

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**GELENEKSEL RÜZGAR KULESİ ARACILIĞIYLA HAVALANDIRILAN BİR SINIF MEKANININ  
TERMAL KONFOR AÇISINDAN SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE ARAŞTIRILMASI: TRABZON  
ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Rova RABEHARİVELO**

**OCAK 2021  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**GELENEKSEL RÜZGAR KULESİ ARACILIĞIYLA HAVALANDIRILAN BİR SINIF  
MEKANININ TERMAL KONFOR AÇISINDAN SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE  
ARAŞTIRILMASI: TRABZON ÖRNEĞİ**

**Rova RABEHARIVELO**

**ORCID : 0000 -0003 - 2328 - 2189**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**“YÜKSEK MİMAR”**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 / 12 /2020**

**Tezin Savunma Tarihi : 04 / 01 /2021**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ**  
**ORCID : 0000 -0001 - 9556 - 1916**

**Trabzon 2021**

## ÖNSÖZ

“Geleneksel Rüzgar Kulesi Aracılığıyla Havalandırılan Bir Sınıf Mekanının Termal Konfor Açısından Simülasyon Yöntemi ile Araştırılması: Trabzon Örneği” isimli tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Tez çalışmam boyunca, bana her zaman destek olan, bilgi ve tecrübelerini paylaşmak için bana daima vakit ayıran çok değerli Hocam Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ’a teşekkürlerimi sunarım.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği hakkındaki bilgi ve deneyimlerini paylaştığı için Öğr. Üyesi Dr. Cemalettin AYGÜN Hocam’a da özellikle teşekkürlerimi sunarım.

Türkiye’de eğitimim boyunca bana her türlü desteği sağlayan değerli hocalarım ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Uzaktan manevi desteğini sürekli hissettiğim aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Rova RABEHARIVELO

Trabzon, 2021

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Geleneksel Rüzgar Kulesi Aracılığıyla Havalandırılan Bir Sınıf Mekanının Termal Konfor Açısından Simülasyon Yöntemi ile Araştırılması: Trabzon Örneği” isimli bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 04/01/2021

Rova RABEHARIVELO



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

|                                                                                                |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                                     | III  |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....                                                                     | IV   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                               | V    |
| ÖZET .....                                                                                     | XI   |
| SUMMARY .....                                                                                  | XII  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                                          | XIII |
| TABLolar DİZİNİ.....                                                                           | XVII |
| SEMBOLLER DİZİNİ .....                                                                         | XIX  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                 | 1    |
| 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....                                                          | 1    |
| 1.2. Literatür Çalışması.....                                                                  | 4    |
| 1.3. Konfor Kavramı .....                                                                      | 14   |
| 1.3.1. Giriş.....                                                                              | 14   |
| 1.3.2. Mekanlar İçin Gereksinim Duyulan Konfor Tipleri .....                                   | 15   |
| 1.3.2.1. Aydınlatma Konforu .....                                                              | 15   |
| 1.3.2.2. Akustik Konfor .....                                                                  | 15   |
| 1.3.2.3. Termal Konfor .....                                                                   | 16   |
| 1.3.2.3.1. Metabolizma Hızı .....                                                              | 16   |
| 1.3.2.3.2. Giyim .....                                                                         | 17   |
| 1.3.2.3.3. Hava Sıcaklığı .....                                                                | 18   |
| 1.3.2.3.4. Ortalama Radyant Sıcaklığı .....                                                    | 18   |
| 1.3.2.3.5. Hava Hızı (m/s) .....                                                               | 20   |
| 1.3.2.3.6. Bağıl Nem .....                                                                     | 22   |
| 1.3.3. Konfor Bölgesi.....                                                                     | 23   |
| 1.3.4. Öngörülen Ortalama Değer (PMV) ve Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik<br>Yüzdesi (PPD) ..... | 25   |
| 1.3.4.1. Öngörülen Ortalama Değer (PMV) .....                                                  | 25   |
| 1.3.4.2. Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik Yüzdesi (PPD) .....                                    | 26   |
| 1.4. Mimarlıkta Enerji Verimliliği.....                                                        | 27   |

|          |                                                                 |    |
|----------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1.5.     | Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri .....                   | 29 |
| 1.5.1.   | Kentsel Planlama ve Çevre Düzenlemesi (Peyzaj) .....            | 29 |
| 1.5.2.   | Su Kaynaklarının Yerinin Önemi .....                            | 31 |
| 1.5.3.   | Yönlenme .....                                                  | 32 |
| 1.5.4.   | Yapı Formu / Yüzey-Hacim Oranı .....                            | 32 |
| 1.5.5.   | Plan Formu .....                                                | 33 |
| 1.5.6.   | Bina Dış Kabuğu .....                                           | 34 |
| 1.5.7.   | Pencere Düzeni .....                                            | 34 |
| 1.6.     | Pasif Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Teknikleri .....          | 36 |
| 1.6.1.   | Rüzgar Kaynaklı Uygulanan Teknikler .....                       | 36 |
| 1.6.1.1. | Konforlu Havalandırma ve Çapraz Havalandırma .....              | 36 |
| 1.6.1.2. | Rüzgar Kulesi .....                                             | 37 |
| 1.6.1.3. | Kanat Duvarı .....                                              | 37 |
| 1.6.2.   | Güneş Kaynaklı Uygulanan Teknikler .....                        | 38 |
| 1.6.2.1. | Trombe Duvarı .....                                             | 38 |
| 1.6.2.2. | Güneş Bacaları .....                                            | 39 |
| 1.6.2.3. | Güneş Enerjisi Toplayıcıları (Transpired Solar Collector) ..... | 40 |
| 1.6.2.4. | Solar Çatı Vantilatörü .....                                    | 41 |
| 1.6.3.   | Radyant Soğutma Tekniği .....                                   | 42 |
| 1.6.3.1. | Doğrudan Radyant Soğutma .....                                  | 42 |
| 1.6.3.2. | Dolaylı Radyant Soğutma .....                                   | 42 |
| 1.6.4.   | Buharlaştırma Soğutma Tekniği .....                             | 43 |
| 1.6.5.   | Jeotermal Enerji (Toprak Soğutma) .....                         | 44 |
| 1.6.5.1. | Doğrudan Toprak Bağlantılı .....                                | 44 |
| 1.6.5.2. | Toprakla Dolaylı Bağlantılı .....                               | 45 |
| 1.7.     | Rüzgar Kulesi .....                                             | 46 |
| 1.7.1.   | Rüzgar Kulesinin Kökeni .....                                   | 46 |
| 1.7.2.   | Rüzgar Kulesinin Bileşenleri .....                              | 47 |
| 1.7.2.1. | Kule .....                                                      | 47 |
| 1.7.2.2. | Açıklık .....                                                   | 48 |
| 1.7.2.3. | Bölümler .....                                                  | 48 |
| 1.7.2.4. | Bölme Duvarı .....                                              | 48 |
| 1.7.3.   | Yapı ve Malzeme .....                                           | 49 |

|          |                                                                                                                          |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.7.4.   | Çalışma Modu.....                                                                                                        | 50 |
| 1.7.5.   | Rüzgar Kulesi Tipolojisi.....                                                                                            | 51 |
| 1.7.5.1. | Biçimlerine Göre Rüzgar Kuleleri.....                                                                                    | 51 |
| 1.7.5.2. | Bölme Elemanları Düzenlemesine Göre Rüzgar Kuleleri.....                                                                 | 52 |
| 1.7.5.3. | Kentlere Göre Rüzgar Kuleleri.....                                                                                       | 54 |
| 1.7.6.   | Rüzgar Kulelerinin Boyutları.....                                                                                        | 60 |
| 1.7.7.   | Modern Mimaride Rüzgar Kulelerinin Kullanımları.....                                                                     | 61 |
| 1.8.     | Akışkanlar Dinamiği ve Akışının Özellikleri.....                                                                         | 63 |
| 1.8.1.   | Akışkanlar Dinamiği.....                                                                                                 | 63 |
| 1.8.2.   | Akışkanların Özellikleri.....                                                                                            | 64 |
| 1.8.3.   | Akımı Türü.....                                                                                                          | 65 |
| 1.8.3.1. | Newton Olana Karşı Newton Olmayan.....                                                                                   | 65 |
| 1.8.3.2. | Viskoza Karşı Viskoz Olmayan.....                                                                                        | 65 |
| 1.8.3.3. | Sıkıştırılabilir Karşı Sıkıştırılamaz.....                                                                               | 65 |
| 1.8.3.4. | Laminere Karşı Türbülanslı.....                                                                                          | 66 |
| 1.8.3.5. | Zorunlu Karşı Doğal Akışlı.....                                                                                          | 66 |
| 1.8.3.6. | Sürekliye Karşı Geçici.....                                                                                              | 66 |
| 1.8.4.   | Akışkan Dinamiğinde Temel Prensipler.....                                                                                | 66 |
| 1.8.4.1. | Kütlenin Korunumu İlkesi.....                                                                                            | 67 |
| 1.8.4.2. | Momentumun Korunması.....                                                                                                | 67 |
| 1.8.4.3. | Enerjinin Korunumu.....                                                                                                  | 69 |
| 1.9.     | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD).....                                                                               | 69 |
| 1.9.1.   | Ön işlemci.....                                                                                                          | 70 |
| 1.9.2.   | Çözücü.....                                                                                                              | 71 |
| 1.9.3.   | Son işlemci.....                                                                                                         | 72 |
| 2.       | YAPILAN ÇALIŞMALAR.....                                                                                                  | 73 |
| 2.1.     | Giriş.....                                                                                                               | 73 |
| 2.2.     | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Kullanarak Bir Sınıf Ortamında Rüzgar Kulesi Verimliliğinin Değerlendirilmesi..... | 74 |
| 2.3.     | Mekanların ve Rüzgar Kulelerinin 2D Modellerinin Hazırlanması.....                                                       | 75 |
| 2.4.     | Simülasyon Programı İçin Yapılan Kabuller.....                                                                           | 75 |
| 2.4.1.   | Mekan Boyutu.....                                                                                                        | 76 |
| 2.4.2.   | Rüzgar Kulelerinin Ölçüleri.....                                                                                         | 76 |

