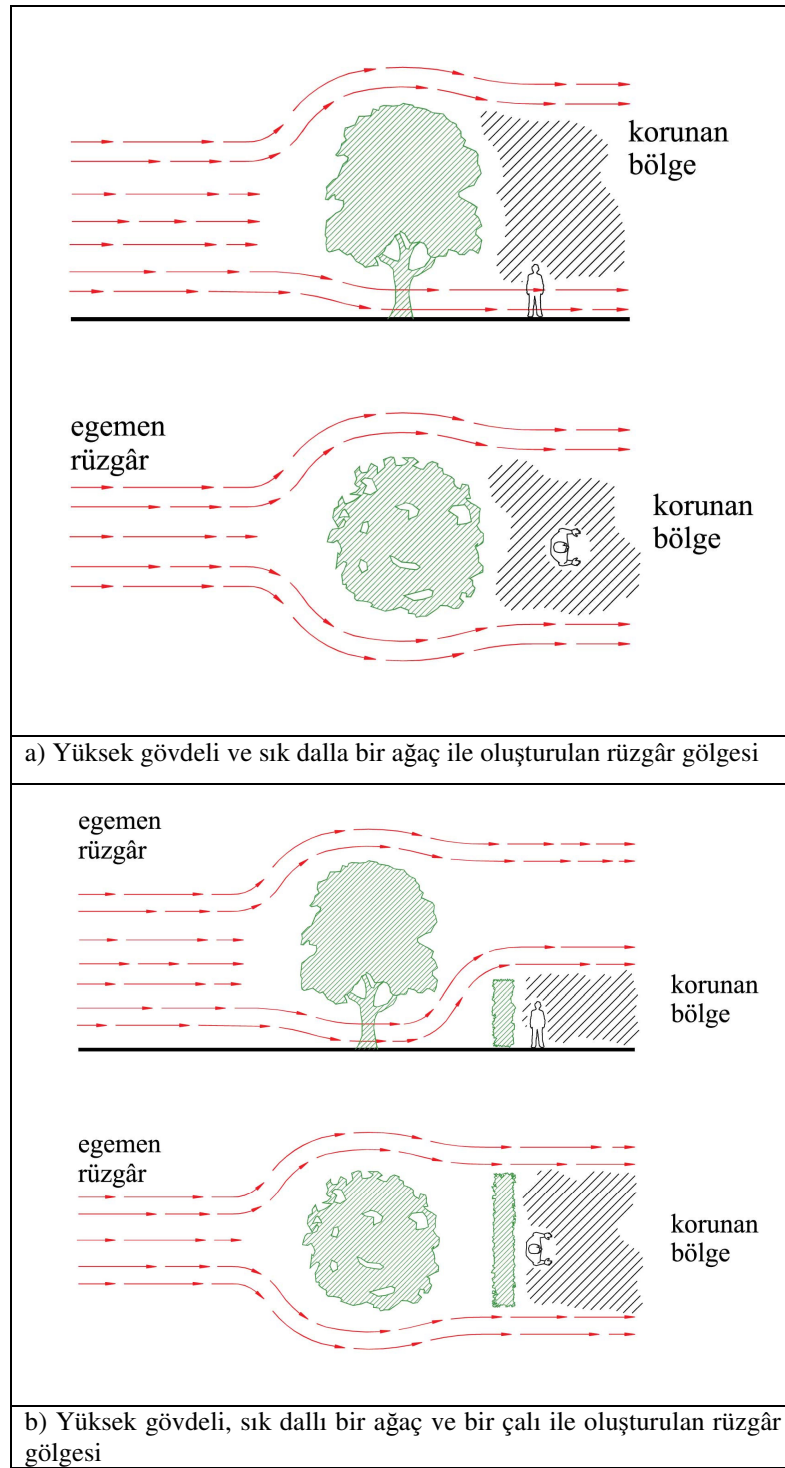
Şekil 4.15 Yeşil doku öğelerinin kullanımıyla rüzgârın yönlendirilmesi (Lencher, 2001’den uyarlama)

Yapı çevresinde düzenlenen, sık dalları ve yaprakları olan bitkilerin konumları ile rüzgâr iç mekâna yönlendirilebilir. Şekil 4.16a’da bu yöntemle oluşan çapraz havalandırma, Şekil 4.16b’de ise karşılıklı pozitif basınç alanlarının oluşturulması görülmektedir.



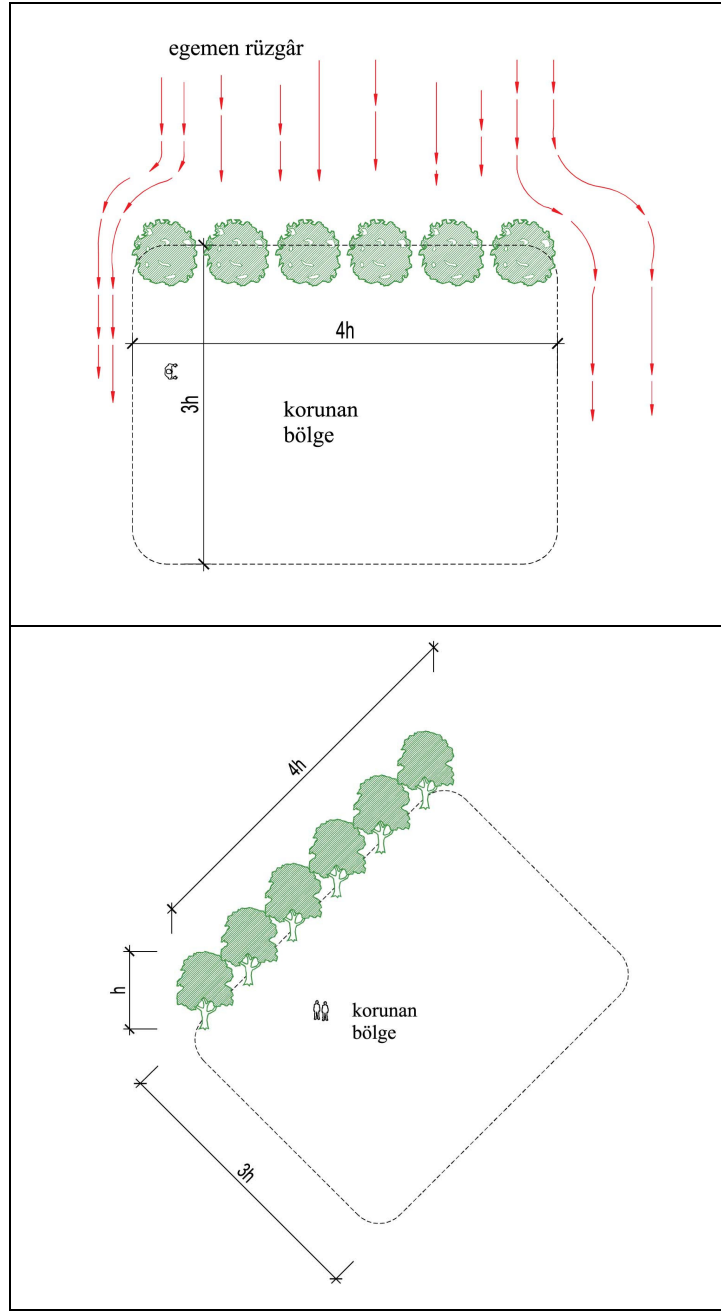
Şekil 4.16 Yeşil doku öğeleri ile havalandırmanın etkiliğinin artırılması (Santamouris, 1998’den uyarlama)

Yeşil doku rüzgârı yönlendirmek için düzenlenirken bitkilerin boyutlarına, gövde ve yaprak özelliklerine ve oluşturdukları rüzgâr gölgesinin boyutlarına dikkat edilmelidir. Uzun gövdeli ve sık dallı bir ağaç dalları ile rüzgârın yönünü değiştirirken, bu ağacın gövdesi rüzgâr geçişine engel olamaz. Bu duruma karşın sık dallı çalılıklar yer yüzeyinden belirli bir yüksekliğe kadar rüzgârı engelleyerek doğrultusunu değiştirir (Bkz Şekil 4.17) (Ürgenç, 2000).



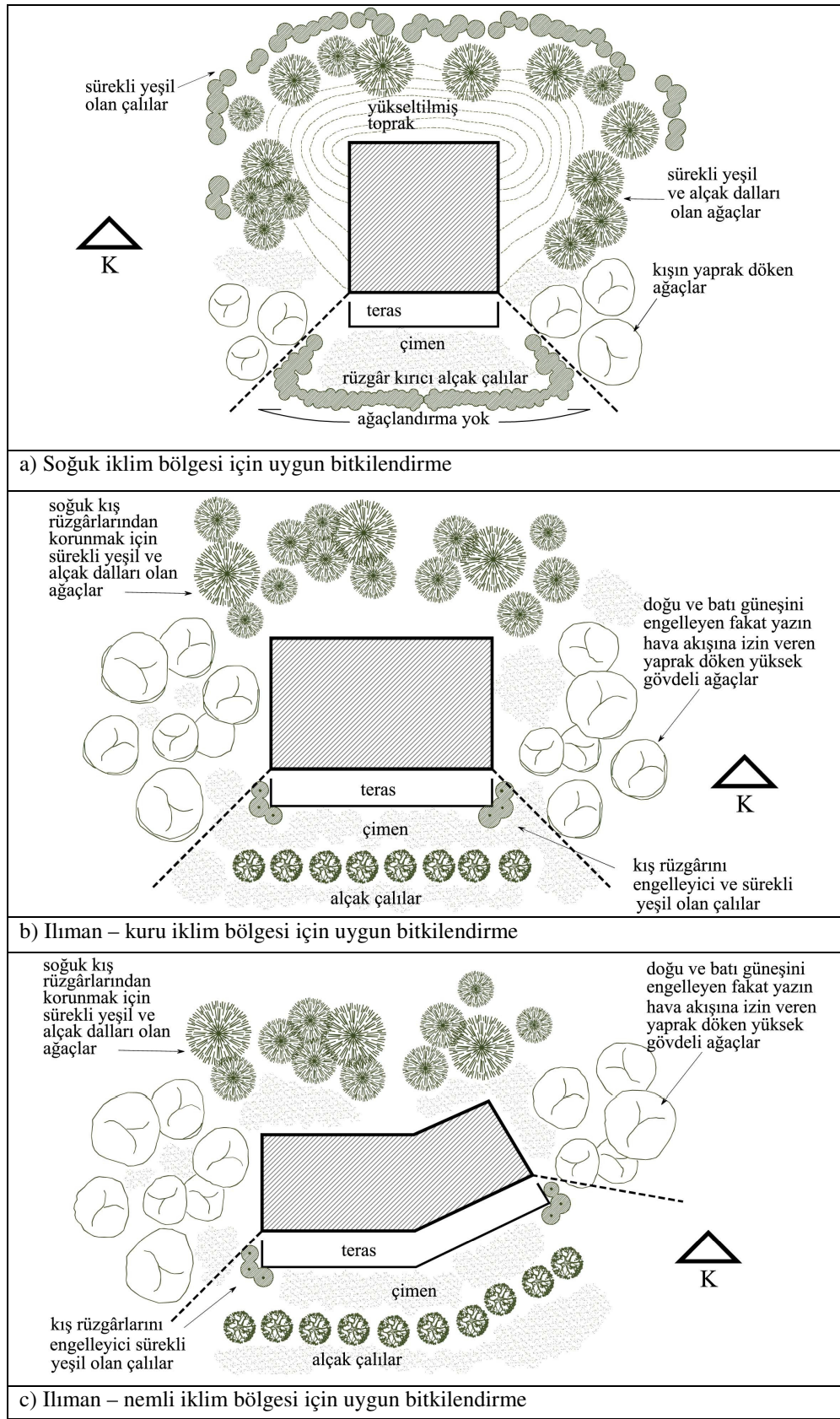
Şekil 4.17 Bitki dokusu çeşitlerinin rüzgâr gölgesine etkisi (Santamouris, 1998'den uyarlama)

Ağaçların gruplanmasında ağaçların yüksekliği ve uzunluğu oluşan rüzgâr gölgesinin boyutlarını etkileyecektir (Bkz Şekil 4.18).



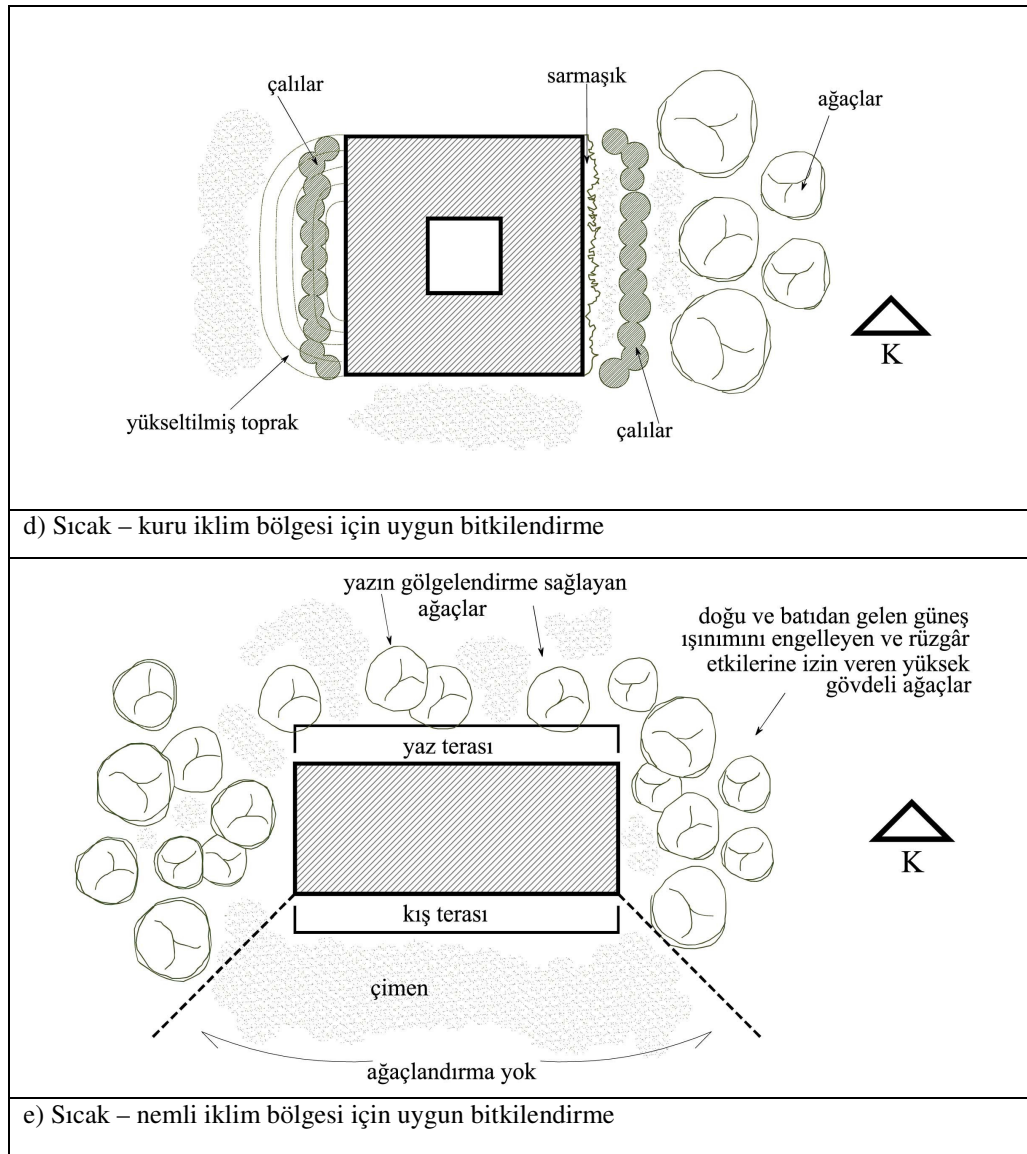
Şekil 4.18 Ağaçların fiziksel yapısı ile oluşan rüzgâr gölgesinin boyutları (Candill, 1954: Önel, 1978'den uyarlama)

Bölgesel iklim özelliklerine göre farklı ağaç ve bitki türleri, yapıların güneş ışığı almasında ve rüzgâr ile olan ilişkisinde etkilidir. Kuzey yönüne dikilecek iğne yapraklı ağaçlar ile yapı soğuk kış rüzgârlarına karşı korunur. Yapının güney yönüne dikilecek ağaçlar yaprağını döken nitelikte olursa yazın güneşin istenmeyen etkilerinden yapıyı korurken, kış döneminde yaprağını döktüğü için yapıya gelen güneş ışığını engellememiş olur (Çakmanus ve Böke, 2001). Şekil 4.19'daki gösterimlerde farklı iklim tiplerinin özelliklerine göre doğal havalandırmanın niteliğini iyileştirecek bitki kullanımı görülmektedir.



Şekil 4.19 İklim bölgelerine göre yapı çevresinde oluşturulacak bitki dokusu (Özdemir, 2005)





Şekil 4.19 İklim bölgelerine göre yapı çevresinde oluşturulacak bitki dokusu (devam)

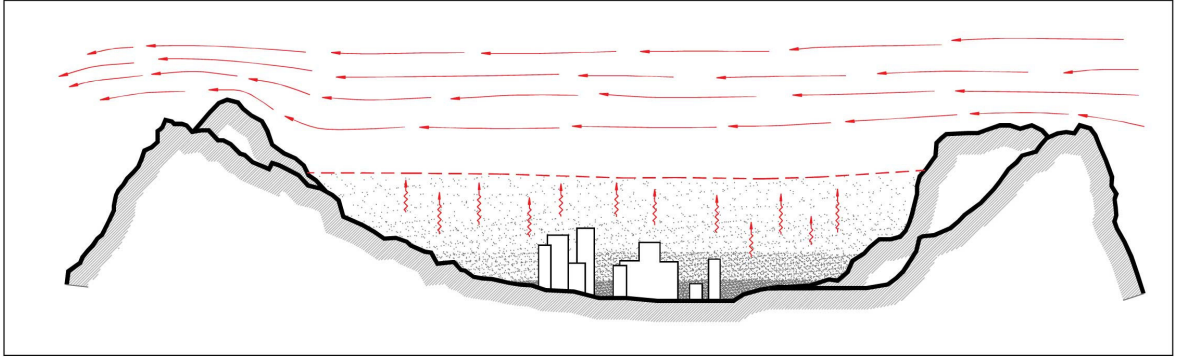
Yeşil doku içinden geçen havada içindeki karbondioksit emilirken, bitkilerin ürettiği oksijen havaya karışmaktadır. Özellikle büyük ağaçların arasından geçen hava akımının sıcaklığı düşer ve nem oranı artar. Bunun temel nedeni bitkilerin ortaya çıkardığı nemin buharlaşması ile yüzeyin ısı kaybetmesidir. Böylece yapraklar arasından geçen hava akımı da ısı kaybederek serinler (Özkan, 1999).

#### 4.1.2 Yapma Çevre – Doğal Havalandırma İlişkisi

Yapı içinde oluşturulacak doğal havalandırma açısından önemli olan yapma çevre etmenleri içinde kent planlamasının ve tasarlanacak yapının çevresindeki diğer yapıların doğal havalandırmaya etkisi bulunmaktadır (Asımgil, 2006).

#### 4.1.2.1 Kent Planlamasının Doğal Havalandırmaya Etkisi

Kent planlaması yapılırken kentin konumlanacağı yerey parçası özelliklerine göre yapıların çevresinde oluşacak hava akımları ve yapıların güneş ışıını alması etkilenecektir. Çanak biçiminde bir yerey parçası üzerinde planlanan kentteki yapı alanları çevreye göre çukurda kaldığı için egemen rüzgârdan yeterince yararlanamayacak, bu nedenle kent işlevleri ile kirlenen hava tabakası dağılmadan kent üzerinde birikecektir (Önel, 1978). Şekil 4.20’de bu durum gösterilmektedir.