|          |                                                                   |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.2.1. | Tek Taraflı (Temel Model) ve iki Taraflı Rüzgar Kulesi .....      | 76  |
| 2.4.2.2. | Farklı Yüksekliklerdeki Rüzgar Kulesi Modelleri.....              | 78  |
| 2.4.2.3. | Rüzgar Kulesinin Farklı Genişliklerdeki Modelleri .....           | 79  |
| 2.4.2.4. | Farklı Açıklık Yüksekliklerine Sahip Rüzgar Kulesi Modelleri..... | 80  |
| 2.4.2.5. | Bölme Duvarlı Modeller .....                                      | 82  |
| 2.4.3.   | Kullanılan Sınır Tipi .....                                       | 83  |
| 2.4.4.   | Sınırlardaki Girdiler (Inputs at Boundaries) .....                | 84  |
| 2.4.5.   | Malzeme Kabulleri.....                                            | 87  |
| 2.5.     | Kullanılan Izgara .....                                           | 88  |
| 2.6.     | Kullanılan Metodu .....                                           | 91  |
| 2.6.1.   | Akış Dinamiği Metodunun Doğrulanması.....                         | 91  |
| 2.6.2.   | Termal Simülasyon Metodunun Doğrulanması .....                    | 92  |
| 2.7.     | Simülasyon Sonuçlarının Elde Edilmesi Süreci .....                | 94  |
| 2.7.1.   | Geometrilerin Hazırlığı.....                                      | 95  |
| 2.7.2.   | Meshing Aşaması.....                                              | 96  |
| 2.7.3.   | Simülasyon Kurulumu .....                                         | 98  |
| 2.7.3.1. | Korunum Denklemi .....                                            | 99  |
| 2.7.3.2. | Malzemeler .....                                                  | 100 |
| 2.7.3.3. | Sınır Koşullarının Belirlenmesi .....                             | 100 |
| 2.7.4.   | Sayısal Çözüm .....                                               | 101 |
| 2.8.     | Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi .....                     | 102 |
| 3.       | BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                         | 104 |
| 3.1.     | Giriş.....                                                        | 104 |
| 3.2.     | Akış Dinamiği Analizi .....                                       | 105 |
| 3.2.1.   | Rüzgar Kulesi Açıklık Sayısının Etkisi .....                      | 107 |
| 3.2.1.1. | BM1 İçin Hız Analizi.....                                         | 107 |
| 3.2.1.2. | BM1 İçin Basınç Analizi .....                                     | 109 |
| 3.2.1.3. | BM2 İçin Hız Analizi.....                                         | 111 |
| 3.2.1.4. | BM2 İçin Basınç Analizi .....                                     | 113 |
| 3.2.1.5. | Model BM1 ve BM2'nin Performans Karşılaştırması .....             | 115 |
| 3.2.2.   | Rüzgar Kulelerindeki Yüksekliğin Etkisi .....                     | 116 |
| 3.2.2.1. | MH1 İçin Hız Analizi .....                                        | 116 |
| 3.2.2.2. | MH1 İçin Basınç Analizi .....                                     | 118 |



|          |                                                                                                            |     |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.2.3. | MH5 İçin Hız Analizi .....                                                                                 | 120 |
| 3.2.2.4. | MH5 İçin Basınç Analizi .....                                                                              | 122 |
| 3.2.2.5. | Farklı Yüksekliklerdeki Rüzgar Kulelerinin Performanslarının Karşılaştırılması .....                       | 124 |
| 3.2.3.   | Rüzgar Kulelerinin Genişliklerinin Etkisi .....                                                            | 125 |
| 3.2.3.1. | MW 1.5 İçin Hız Analizi .....                                                                              | 125 |
| 3.2.3.2. | MW 1.5 İçin Basınç Analizi .....                                                                           | 127 |
| 3.2.3.3. | MW2 İçin Hız Analizi .....                                                                                 | 129 |
| 3.2.3.4. | MW2 İçin Basınç Analizi .....                                                                              | 131 |
| 3.2.3.5. | Farklı Genişliklerdeki Rüzgar Kuleleri Performanslarının Karşılaştırılması .....                           | 132 |
| 3.2.4.   | Rüzgar Kulelerinin Etkinliklerinde Açıklık Boyutlarının Etkisi .....                                       | 134 |
| 3.2.4.1. | MO 0.5 İçin Hız Analizi .....                                                                              | 134 |
| 3.2.4.2. | MO 0.5 İçin Basınç Analizi .....                                                                           | 136 |
| 3.2.4.3. | MO2 İçin Hız Analizi .....                                                                                 | 138 |
| 3.2.4.4. | MO2 İçin Basınç Analizi .....                                                                              | 140 |
| 3.2.4.5. | Farklı Açıklık Boyutlarına Sahip Rüzgar Kulesi Performanslarının Karşılaştırılması .....                   | 141 |
| 3.2.5.   | Eklenen İç Duvardaki Açıklık Konumlarının Rüzgar Kulelerinin Etkinliklerine Etkisi .....                   | 145 |
| 3.2.5.1. | Konfigürasyon 1 İçin Hız Analizi.....                                                                      | 146 |
| 3.2.5.2. | Konfigürasyon 1 İçin Basınç Analizi.....                                                                   | 147 |
| 3.2.5.3. | Konfigürasyon 2 İçin Hız Analizi.....                                                                      | 149 |
| 3.2.5.4. | Konfigürasyon 2 İçin Basınç Analizi.....                                                                   | 151 |
| 3.2.5.5. | Konfigürasyon 3 İçin Hız Analizi.....                                                                      | 152 |
| 3.2.5.6. | Konfigürasyon 3 İçin Basınç Analizi.....                                                                   | 154 |
| 3.2.5.7. | BM1 Modeli Performansının Üç Farklı Konfigürasyonlu Rüzgar Kulesi Performanslarıyla Karşılaştırılması..... | 156 |
| 3.3.     | Termo-Dinamik Çalışma Modeli .....                                                                         | 158 |
| 3.4.     | Termodinamik Analizi .....                                                                                 | 160 |
| 3.4.1.   | Optimize Edilmiş Model İçin Sıcaklık Analizi.....                                                          | 160 |
| 3.5.     | Termal Konfor koşulları ve İç Mekan Termal Kaliteleri.....                                                 | 161 |
| 4.       | SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                                                 | 164 |
| 5.       | KAYNAKLAR .....                                                                                            | 169 |

|          |            |     |
|----------|------------|-----|
| 6.       | EKLER..... | 178 |
| ÖZGEÇMİŞ |            |     |



GELENEKSEL RÜZGAR KULESİ ARACILIĞIYLA HAVALANDIRILAN BİR SINIF  
MEKANININ TERMAL KONFOR AÇISINDAN SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE  
ARAŞTIRILMASI: TRABZON ÖRNEĞİ

Rova RABEHARIVELO

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Mimarlık Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ  
2021, 177 Sayfa, 2 Sayfa Ek

Yapıların çoğunda kullanıcıların termal konforu büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bir sınıf mekanının havalandırılması amacıyla tasarlanan rüzgar kulesinin mekana termal etkisi araştırılmıştır. Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, çalışmanın amacı, kapsamı ve araştırma metodolojisi belirtilmiştir. Ayrıca konfor, enerji verimliliği, rüzgar kuleleri dahil pasif iklimlendirme ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile ilgili genel bir bakış açısı sağlanmıştır. İkinci bölümde, çalışma kapsamında yer alan 11 adet rüzgar kulesi modeli tasarlanmış ve ANSYS programı ile simüle edilmiştir. Üçüncü bölümde, elde edilen değerler rüzgar kulelerinin performanslarını ve oturma pozisyonunda kullanıcılar için termal konfor seviyesini tanımlamak için değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde, rüzgar kulesinin farklı fiziksel özelliklerinin hava akışı ve kullanıcıların termal konforu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. En iyi sonuç, 0.5 m açıklığa sahip tek yönlü rüzgar kulesi modeli (MO0.5) ve zemin seviyesinde iç açıklığa sahip rüzgar kulesi (Konfigürasyon 1) ile elde edilmiştir. Sonuçlara göre, oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ile göğüs seviyelerindeki ortalama hava hızı 1,17 m/s ve 1.75 m/s ile en düşük düzeylerde elde edilmiştir. Daha sonra optimize edilmiş model ile daha iyi termal konfor koşulu elde edilmiştir. Çalışma kapsamında Ağustos ayı iklimsel koşulları dikkate alınarak yapılan araştırmanın diğer yaz ayları koşullarında da yapılması ve elde edilecek sonuçlar neticesinde bu tekniğin modern sistemlerle bütünleştirilerek Trabzon'daki yapıların mimari tasarım süreçlerine dahil edilmesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Termal konfor, rüzgar kulesi, ANSYS, CFD, doğal havalandırma, sınıf

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THERMAL COMFORT IN A CLASSROOM VENTILATED  
WITH TRADITIONAL WIND TOWER WITH COMPUTATIONAL SIMULATION  
METHOD: CASE OF TRABZON

KTU

Rova RABEHARIVELO

Karadeniz Technical University  
Institute of Science  
Architectural Program

Supervisor: ASSOC. Prof. Dr. Mustafa KAVRAZ  
2021, 177 Pages, 2 Pages Appendix

In most structures, the thermal comfort of users is important. This study investigated the thermal quality of a classroom in which ventilation is realized with a windcatcher. The study consists of four parts. In the first part, the purpose of study, scope and research methodology were determined. In addition, an overview on comfort, energy efficiency, passive air conditioning, and computational fluid dynamics was provided. In the second chapter, eleven models were designed and simulated with ANSYS program. In the third chapter, the airflow behaviour was described for each model. The obtained values were evaluated to determine the windcatchers performances and the thermal comfort of sitting users. In the fourth chapter, the effects of different physical properties of the windcatcher on airflow and thermal comfort of the users are concluded. The best result was obtained with a unidirectional windcatcher model (MO0.5) which is 3m high, 1m wide and with a windcatcher entrance of 0.5 m high. According to the results, lowest value of average air velocity occurring at the head and chest level of the seated users of 1.17 m / s was obtained. Also, the model with internal opening at floor level (Configuration 1) provided more comfort with an average air velocity of 1.75 m / s at the head and chest of the seated users. Better thermal comfort conditions have been achieved with the optimized model. It is suggested that the research should be conducted considering the other climatic conditions of other summer months. This technique should be integrated with modern systems and included in the architectural design processes of the buildings in Trabzon.

**Keywords:** Thermal comfort, windcatcher, ANSYS, CFD, natural ventilation, classroom

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|             | <b><u>Sayfa No</u></b>                                                                                                 |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 1.1.  | Mevsimsel olarak tanımlanmış konfor bölgesi ..... 23                                                                   |
| Şekil 1.2.  | Olgyay'ın biyoklimatik çizelgesi ..... 24                                                                              |
| Şekil 1.3.  | Givoni'den (1992) uyarlanan Biyoklimatik çizelge ..... 25                                                              |
| Şekil 1.4.  | Enerji kullanımıyla oluşan döngü ..... 28                                                                              |
| Şekil 1.5.  | Rüzgar hızıyla orantılı ısı kaybı ..... 30                                                                             |
| Şekil 1.6.  | Yüksek yapının rüzgar yönü ve hızına etkisi ..... 31                                                                   |
| Şekil 1.7.  | Yapı biçimleri ..... 33                                                                                                |
| Şekil 1.8.  | Pencere yerleşimi ve rüzgar geliş yönüne bağlı olarak bina içinde ve etrafında meydana gelen hava hareketleri ..... 35 |
| Şekil 1.9.  | Duvarlarda açıklık (pencere) yerleşimleri ve rüzgar hareketleri ..... 37                                               |
| Şekil 1.10. | Gelişmiş doğal havalandırma için Kanat Duvarı ..... 38                                                                 |
| Şekil 1.11. | Klasik Trombe-Michel duvarı..... 39                                                                                    |
| Şekil 1.12. | Güneş Bacaları ..... 40                                                                                                |
| Şekil 1.13. | Solar çatı vantilatörü ..... 41                                                                                        |
| Şekil 1.14. | Doğrudan radyant soğutma örneği..... 42                                                                                |
| Şekil 1.15. | Dolaylı radyant soğutma örneği..... 43                                                                                 |
| Şekil 1.16. | Pasif soğutma için toprak korumalı bina (earth-sheltered building) ..... 44                                            |
| Şekil 1.17. | Bir serayı soğutmak için toprak borusu sistemi ..... 45                                                                |
| Şekil 1.18. | Toprak borusu ve rüzgar kulesi kombinasyonu ile gerçekleştirilen havalandırma..... 46                                  |
| Şekil 1.19. | İran'ın Yezd Kentindeki rüzgar kulelerinden bir görünüm ..... 46                                                       |
| Şekil 1.20. | Rüzgar kulesinin bileşenleri ve bölmeler..... 48                                                                       |
| Şekil 1.21. | Zemin düzleminde farklı açıklıklı bölme duvar örnekleri ..... 49                                                       |
| Şekil 1.22. | Rüzgar kulelerinin yapısı ..... 50                                                                                     |
| Şekil 1.23. | Rüzgar kulelerinin sıcaklık farkına göre çalışma durumu ..... 51                                                       |
| Şekil 1.24. | Farklı bölme elemanları düzenlemelerine sahip rüzgar kuleleri..... 53                                                  |
| Şekil 1.25. | Orta Doğu'da bulunan farklı tiplerdeki rüzgar kuleleri ..... 54                                                        |
| Şekil 1.26. | Katar Üniversitesi'nde uygulanan rüzgar kuleleri ..... 61                                                              |
| Şekil 1.27. | Zion Ulusal Parkı'ndaki Ziyaretçi Merkezi..... 62                                                                      |
| Şekil 1.28. | Üzerine güneş enerjili bir fan entegre edilmiş rüzgar kulesi ..... 63                                                  |

|             |                                                                                                                                           |     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 1.29. | CFD analizlerindeki üç ana unsur.....                                                                                                     | 70  |
| Şekil 2.1.  | Trabzon’da 2013-2018 yılları arasındaki ortalama aylık<br>bağıl nem değerle .....                                                         | 85  |
| Şekil 2.2.  | Trabzon’da 2013-2018 yılları arasındaki ortalama aylık<br>rüzgar hızı değerleri .....                                                     | 85  |
| Şekil 2.3.  | Trabzon’da 2013-2018 yılları arasındaki ortalama aylık<br>sıcaklık değerleri .....                                                        | 86  |
| Şekil 2.4.  | Sayısal sonuçların karşılaştırıldığı çizgiler .....                                                                                       | 89  |
| Şekil 2.5.  | Farklı ızgaralar için hız profillerinin Çizgi 1’de karşılaştırılması .....                                                                | 90  |
| Şekil 2.6.  | Farklı ızgaralar için hız profillerinin Çizgi 2’de karşılaştırılması .....                                                                | 90  |
| Şekil 2.7.  | Hız profil konumu.....                                                                                                                    | 92  |
| Şekil 2.8.  | CFD simülasyonundan elde etmiş olduğumuz ve Reyes vd. [15]<br>çözümlerinden elde edilen hız değerlerinin karşılaştırılması .....          | 92  |
| Şekil 2.9.  | Sıcaklık profil konumu .....                                                                                                              | 93  |
| Şekil 2.10. | Elde etmiş olduğumuz CFD simülasyonundan ve Hosseini vd. [10]’den<br>elde edilen verilerin sıcaklık profillerinin karşılaştırılması ..... | 94  |
| Şekil 2.11. | Temel model için akış problemine genel bakış.....                                                                                         | 94  |
| Şekil 2.12. | ANSYS Programı arayüzü.....                                                                                                               | 95  |
| Şekil 2.13. | ANSYS oluşturulan geometri .....                                                                                                          | 96  |
| Şekil 2.14. | Meshing işlemi.....                                                                                                                       | 97  |
| Şekil 2.15. | Meshing aracı içindeki sınırların seçilmesi.....                                                                                          | 97  |
| Şekil 2.16. | Fluent başlatıcı .....                                                                                                                    | 98  |
| Şekil 2.17. | Fluent arayüzü.....                                                                                                                       | 99  |
| Şekil 2.18. | Türbülans model seçim penceresi.....                                                                                                      | 100 |
| Şekil 2.19. | Hesaplamalar sırasında artıkların görüntülenmesi.....                                                                                     | 102 |
| Şekil 3.1.  | BM1 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin<br>dağılımları (m/s).....                                                     | 108 |
| Şekil 3.2.  | BM1 modelinde hız dağılımı (m/s).....                                                                                                     | 109 |
| Şekil 3.3.  | BM1 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin<br>dağılımları (Pa) .....                                                  | 110 |
| Şekil 3.4.  | BM1 modelindeki basınç dağılımı (Pa) .....                                                                                                | 110 |
| Şekil 3.5.  | BM2 modelindeki hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin<br>dağılımları (m/s) .....                                                  | 112 |
| Şekil 3.6.  | BM2 modelindeki hız dağılımı (m/s) .....                                                                                                  | 113 |
| Şekil 3.7.  | BM2 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin<br>dağılımları (Pa) .....                                                  | 114 |