Şekil 4.20 Çanak biçiminde yerleşim alanı ve kent üzerinde oluşturduğu hava kirliliği (Bowen ve Yannas, 1985’ten uyarlama)

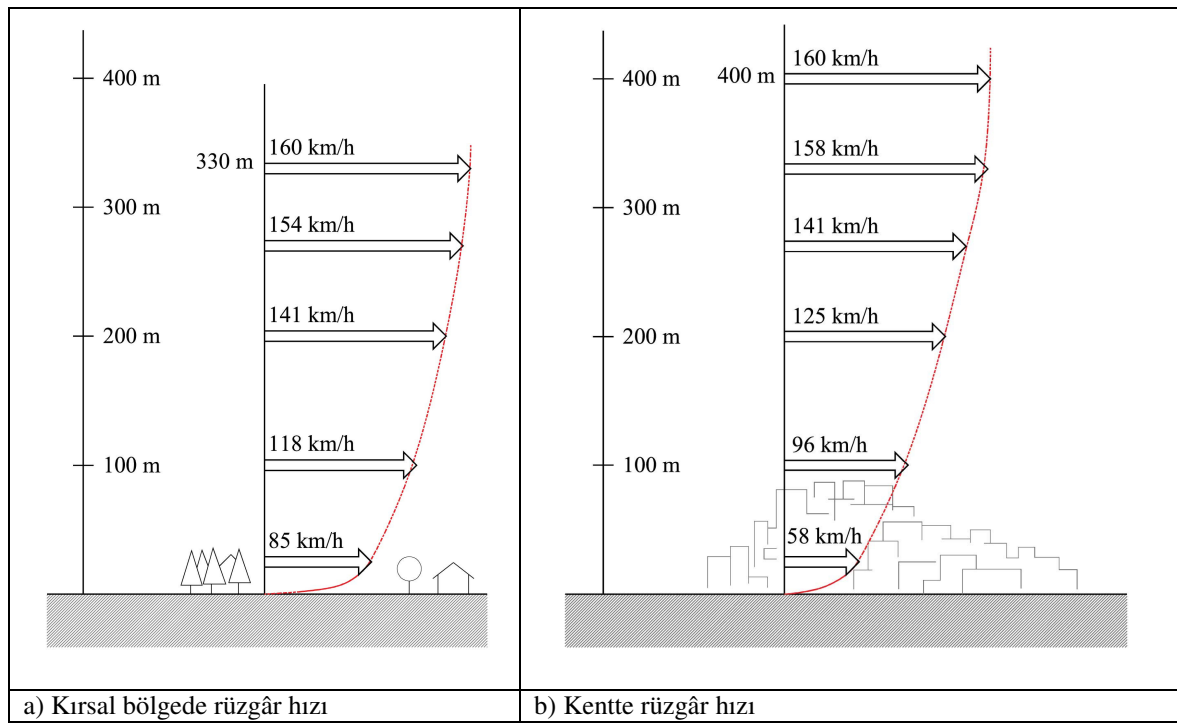
Kent işlevlerinin yerleştirilmesi ve birbiriyle olan ilişkisi doğal havalandırma açısından önemlidir. Endüstri alanları, çöp ve atık dökme bölgeleri, çok trafiği olan ana yollar gibi kent işlevleri atmosfer havasına kirlenici gazlar ve parçacıklar saldıdığı için sürekli kirlilik kaynaklarıdır (Oral, 2007). Bu nedenle bu işlevler; konut bölgeleri, eğitim ve sağlık yapıları yakınlarında düzenlenmemeli, yerleşim alanının seçiminde topografik özellikler göz önüne alınarak egemen rüzgârdan yaralanan yerey parçaları yeğlenmelidir.

Atmosferde oluşan hava akımları topografik özelliklere ve yeryüzü örtüsünün özelliklerine göre de şekillenmektedir (Zorer, 1992). Kent çevresindeki açık kırsal bölgede oluşan akım tipi ile kentte oluşan akım tipi arasında farklılıklar vardır. Rüzgâr hızı yükseklikle birlikte arttığı gibi kent ve kırsal bölgelerin yüzey özelliğine göre oluşan hız eğrisi değişmektedir (Bkz Şekil 4.21). Ayrıca; hava akımları kentsel alanlarda açık kırsal alanlardaki gibi düzgün olmaktan çıkıp burgaçlı ve girdaplı duruma geçmektedir (Ok, 2005).

Kent ve yakın çevresi arasındaki doku farklılığı, bu bölgelerin üzerindeki hava tabakalarının farklı şekilde ısınmasına neden olur. Yapılaşmanın olduğu kent bölgeleri, çevredeki kırsal bölgeye göre daha çok ısınır. Bu nedenle kent üzerinde ısınarak yükselen havanın yerini kırsal

bölgedeki soğuk hava alır, kırsal kesimden kente doğru hava akımları doğar. Aynı durum kent içinde oluşturulan yeşil dokular için de geçerlidir. Kent içi yeşil bölgelerdeki soğuk hava tabakası yapıların yoğun olduğu bölgelere doğru akar (Çakır, 2003; Zorer, 1992). Yapıların güneş ışımasını soğurma özelliğine göre kent yapıları arasında da hava akımları oluşur (Ok, 2005). Ayrıca, tasarlanan meydanlar çevresindeki yapılar da aynı ilke doğrultusunda farklı şekillerde ısınır. Böylece meydana gelen açık bölge ile çevre yapıları arasında da hava akımları ortaya çıkmaktadır.

Kent planlamasının tasarımında oluşturulan ana yolların büyüklüğü, çevresindeki yapılar için yönetmeliklerle belirlenen yükseklik ve genişlik oranları, ana yolların açıldığı kent meydanları ve ara yollar kent içindeki egemen rüzgârın dolaşımına, yönlenmesine ve hızına etki eder.



Şekil 4.21 Kentsel alan ve çevresindeki kırsal bölgede rüzgâr hızı (Gandemer ve Guyot, 1976; Ok, 2005)



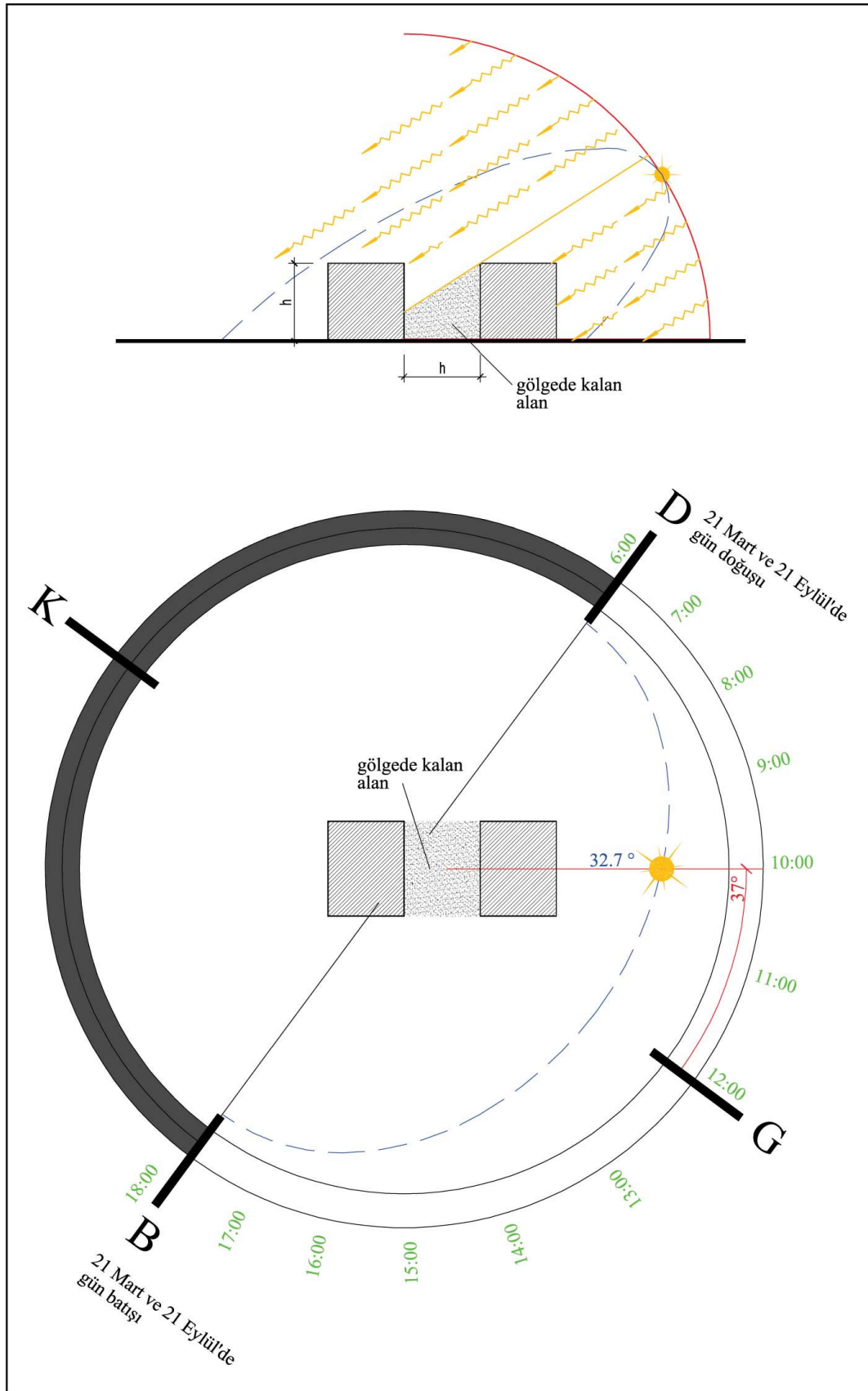
#### 4.1.2.2 Yakın Çevredeki Yapıların Doğal Havalandırmaya Etkisi

Yapıların birbiriyle olan ilişkileri ve konumlandırılışı, yapı içinde sağlanacak doğal havalandırma için önemli olan güneş ışıınımı ve rüzgâr basıncını etkiler. Bu nedenle yapılar arasında bırakılacak uzunluk, yapıların birbirine göre yükseklik oranları ve konumları önem kazanır (Oral, 2007; Demirbilek ve Yılmaz, 1996, Yılmaz, 2005).

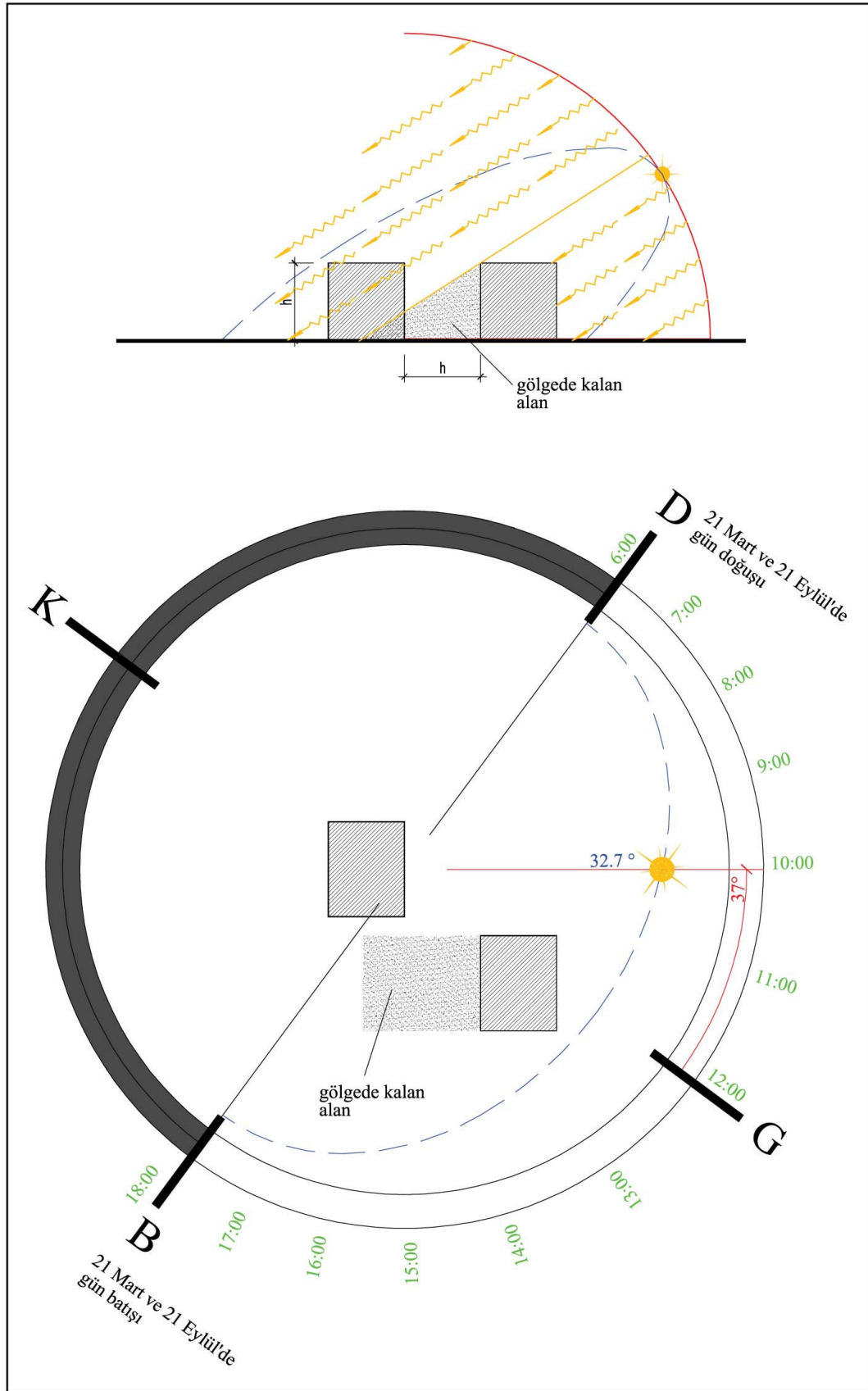
Güneş ışıınlarının her yapı yüzeyine uygun şekilde ulaşması için yapılar arasında bırakılacak boşluk ölçüleri, yapıların birbirine göre konumu ve yapı yükseklikleri önemlidir. Bu durum çeşitli mevsimlere ve iklim özelliklerine göre güneş ışıınımının dünya yüzeyine geliş açısına bağlı şekillenir (Zorer, 1992). Ayrıca, güneşin doğuşundan batışına kadar olan saatlerde güneş yüksekliğine bağlı olarak ışıınların yeryüzüne geliş açısı değişmektedir. Değişen açıya göre bir engelle karşılaşan güneş ışıınları gün boyunca engelin çevresinde boyutları değişecek gölgelenmiş bir alan oluşturur (Oral, 2007). Yapıların birbirine göre konumları ve boyutsal oranları, yapılardan birinin güneş alırken, diğerinin gölgede kalmasına neden olabilir. Gölgede kalan yapıların güneş ışıınımıyla oluşacak doğrudan ısı kazancı olmayacak, böyle yapılar ya da yapının gölgede kalan yüzeyleri yalnızca yaygın güneş ışıınımından etkilenecek, dolayısıyla yapı içinde oluşacak doğal havalandırmanın niteliği, cephesi hiç gölgelenmemiş başka bir yapıya oranla farklılık gösterecektir (Demirbilek ve Yılmaz, 1996). Şekil 4.22’de kuzey yarım kürede 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde saat 10:00’da yüksekliği  $h$  ve aralarında  $h$  kadar boşluk bulunan iki yapının güneşin geliş açısına göre birbiri üzerinde oluşturduğu gölgeli alan görülmektedir. Şekil 4.23’te aynı yapılar birbirine göre kaydırılmış biçimde konumlandırıldığında oluşan durum gösterilmiştir. Şekil 4.24’te yapılar arasındaki boşluk  $h/2$  alınarak oluşan gölgeli alan belirlenmiştir. Şekil 4.25’te ise boşluk  $2h$  uzunluğundadır.

Yapı dış çevresinde bulunan diğer yapıların birbirine göre konumlanışı yapılar arasındaki hava akımlarının hızını etkilemektedir (Oral, 2007). Rüzgâr bir engelle karşılaştığı durumda bu engelin boyutları ile değişen bir uzaklıktan sonra eski durumuna geri döner ya da yön değiştirir. Bu nedenle rüzgârı kesen çevre yapılar, bu yapıların yükseklikleri, bu yapılar ile söz konusu yapı arasındaki uzaklık ve konumlanışları hava hareketlerini etkileyecektir (Demirbilek ve Yılmaz, 1996).

Yapılar birbiri için rüzgâr gölgesi oluşturmayacak şekilde konumlandırılmalıdır (Zorer, 1992). Bu nedenle yapıların [iklim özellikleri de göz önünde bulundurularak] karşılıklı değil, birbirine göre kaydırılmış şekilde yerleştirilmesi her yapının egemen rüzgârdan yararlanma olasılığını artırır (Santamouris, 1998).

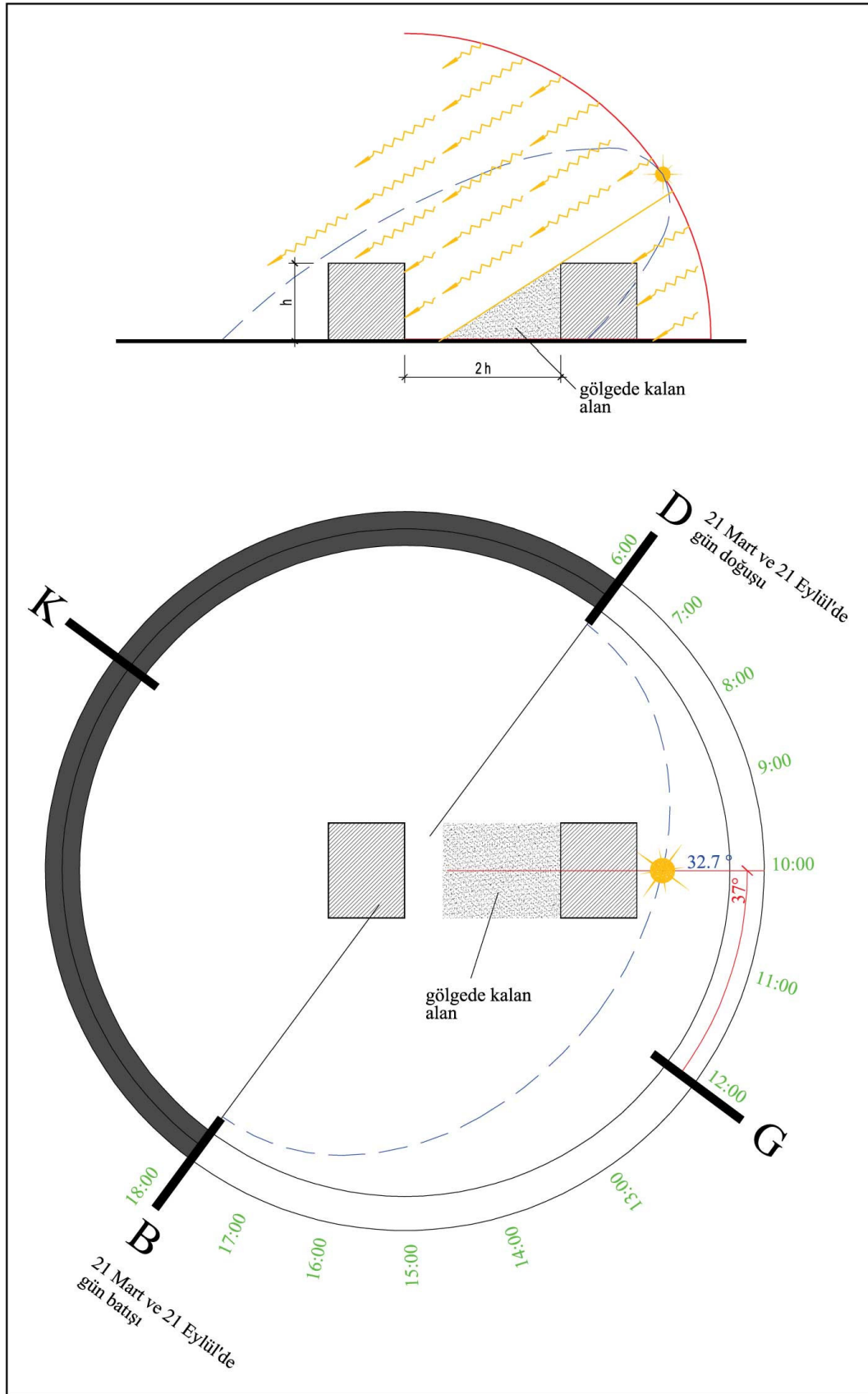


Şekil 4.22 İki yapının konumları ve biçimleri ile oluşan güneşlenme durumu 01



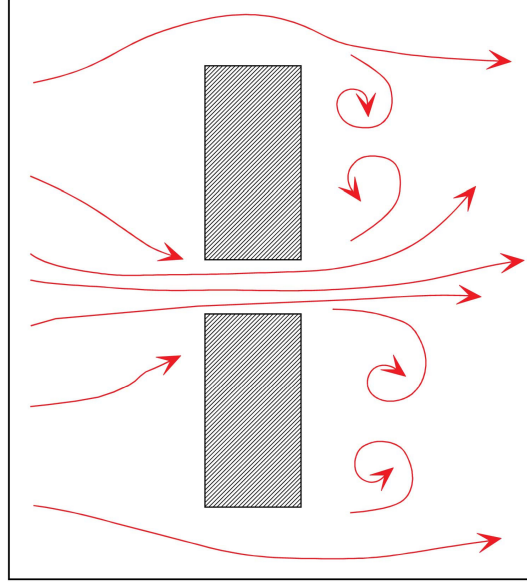
Şekil 4.23 İki yapının konumları ve biçimleri ile oluşan güneşlenme durumu 02

Şekil 4.24 İki yapının konumları ve biçimleri ile oluşan güneşlenme durumu 03



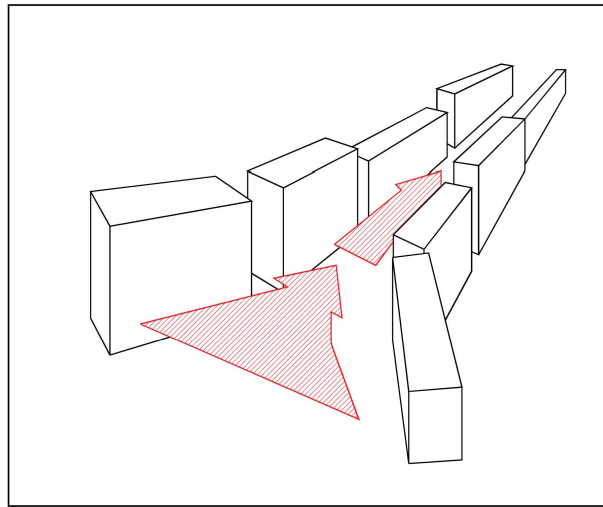
Şekil 4.25 İki yapının konumları ve biçimleri ile oluşan güneşlenme durumu 04

Yapı aralıkları azaldıkça bu aralıktan geçen rüzgâr hızlanır (Venturi etkisi). Artan rüzgâr hızı nedeniyle ara boşluktaki hava basınç düşerek yapıların bu boşluğa bakan yüzlerinde emme kuvveti oluşur (Oral, 2007; Zorer, 1992). Şekil 4.26’da bu durum gösterilmektedir.