|             |                                                                                                                                              |     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 3.8.  | BM2 modelindeki basınç dağılımı (Pa) .....                                                                                                   | 114 |
| Şekil 3.9.  | İç mekanın farklı bölgelerindeki ortalama hız değerleri (m/s) .....                                                                          | 116 |
| Şekil 3.10. | MH1 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                                                           | 117 |
| Şekil 3.11. | MH1 modelindeki hız dağılımı (m/s) .....                                                                                                     | 118 |
| Şekil 3.12. | MH1 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa) .....                                                        | 119 |
| Şekil 3.13. | MH1 modelinde basınç dağılımı (Pa) .....                                                                                                     | 119 |
| Şekil 3.14. | MH5 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                                                           | 121 |
| Şekil 3.15. | MH5 modelindeki hız dağılımı (m/s) .....                                                                                                     | 121 |
| Şekil 3.16. | MH5 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa) .....                                                        | 122 |
| Şekil 3.17. | MH5 modelinde statik basıncın dağılımı (Pa) .....                                                                                            | 123 |
| Şekil 3.18. | Farklı yüksekliklere sahip rüzgar kulelerine bağlı olarak iç mekanın farklı bölgelerindeki ortalama hız değerleri (m/s) .....                | 125 |
| Şekil 3.19. | MW1.5 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                                                         | 126 |
| Şekil 3.20. | MW1.5 Modelinde kontur hızı büyüklükleri (m/s).....                                                                                          | 127 |
| Şekil 3.21. | MW1.5 Modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa) .....                                                      | 128 |
| Şekil 3.22. | MW1.5 modelindeki basınç dağılımı (Pa) .....                                                                                                 | 128 |
| Şekil 3.23. | MW2 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                                                           | 130 |
| Şekil 3.24. | MW2 modelinde kontur hızı büyüklükleri (m/s) .....                                                                                           | 130 |
| Şekil 3.25. | MW2 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa) .....                                                        | 131 |
| Şekil 3.26. | MW2'deki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri (Pa) .....                                                                            | 132 |
| Şekil 3.27. | Farklı genişliklere sahip rüzgar kulelerine bağlı olarak iç mekanın farklı bölgelerdeki (Tablo 3.1'deki) ortalama rüzgar hız değerleri ..... | 134 |
| Şekil 3.28. | MO0.5 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                                                         | 135 |
| Şekil 3.29. | MO0.5 modelindeki hız dağılımı (m/s) .....                                                                                                   | 136 |
| Şekil 3.30. | MO 0.5 modelinde basınç değerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa) .....                                                        | 137 |
| Şekil 3.31. | MO 0.5 modelindeki basınç dağılımı (Pa) .....                                                                                                | 137 |

|             |                                                                                                                          |     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 3.32. | MO2 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                                       | 139 |
| Şekil 3.33. | MO2 modelindeki hız dağılımları (m/s) .....                                                                              | 139 |
| Şekil 3.34. | MO2 modelinde basınç değerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa) .....                                       | 140 |
| Şekil 3.35. | MO2 modelindeki basınç dağılımı (Pa).....                                                                                | 141 |
| Şekil 3.36. | Farklı açıklık boyutlarına bağlı olarak mekanın farklı bölgelerdeki (Tablo 3.1'deki) ortalama rüzgar hız değerleri ..... | 142 |
| Şekil 3.37. | On iki termal bölgede kullanıcılara için termal algı çizelgesi (MO 0.5 ile) .....                                        | 145 |
| Şekil 3.38. | Konfigürasyon 1 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                           | 146 |
| Şekil 3.39. | Konfigürasyon 1 modelindeki hız büyüklüğü dağılımı (m/s).....                                                            | 147 |
| Şekil 3.40. | Konfigürasyon 1 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa).....                         | 148 |
| Şekil 3.41. | Konfigürasyon 1 modelindeki basınç dağılımı (Pa) .....                                                                   | 148 |
| Şekil 3.42. | Konfigürasyon 2 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                           | 150 |
| Şekil 3.43. | Konfigürasyon 2 modelinde hız büyüklüğü dağılımı (m/s).....                                                              | 150 |
| Şekil 3.44. | Konfigürasyon 2 modelindeki basınç değerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa).....                          | 151 |
| Şekil 3.45. | Konfigürasyon 2 modelindeki basınç dağılımı (Pa) .....                                                                   | 152 |
| Şekil 3.46. | Konfigürasyon 3 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                           | 153 |
| Şekil 3.47. | Konfigürasyon 3 modelinde hız büyüklüğü dağılımı (m/s).....                                                              | 154 |
| Şekil 3.48. | Konfigürasyon 3 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s).....                           | 155 |
| Şekil 3.49. | Konfigürasyon 3 modelinde basınç dağılımı (Pa) .....                                                                     | 155 |
| Şekil 3.50. | Farklı Konfigürasyona sahip BM1 için farklı bölgelerdeki ortalama hava hızı değerleri (m/s) .....                        | 157 |
| Şekil 3.51. | İç mekan bölümlerinde termal konfor değerlendirmesi.....                                                                 | 160 |
| Şekil 3.52. | Optimize edilmiş model içindeki sıcaklık dağılımı (K).....                                                               | 161 |
| Şekil 3.53. | On iki termal bölgede kullanıcılar için termal algı çizelgesi .....                                                      | 163 |



## TABLolar DİZİNİ

|             | <b><u>Sayfa No</u></b>                                                                                                  |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tablo 1.1.  | Belirli faaliyetlerdeki MET değerleri..... 17                                                                           |
| Tablo 1.2.  | Farklı clo değerlerine sahip giyim örnekleri..... 17                                                                    |
| Tablo 1.3.  | Rüzgar hızları ve termal konfor algısı ..... 21                                                                         |
| Tablo 1.4.  | İnsanlar Üzerindeki Rüzgar Etkilerini Gösteren Genişletilmiş Arazi<br>Beaufort Ölçeği ..... 22                          |
| Tablo 1.5.  | Psiko-fiziksel ASHRAE ölçeği..... 26                                                                                    |
| Tablo 1.6.  | Form ve bölme elemanlarının düzenine göre rüzgar kulesi tipleri ..... 53                                                |
| Tablo 1.7.  | Kökenlerine göre rüzgar kuleleri ..... 55                                                                               |
| Tablo 1.8.  | Akışkanın özellikleri..... 64                                                                                           |
| Tablo 2.1.  | Tek taraflı ve iki taraflı rüzgar kulesi (temel) kabulleri..... 77                                                      |
| Tablo 2.2.  | Farklı yüksekliklerdeki rüzgar kulelerine ait veriler..... 78                                                           |
| Tablo 2.3.  | Farklı kule genişliklerine sahip rüzgar kuleleri kabulleri ..... 80                                                     |
| Tablo 2.4.  | Farklı Açıklık Yüksekliğine Sahip Rüzgar Kulesi Modelleri kabulleri..... 81                                             |
| Tablo 2.5.  | Farklı iç açıklık konfigürasyonlarına sahip rüzgar kulesi modellerine ait<br>kabuller..... 82                           |
| Tablo 2.6.  | Kullanılan sınır tipi ..... 84                                                                                          |
| Tablo 2.7.  | Trabzon’da Ağustos ayındaki hava koşulları ortalama değerleri ..... 87                                                  |
| Tablo 2.8.  | Duvar sıcaklığı ile ilgili yapılan kabuller..... 87                                                                     |
| Tablo 2.9.  | Termo-fiziksel malzemelerin karakteristikleri..... 88                                                                   |
| Tablo 2.10. | CBE aracına girilen Termal Konfor Parametreleri ..... 103                                                               |
| Tablo 3.1.  | Hava akımı değerlendirmesi amacıyla iç mekanda yapılan bölümlenme.... 106                                               |
| Tablo 3.2.  | BM1’deki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri ..... 111                                                        |
| Tablo 3.3.  | BM2 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri ..... 115                                                 |
| Tablo 3.4.  | MD1 modelinde farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri ..... 120                                                   |
| Tablo 3.5.  | MH5 modelinde farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri ..... 123                                                   |
| Tablo 3.6.  | Farklı yükseklikteki rüzgar kulesi modellerinde basınç farklarının<br>ve ortalama hızların karşılaştırılması ..... 124  |
| Tablo 3.7.  | MW1.5 modelinde farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri ..... 129                                                 |
| Tablo.3.8.  | MW2 modelinde farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri ..... 132                                                   |
| Tablo 3.9.  | Farklı genişlikteki rüzgar kulesi modellerinde basınç farklarının<br>ve ortalama hızlarının karşılaştırılması ..... 133 |