Şekil 4.26 İki yapı arasında oluşan Venturi etkisi (Santamouris, 1998’den uyarlama)

Yapılar arasında kalan sokakların yönlenişi rüzgârın sokak doğrultusu ile yaptığı açı bakımından önemlidir. Sokak doğrultusuyla küçük açılar yaparak gelen hava akımları sokak tarafından yönlendirilerek hava koridorları oluşturur (Bkz Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Sokak boyunca oluşan rüzgâr koridoru (Gandemer ve Guyot, 1976; Yaşa, 2004)

Sokak doğrultusuyla büyük açılar oluşturan akımlar ise ( $90^\circ$ 'ye doğru) yapıların birbirine göre konum ve uzaklığı bakımından şu şekillerde davranır:

- Yapılar arasındaki uzaklık fazlaysa, rüzgâr karşısında birbirinden bağımsız engeller oluşturur. Birinci sıradaki yapı grubuna çarpan akım yükselir, yapıyı aşar ve tekrar zemin kotuna iner. Daha sonra ikinci yapı grubuna çarpar, tekrar yükselir ve bu yapıyı da aşar. Bu akımlara bağımsız pürüzlülük akımları adı verilir.
- Yapılar arasındaki uzaklık azsa, birinci sıradaki yapılara çarpan akım yükselir, yapıları aşar, tekrar zemin kotuna yönelir. Fakat zemine inmeden ikinci yapı grubuna çarpar, yeniden yükselir ve bu yapı grubunu da aşar. Bu akımlara girişim akımları denilmektedir.
- Yapı dizileri arasında uzaklık çok azsa, hava akımının ancak küçük bir bölümü yapılar arasına sızarak girdaplar oluşturur. Bu akımlara ise seken akımlar adı verilir (Yaşa, 2004). Bu son iki durumda özellikle sokaktaki yapıların yüksekliği fazla ve kent havası kirli ise yapılar arasında biriken kirli hava rüzgâr etkisi ile uzaklaştırılmaz (Bowen ve Yannas, 1985) (Bkz Şekil 4.28).

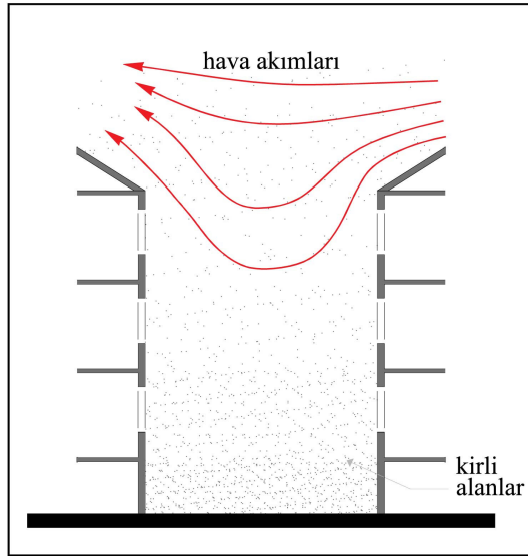
Yapıların bir meydan oluşturacak şekilde gruplandırılması durumunda hava akımı yapı grubu üzerinden meydan zeminine inmeden geçebilir ya da meydan zeminine iner. Bu durum

- Meydan alanına ( $m^2$  olarak)
- Meydanı çevreleyen yapıların ortalama yüksekliğine
- Rüzgâr yönündeki aralıkların boyutlarına ve konumlarına bağlıdır (Yaşa, 2004).

Yapıların birbirine göre konumları belirlenirken güneş ve rüzgârdan yararlanmada yöresel iklim özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece doğal havalandırma için gereken güneş ışıınımı ve rüzgâr etkileri etkin bir şekilde değerlendirilebilir.

Soğuk iklim bölgelerinde güneşten yararlanmayı engellemeyecek, buna karşın rüzgârın istenmeyen etkilerinden korunmayı ve doğal havalandırma için gerekli hava akımlarını yapı içine almayı sağlayacak yoğun bir doku uygundur (Oral, 2007; Akşit, 2005).

Ilıman – kuru iklim bölgelerinde soğuk dönemde güneş ışıınımlarından yararlanacak, rüzgârın soğutucu etkisini önleyecek; sıcak dönemde güneşin aşırı ısıtıcılığını engelleyecek ve rüzgârdan yararlanacak sıkışık yerleşim dokusu uygundur (Akşit, 2005). Ayrıca rüzgârın nemlenmesi yeşil doku ya da su yüzeyleri ile sağlanabilir.

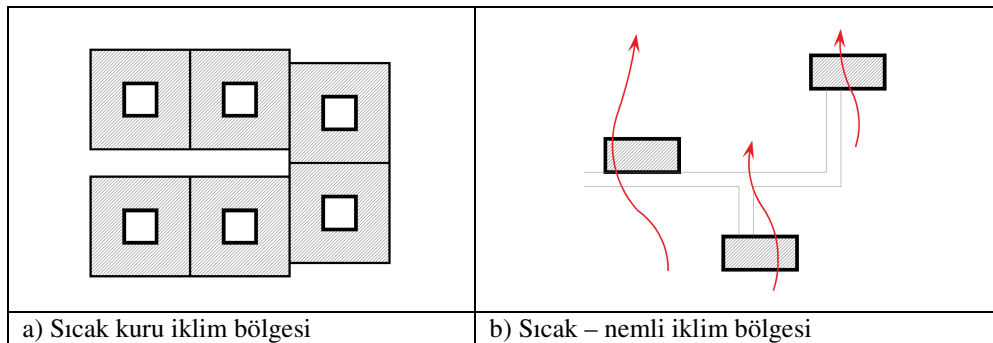


Şekil 4.28 Dar sokak dokusu içinde oluşan hava kirliliği (Bowen ve Yannas, 1985’den uyarlama)

Ilıman – nemli iklim bölgesinde sıcak dönemde egemen rüzgârdan olabildiğince yararlanacak, güneşin aşırı ısısından korunacak; soğuk dönemde ise güneşten yararlanarak rüzgârın soğuk etkisinden korunacak yerleşme dokusu olmalıdır (Oral, 2007; Akşit, 2005).

Sıcak – kuru iklim bölgesinde güneş ışınımının olumsuz etkisinden korunacak ve rüzgârın toz taşıma özelliği göz önüne alınarak nemlendirilebilecek su öğeleri olan az katlı, sıkışık bir doku uygundur (Akşit, 2005; Oral, 2007). Şekil 4.29a’da bu doku şematik olarak gösterilmektedir.

Sıcak – nemli iklim bölgesinde yerleşme dokusu rüzgârın olabildiğince alınmasını ve güneşin olumsuz etkilerinden korunmayı sağlayacak biçimde seyrek olarak tasarlanmalıdır (Akşit, 2005; Oral, 2007). Şekil 4.29b’de bu doku şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.29 İklim bölgelerine göre uygun yapılaşma (Oral ve Manioğlu, 2005)



## 4.2 Yapı Özellikleri – Doğal Havalandırma İlişkisi

Yapı çeşitli özellikleri ile doğal havalandırmanın oluşmasını sağlayan hava hareketlerini ve güneş ışınımını etkilemektedir. Ayrıca yapının plan şemasında mekânların konumlandırılması ve oluşturulacak bazı özel düzenlemelerle doğal havalandırma daha etkili duruma getirilebilir.

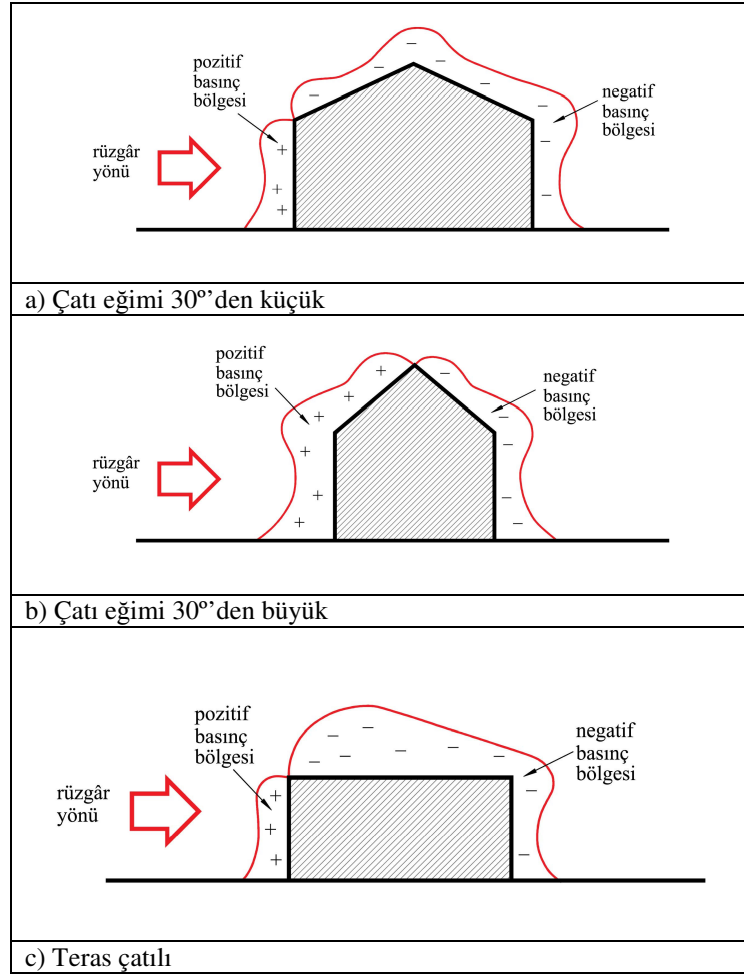
### 4.2.1 Yapı Biçiminin Doğal Havalandırmaya Etkisi

Yapı biçimi plandaki yapı uzunluğunun yapı derinliğine oranı, yapı yüksekliği, üst örtü türü, üst örtünün eğimi, cephelerin eğimi gibi yapıya ilişkin geometrik özelliklerle tanımlanabilir (Oral, 2007). Bu özellikler doğal havalandırmanın sağlanmasında önemlidir (Asımgil, 2006).

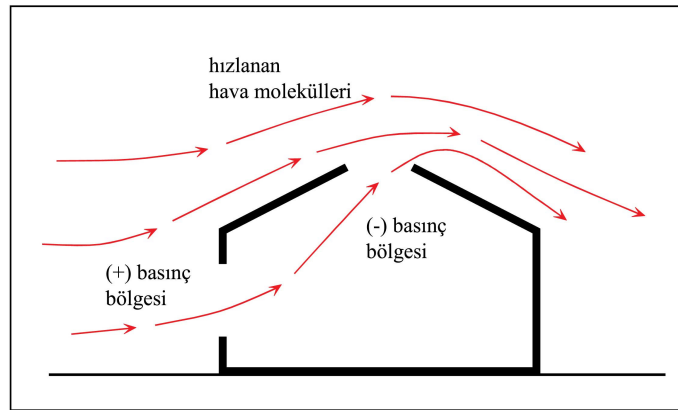
Yapı çevresinde etkili olan hava akımlarının hızı, oluşturduğu basınç bölgelerinin etki düzeyi ve dağılımı yapı biçimini oluşturan yukarıdaki özelliklerden etkilenmektedir (Lencher, 2001). Bir hava hareketi yapıya çarptığı zaman yapı yüzeylerinde farklı basınç bölgeleri oluşturur. Yapının rüzgâr üstü cephesinde itme kuvveti uygulayan pozitif basınç oluşurken, rüzgâr altı cephesinde emme etkisi ortaya çıkaran negatif basınç oluşur. Pozitif basınç bölgesinde kabuktaki boşluklardan yapı içine giren hava akımı negatif basınç bölgesinden yapı dışına doğru emilir. Yapının tüm dış yüzeylerinin özellikleri bu basınç bölgelerinin dağılımını ve etki düzeylerini belirler (Santamouris, 1998). Şekil 4.30a'da çatı eğimi 30°'den az olan yapılarda; Şekil 4.30b'de çatı eğimi 30°'nin üzerinde olan yapılarda ve Şekil 4.30c'de düz çatılı yapılarda oluşan rüzgâr basınç bölgeleri gösterilmektedir.

Akışkan hava moleküllerinin hızının artmasıyla moleküllerin basıncında azalma olur. (Bernoulli Etkisi) Bu ilkeye göre hızları artan hava moleküllerinin ortaya çıkardığı negatif basınç bölgelerinde oluşturulacak kabuk boşlukları doğal havalandırmanın sağlanmasında etkili olabilir (Çakır, 2003) (Bkz Şekil 4.31).

Bir yapıya gelen rüzgârın hızı yerden yukarı doğru yükseklikle artar. Dikdörtgenler prizması biçimindeki yapıların yüksekliği arttıkça rüzgâra açık olan yüzey alanı fazlalaşır (Burberry, 1983). Yapı yüzüne çarpan hava molekülleri birbirinden ayrılarak zemine, çatıya ve yapının yan yüzlerine doğru hareket eder. Kopan ve yön değiştiren bu moleküller arkadan gelen yeni moleküller tarafından sıkıştırılarak hızlanır. Böylece yapının rüzgâr üstü cephesinde birbirinden farklı basınç alanları oluşur (ASHRAE, 1997b). Şekil 4.32a'da görüldüğü gibi rüzgârın yapı cephesine çarptığı noktada pozitif, zemine ve çatıya doğru yön değiştirdiği noktalarda negatif basınç alanları ortaya çıkmaktadır.



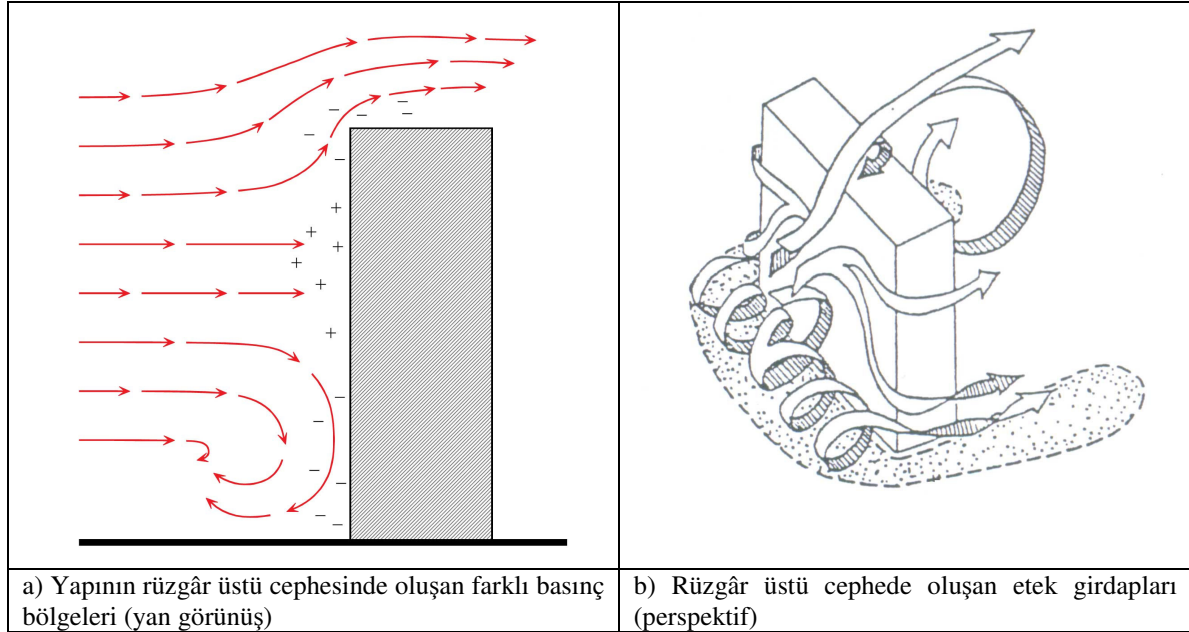
Şekil 4.30 Yapı biçimine göre oluşan basınç bölgeleri (Özteker, 2005'ten uyarlama)



Şekil 4.31 Bernoulli etkisi ile oluşturulan havalandırma (Lencher, 2001'den uyarlama)

Birbirinden ayrılarak yön değiştiren bu akımlardan zemine doğru ilerleyenler yer yüzeyine ulaşmadan önce yapı cephesinden ayrılarak yüzeye yakın kısımlarda yüksek hızlı girdaplar oluşturur (AHSRAE, 1997b). Zemine doğru oluşan bu etkiye etek girdabı adı verilir. Şekil

4.32b’de etek girdapları görülmektedir. Yapının rüzgâr alan cephesini boyunca zemine yakın kısımlarda oluşan girdaplar yapının yan yüzeylerine doğru döner ve daha düşük düzeyde basınçlar oluşturarak yapı arkasına doğru ilerler (Yaşa, 2004).

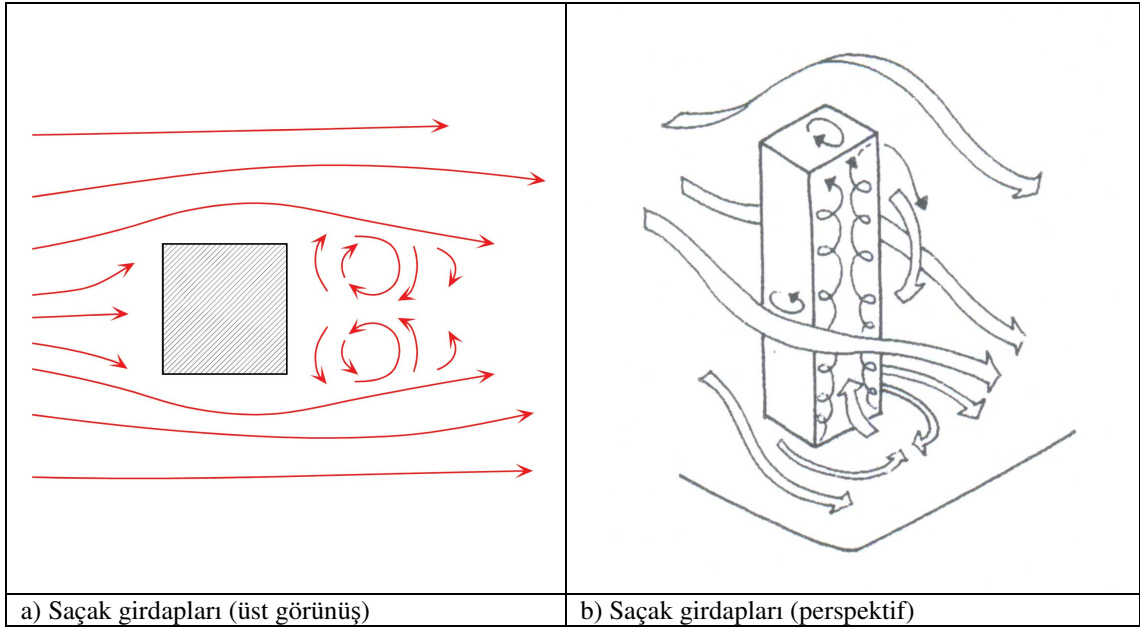


Şekil 4.32 Aynı cephe üzerinde oluşan farklı basınç bölgeleri ve etek girdapları (Burberly, 1983’ten uyarlama; ASHRAE, 1997b)

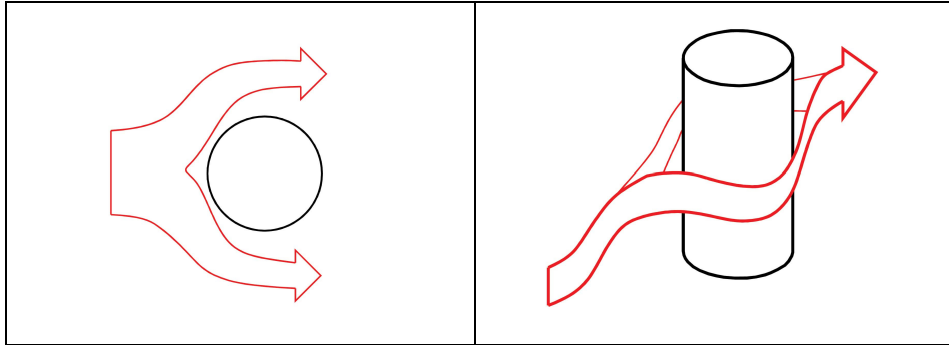
Rüzgâr yapının arkasına geçtiği zaman oluşan emme etkisinin ana rüzgâr akımından kopardığı küçük akımlar yapı yüzeyinde etkili olan burgaçlar oluşturur (Zorer, 1992). Bu akımlara saçak girdapları adı verilir (Bkz Şekil 4.33) (Ok, 2005). Saçak girdaplarının etki alanı ve yapının arkasında oluşan rüzgâr gölgesinin boyutları yapı yüksekliği ile orantılıdır (Çakır, 2003).

Dairesel ya da daireye yakın planlı yapılarda rüzgârın yapıya çarpmasıyla hava akımı ayrılarak yapının yan taraflarından arkasına doğru ilerler. Bu yapılar dikdörtgen planlı yapılarda olduğu gibi dikey akımlar yerine güçlü yanal akımlar oluşturur (Yaşa, 2004) (Bkz Şekil 4.34).

Yapının yüksekliği arttıkça yapı içindeki merdiven kovası, asansör boşluğu ya da şaftların yüksekliği de artacaktır. Rüzgâr hızının az oldu dönemlerde bu bölümler güçlü baca etkisi oluşturmak için kullanılabilir (Çakır, 2003).



Şekil 4.33 Saçak girdapları (Zorer, 1992'den uyarılma; Gandemer ve Guyot, 1976: Ok, 2005)

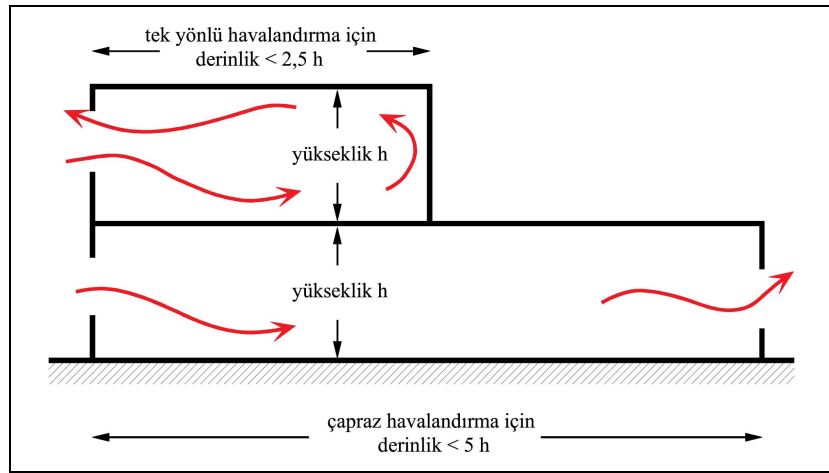


Şekil 4.34 Rüzgârın dairesel planlı yapılara etkisi (Gandemer ve Guyot, 1976: Yaşa, 2004)

Yapı derinliği özellikle yapının rüzgâr alan cephesi ve karşı cephesi arasında oluşacak çapraz havalandırma açısından ya da yapının yalnızca tek bir yüzü rüzgâr cephesine açıksa oluşacak tek taraflı havalandırmanın etki düzeyi bakımından önemlidir (Çakır, 2003). Şekil 4.35'te yapı yüksekliği ile bağlantılı olarak havalandırmanın etkin olabilmesi için gerekli derinlik ölçülerinin sınırları gösterilmektedir.

Yapının düşey yüzleri güneşin geliş açısına bağlı olarak kış döneminde yatay yüzlerle oranla daha çok güneş ışığı alır. Bunun tersi olarak yapının yatay yüzlerine yaz döneminde düşey yüzlerle oranla daha çok güneş ışığı ulaşmaktadır (Zorer, 1992). Ayrıca yapının biçimi, içinde bulunduğu iklim bölgesinin özelliklerine uygun olmalıdır. Geleneksel yapı örneklerinde:

- Soğuk iklim bölgelerinde enerji kaybeden yüzey alanını azaltmak için kapalı biçimler,
- Sıcak – kuru iklim bölgesinde gereksiz ısı kazançlarını azaltmak, gölgeli ve serin yaşama alanları elde etmek için kapalı ve avlulu yapılar,
- Sıcak – nemli iklim bölgelerinde çapraz havalandırmaya olanak veren uzun cephesi egemen rüzgâr doğrultusuna yönlendirilmiş ince – uzun yapılar görülmektedir (Yılmaz, 2005).



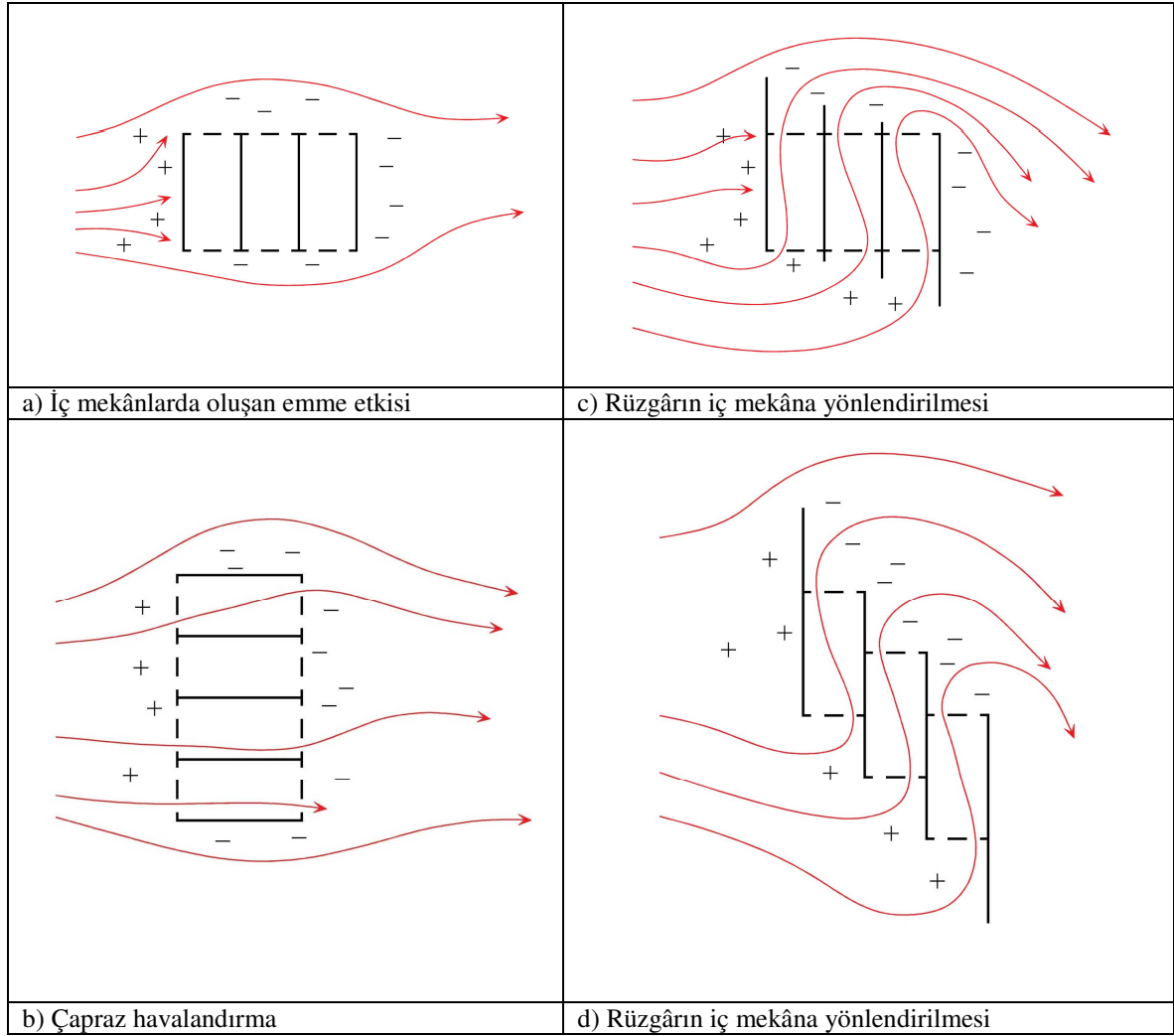
Şekil 4.35 Tek yönlü ve çapraz havalandırma için derinlik ve yükseklik oranı (Liddament, 2000)

#### 4.2.2 Planlamanın Doğal Havalandırmaya Etkisi

Yapının mekân organizasyonu oluşturulurken yönlenebilir olarak egemen rüzgâr yönü ve güneşlenme göz önüne alınmalıdır. (Yılmaz, 2005)

Yapı çevresinde rüzgâr etkisi ile oluşan farklı basınç bölgeleri değerlendirilmelidir. Buna göre mekânların yapı içindeki konumunun düzenlenmesinde ve yapı cephesinde oluşturulacak çözümlerle basınç bölgeleri kullanılarak rüzgâr yapı içine alınabilir (Arens ve Watanabe, 1986). Şekil 4.36'da bu durumun değişik örnekleri görülmektedir.

Mekânların yapıdaki konumu bu bölgelerin dış çevre ile olan ilişkisini belirler. Örneğin mekân yapının köşesinde ise iki dış cephesi, yapının ortasında konumlandırıldıysa tek dış cephesi olacaktır (Demirbilek ve Yılmaz, 1996). Bu nedenle tasarım aşamasında plan şeması oluşturulurken her bir mekânın işlevi ile ilişkili olarak konumlandırılması önem kazanır.



Şekil 4.36 Planlamanın havalandırmaya etkisi (Çakır, 2003)

Tüm mekânlar için en az bir hava giriş ve çıkış boşluğu oluşturulmalıdır (Sev ve Özgen, 2003). Bir iç mekânda hava giriş ve çıkış noktaları arasında doğrusal bir aks olmaması ve hava giriş noktasının etkin rüzgâr yönünde bulunmaması durumunda mekân içinde etkili bir havalandırma sağlanamamaktadır. Bu durumun tersine hava giriş ve çıkış noktaları karşılıklı ise ve giriş noktası etkin rüzgâr yönüyle  $\pm 45^\circ$  arasında açı oluşturacak şekilde yerleştirilmiş ise mekân içinde etkili bir hava akımı oluşur (Sev ve Özgen, 2003). İç mekânda dış çevreyle bağlantıyı sağlayan tek boşluk oluşturulmuşsa ya da rüzgâr almayan cephede birden fazla boşluk bulunuyorsa iç mekândaki hava devinimi dış ortamdaki rüzgâr hızının %10 – 15'i, iç mekândaki boşluklardan birisinin rüzgâr alan cephede, diğerinin ise karşı cephede oluşturulması durumunda ise hava devinimi dış rüzgâr hızının %30 – 50'i oranında gerçekleşir. Bu oranlar aynı zamanda boşluk boyutlarına ve rüzgârın geliş açısına bağlıdır.

(Zorer, 1992).

Çapraz havalandırma yapı içine giren ve dışarı çıkan hava akımı için kullanım mekânından geçen açıkça belirlenmiş ve üzerinde engeller olmayan bir yol oluşturmaya dayanır (Liddament, 2000). Hava akımı iç mekâna girdikten sonra farklı bir basınç ile karşılaşınca kadar ilk yönünde devam etme eğilimindedir (Sev ve Özgen, 2003). İyi bir çapraz havalandırma sağlanması için mekân bölüntüsüz olmalıdır (Liddament, 2000). Bu nedenle hava hareketini engelleyecek bölmeler ve donanımlar hava yolu göz önüne alınarak yerleştirilmelidir (Santamouris, 1998).

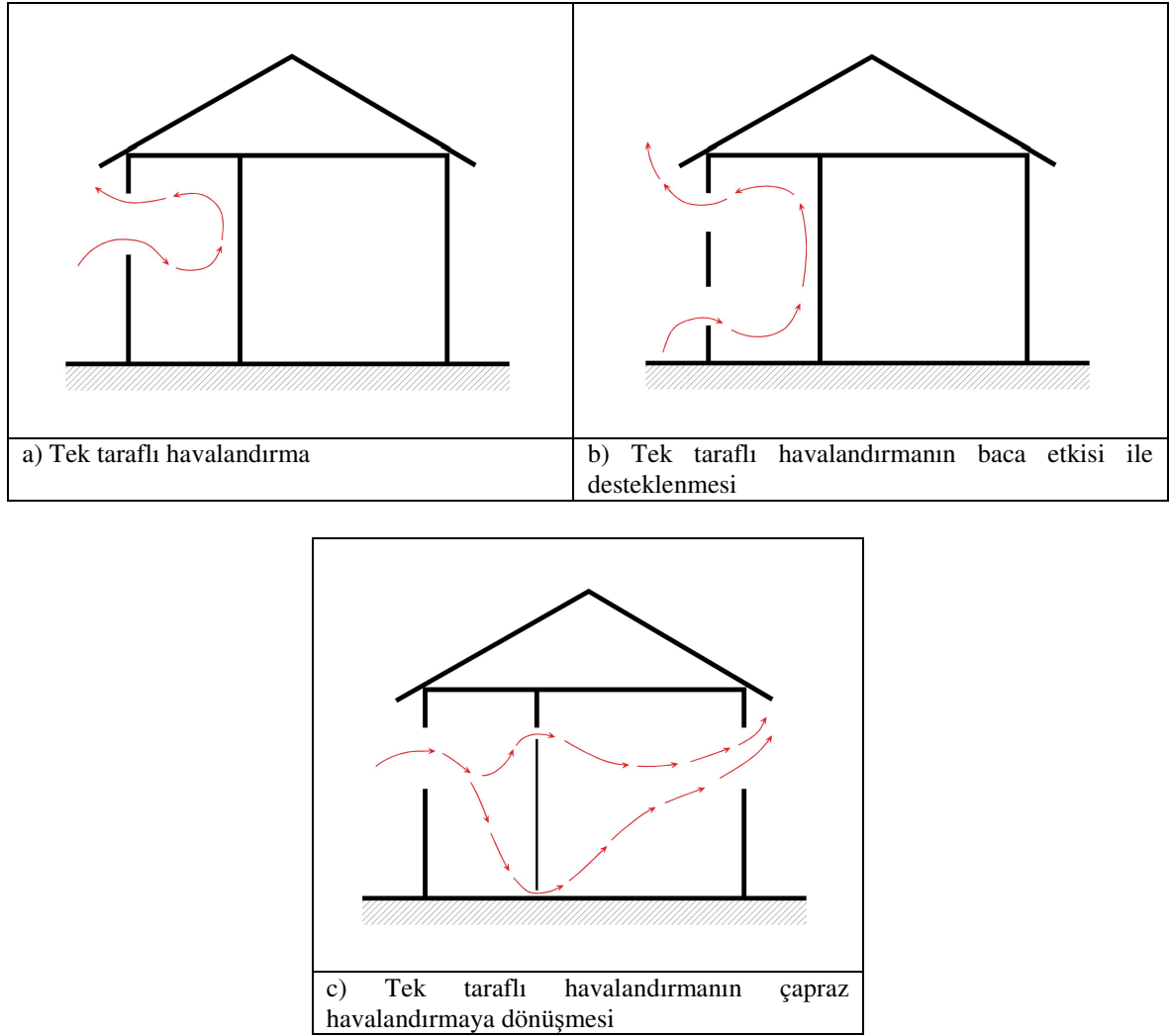
Tek taraflı havalandırma açıklığın mekânın tek bir yüzünde oluşturulması ile gerçekleşir (Bkz Şekil 4.37a). Bu havalandırma genellikle yetersizdir. Bu yüzey üzerinde farklı kotlarda birden fazla açıklık oluşturulması durumunda baca etkisi ile desteklenebilir (Bkz Şekil 4.37b). Mekân içinde havanın girdiği açıklığın karşısındaki yüzey üzerinde oluşturulacak boşluklarla /kapı alt ve üst boşlukları gibi/ tek taraflı havalandırma Şekil 4.37c’de görüldüğü gibi çapraz havalandırmaya dönüştürülebilir (Liddament, 2000).

Yapı tasarımı sırasında çapraz havalandırma oluşturacak şekilde planlama yapılırken, kirletici yoğunluğu fazla olabilecek mekânlardaki havanın (örneğin mutfak, tuvalet vb) diğer mekânlara taşınmamasına dikkat edilmesi gerekir (Santamouris, 1998).

Bir kirleticinin belirli bir yoğunluğa ulaşma süresi kapalı mekânın hacmi ile orantılıdır. Bu nedenle belirli durumlarda mekân, hava kalite deposu olarak düşünülebilir ve kirlilik oranının kısa süreli etkisi iç mekândaki hava kütlesi ile giderilebilir. Böylece sürekli hava akımı oluşmadığı durumda da belli bir süre hava kalitesi korunabilir (Liddament, 2000).

Mekânların yerleştirilmesi yatayda olduğu gibi düşeyde de önemlidir. Yapı üst kotlarında ısınarak yükselen kirli havanın birikebileceği yerlerde kullanım mekânları bulunmamalı, düşey bağlantıyı sağlayan merdiven kovası ya da galeri boşluğu gibi alanlar baca etkisi göz önüne alınarak tasarlanmalıdır (Çakır, 2003).

Yapıda güneş odası ve avlu kullanılarak havalandırma desteklenebilir.



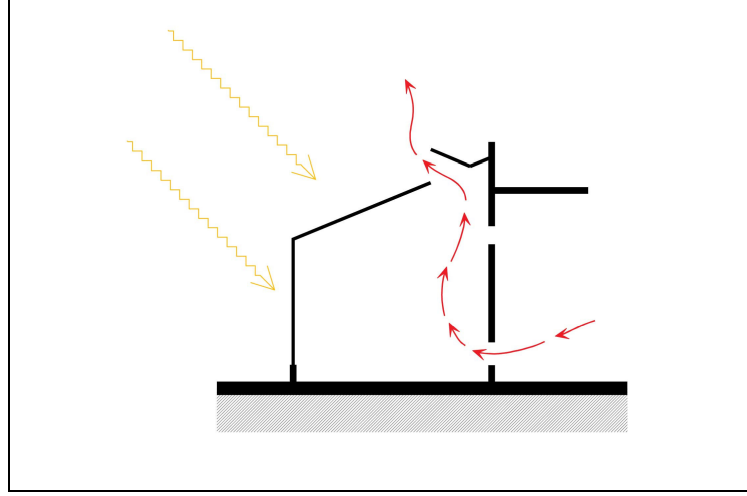
Şekil 4.37 Tek taraflı ve çapraz havalandırma (Liddament, 2000'den uyarlama)

#### 4.2.2.1 Güneş Odası (Sera) Kullanımı

Yapının doğal yöntemlerle havalandırılması için kullanılan etkili bir çözümdür. Güneş görecekte şekilde konumlandırılan bu mekânlar ile bağlı bulundukları diğer mekânların havalandırması sağlanabilir. Güneş odaları ve bitişindeki diğer mekânlar arasında alt kotta ve üst kotta konumlandırılan havalandırma pencereleri ya da menfezler düzenlenir. Sıcak ve güneşli bir günde bu menfezler açıldığında güneş odası içinde bulunan temiz hava ısınarak yükselir ve üst menfezlerden yandaki kullanım mekânına geçer. Mekân içindeki kullanılmış hava ise alt kottaki menfezlerden güneş odası içine emilir (Çakmanus ve Böke, 2001).