|             |                                                                                                                                                   |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 3.10. | MO0.5 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri .....                                                                             | 138 |
| Tablo 3.11. | MO2 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri .....                                                                               | 141 |
| Tablo 3.12. | Farklı açıklık boyutlarına sahip rüzgar kulesi modellerinde basınç farkları ve ortalama hız değerleri .....                                       | 142 |
| Tablo 3.13. | Termal bölgede simülasyonlar aracılığıyla hesaplanan hava hızı ve ortam sıcaklığı değerleri (MO0.5 ile) .....                                     | 143 |
| Tablo 3.14. | Termal bölgelerde PMV, PPD ve termal algı (MO0.5 ile) .....                                                                                       | 144 |
| Tablo 3.15. | Konfigürasyon 1 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri .....                                                                   | 149 |
| Tablo 3.16. | Konfigürasyon 2 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri .....                                                                   | 152 |
| Tablo 3.17. | Konfigürasyon 3 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri .....                                                                   | 156 |
| Tablo 3.18. | Farklı konfigürasyonlara sahip modellerdeki basınç farkları ve hız ortalamaları .....                                                             | 156 |
| Tablo 3.19. | Tüm modeller için oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgesindeki hesaplanan ortalama hız, PMV, PPD değerleri ve termal algı ..... | 158 |
| Tablo 3.20. | Termodinamik için kullanılacak rüzgar kulesi modelinin özellikleri .....                                                                          | 159 |
| Tablo 3.21. | Termal bölgede simülasyonlar aracılığıyla hesaplanan hava hızı ve ortam sıcaklığı değerleri .....                                                 | 162 |
| Tablo 3.22. | Termal bölgelerde PMV, PPD ve termal algı .....                                                                                                   | 163 |
| Tablo 3.23. | Modellerin özellikleri ve elde edilen değerler .....                                                                                              | 167 |

## SEMBOLLER DİZİNİ

|               |                                                                                     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ABD           | : Amerika Birleşik Devletleri                                                       |
| ASHRAE        | : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers         |
| ATM           | : The Standard Atmosphere (101325 Pa)                                               |
| CBE           | : Center for the Built Environment                                                  |
| CFD           | : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)                    |
| CPU           | : İşlemci (central processing unit.)                                                |
| HTD           | : Isı Transfer Cihazı (Heat Transfert Device)                                       |
| ISO           | : International Organization for Standardization                                    |
| HVAC          | : Isıtma, Havalandırma ve Klima (Heating, ventilation, and air conditioning)        |
| HTD           | : Isı Transfer Cihazı (Heat transfer device)                                        |
| MRT           | : Ortalama Radyant Sıcaklık (Mean Radiant Temperature)                              |
| PMV           | : Öngörülen Ortalama Değer (Predicted Mean Value)                                   |
| PPD           | : Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik Yüzdesi (The Predicted Percentage of Dissatisfied) |
| $\varepsilon$ | : Türbülans sönümleme hızı (the turbulent dissipation)                              |
| $k$           | : Türbülans kinetik enerjisi                                                        |
| $T_r$         | : MRT'dir (K)                                                                       |
| $T_N$         | : N yüzeyinin yüzey sıcaklığı (K)                                                   |
| $F_{p-N}$     | : Bir insan ile N yüzeyi arasındaki açı faktörü                                     |
| $T_{mrt}$     | : MRT (°C)                                                                          |
| AN            | : Yüzey alanı (m <sup>2</sup> )                                                     |
| $T_o$         | : Operatif sıcaklık (°C)                                                            |
| $T_A$         | : Hava sıcaklığı (°C)                                                               |
| $T_r$         | : Ortalama radyant sıcaklık (°C)                                                    |
| $t_{pr1}$     | : Çatının düzlemsel radyant sıcaklıkları (°C)                                       |
| $t_{pr2}$     | : Zeminin düzlem radyant sıcaklıkları (°C)                                          |
| $t_{pr3}$     | : Sağ duvarın düzlem radyant sıcaklıkları (°C)                                      |
| $t_{pr4}$     | : Sol duvarın düzlem radyant sıcaklıkları (°C)                                      |
| $t_{pr5}$     | : Ön duvarın düz radyant sıcaklıkları (°C)                                          |
| $t_{pr6}$     | : Arka duvarın düzlem radyant sıcaklıkları (°C)                                     |

|             |                                                   |
|-------------|---------------------------------------------------|
| $M$         | : Metabolizma oranı ( $W/m^2$ )                   |
| $W$         | : Etkin mekanik güç ( $W/m^2$ )                   |
| $H$         | : Kuru ısı kaybı                                  |
| $E_c$       | : Deride evaporatif ısı değişimi                  |
| $C_{res}$   | : Solunum konvektif ısı değişimi                  |
| $E_{res}$   | : Solunum evaporatif ısı değişimi                 |
| $U$         | : x yönünde hız ( $m/s$ )                         |
| $v$         | : y yönünde hız ( $m/s$ )                         |
| $\mu$       | : viskozitesi                                     |
| $P$         | : çevre (m)                                       |
| $A$         | : alan ( $m^2$ )                                  |
| $P$         | : yoğunluk ( $kg/m^3$ )                           |
| $U$         | : x yönünde hız ( $m/s$ )                         |
| $V$         | : y yönünde hız ( $m/s$ )                         |
| $\mu$       | : viskozite katsayısı ( $kg.m^{-1}.s^{-1}$ )      |
| $h$         | : özgül entalpi ( $kJ/kg$ )                       |
| $T$         | : mutlak sıcaklık ya da termodinamik sıcaklık (K) |
| $\emptyset$ | : kayıp fonksiyonu (terimi)                       |
| $p$         | : basınç (Pa)                                     |
| $\rho$      | : yoğunluk ( $kg/m^3$ )                           |
| $k$         | : ısı iletim katsayısı ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )      |

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Enerji kaynaklarının kullanımı, insanların günlük yaşam koşullarında iyileşme ve konfor sağlayan endüstriyel kalkınmaya önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Enerji kaynaklarının kullanıldığı sanayi alanındaki ilerlemeler 18. yüzyılda İngiltere’de başlayan ve dünyanın diğer bölgelerine yayılan Endüstri Devrimi ile birlikte etkili gelişmeler göstermiştir. Başlangıçta kömürden elde edilen buhar gücü, tekstil, metalürji, taşımacılık alanlarında makineleşme ile ilgili yeni tekniklere imkan tanımıştır. Bu süreçte petrol ve doğal gaz gibi diğer fosil yakıtlar da elektrik üretmek, ısıtma sistemlerini ve araçları çalıştırmak, mal taşımak, yemek pişirmek vb. amaçlı olarak kullanılmıştır. Ancak fosil yakıtlar yenilenemeyen enerji kaynakları oldukları için tükenme sürecini yaşamaktadırlar. Her geçen gün teknoloji alanındaki yeniliklerin ortaya çıkması ve dünya nüfusunun artışı ile enerji taleplerinin de artışı dikkate alındığında fosil yakıtların tükenme süreci çok hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu durum enerji krizinin yaşanması gibi bir sonucu da kaçınılmaz bir hale getirmektedir. 1970’lerde, ABD’nin büyük ölçüde petrol olan ulusal enerji rezervleri tükenmiş, endüstriyi dolayısıyla da nüfusun günlük yaşamını etkileyen bir enerji krizi yaşanmıştır [1]. ABD’de gerçekleşen bu krizin, yenilenemeyen enerji kaynaklarına bağlı kalındığı sürece küresel bir sorun olarak güncelliğini daima koruyacağı açıktır.

Fosil yakıtlarla ilgili tek sorun aslında enerji krizi riski de değildir. Fosil yakıt üretimi ve tüketimi çevreyi birçok açıdan etkilemektedir. Yakıt işleme ve yakma sürecinde atmosferde karbon bileşiği açığa çıkmakta, bu durum hava ve su kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca, yanan yakıtlar iklim değişikliğine ve günümüzde endişe verici durumda olan küresel ısınmaya yol açan yeşil gazları da üretmektedir [2]. Bu nedenle, fosil yakıtın kullanılması biyolojik çeşitliliği ve yaşamlarımızı doğrudan etkilemektedir. Yani soluduğumuz hava daha kirli hale gelmekte, hayvanların doğal yaşam alanları tahrip edilmekte ve yok olma tehlikesi yaşamaktadır.