Güneş odasının çatısında oluşturulan çatı pencerelerinin açılması ile çapraz havalandırma oluşturularak hava dolaşımı sağlanır (Bkz Şekil 4.38) (Çakmanus ve Böke, 2001).

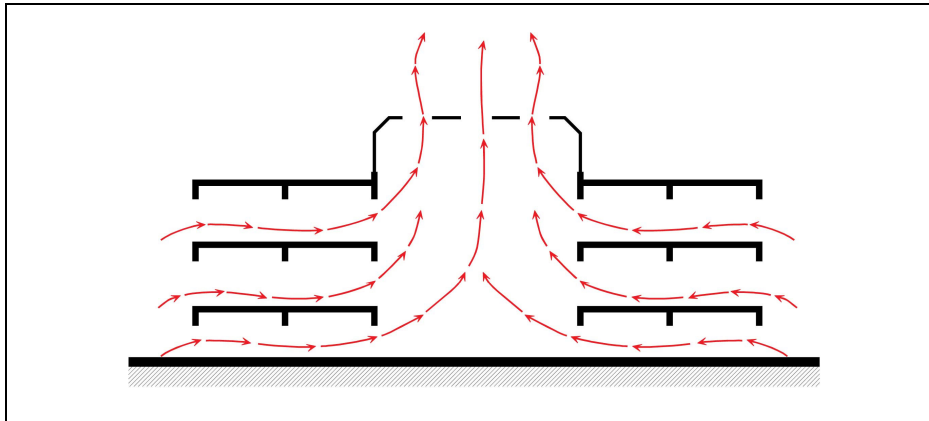




Şekil 4.38 Güneş odası ile havalandırma (Santamouris, 1998'den uyarlama)

#### 4.2.2.2 Avlu Kullanımı

Yapıda tasarlanacak avlu mekânı ile baca etkisi kullanılarak doğal havalandırma sağlanabilir (Sev ve Özgen, 2003). Bu durumda dikkat edilmesi gereken nokta avlu içindeki havanın ısınması ile yükselerek basıncını yitirmesidir. Avlunun alt kısımlarındaki hava tabakasının basıncı yüksek, üst kısımlarındaki hava tabakasını ise basıncı düşüktür. Arada basıncın eşit olduğu tarafsız bir basınç düzlemi bulunur. Avlunun etkin olabilmesi için avlu yüksekliği tarafsız basınç düzlemi kullanım mekânları üzerinde olacak şekilde düşünülmelidir (CIBSE, 1997). Isınan ve yükselen hava Şekil 4.39'da görüldüğü gibi avlunun üst kısmından dışarı çıkar (Liddament, 2000). Ayrıca kullanım mekânlarının dış cephe açıklıkları ve avludaki açıklıklar kullanılarak çapraz havalandırma sağlanabilir.



Şekil 4.39 Havalandırmanın avlu ile sağlanması (Liddament, 2000'den uyarlama)

### 4.2.3 Yapı Kabuğu Doğal Havalandırma İlişkisi

Yapı kabuğu yapı iç çevresini dış çevreden ayıran yatay, düşey ve eğimli yapı bileşenlerinden oluşan bir yapı ögesidir (Asımgil, 2006; Özbalta, 2005). Amacı ve fiziksel işlevi yalıtım (ısı, ses, su, toz vb), güvenlik (hırsız, hayvan vb), denetim (güneş, yabancı göz vb) sağlamak olan yapı kabuğu (Balanlı, 1994) aynı zamanda dış çevre ile iç çevre arasında bir denge kurar (Asımgil, 2006). Bu durum da kabuğu durağan, etkisiz bir öge olmaktan çıkarak esnek, çevre ile dost ve dinamik bir örtü durumuna getirir (Çetiner, 2003).

Doğal havalandırmanın sağlanabilmesi için yapı kabuğu çevreye uyumlu bir filtre olarak tasarlanmalı, kapalı bir zırh gibi değil bir elek gibi olmalıdır (Yeang, 2001; Sev ve Özgen, 2003). Böylece tasarımcı yapı iç çevresinde gereksinim duyulan konfor koşullarını elde edebilmek için yapı kabuğu üzerinde boşluklar oluşturur (Balanlı, 1994).

#### 4.2.3.1 Yapı Kabuğu Boşlukları

Çatı, döşeme ve çoğunlukla duvar gövdesi üzerinde oluşturulan boşluklarla geçiş, havalandırma, gün ışığı, görüş vb sağlanır. Bu gereksinimler duvar boşlukları ile sağlanırken yapı kabuğunun amacına ters düşülerek kabuğun sağladığı yalıtım, güvenlik ve denetim delinmektedir. Oluşturulan boşlukların kabuğun sağladığı işlevleri yerine getirmesi için doğrama adı verilen yüzeyler üretilir. Böylece doğrama kabuğun işlevini yüklenirken, boşluğun işlevine de hizmet eder (Balanlı, 1994).

İyi bir havalandırma sağlanabilmesi için kabuk; tasarlanarak oluşturulan denetimli boşluklar dışında geçirimsiz olmalıdır. Böylece yapı içine hava girişi ve çıkışı yalnızca tasarlanmış boşluklarla sağlanır, istenmeyen hava girişleri ve sızıntıları engellenir (Liddament, 2000).

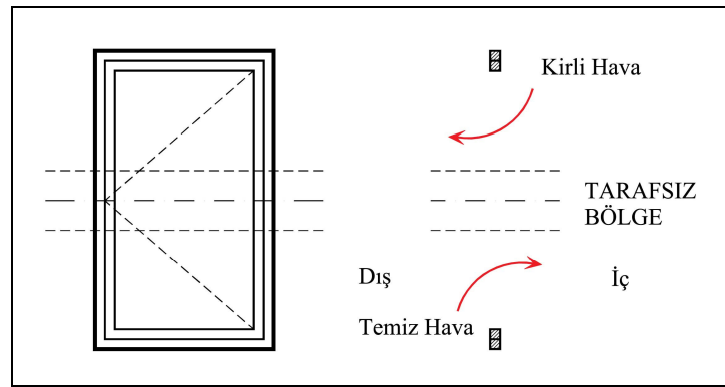
Yapı kabuğu boşlukları ile yapı içindeki kirli hava ile dışarıdaki temiz havanın yer değiştirmesi sağlanır. İyi bir havalandırma sağlamak için boşlukların düzeni önemlidir. Boşlukların konumu, boyutları ve doğrama bileşenleri hava devinimi açısından önemlidir. Buna göre hava çıkış açıklıkları giriş açıklıklarına eşit büyüklükte ya da daha büyük olmalıdır. Boşlukların konumu belirlenirken kullanıcıların oturma ya da ayakta durma sırasındaki boyutları göz önüne alınmalıdır (Balanlı, 2007). Temel olarak kirli havanın dışarı atıldığı boşluklar daha üst kotlarda, temiz havanın içeri alındığı boşluklar alt kotlarda düzenlenebilir (Sev ve Özgen, 2003).

Doğal havalandırmada sağlanan havalandırma miktarı değişken dış hava koşullarına bağlıdır. Bu nedenle boşluklar kullanıcı tarafından değişen koşullara ve gereksinime göre

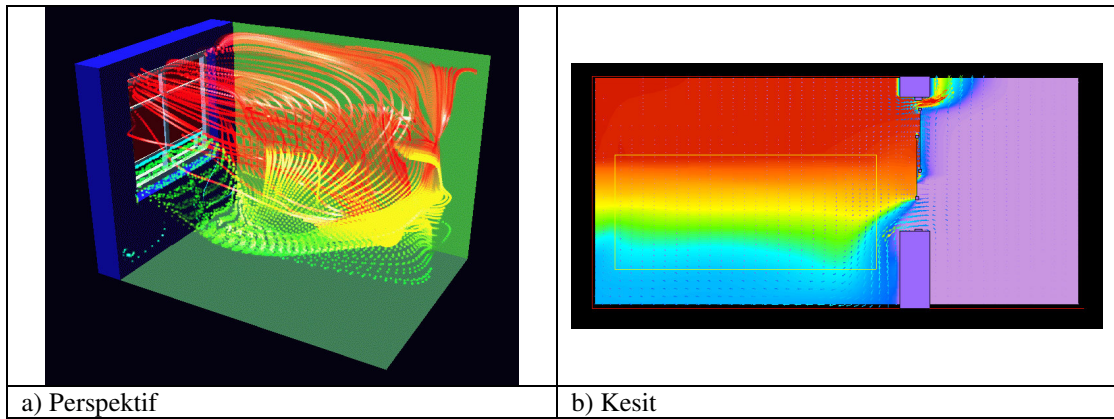
denetlenebilmelidir (Liddament, 2000) ve yöresel iklim koşulları göz önüne alınmalıdır (Çakmanus ve Böke, 2001).

- Pencereleler

Duvar üzerinde oluşturulan pencere açıklığının üst kısmında kirli ve sıcak hava, alt kısmında ise daha soğuk olan temiz hava bulunur. Boşluğun orta kısmında ise hava devriminin olmadığı tarafsız bir bölge vardır (Bkz Şekil 4.40 ve Şekil 4.41) (Balanlı, 2007). Bu nedenle pencere açılışı ve kanat düzenlemesi bu ilkeye uygun olarak yapılmalıdır.



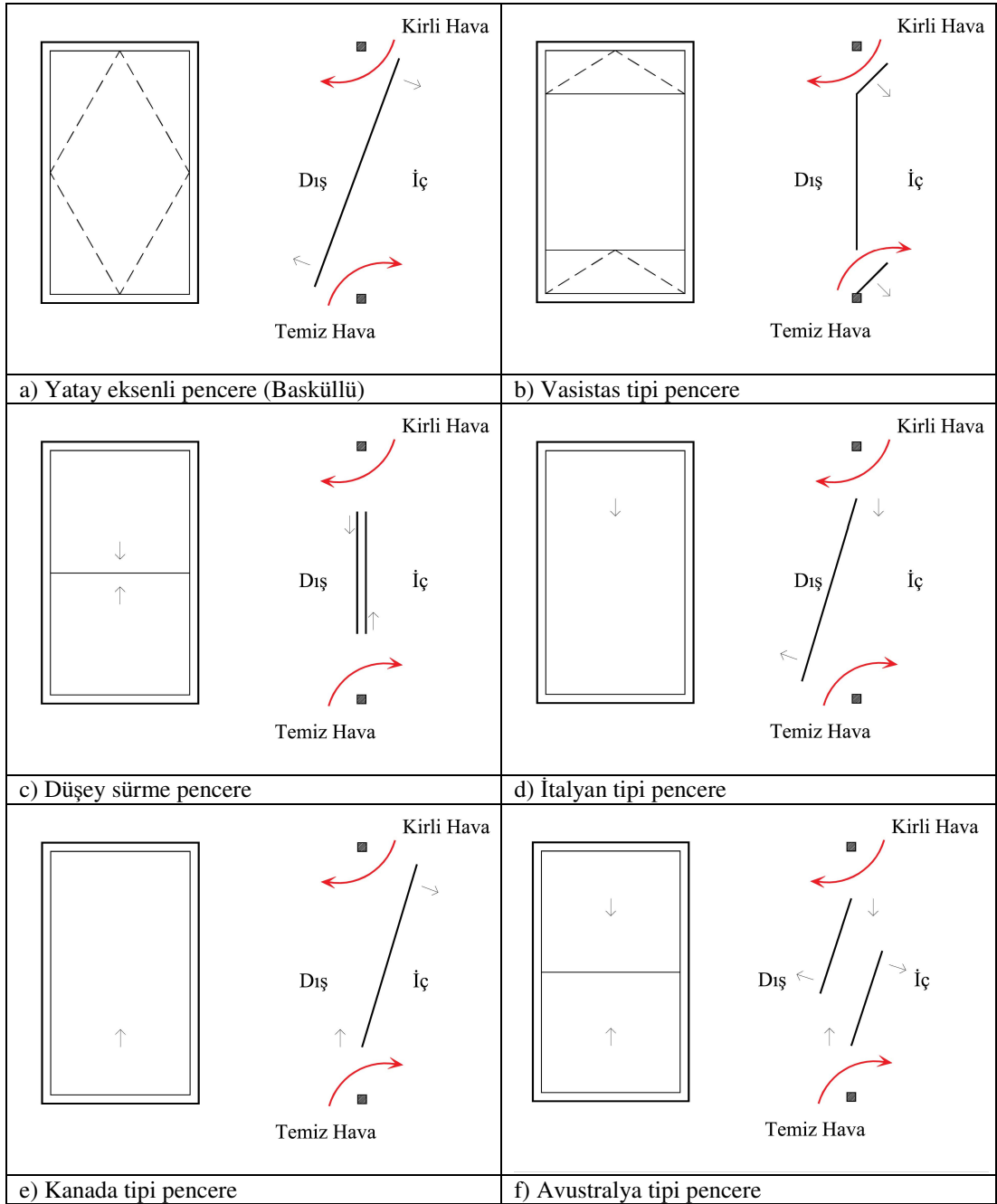
Şekil 4.40 Pencere boşluğundaki hava akışı (Balanlı, 2007)



Şekil 4.41 Pencere boşluğundaki hava akışının gösterimi [10]

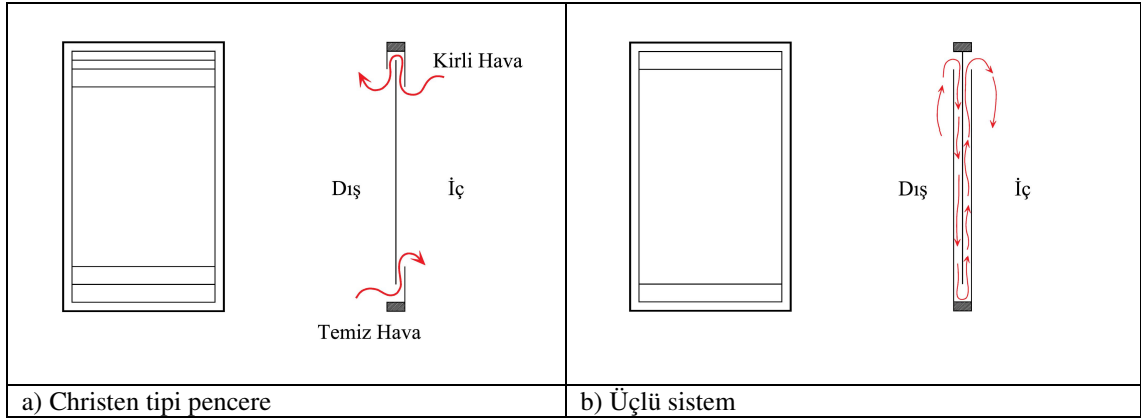
Pencere kanadının açılışındaki düzenlemelerin sağlanacak havalandırmanın niteliğine etkisi vardır. Bütünüyle açılan bir kanat mekânda ani ve basınçlı bir hava değişimi oluşturacağı için havalandırma tekniği açısından uygun olmayabilir (Balanlı, 2007). Pencere açılışında hava hareketinin yapı içine alınması etkilenebilir. Kanatların hareketine bağlı olarak içeri alınan havanın yönü değiştirilebilir (Santamouris, 1998). Açılış biçimlerinin havayı yönlendirmesiyle verim artar (Balanlı, 2007). Şekil 4.42’de havalandırma açısından uygun

pencere açılışları görülmektedir.



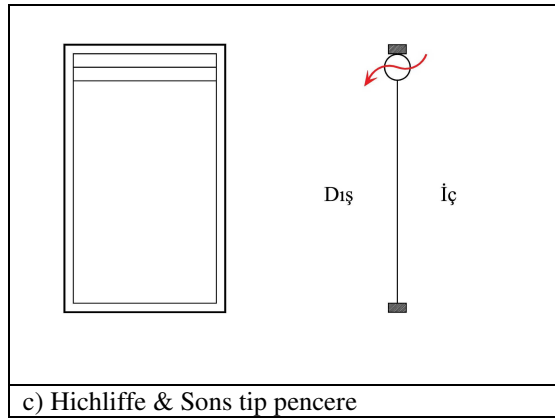
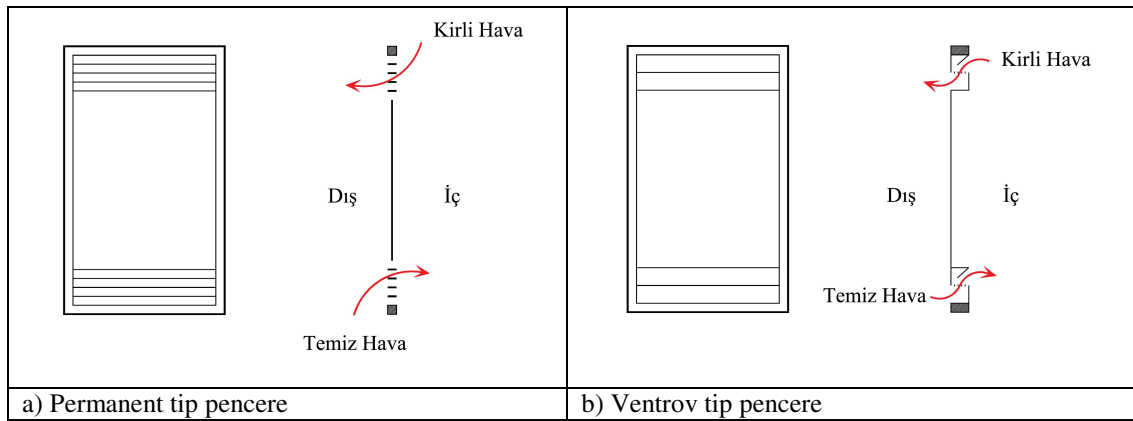
Şekil 4.42 Pencere açılışları (Balanlı, 2007)

Havalandırma temel pencere açılışlardan farklı şekillerde de sağlanabilir. Havanın pencere bileşeninin parçaları arasında dolaştırılarak içeriye alınması (Bkz Şekil 4.43) özellikle soğuk bölgelerde havalandırma ile yitirilecek ısıнын korunumu açısından yarar sağlar. Çoğunlukla açılmayan bu tür doğramalar iki ya da daha çok saydam yüzeyden oluşmaktadır (Balanlı, 2007).

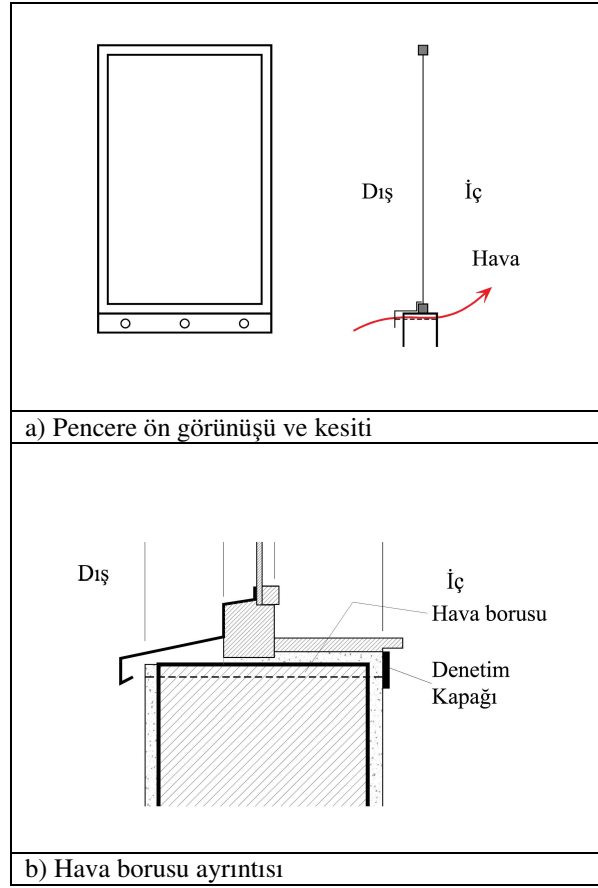


Şekil 4.43 Havanın pencere boşluğu içinde dolaştırılması (Balanlı, 2007)

Duvar ya da doğrama üzerindeki denetimli ızgara ve boşluklar (Bkz Şekil 4.44 ve Şekil 4.45) havanın giriş çıkış hızını ve sürekliliğini belirlemeye olanak verir (Balanlı, 2007). Izgara kullanımı aynı zamanda yağış sırasında yağmurun yapı içine girmesini engellerken, rüzgârın alınmasını sağlar (Santamouris, 1998).