Netice itibarıyla, belirtilen nedenlerden dolayı doğal çevrenin daha da bozulmasını önlemek amacıyla adımlar atmak ve önlemler almak önem taşımaktadır. Bundan dolayı, yenilenebilir enerji ve çevre dostu teknolojilerin kullanımının teşvik edilerek fosil enerji

kullanımının ve çevre üzerindeki zararlı etkilerinin en aza indirilmesi hedeflenmelidir. Yenilenebilir enerji; güneş ışığı, rüzgar, jeotermal ısı vb. gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjiyi tanımlarken, çevre dostu teknoloji ise; yenilenebilir enerji ile çalıştırılan teknolojik ürünleri tanımlamaktadır.

Enerji tüketiminin neredeyse yarısı yapı ve inşaat endüstrisinde gerçekleştiği için tasarım sürecinde yapılardaki enerji ihtiyacı göz önünde bulundurulmalıdır. Yapı tasarım sürecinde, mimar ve mühendisler küresel enerji tüketimi ve sağlıklı yönetim rollerinde önemli sorumluluklar düşmektedir. Yapılarda kullanılan enerjinin çoğu iç ortam çevre kontrolü için harcanmaktadır [3]. İç mekanlarda optimum sıcaklık, havalandırma ve nem seviyesini elde etmek için, elektrik, gaz, kömür vb. enerji kaynakları ile çalışan klima, ısıtıcı, vantilatör veya hava nemlendirici sistemler kullanılmaktadır. Özellikle aşırı kuru, aşırı sıcak veya aşırı soğuk gibi sert hava koşullarına sahip iklim bölgelerinde, ısı konforu kolay bir şekilde sağlanamadığı yerlerde, bu tür cihazların kullanımı kaçınılmaz olmaktadır. Bu durum enerji ihtiyacını daha da önemli kılmaktadır. Yapıların gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla çevre dostu yenilenebilir enerji teknolojilerinin yapılara entegre edilmesi sağlıklı bir yaşam için büyük önem taşımaktadır.

Tarihi süreç içinde ısıtma, soğutma, havalandırma işlemleri geleneksel yöntemlerle pasif sistemler şeklinde yapılarda uygulama alanı bulmuşlardır. Bu kapsamda, pasif iklimlendirme ile ısıtma, soğutma, havalandırma işlemleri geleneksel sistemlerle inşa edilmiş yapılarda olduğu gibi günümüzde çağdaş yapım tekniklerinin uygulandığı yapılarda da etkili şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Pasif sistemler içerisinde en önemlilerinden birisi de mekanların havalandırılması amacıyla kullanılan rüzgar kuleleridir. Bu çalışma kapsamında, geleneksel rüzgar kulelerinin mekanın fiziksel koşulları üzerine etkisi incelenmiştir. Rüzgar kulesi, mekanlarda doğal havalandırma sağlamak için basınç farkı oluşturularak kullanılan, geçmiş MÖ 4000'lere uzanan eski bir uygulamadır [4]. Verimliliği sayesinde, uzun zamandan beri Orta Doğu ve Mısır'ın sıcak, kurak ve ılıman bölgelerinde geleneksel formlarda kullanılmaktadır. Teknolojideki gelişmelerle birlikte mevcut sisteme temel tekniklerin eklenmesiyle rüzgar kulelerinin verimliliği artırılmıştır. Rüzgar kulelerinin sistemlerine günümüzdeki teknolojik uyarlamalarla birlikte ayarlanabilir özellikler ve otomatik bileşenler etkili şekilde dahil edilmiştir. Ayrıca, dünyadaki farklı iklim koşullarına adapte edilerek uygulamalar da gerçekleştirilmiştir. Rüzgar kuleleri büyük ölçekli projelerde de etkili şekilde kullanılabilir. Türkiye'deki farklı iklim koşullarında etkili uygulama alanı bulamaması nedeniyle bu çalışmaya araştırma konusu olarak seçilmiştir.

Bu araştırma, Ağustos ayında Trabzon iklim koşullarında geleneksel rüzgar kulesi kullanılan bir sınıf ortamı için en uygun/optimum termal koşulların belirlenmesini amaçlamaktadır. Bunun için, farklı fiziksel özelliklere sahip rüzgar kuleleri ile akış dinamiği çalışması yapılmıştır. Akış dinamiği çalışması için öncelikle, farklı fiziksel özelliklere sahip rüzgar kulelerinin modelleri tasarlanmıştır. Başlangıçta sıcak ve nemli iklim bölgesinde kullanılan rüzgar kulelerinin özelliklerine bağlı olarak “temel model” tasarlanmıştır. Daha sonra, temel modele ve mevcut verilere dayalı olarak, farklı boyutsal özelliklere sahip rüzgar kuleleri oluşturmuştur. Modeller farklı sayıda yön, yükseklik, genişlik ve açıklık yüksekliğine sahip olacak şekilde belirlenmiştir. Ayrıca, farklı bölme duvar konfigürasyonları içeren rüzgar kulesi oluşumları da önerilmiştir. Akış dinamiği analizi için tasarlanan modellerin simülasyonları ANSYS 16 ile gerçekleştirilmiştir. Akış dinamiği analizinde, rüzgar kulelerinin performansı değerlendirilmiştir. Bunun için, modellerdeki basınç ve hız dağılımı belirlenmiştir. Daha sonra ise, oturma pozisyonunda kullanıcıların baş ve göğüs seviyelerinde meydana gelen hava hızı hesaplanmıştır. Bu değer ve diğer termal konfor parametreleri (çalışma sıcaklık, nem yüzdesi, metabolizma hızı ve giysi seviyesi) ile PMV (Öngörülen Ortalama Değer), PPD (Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik Yüzdesi) ve kullanıcıların termal algısı CBE (Comfort for Built Environment) aracı kullanılarak belirlenmiştir. Bu termal konfor endeksleri ile rüzgar kulelerinin performansı karşılaştırılmıştır. Rüzgar kulesi fiziksel bileşeninin farklı boyutlarının iç mekan havalandırma üzerindeki etkisini belirleyebilmek için: farklı açıklık yüksekliği, farklı kule yüksekliği, farklı genişlik ve farklı açıklık yönüne sahip rüzgar kuleleri karşılaştırılmıştır. Bölme duvarlı rüzgar kulelerinin performansları da değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Kullanıcılara oturma pozisyonunda en konforlu havalandırmayı sağlayan rüzgar kulesi ve bölme duvar konfigürasyonu belirlenmiştir.

Ana hedefe ulaşmak için, optimize edilen model ile termodinamik çalışma yapılmıştır. Termodinamik çalışmada, optimize edilen model, mekanın pencere, tavan ve zemin malzemelerinin termal özellikleri ile sıcaklığı dikkate alınarak ANSYS 16’da simüle edilmiştir. Modelin sıcaklık dağılımı hazırlanıp analiz edilmiştir. Ayrıca sınıf mekanında farklı bölgelerdeki ortalama hava hızları ve ortalama sıcaklıklar hesaplanmıştır. Elde edilen değerler, diğer termal konfor parametreleriyle CBE aracına girilmiştir. CBE aracında, PMV ve PPD değerleri hesaplanmıştır. Kullanıcıların termal algısı belirlenmiş ve sınıfın konfor seviyesi değerlendirilebilmiştir.

İlk bölüm, ana konu ve araştırma tekniği etrafında gelişen terminolojiler ve kavramlar hakkında daha iyi bir bilgi birikimi kazandırmayı amaçlamaktadır. Bundan dolayı, rüzgar kuleleri ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile ilgili araştırma makaleleri üzerine literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra, iç mekanda fiziksel çevre konfor kavramı ve parametreleri incelenmiştir. Ayrıca, mimarlıkta verimli enerji kavramı araştırılmış, ayrıca mikro iklimi etkileyen farklı yapısal tasarım unsurları ve farklı iklimlendirme türleri incelenmiştir. Rüzgar kulelerinin kökenleri, tipolojileri, işlevleri vb. hakkında bilgiler araştırılmıştır. Akışkanlar dinamiği ile ilgili kavramlar ve CFD'nin esasları incelenmiştir. İkinci bölümde, yapılan çalışma ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Bu bağlamda simüle edilecek modeller bu bölümde sunulmuştur. Ayrıca, simülasyon sonuçlarını elde etmek için uygulanan metodoloji de adım adım gösterilmiştir. Üçüncü bölümde veri ve tartışmalarla ilgili bilgiler yer almaktadır. Bu bölümde, akış dinamiği ve termo dinamik analiz de dahil olmak üzere simülasyonların sonuçları bulunmaktadır. Ayrıca, sınıfta termal konfor analizi de yapılmıştır. Son olarak dördüncü bölümde, analizden çıkarılan sonuçlar belirtilmiş ve öneriler sunulmuştur.