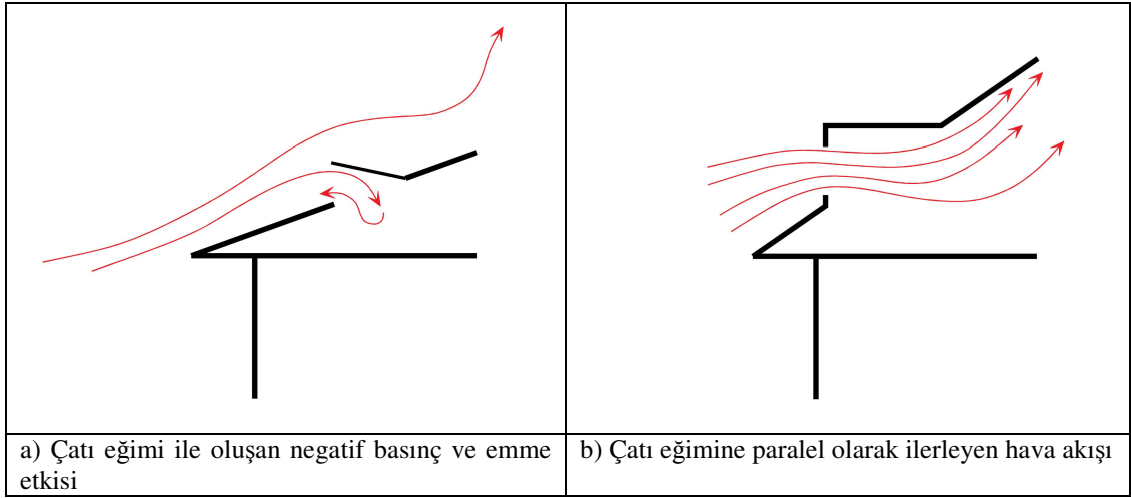
Şekil 4.44 Havanın denetimli ızgaralarla yapı içine alınması (Balanlı, 2007)



Şekil 4.45 Pencerede hava borusu kullanımı (Balanlı, 2007)

Soğuk dönemde hava değişimi için yapı kabuğunda oluşturulacak boşluklara yerleştirilen pervaneler ile sağlanabilir. Pervaneler kabuk üzerinde üst kotlara yerleştirildiği gibi duvara asılı ısıtıcıların arkasına da konumlandırılabilir. Böylece alınan hava mekâna girmeden ısıtılmış olur (Liddament, 2000).

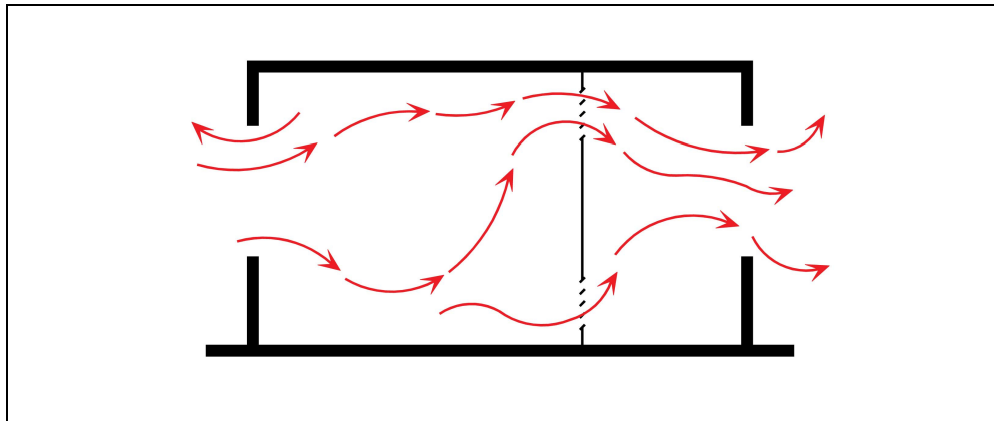
Çatı pencereleri çatı eğimine paralel olarak ya da düşey konumda yerleştirilebilir. Bu pencereler ile sağlanacak havalandırmada çatının eğimi önem kazanır. Rüzgâr, eğimin 30°'nin altında olduğu tasarımlarda çatı üzerinde negatif basınç oluşturur. Bu durum çatı eğimine paralel pencereden hava emilmesine neden olur. (Bkz Şekil 4.46a) Çatıda oluşturulacak düşey pencereden içeri giren hava çatının eğimine paralel olarak yükselmek ister (Bkz Şekil 4.46b) (Santamouris, 1998).



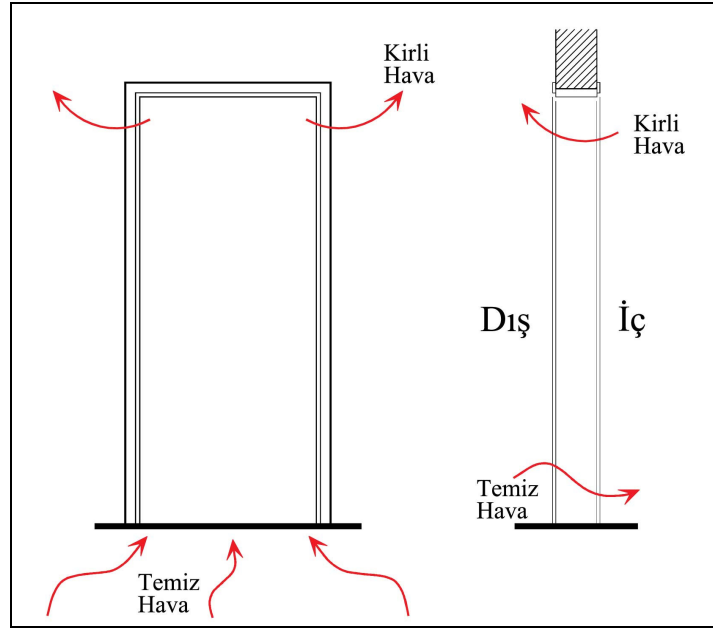
Şekil 4.46 Çatı pencereleri ile havalandırmanın sağlanması (Santamouris, 1998)

- Kapılar

Kapılar iç mekânda doğal havalandırmanın sağlanmasında pencerelerden sonra ikinci derecede görev alan yapı bileşenleridir. Yapı kabuğundan iç mekâna alınan havanın dış cephe bağlantısı olmayan mekânlara ulaşması kapılar ile sağlanır (Balanlı, 2007). Şekil 4.47’de görülen çapraz havalandırma kapı ile sağlanmaktadır. Şekil 4.48’de kapı boşluğunda kirli ve temiz havanın izlediği yol görülür.

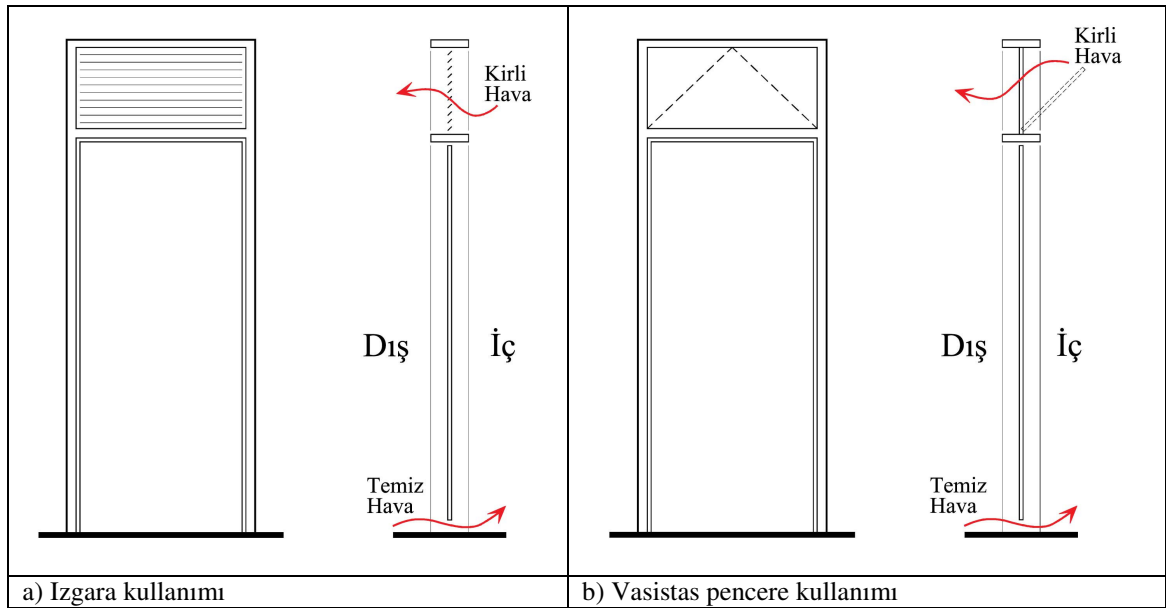


Şekil 4.47 İki mekânın bağlantısı ile çapraz havalandırma sağlanması (Balanlı, 2007)



Şekil 4.48 Kapı boşluğunda hava hareketi (Balanlı, 2007)

Kapılar kanadın açılmasıyla ortama hava girişi sağladığı gibi kanadın altında, üstünde, kenarlarında bulunan küçük boşluklar yardımıyla da hava akışı sağlar. Havalandırmanın yalnızca kapılarla sağlandığı ya da kapının kısa sürelerle açık tutulduğu mekânlarda (giriş holü gibi) kapı üzerinde ızgaralar ya da gereksinime göre vasistas pencereler kullanılabilir (Bkz Şekil 4.49) (Balanlı, 2007).



Şekil 4.49 Kapıda ızgara ya da vasistas pencere ile havalandırma (Balanlı, 2007)

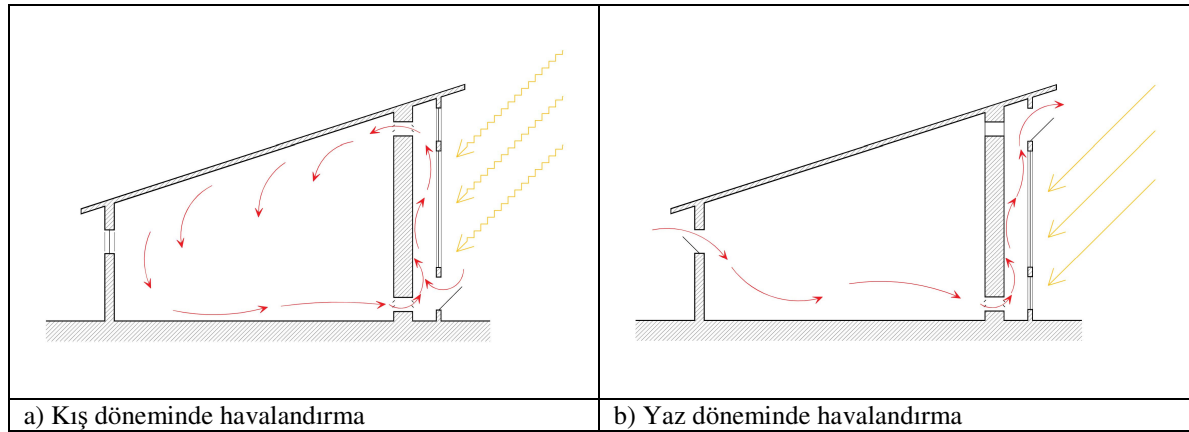


#### 4.2.3.2 Çift Katmanlı Cephe Sistemleri

Çift katmanlı cephelerin bütün çeşitlerinde cephede oluşturulan iki farklı katman arasında bir hava tabakası bulunur. Bu cepheler akustik ve güvenlik için gerekli kısıtlamaları ortadan kaldırarak iyi kalitede hava ile doğal havalandırma sağlar (Sev ve Özgen, 2003).

- Trombe Duvarı

Bu düzenlemede yapı cephesinde trombe duvarı kullanılarak çift katmanlı bir cephe oluşturulur. Yapının güneş alan cephesinde dışta cam bir yüzey, bu yüzeyden yaklaşık 10 cm içeride ise yüksek yoğunluklu yapı ürünleri ile belirli bir kalınlıkta üretilmiş koyu renkli ve ısı depolama özelliği bulunan bir duvar düzenlenir. Burada cam yüzeyden geçen güneş ışınları söz konusu duvar tarafından emilerek depolanır. Böylece cam ve duvar arasında kalan hava ısınır. Isınan bu hava iç menfezler aracılığıyla diğer mekânlara aktarılır. Mekân içinde bulunan hava ise alt menfezler aracılığıyla cam ve trombe duvarı arasına girer (Çakmanus ve Böke, 2001). Şekil 4.50a'da soğuk dönemde trombe duvarı kullanılarak sağlanan havalandırma ve Şekil 4.50b'de ise sıcak dönemde sağlanan çapraz havalandırma görülmektedir.



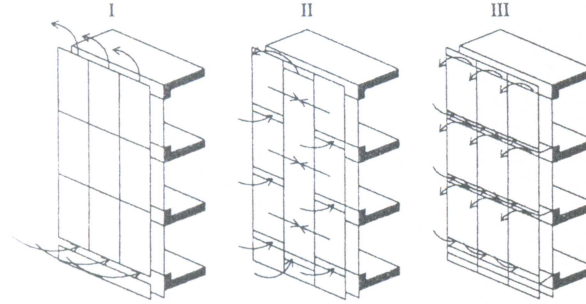
Şekil 4.50 Trombe duvarı ile havalandırma (Çakmanus ve Böke, 2001'den uyarlama)

- Çift Kabuk Cam Cepheler

Bu cephe sistemi iki cam kabuk arasında bir boşluk bırakılmasıyla oluşturulur. İç kabuktaki pencereler açılarak yapı doğal yöntemle havalandırılabilir (Eşsiz, 2005; Özbalta, 2005).

Çift kabuklu cam cepheler hava giriş ve çıkış açıklıklarının düzenlenişine göre üç şekilde çeşitlenir (Bkz Şekil 4.51). Bunlar içinde en etkin olanı dış kabuk üzerindeki giriş – çıkış

açıklıklarının her kat düzeyinde düzenlendiği havalandırma şeklidir (Çetiner, 2003). Seçilen sisteme bağlı olarak kabuk içindeki ısınan hava her kat düzeyinde oluşturulan kanallardan ya da yapı yüksekliğindeki şaftlardan dışarı atılır (Özbalta, 2005).



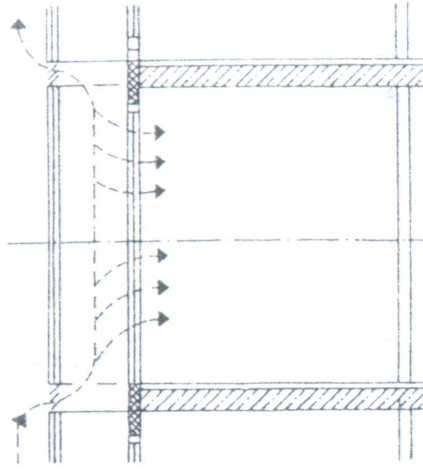
Şekil 4.51 Hava giriş – çıkış açıklıklarına göre çift kabuk cam cepheler (Çetiner, 2003)

Çift kabuk cam cepheyi oluşturan bileşenler saydam ve taşıyıcı bileşenler, havalandırma boşluğu, güneş kontrol elemanları ve yürüme yolu olarak sayılabilir (Özbalta, 2005). Çift katman arasındaki boşluk genişliği beklenen havalandırma verimi, kullanım alanı, iklimsel veriler vb koşullara bağlı olarak belirlenir (Özbalta, 2005). Bu boşluk genelde 15 – 75 cm arasında tasarlanmaktadır (Sev ve Özgen, 2003).

Doğal yolla havalandırma sağlanması için rüzgârın dış kabukta oluşturulan kanallar aracılığıyla cephe boşluğuna girişi sağlanır (Bkz Şekil 4.52). Bu özel kanalların egemen rüzgâr yönüne yerleştirilmesi gerekir. Özel tasarımları ile dışarıda rüzgâr hızı çok yüksek olsa bile hava cephe boşluğu içine alınırken yavaşlatılır ve yağışın kabuk boşluğuna girmesi engellenir (Özbalta, 2005).

Dış çevre ve kabuk arasında karşılıklı değiştirilen hava yapı kabuğu üzerindeki rüzgâr basıncına, boşlukta oluşan baca etkisinin düzeyine ve açıklıkların boşaltım katsayısına göre değişir (Eşsiz, 2005).

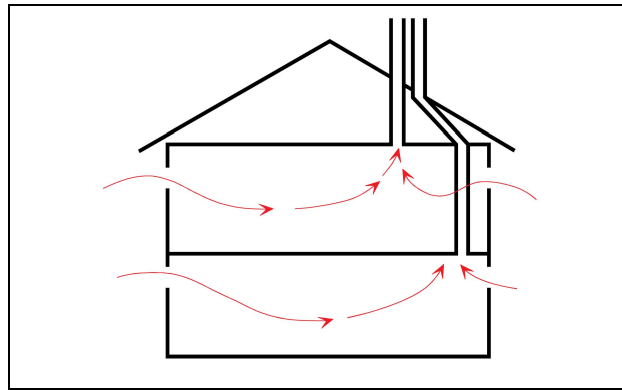
Boşluk içine yerleştirilen güneş kontrol elemanları yardımıyla geri yansıtılan güneş ışıını ara boşluk içindeki havayı ısıtmakta ve bir baca etkisi oluşturarak havanın yukarı doğru yükselmesine neden olmaktadır (Çetiner, 2003).



Şekil 4.52 Havanın kabuk boşluğuna ve iç mekâna alınması (Çetiner, 2003)

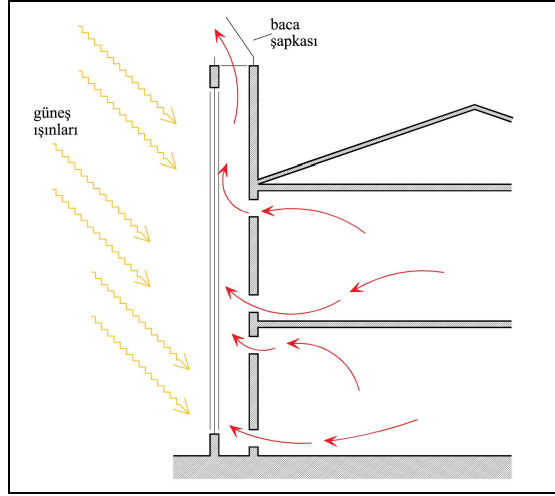
#### 4.2.4 Bacalar

- Havalandırma Bacaları: Bir iç mekâna tavan düzeyinde bağlanarak çatı düzeyine kadar yükselen düşey kanallardır. Bu kanalın amacı sıcaklık farkından yararlanarak baca etkisi ile mekân içindeki havanın emilmesini sağlamaktır (Bkz Şekil 4.53) (Liddament, 2000).



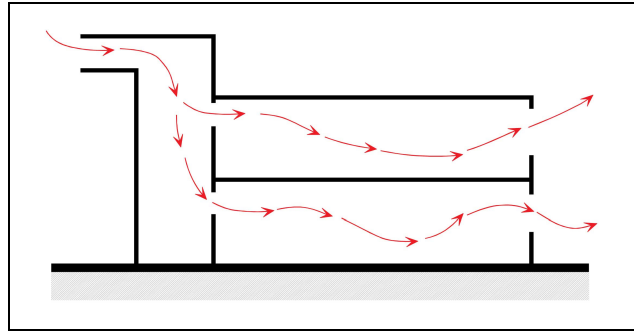
Şekil 4.53 Havalandırma bacalarının işleyişi (Liddament, 2000'den uyarlama)

- Güneş Bacaları: Güneş bacası yapının içinden dışına doğru hava akımı oluşturmak için kullanılan bir sistemdir. Dış ortama açılan birisi sıcak birisi soğuk iki adet havalandırma bacası yapı içinde hava akımı oluşturur (Lechner, 2001). Güneş bacaları bilinen baca biçiminde dış yüzü cam, iç yüzü ise güneş enerjisini tutacak bir ürün ile yapılabilir. Böylece baca içinde yüksek sıcaklık oluşur. Baca üst kotu yapının en üst kotundan daha yukarda olmalıdır. Böylece oluşturulan ısı farkı yapı içinde hava akımı oluşmasını sağlar (Bkz Şekil 4.54) (Çakmanus ve Böke, 2001).



Şekil 4.54 Güneş bacası (Çakmanus ve Böke, 2001’den uyarlama)

- Rüzgâr Kepçesi: Rüzgârın üst kottan yapı içine alınarak kullanım mekânlarında dolaştırılması ve yapı cephesinden dışarı atılması ilkesine dayanır (Bkz Şekil 4.55). Rüzgâr kepçesi egemen rüzgâr yönü göz önüne alınarak tasarlanmalı, kepçe üzerinde bırakılacak çok sayıda açıklık ile diğer yönlerden gelen hava akımları da yakalanabilmelidir (CIBSE, 1997).



Şekil 4.55 Rüzgâr kepçesinin çalışma ilkesi (CIBSE, 1997’den uyarlama)

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kullanıcı olan insan zamanının büyük çoğunluğunu kendi ürettiği yapma çevre içinde geçirir. Yapma çevreyi istediği konfor koşullarını elde edemediği doğal çevrenin bir parçasını sınırlayarak üretir. Amacı ise istediği konfor koşullarını sınırladığı bu çevre içinde elde etmektir.