## 1.2. Literatür Çalışması

Pasif havalandırma sistemleri içinde önemli bir yere sahip olan rüzgar kuleleri ile ilgili literatürde birçok bilimsel araştırma yer almaktadır. Araştırmalarda, rüzgar kuleleri farklı açılardan ele alınmıştır. Bunlar; rüzgar kulelerinin tasarımı (geometri: yükseklik, bölme elemanları vb.), rüzgar kuleleri ile bağlantılı mekanların tasarımı (pencere boyutlandırma ve konumlandırma, vb.), akış kontrolü (damper, panjurlar vb. ek bileşenler kullanılarak), ek cihazların entegrasyonu (ısı eşanjörü ve buharlaşmalı soğutma), binadaki diğer havalandırma tekniklerinin entegrasyonu (kanat duvarı ve kavisli çatı), rüzgar özellikleri (rüzgar açısı), rüzgar kulelerinin performansı (kaldırma etkisinin incelenmesi) ile ilgili çalışmalardır. Rüzgar kuleleri, geleneksel, optimize edilmiş ve modern tip olarak çalışmalarda yer almaktadır.

Rüzgar kulelerinin fiziksel özellikleri, akışkanlar mekaniği prensipleri nedeniyle performansını ve hava akışını etkileyebilmektedir. Montazeri [5], bu fikre dayanarak silindirik rüzgar kulelerinin havalandırma performansını farklı açıklık sayılarına sahip olacak şeklide farklı kesitlerle karşılaştırmıştır. Simülasyon işlemlerinden önce çalışma kapsamında rüzgar tüneli ve dumanla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve



sayısal sonuçlar uyum göstermiştir. Simülasyon için, modelin girişinde ayarlanan rüzgar sabit bir hızda fakat farklı yönlerde seçilmiştir. Çalışmanın sonucu, bölme sayısının ve rüzgar açısının rüzgar kulelerinin verimliliğini etkilediğini göstermiştir. Daha fazla açıklığa sahip rüzgar kulesi ile daha az hava sağlanmıştır. Tersine, daha az açıklığa sahip rüzgar kulesi ile daha fazla hava sağlanmıştır. Dikey olmayan harici rüzgarlar için, daha az açıklığa sahip rüzgar kulesi daha az hava sağlamıştır. Ancak, çok yönlü rüzgar kulesi ile rüzgar birden fazla açıklıktan girmiştir. Ayrıca, dikdörtgen ve silindir formu rüzgar kuleleri için karşılaştırma yapılmış ve dikdörtgen formu modelin daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Elmualim ve Awbi [6] yapmış oldukları çalışmada, University of Reading United Kingdom'da kare ve dairesel rüzgar kuleleri üzerinde deneysel ve sayısal yaklaşımla karşılaştırma yapmışlardır. Farklı kesitlere sahip dört taraflı rüzgar kuleleri, çeşitli hızlarda ve farklı yönlerdeki rüzgar etkisi altında test edilmiştir. Sayısal çalışma Vortex programı ile yapılmıştır. Sonuçlar, rüzgar yönünün rüzgar kulesinin performansını etkilediğini kanıtlamıştır. İlk olarak, farklı rüzgar açısı sistemin etrafında meydana gelen basıncı değiştirmiştir. Ayrıca basınca bağlı olarak, rüzgar kulesinin her bir kanalının davranışı da değişmiştir. Kare rüzgar kulesi en fazla  $30^\circ$  açı ile rüzgara maruz kaldığında, tek kanaldan kulenin içine temiz hava alınmıştır. Bu sırada diğer kanallar ise kirli havayı sistemden çıkartmıştır. Rüzgar açısı  $45^\circ$ 'ye yükseltildiğinde, hava sisteme iki kanaldan girmiş, diğerlerinden ise çıkartılmıştır. Rüzgarın geliş açısının artmasının akış hızının düşmesine neden olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, sistemin içine daha fazla akış sağlamak için rüzgarın daha yüksek bir hızla  $15^\circ$ 'ye ayarlanması gerekmiştir. Kare ve dairesel rüzgar kulelerine dış ortamdan daha yüksek hızla giren rüzgar, kulelerde daha fazla akış hızı oluşmasını sağlamıştır. Çalışmanın sonucunda, araştırmacılar kare ve dairesel rüzgar kulelerinin performanslarını karşılaştırmışlar ve kare rüzgar kulesinin havalandırma için dairesel kuleden daha verimli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Mahdavinejad ve Javanroodi [7] yapmış oldukları çalışmada, kare biçimli rüzgar kulelerini değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında; Kermani, Yazdi ve Ardakani geleneksel rüzgar kulelerinin İran iklim şartlarındaki işlev ve verimliliğini incelemek için simülasyonlar yapılmıştır. Modeller Vasari programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında İran'daki 12 aylık rüzgar karakteristikleri dikkate alınmıştır. Çalışma, farklı modellerin farklı basınçlar ürettiğini ve farklı basınçların farklı havalandırma performansı getirdiğini göstermiştir.

Tek taraflı rüzgar kulesi (Ardakani) için, rüzgar yönü tarafı (windward) ve pencere arasındaki basınç farkı yetersiz olmuştur. Bu nedenle, havalandırma yetersiz olmuştur. Rüzgar yönündeki değişim havanın hacmini de düşürmüştür. Sonuç olarak, Ardakani'nin genellikle kış mevsiminde sadece bazı günlerde havalandırma amaçlı daha uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, odadaki havanın sirkülasyonunu engelleyen pencerede yüksek basınç kaydedilmiştir. Bu nedenle Ardakani'nin havanın emilmesi amacıyla kullanılabileceği belirtilmiştir. İki taraflı (Kermani) rüzgar kulesi içindeki basınç farkına rağmen, hava her iki taraftan da girmiştir. Ancak giren hava, odadaki boşluklar aracılığı ile odadan dışarıya çıkamamıştır. Rüzgar yönünde değişiklik yapıldığında, rüzgar kulesi havalandırma görevini sürdürmüştür. Özellikle, toz filtreleri eklendiğinde neredeyse tüm yıl boyunca kullanılabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, sonbaharda Kermani'nin odada dış rüzgardan dolayı rahatsızlık vermesinin de olası olduğu belirtilmiştir. Dört taraflı rüzgar kulesi veya Yazdi de, rüzgar tarafında hesaplanan basınç diğer taraflardan daha önemli düzeylerde elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu taraflar iç mekana hava sağlamak yerine havayı iç mekandan serbest bırakmıştır. Bu nedenle Yazdi rüzgar kulesi ile Kermani kulesinden daha az havalandırma sağlanmakta olduğu ancak genel havalandırma performansının da yıl boyunca yeterli olduğu belirtilmiştir.

Hosseini vd. [8] yapmış oldukları çalışmada farklı yüksekliklerdeki dikdörtgen ve dört taraflı rüzgar kulelerinin performanslarını karşılaştırmışlardır. Geometrilere Gambit'te oluşturulmuş ve simülasyonlar Fluent Simülasyon Programında gerçekleştirilmiştir. Girişte  $0^\circ$ 'de uygulanan sabit bir rüzgar hızı ile kanalın yüksekliğinin rüzgar kulesinin havalandırma performansını etkilediğini göstermiştir. Rüzgar, kulenin keskin geometrisine çarptığında, rüzgar hızının düşmesine neden olacak şekilde rüzgarda önemli basınç ve büyük akış ayrılma bölgesi oluşmuştur. Kuleye giren rüzgar kanal boyunca aşağı düzleme indikçe artış göstermiştir. Rüzgar kulesinin yüksekliği arttıkça rüzgar daha hızlı hareket etmiştir. Ayrıca, rüzgar kulesi açıklıklarının karşı tarafları arasında daha fazla basınç farkı oluşmuştur. Bu nedenle, mekana giren havanın büyük bir kısmı diğer açıklıktan dışarıya çıkmıştır. Bu durumda, sadece küçük bir miktar temiz hava odaya daha düşük hızla girmiştir. Sonuç olarak, kulenin yüksekliğinin artırılması, oluşturulan koşullar için iç mekan havalandırmasını iyileştirmemiştir.

Ghadiri vd. [9] rüzgar kulesinin yüksekliğine odaklanmış bir araştırma yapmışlardır. CFD (Computational Fluid Dynamics) modelleme yöntemini kullanarak termal performansı araştırmışlardır. H şeklinde düzenlenmiş bölme elemanları ve sekiz farklı yükseklikte üç

boyutlu rüzgar kulesi modelleri yapmışlardır. Girişteki rüzgar hızı ve dış ortamdaki sıcaklık sabit olarak ayarlanmıştır. Sayısal sonuçlara göre, rüzgar kulesinin yüksekliği 6 m olana kadar iç sıcaklıkta sürekli düşüş gerçekleşmiştir. Bu yükseklik geçildiğinde, ölçülen sıcaklıkta artık azalma gerçekleşmemiştir. Bu doğrultuda, rüzgar kulesinin zemin seviyesinden 6 m yüksekliği, termal performansın sağlanması için en uygun yükseklik olarak belirtilmiştir.