Yaşadığı bu iç çevredeki önemli özelliklerden birisi ise yapı içi hava niteliğidir. Yapı içi hava niteliğini belirleyen birçok ölçüt vardır. Havayı oluşturan maddelerin karışım oranları, iç ortam havalandırma miktarı, iç hava sıcaklığı, bağıl nem oranı, ortam içindeki hava akış hızı, elektroiklimsel oluşumlar yapı içi hava niteliğini belirleyen ölçütlerdir. Her bir özellik bir diğeri ile ilişkilidir ve birbirini etkiler.

Yapı içi hava niteliğini özellikle kullanıcı sağlığı açısından olumsuz etkileyen temel özellik ise havayı oluşturan maddelerin karışım oranlarıdır. Bu maddelerin havadaki normal oranlarının değişmesi ya da normal atmosfer havasında bulunmayan maddelerin havada kullanıcı sağlığını olumsuz etkileyecek düzeylerde birikmesi yapı içi hava kirliliğini oluşturur. Kirleticiler temel olarak gazlar – buharlar ve parçacıklardan oluşur. Yapı içinde yapı ürünlerinden ya da kullanıcı eylemleri sonucunda ortaya çıkan ya da dış çevreden yapı içine girerek biriken bu kirleticiler kullanıcı sağlığını olumsuz bir şekilde etkilemekte ölüme kadar varabilen birçok hastalığa neden olmaktadır. Dünyadaki yetkin kuruluşlar tarafından her kirletici için sınır değerler belirlenmiş bu değerlerin aşılmaması gerektiği vurgulanmıştır.

Yapı içi hava kirliliğini önlemek için uygulanacak en etkili yöntem iyi bir havalandırma sağlamaktır. Havalandırma mekanik sistemlerin kullanılmasıyla yapay olarak ya da doğal havalandırma ilkeleri ile sağlanabilir.

Yapay havalandırma sistemleri havalandırmanın sağlanması için fosil yakıtları ve elektrik enerjisi tüketir. Fosil yakıtlarının yakılmasıyla atmosfere salınan karbondioksit düzeyi yükselmekte, bütün dünyayı etkileyen iklim değişikliğini oluşturmaktadır. Düzenli bakım ve onarımlarının yapılması gerekir. Yeterli dikkat gösterilmediği durumda bir yapı içi hava kirleticisi durumuna geldiği yapılan incelemelerle ortaya çıkarılmıştır. Tükettikleri enerji düzeyi ve düzenli olarak bakım yapılması zorunluluğu bu sistemlerin kullanım ve bakım – onarım maliyetini artırmaktadır. Ayrıca uygulamadan kaynaklanan yanlışlar ya da bakımlarının aksatılması durumunda kullanıcı sağlığını bozmaktadır.

Doğal havalandırma dış atmosfer havasının yapı kabuğu açıklıklarından yapı içine girmesi ve kullanılmış olan iç ortam havasının yapı dışına atılmasıdır ve dış atmosferdeki hava hareketleri ve ısınan havanın yükselmesi ilkesi ile gerçekleştirilir. Bu nedenle doğal havalandırmanın sağlanmasında rüzgâr gücünden ve güneş ışınlamından yararlanılır.

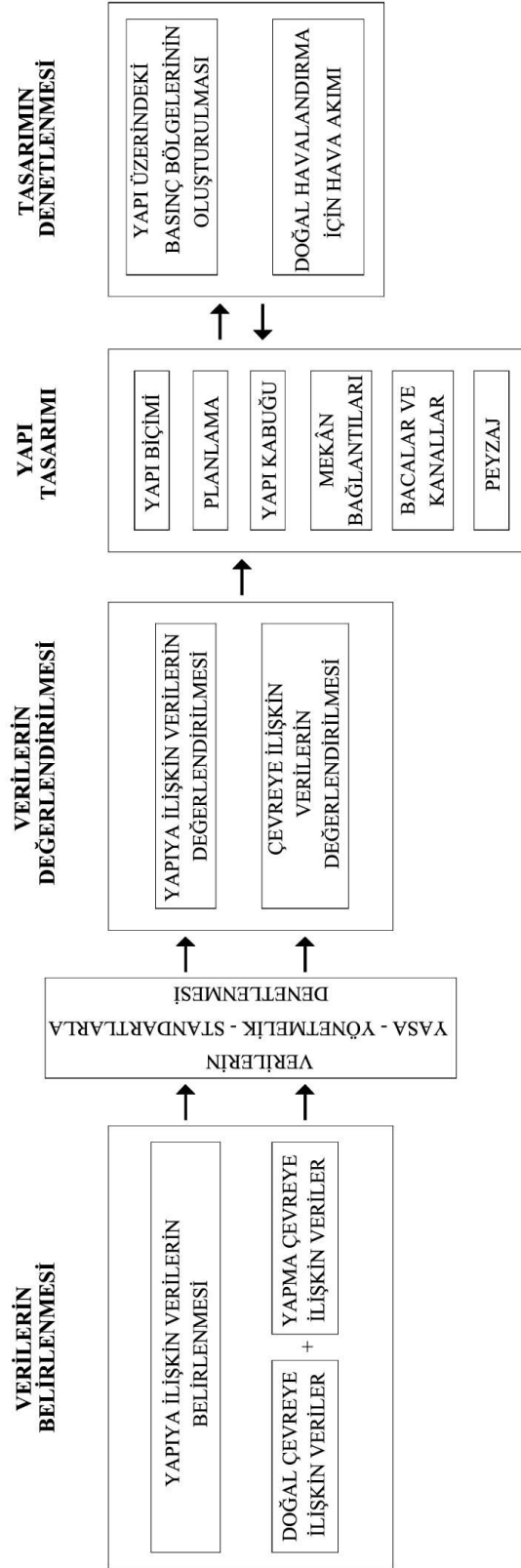
Tasarlanacak yapıda doğal havalandırmanın etkin bir şekilde sağlanması Şekil 5.1’de önerilen tablodaki tasarım yaklaşımı ile gerçekleştirilebilir. Tasarım yaklaşımının ana adımları

- Yapıya ve kullanıcıya ilişkin verilerin belirlenmesi,
- Yapı içinde bulunabilecek kirleticilerin belirlenmesi,
- Bu kirleticilerin yoğunluklarının ilgili yasa, yönetmelik ve standartlarla denetlenmesi,
- Doğal ve yapma çevreye ilişkin verilerin toplanması,
- Belirlenen ve toplanan tüm verilerin değerlendirilmesi,
- Değerlendirme sonuçlarına göre yapı tasarımı adımlarının ortaya konması,
- Çevreye ilişkin veriler ve tasarlanan yapı ile doğal havalandırma için gerekli basınç bölgelerinin oluşturulması, bu bölgeler arasında oluşacak hava akımı ile tasarımın denetlenmesi

olarak sıralanmaktadır.

Tabloya göre öncelikle yapıya ilişkin veriler belirlenmelidir. Yapı işlevi, yapıda bulunacak tüm mekânların belirlenmesi, yapı kullanıcılarına ilişkin gereksinmelerin ortaya konması ve seçilecek yapı ürünlerine ilişkin bilgiler olarak sıralanabilecek bu veriler ayrıntılı olarak Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Ayrıca yapının kullanımından, kullanıcıdan ve yapı ürünlerinden kaynaklanabilecek her türlü kirletici tasarım öncesinde belirlenmeli ve yetkili kurumlar tarafından oluşturulmuş yasa, yönetmelik ve standartlarda belirtilen sınır değerleri ve etkilenim süreleri göz önüne alınmalıdır.

Yapının tasarlanacağı bölgedeki doğal ve yapma çevreye ilişkin veriler ikinci aşamada toplanmalıdır. Doğal çevreye ilişkin veriler Şekil 5.3’te görüldüğü gibi yakın çevreye ilişkin ve yereye ilişkin veriler olarak ikiye ayrılmıştır. Bu adımda dikkat edilmesi gereken önemli özelliklerden birisi yapının tasarlanacağı bölgedeki atmosfer havasını oluşturan maddelerin karışım oranlarıdır. Doğal ya da yapay bir nedenle atmosfer havasında insan sağlığını olumsuz etkileyecek düzeyde bir kirletici bulunabilir.



Şekil 5.1 Doğal havalandırmanın sağlanabilmesi için tasarım yaklaşımı

Yapma çevreye ilişkin veriler ayrıntılı olarak Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Tasarlanacak yapıdaki doğal havalandırma niteliği belirleyen güneş ve rüzgâr özelliklerini etkileyebilecek tüm yapma çevre verileri tasarım öncesinde belirlenmelidir.

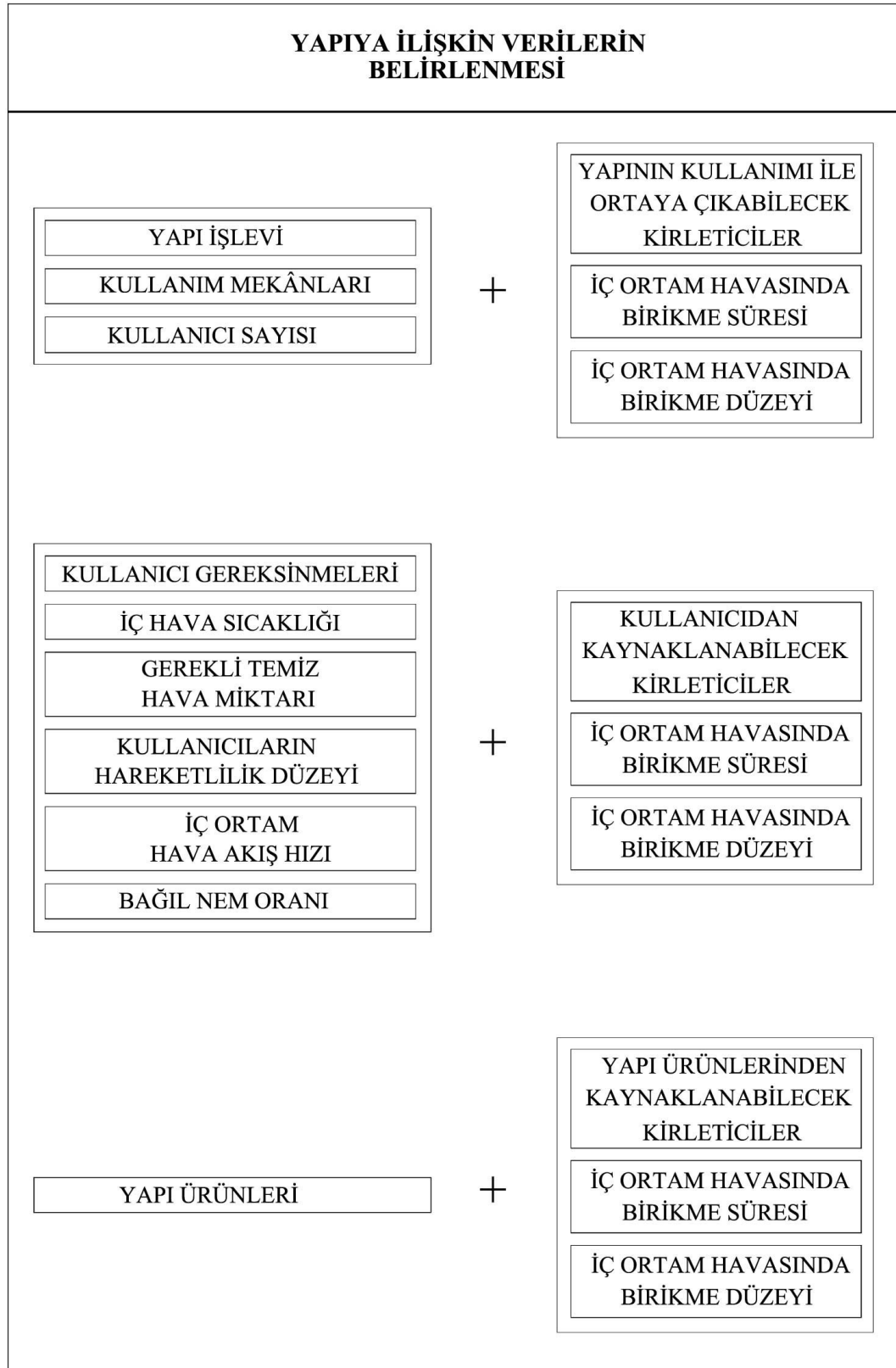
Verilerin değerlendirilmesinde öncelikli olarak yapıya ve çevreye ilişkin verilerin değerlendirilmesiyle bir havalandırma senaryosu oluşturulur. Bu senaryoda doğal havalandırmanın yapma hava düzenleme sistemleri ile desteklenmesine ilişkin karar verilir. Çok soğuk ya da çok sıcak iklim bölgelerinde, çevresinde sürekli kirletici kaynağı bulunan yerleşimlerde doğal havalandırma yapma sistemlerle desteklenmek zorunda olabilir. Havalandırmaya ilişkin iç mekân hava değişim süresi, hava değişim sayısı, gereksinilen temiz hava miktarı ve hava akış hızı kararları yapıya ilişkin verilerin değerlendirilmesiyle ortaya çıkacaktır. Yapının tasarlanacağı bölgedeki atmosfer havasının, rüzgârın ve güneş ışıınının niteliği ise doğal ve yapma çevreye ilişkin verilerin değerlendirmesiyle ortaya çıkarılabilir.

Verilerin değerlendirilmesi ve doğal havalandırma kararlarının belirlenmesinin ardından yapı tasarımına ilişkin adımlar Şekil 5.5'te verilmektedir. Yapı biçimi, planlama, mekân bağlantıları, yapı kabuğu, baca ve peyzaj tasarımı olarak önerilen tasarım adımları bir önceki adımda ortaya konan değerlendirme kararları doğrultusunda gerçekleştirilmeli, havalandırma gereksinimini giderecek uygun yapı tasarımı çözümleri üretilmelidir.

Kullanıcı gereksinimleri, doğal ve yapma çevreye ilişkin veriler ve yapı tasarımı sonucunda yapı çevresinde oluşacak basınç bölgeleri ve bu basınç bölgeleri arasında ortaya çıkacak hava akımı belirlenerek tasarım denetlenmeli, gerekli görüldüğü durumda tasarım adımına geri dönülerek değişiklikler yapılmalıdır.

Yapıların doğal havalandırma ilkeleri doğrultusunda tasarlanması durumunda yapay havalandırma sistemlerine gerek kalmadan yapı içi hava kirleticilerinin giderildiği yüksek kaliteli bir iç ortam havası oluşturulabilir. Kullanıcı sağlığı açısından olumlu, üretim, kullanım, bakım – onarım maliyeti ve enerji tüketimi uygun bir düzeyde olan yapılar tasarımcının doğal havalandırma ilkelerini iyi bilmesi durumunda üretilebilir.

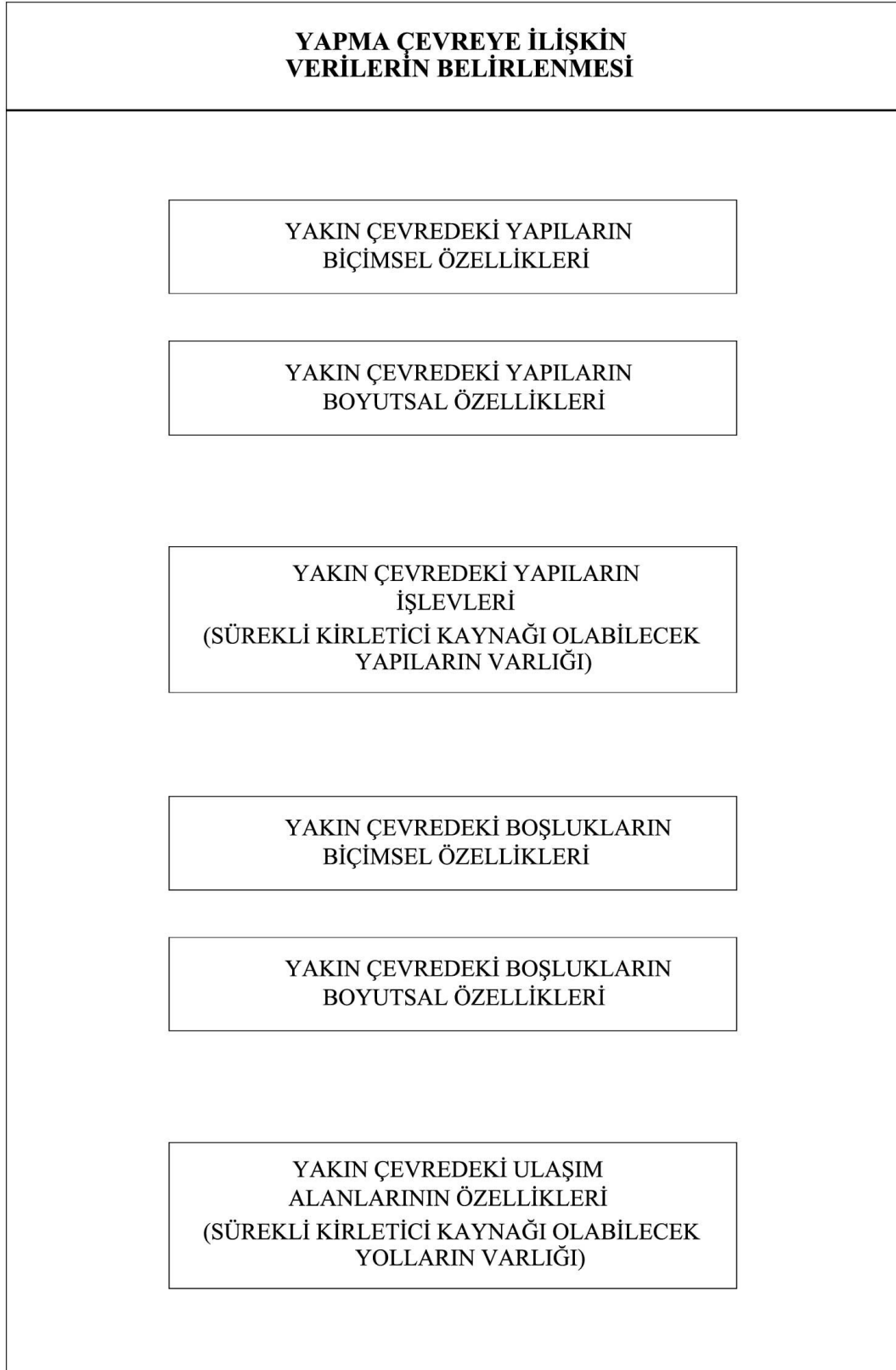




Şekil 5.2 Yapıya ilişkin verilerin belirlenmesi



Şekil 5.3 Doğal çevreye ilişkin verilerin belirlenmesi



Şekil 5.4 Yapma çevreye ilişkin verilerin belirlenmesi



Şekil 5.5 Yapı tasarımı

Ayrıca:

- Kent planlaması yapılırken arazi eğimi ve kent çevresindeki doğal çevre etmenleri iyi bir şekilde değerlendirilmelidir.
- Kent işlevlerinin düzenlenmesinde farklı işlevlerin birbirini olumsuz bir şekilde etkilememesi sağlanmalıdır.
- Kent içi yerleşimde yapılar arasındaki yollar ve meydan alanları egemen rüzgâr göz önüne alınarak düzenlenmelidir.
- Yerleşim dokusu bölgesel iklim özellikleri göz önüne alınarak gerçekleştirilmelidir.
- Yakın çevredeki yapılar birbirinin güneşlenmesini ve egemen rüzgârdan yaralanmasını engellemeyecek şekilde konumlandırılmalıdır.

Bununla birlikte

- Yapının yakın çevresinde sürekli bir kirlilik kaynağı bulunması ya da kent havasının çok kirli olması durumunda,
- Çok soğuk ya da çok sıcak iklim bölgelerinde
- Yapının geniş, derin planlı ve çok mekânlı olması durumunda

doğal havalandırma kullanıcılar için tek başına yeterli olmayabilir. Bu gibi durumlar için özel çözümler üretilmeli, gerekli görülmesi durumunda doğal havalandırma yapma hava düzenleme sistemleri ile desteklenmelidir.

## KAYNAKLAR

- Akman, A. (2005), “İnsan Sağlığı, Sağlıklı Yapı ve Yapı Biyolojisi”, Yapı Dergisi, 279: 89 – 92
- Akman, A. (1997), “Yapılarda Elektrikğin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri”, Yapı Dergisi, 183: 100 – 102
- Akman, A. (1991), “Yapı Bütünündeki Nem Olgusunun İnsan Sağlığı ile Olan İlişkisi”, Yapı Dergisi, 115: 83 – 84
- Akşit, F. (2005), “Türkiye’nin Farklı İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Bina ve Yerleşme Birimi Tasarımı”, Tasarım Dergisi, 157: 124 – 126
- Alioğlu, Ö. K. (2001), “İç Hava Kalitesi 1”, Termodinamik Dergisi, 109: 86 – 93
- Allard, F. (1998), Natural Ventilation in Buildings A Design Handbook, Introduction, Chapter 1, Ed: Francis Allard, James & James Science Publishers, London.
- Ana Britannica Genel Kültür Ansiklopedisi (1988), Ana Yayıncılık A.Ş. ve Encyclopedia Britannica, Inc., İstanbul.
- Arcan, E.F. ve Evci, F. (1999), Bina Bilgisi Çalışmaları, Tasarım Yayınları, İstanbul
- Arens, E. ve Watanabe, N. (1986), Natural Ventilative Cooling of Buildings, Department of the Navy Design Manual 11.02, Naval Facilities Engineering Command, Alexandria, VA.
- Arısoy, A. ve Çilek, G. (2006), “Doğal Havalandırma Yapabilen Örnek Bir Ofis Binasında Klima Sistemi Tasarımı”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 96: 5 – 10
- Arısoy, A. (2006), “Binalarda Sürdürülebilir Enerji Kullanımı”, İzolasyon Dünyası Dergisi, 59: 68 – 74
- ANSI / ASHRAE – TC 4.3, (1999), Ventilation Requirements and Infiltration ASHRAE Standard VEntilation for Acceptable Indoor Air Quality 62, Atlanta.
- ASHRAE, (1998), AHSRAE Temel El Kitabı (Fundamentals), Çevre Sağlığı, Çev: Nejat Demircioğlu, Macit Toksoy, Ed: Osman Genceli, Tesisat Mühendisleri Derneği, Teknik Yayınlar: 2, İstanbul.
- ASHRAE, (1997a), ASHRAE Temel El Kitabı (Fundamentals), Havada Bulunan Kirlетici Maddeler, Çev: Taner Özkaynak, Ed: Osman Genceli, Tesisat Mühendisleri Derneği, Teknik Yayınlar: 2, İstanbul.
- ASHRAE, (1997b), ASHRAE Temel El Kitabı (Fundamentals), Binalar Etrafında Hava Akışı, Çev: Osman Genceli, Tesisat Mühendisleri Derneği, Teknik Yayınlar: 2, İstanbul.
- Asımgil, B. (2006), “Enerji Mimarlığı ve Bina Kabuğu”, İnşaat Dünyası, 278: 96 – 102
- Atalay, İ. (2005), Genel Fizikî Coğrafya, Genişletilmiş 6. Baskı, Meta Basım, İzmir.
- Balanlı, A. (2007), “Yapı Elemanları III: Doğramalar”, Yayınlanmamış Ders Notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi – Mimarlık Bölümü, İstanbul.
- Balanlı, A. ve Öztürk, A. (2006), Yapı Biyolojisi Yaklaşımlar, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: YTÜ.MF.YK – 06.0759 – Fakülte Yayın No: MF.MİM – 06.002, İstanbul.
- Balanlı, A. ve Öztürk A. (2005), “Lejyonellosis’in Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi”, Mimarlık Dekorasyon Dergisi, 138: 20 -22

- Balanlı, A. ve Taygun, G. (2005), “Yapı Biyolojisi ve Asbest”, Mimar.İst Dergisi, 16: 107 – 110
- Balanlı, A., Vural, M. ve Taygun, G. (2004), Yapı Ürünlerindeki Radonun Yapı Biyolojisi Açısından İredelenmesi, ‘. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, Kongre Bildirileri, 6 – 8 Ekim 2004, TMMOB İstanbul Büyükşehir Şubesi Yayınları, İstanbul
- Balanlı, A. (1997), Yapıda Ürün Seçimi, YÜMFED Yayını, No: 4, İstanbul
- Balanlı, A. (1994), “Pencere ve Kapı Tasarımında İlke ve Yaklaşımlar”, Yapı Dergisi, 152: 57 – 59
- Barry, E. B. (2000), Legionella, Chapter 48, Indoor Air Quality Handbook, Der: J.D. Spengler, J.M. Samet ve J.F. McCarthy, McGraw – Hill, New York.
- Bearg, D.W. (2000), HVAC Systems, Chapter 7, Indoor Air Quality Handbook, Der: J.D. Spengler, J.M. Samet ve J.F. McCarthy, McGraw – Hill, New York.
- “Bolak, O. (1971), Mimari Tasarım Temel Bilgiler, İTÜ, İstanbul.” (Arcan ve Evci, 1999, s: 164’deki alıntı)
- Bowen, A. ve Yannas, S. (1985), Passive and Low Energy Ecotechniques: Proceedings of the 3rd International PLEA Conference, Mexico City, Mexico, 6 – 11 August, 1984, Elsevier Science & Technology Books, New York.
- Burberry, P. (1983), Practical Thermal Design in Buildings, Batsford Academic Ltd., London.
- Burr, M.L. (2000), Combustion Products, Chapter 29, Indoor Air Quality Handbook, Der: J.D. Spengler, J.M. Samet ve J.F. McCarthy, McGraw – Hill, New York.
- Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, (1992), Librairie Larousse, Interpres Basım ve Yayıncılık, İstanbul
- “Candill, W. W. (1954), Toward Beter School Design, New York.” (Önel, 1978, s: 66’daki alıntı)
- CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers), (1997), Natural Ventilation in Non – Domestic Buildings, Applications Manual AM10. London.
- Cinemre, T. (2005), “İç Hava Kalitesi ve İç Hava Kaynaklı Hastalıklar”, 111: 74 – 81
- “Curwell, S. R. ve March, C. G. (1986), Hazardous Building Materials, E&F.N. Spon Ltd, London.” (Balanlı ve Taygun, 2005, s: 109’daki alıntı)
- Çakır, S. (2003), Binalarda Doğal Vantilasyon Sisteminin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul
- Çakmanus, İ. ve Böke, A. (2001), “Binaların Güneş Enerjisi ile Pasif Isıtılması ve Soğutulması”, Yapı Dergisi, 235: 83 – 88
- Çamurdan, S. (1995), “Sağlığımız için Doğru Kalitede Havayı Teneffüs Etmeliyiz”, Termoklima Dergisi, 32: 36 – 39
- Çetiner, İ. (2003), “Enerji Etkin Cepheler – Çift Kabuk Cam Cepheler”, Mimar.İst, 7: 105 – 107
- Çilingiroğlu, S. (2004), “İç Hava Kalitesi”, Tesisat Dergisi, 100: 86 – 106
- Demirbilek, F. ve Yılmaz, Z., (1996), “İklimle İlgili Mimarlık”, Mimarlık Dergisi, 269: 36 – 38

- Dunford, R. E. (1994), *Your Health and the Indoor Environment*, Nu Dawn Publishing, USA.
- Duygulu, İ. (1996), “İç Mekânlarda Yapı Malzemelerine Bağlı Hava Kirliliği”, *Mimarlık Dergisi*, 269: 39 – 41
- Eğrikavuk, O. (1996), “İç Hava Kirliliği”, *Tesisat Dergisi*, 22: 198 – 200
- Erinç, S. (1996), *Klimatoloji ve Metodları*, Alfa Basım Yayım, İstanbul.
- Eşsiz, Ö. (2005), “Cam, Isı ve Güç Kaynağı”, *İnşaat Dünyası Dergisi*, 271: 86 – 92
- Fanger, P.O. (2005), “Enerjiden Tasarruf Sağlarken İç Hava Kalitesi Nasıl Yüz Kere Daha İyi Hale Getirilebilir?”, *TTMD Dergisi*, 37: 13 – 18
- Fanger, P.O. (2002), “İç Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Ofis Verimliliğinin Artırılması”, *TTMD Dergisi*, 19: 14 – 18
- Fanger, P.O. (2000), “Geleceğin İklimlendirilmiş Ortamlarında İnsan İhtiyaçları ve Mükemmelliğe Ulaşma Çabaları”, *TTMD Dergisi*, 12: 33 – 36
- “Gandemer, J. ve Guyot, A., (1976), *Integration du Phenomene Vent dans la Conception du Milieu Batı*, Premier Mimstre Groupe Central de Villes Nouvelles Seretariant Gen., Paris” (Ok, 2005 s: 71, 72’deki alıntılar; Yaşa, 2004 s: 12, 16, 23’deki alıntılar)
- Gemmel, K. (2006), *Fırtınalar ve Kasırgalar*, Çev: Utku Sümer, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Popüler Bilim Kitapları, No: 107, 16. Basım, Ankara.
- “Godish, T. (1997), *Air Quality*, 3rd Edition, Lewis Publishers, USA.” (Balanlı ve Taygun, 2005, s: 109’deki alıntı)
- Günay, E. (1994), *Yapay Hava Düzenleme Sistemlerinin Seçimi İçin Bir Yöntem*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul.
- Hacaloğlu, A. (2007), “Sürdürülebilir Apartman Tasarımı”, *Yapı Dergisi*, 305: 104 – 107
- “Jones, F.E. (1994), *Toxic Organic Vapors in the Workplace*, Lewis Publishers, Florida.” (Vural, 2004, s10’deki alıntı)
- Kandemir, İ. (2003), “Binalarda Terlemenin Oluşumu ve Alınması Gereken Önlemler”, *Tesisat Dergisi*, 95: 200 – 203
- Kayhan, S. (2005), “İç Ortam Havalandırma Kalitesi ve Havalandırma Kontrolü”, *TTMD Dergisi*, 37: 19 – 24
- Köksal, Y. (2001), “Kapalı Mahallerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 65: 57 – 72
- Küçükçalı, R. (2004), “İç Hava Kalitesinin Artırılmasında Havalandırma, Temiz Hava / Daha Çok Hava”, *Tesisat Dergisi*, 103: 62 – 73
- Kwok, A. G. (2000), *Thermal Comfort Concepts and Guidelines*, Chapter 15, *Indoor Air Quality Handbook*, Der: J.D. Spengler, J.M. Samet ve J.F. McCarthy, McGraw – Hill, New York.
- Larssen, S. ve Hagen, L.O. (1996), *Air Quality In Europe, 1993 A Pilot Report*, European Environment Agency, Copenhagen.
- Lechner, N. (2001), *Heating, Cooling, Lightining; Design Methods for Architects*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Liddament, M. (2000), *Ventilation Strategies*, Chapter 13, *Indoor Air Quality Handbook*, Der:



- J.D. Spengler, J.M. Samet ve J.F. McCarthy, McGraw – Hill, New York.
- “Makofske, W.J. ve Edelstein, M.R. (1988), Radon and Environment, Noyes Publication, USA” (Balanlı ve diğerleri, 2004, s. 380’deki alıntı)
- Neufert, E. (2000), Yapı Tasarımı, Çev: Gizem Tercüme, Beta Basım Yayın, İstanbul
- “NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences), (2001), “Asbestos”, Ninth Report on Carcinogens, CAS No: 1332-21-4, USA.” (Balanlı ve Taygun, 2005, s: 109’daki alıntı)
- Ok, V. (2005), “Yapma Çevre Tasarımında Rüzgâr Etkileri”, Tasarım Dergisi, 157: 70 – 74
- Oral, G. (2007), “Ekolojik Yaklaşımda İklimle Dengeli Yapı Tasarımı”, Tasarım Dergisi, 170: 110 – 114
- Oral, G. ve Altun, C. (2006), “Binalarda Isıtma Enerjisinin Korunumunda Isı Yalıtımı ve Nem Kontrolü”, Yalıtım Dergisi, 59: 68 – 74
- Oral, G. ve Manioğlu, G. (2005), “İklimle Dengeli Tasarım: Mardin, Antakya Örnekleri”, Tasarım Dergisi, 157: 136 – 142
- Önel, H. (1978), Yapılarda Alınacak Önlemlerle Hava Kirliliğinin Azaltılması Üzerine Bir İnceleme, Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, İDMMA, İstanbul.
- Özbalta, T. (2005), “Çift Kabuk Cam Cephe Kuruluşları ve Enerji Etkin Tasarım”, TTMD Dergisi, 36: 27 – 34
- Özdemir, B. B. (2005), Sürdürülebilir Çevre için Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul.
- Özdeniz, M. (1979), Yapma Çevre Tasarımında Rüzgâr Etkeni, Birinci Mimarlık Bilimleri Kongresine Sunulan Bildiriler, Ankara.
- Özgen, A. ve Eşsiz, Ö. (2004), “Büro Yapılarında Enerji Tüketimini Azaltan Çift Kabuklu Cam Cephe Sistemleri”, Yapı Dergisi, 276: 97 - 104
- Özgenalp, A. (2006), “Sığınaklarda Havalandırma ve Filtrasyon Sistemleri”, Tesisat Dergisi, 127: 78 – 84
- Özkan, S. (1999), “Kent ve İklimin Çağdaş Mimarı Ken Yeang ve Biyoklimatik Yaklaşım”, Arredamento Mimarlık, 117: 49
- Özmen, E. (2003), “Kapalı Otoparklarda Hava Kalitesi ve Karbonmonoksit Kontrolü”, Tesisat Dergisi, 85: 98 – 106
- Özteker, S.S. (2005), “Ekolojik Tasarımda Mimari Tesisat İlişkileri”, TTMD Dergisi, 36: 13 – 14
- Öztürk, M. (2005), Şehir İçi Bölgelerde Hava Kirliliğinin Sağlık Üzerine Etkileri, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Rogatty, W. (2005), “Daha Fazla Konut Konforu ve Etkili Nem Koruması”, Çev: Korhan Küçümen, Tesisat Dergisi, 115: 50 – 84
- Samet, J. M. (2000), Radon, Chapter 40, Indoor Air Quality Handbook, Der: J.D. Spengler, J.M. Samet ve J.F. McCarthy, McGraw – Hill, New York.
- Santamouris, M. (1998), Natural Ventilation in Buildings A Design Handbook, Design Guidelines and Technical Solutions for Natural Ventilation, Chapter 6, Ed: Francis Allard,

James & James Science Publishers, London.

Saraç, S. (2003), “Yeraltı Madenlerinde Havalandırma”, Termodinamik Dergisi, 130: 91 – 94

Sev, A. ve Özgen, A.(2003), “Yüksek Binalarda Sürdürülebilirlik ve Doğal Havalandırma”, Yapı Dergisi, 262: 92 – 99

Şenkal, F. (2001), “Yapıda Oluşan Nem ve Küfün İnsan Sağlığına Etkileri”, Yapı Dergisi, 233: 89 – 90

Şerefhanoglu, M. (1981), Yapılarda Isısal Konfor ve Cam Yüzeyler, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Mimarlık Fakültesi Yapı Fiziği Kürsüsü Yayınları, İstanbul.

Taranath, B. S. (1997), Wind and Earthquake Resistant Buildings, Structural Analysis and Design, CRC Press Taylor & Francis Group, USA.

Topar, A. H. (1996), Yapıda Elektroiklimsel Kirlilik ile İnsan Sağlığı İlişkisi ve Alınabilecek Önlemler, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul.

TS CR 1752, (2002), “Havalandırma – Binalar İçin Bina İç Ortamlar İçin Tasarım Kuralları”, Ankara.

TS 12281, (1997), “Çevre Sağlığı Kapalı Ortam Havası ile İlgili Tedbirler”, Ankara.

TS 11597, (1995), “Hava Kalitesi – Asbeste Maruz Kalınacak İş Yerlerinde Güvenlik ve Sağlık Tedbirleri”, Ankara.

Townsend, T. (2007), Indoor Air Quality: Clean, Green HVAC Machine, Filtration & Seperation, 44: 24 – 26

Tucker, W.G. (2000), Volatile Organic Compounds, Chapter 31, Indoor Air Quality Handbook, Der: J.D. Spengler, J.M. Samet ve J.F. McCarthy, McGraw – Hill, New York.

Tünay, O. ve Alp, K. (1996), Hava Kirlenmesi Kontrolü, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, No: 1996 – 36, İstanbul.

Utkuğ, G. (2001), “Yeni Yüzyıla Girerken Bina Tasarımı Ekoloji / Enerji Etkin / Akıllı Bina”, TTMD Dergisi, 14: 31 – 38

Ürgenç, S. İ. (2000), Kırsal Peyzaj (Koruma – Onarım – Düzenleme), Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: YTÜ.MF.DK – 2000.0584, Fakülte Yayın No: MF. ŞBP – 2000.004, İstanbul.

Vaizoglu, S., Beynun, E. ve Güler, Ç. (2004), “Kapalı Ortam Hava Kirliliği”, Termodinamik Dergisi, 139: 98 – 102

Vural, M.S. (2004), Yapı İç Hava Niteliği Risk Süreci Modeli Belirlenmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul.

Wadden, R.A. ve Scheff, P.A. (1983), Indoor Air Pollution: Characterizatio, Prediction and Control, John Wiley & Sons, New York

Watt, F. ve Wilson, F. (2007), Hava ve İklim, Çev: Gökhan Barış Bağcı, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Popüler Bilim Kitapları, No: 83, 20. Basım, Ankara.

WHO, (2000), Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition, WHO Regional Publications, European Series No: 91, Copenhagen.

Yaşa, E. (2004), Avlulu Binalarda Doğal Havalandırma ve Soğutma Açısından Rüzgâr Etkisi ile Oluşacak Hava Akımlarına Yüzey Açıklıklarının Etkisinin Deneysel İncelenmesi,

- Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul.
- Yeang, K. (2001), “1000 Yıllık Dönem için Tasarım”, TTMD Dergisi, 14: 20 – 30
- Yıldız, R. (2002), “Neden Alternatif Enerji?”, Termodinamik Dergisi, 118: 61 - 68
- Yılmaz Z. (2005), “Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji”, Tasarım Dergisi, 157: 100 – 104
- “Yocom, J.E. ve McCarthy, S.M. (1991), Measuring Indoor Air Quality; A Practical Guide, John Wiley & Sons, England.” (Vural, 2004, s: 8, 10, 12, 13’deki alıntılar)
- Yönet, T. (2005), “Havalandırma Sistemleri”, Termodinamik Dergisi, 149: 48 – 49
- Zorer, G. (1992), Yapılarda Isısal Tasarım İlkeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: 264, Fakülte Yayın No: MF-MİM 92.045, İstanbul.

## İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] Çelik, S. (2008), T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Resmî İnternet Sitesi, <http://www.meteor.gov.tr/2006/genel/genel-sorucevap.aspx?subPg=130&Ext=htm>
- [2] Northwestern University, Weinberg College of Arts & Science, Department of Biochemistry, Molecular Biology & Cell Biology, Definitions – ppm, ppb, <http://www.biochem.northwestern.edu/holmgren/Glossary/Definitions/Def-P/Index-P.html>
- [3] U.S. Department of Labor Occupational Safety & Health Administration, Regulations – Standarts 29 CFR, Table Z – 1, Table Z – 2 Limits for Air Contaminants, 1910 – 10000 [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992), 2008
- [4] U.S. Environmental Protection Agency, National Ambient Air Quality Standarts, 40 CRF part 50, <http://www.epa.gov/air/criteria.html>, 2008
- [5] Health Canada, Environmental & Workplace Health, Table of National Ambient Air Quality Objectives & Guidelines in Canada, [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/air/out-ext/reg\\_e.html](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/air/out-ext/reg_e.html), 2008
- [6] Doğal Radyasyon Kaynakları, [http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi\\_maddeler/dogalrad.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html), Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Resmi İnternet Sitesi
- [7] Kaynak, İ. B. (2005), “Mezotelyoma Nedir?”, <http://www.turkmedikal.net/yazilar/yazi.php?yaziid=18>
- [8] U.S. Department of Labor Occupational Safety & Health Administration, Regulations – Standarts 29 CFR, Asbestos, 1910 – 1001 [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9995](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9995)
- [9] U.S. Department of Labor Occupational Safety & Health Administration, Regulations – Standarts 29 CFR, Lead, 1910 – 1052 [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=10030](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=10030)
- [10] Anonim, Application of CFD to Naturally Ventilated Buildings: A Guide for Practitioners, Computational Fluid Dynamics Porgamı Tanıtım Broşürü, <http://www.flomerics.com/flovent/applications/hga/hgapdf1.pdf>

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 09.08.1981

Doğum yeri Isparta

Lise 1993-1999 Kütahya Ali Güral Anadolu Lisesi

Lisans 1999-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi  
Mimarlık Bölümü

**Çalıştığı kurumlar**

2003-2005 Epo Mimarlık, İstanbul

2005-2007 Budova Mimarlık, İstanbul

2007-2007 Sindoma Mimarlık, İstanbul