Hosseini vd. [10] Yazd'daki iklim verilerini kullanarak tasarladıkları altı farklı binada rüzgar kulesi performansını incelemişler ve karşılaştırmışlardır. Öncelikle, kullanılacak en doğru türbülans modelini belirlemişler ve sayısal sonuçları literatür verileriyle karşılaştırarak doğrulamışlardır. Daha sonra rüzgar kulesinin genişlik, yükseklik ve tavan tipindeki (düz veya kavisli) değişiklikleri simülasyon programı aracılığı ile değerlendirmişlerdir. Rüzgar kulesinin yüksekliğinin arttırılmasına gerek olmadığı sonucuna varmışlardır. Çünkü yükseklik artışı iç mekandaki rüzgar hızını rahatsız edici düzeye kadar arttırmıştır. Buna karşılık, daha büyük ölçüde genişliğe sahip rüzgar kulesi kullanımı mekanın içindeki rüzgar hızının artışını sağlamıştır. Rüzgar kulesinin tavanının kıvrılması, gelen hava akış hızını artırmıştır. Bununla birlikte, hava dağıtımında iç mekanda anlamlı bir etki gözlenmemiştir.

Gharakhani vd. [11] tek yönlü rüzgar kulesinin farklı yükseklik ve alan değerleri için performansını araştırmıştır. Rüzgar kulesi sıcak ve nemli hava koşullarında deneysel olarak incelenmiş ve ardından sayısal yaklaşım izlenerek simüle edilmiştir. Öncelikle ızgara hazırlanmış ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinden sonra, rüzgar kulesinin yükseklik artışının, diğer koşullar göz önüne alındığında rüzgar kulesi performansını artırdığı ortaya çıkmıştır. Rüzgarın zayıf olduğu günlerde bile sistemin havalandırma görevini yerine getirebileceği tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, rüzgar kulesinin tropikal hava koşullarında kullanılabileceği belirlenmiştir.

Zarandi [12] Yazd şehrinin iklim koşullarında, binanın içini serinletmek ve nemlendirmek amacıyla en iyi rüzgar kulesi modelini araştırmıştır. Bunun için öncelikle dikdörtgen rüzgar kulesi yer alan bir ev, Gambit Yazılımı aracılığıyla farklı bölme elemanları ile (+ ve H şeklinde) modellenmiştir. Daha sonra akış alanı tanımlanmış ve sınır şartları belirlenmiştir. Simülasyonlar yerel sıcaklık, bağıl nem ve rüzgar hızı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Farklı bölme elemanları konfigürasyonları ile farklı sonuçlar elde edilmiştir. Tüm modeller, sıcaklığın düşürülmesinde ve ekstra nem oluşturulmasında etkili

olmuştur. Bununla birlikte, + şeklindeki bölme elemanlarına sahip olan rüzgar kulesine ait modelle diğer modellerden daha fazla verimlilik elde edilmiştir.

Ghadiri vd. [13] buharlaşmalı soğutma (evaporatif soğutma) sistemi ile donatılan farklı iç geometriye sahip kare rüzgar kulelerinin performanslarını (K şekilli ve X şekilli bölme elmanları) karşılaştırmışlardır. Gambit kullanarak, pencereli bir odayla bağlantılı rüzgar kulesi geometrisini değiştirmişlerdir. Çalışma kapsamında dış hava sıcaklığı, dış rüzgar hızı ve kule yönü sabit tutulmuştur. Rüzgar kulesinin altında “buharlaşmalı soğutma” sağlamak için su havuzu tasarlanmıştır. Modeldeki basınç, rüzgar hızı ve kütleli debi Fluent Simülasyon Programında hesaplanmıştır. Araştırmada ayrıca, ısı transferi de hesaplanmıştır. Akış ayrılma bölgesi ve basıncın tüm rüzgar kulelerinin girişinde rüzgar hızının düşmesine neden olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamındaki her iki modelin de iç mekana temiz hava sağladığı kanıtlanmıştır. X şekilli bölme elemanlarına sahip olan rüzgar kulesi havayı daha yüksek hızda kanalize etmiştir ve odadaki sıcaklığı düşürmek için de bu kulenin daha güçlü olduğu belirlenmiştir.

Bazı araştırmalar binaların geometrilerindeki değişikliklerin akış yönü ve genel havalandırma performansı üzerinde etkisi olabileceğini göstermiştir.

Montazeri ve Montazeri [14] bir rüzgar kulesi haricinde fakat mekan içinde yer alan hava çıkış birimi boyutunun, tipinin ve konumunun rüzgar kulesi ile birlikte çalıştığında havalandırma performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar farklı durumları simüle etmek için Fluent Simülasyon Programını kullanmışlardır. Çalışma, rüzgar altı duvarında yer alan bir pencere ile rüzgar akış yönündeki bir rüzgar kulesinin bulunduğu iç mekan temel model simülasyonu ile başlamıştır. Temel model simülasyonundan sonra, sayısal sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmış ve sayısal sonuçların yeterince doğru olduğu bulunmuştur. Daha sonra, temel modelin farklı çıkış boyut ve tip kombinasyonları kurgulanarak çeşitli senaryolar tasarlanmıştır. Pencerenin boyutu 0,2 m<sup>2</sup>’lik artışla 0 ile 2 m<sup>2</sup> arasında değiştirilmiştir. Ek çalışma durumları için, farklı pencere boyutlarına sahip modeller ikinci bir açıklık eklenerek değiştirilmiştir. Bütün akış dinamiği problemleri sayısal olarak çözülmüş ve sonuçlar, büyük pencereli bir mekan ile rüzgar kulesinin birlikte çalışması durumunda iç mekan hava kalitesinde iyileşme olmadığını ortaya koymuştur. Pencere alanının rüzgar kulesinin hava giriş alanından daha büyük olmadığı durumlarda hava akış hızının artması daha fazla önem taşımıştır. Tek yönlü rüzgar kulesi, rüzgar altında yer alan pencere ile daha verimli çalışmıştır. Bunun nedeni, bu kombinasyonun odadaki havayı diğer konfigürasyonlardan daha verimli bir şekilde yenileyebilmesidir.

Reyes vd. [15] İran'daki rüzgar kulesi teknolojisini Meksika'nın farklı hava koşullarında incelemişlerdir. Akış dinamiği ve ısıl-dinamik problemlerini çözmek için Fluent Simülasyon Programı aracılığıyla havalandırma için en iyi performansla sahip konfigürasyonu elde etmeyi amaçlamışlardır. İlk adımda, beş farklı tasarım simüle edilmiş ve bunlar hava akışı dağılımı açısından karşılaştırılmıştır. Bu tasarımlar, iç duvarın rüzgar kulesi ile oda arasındaki pozisyonu ve kulenin alt kısmının şeklinin değişimi ile farklılaştırılması şeklinde olmuştur. Sonuçlar, bölme duvarının ortasına yakın açıklığı olan modelin iç mekanda en iyi havalandırmayı sağladığını ortaya koymuştur. İkinci adımda, önceki akış analizinde belirlenen en iyi konfigürasyon ile bir termal çalışma yapılmıştır. Termal dinamik çalışmada, simüle edilen rüzgar kulesinin tavanı kıvrılarak değiştirilmiştir. Termal çalışma için simülasyon koşullarına Kuzey Meksika'nın yerel termal durumu ve yapı malzemelerinin termal özellikleri eklenmiştir. Son model, kanaldaki hava akışını artırdığı için sistemin performansını da artırmıştır. Çalışma sonucunda, optimize edilmiş rüzgar kulesinin Meksika'nın sert hava koşullarında verimli olduğu kanıtlanmıştır.

Rüzgar kulesi ile ilgili bazı araştırmalar, farklı alanlarda (rüzgar kulesinde hava girişi veya odada hava girişi) yapılabilecek akış kontrolüne odaklanmıştır. Hughes ve Ghani [16] "Windvent" adı verilen ticari bir havalandırma cihazının üzerindeki panjur performansı ile ilgili bir araştırma gerçekleştirmiştir. Gelen akışa direnç oluşturmak ve cihazın etrafındaki basıncı artırmak için bu cihazı rüzgar kulesine eklemiştir. Çalışmada, CFD kullanarak en iyi havalandırma performansını sağlayan panjurların açısını bulmayı amaçlamıştır. Simülasyon modellerini yapmak için, küçük bir sınıfın çatısında bulunan windvent, Pro Engineer yazılımı içerisinde bir makro iklime alınmıştır. Daha sonra Gambit kullanarak modellerde ızgaralar üretilmiştir. Çalışma için, on panjurun açısı  $5^\circ$  artış açısı ile  $10 - 45^\circ$  arasında değiştirilmiştir. Fluent Simülasyon Programında, alanın çıkışındaki atmosferik basınç ile alanın girişindeki sabit rüzgar hızı ayarlanmıştır. Korunum denklemleri k- $\epsilon$  türbülanslı model ile çözülmüştür. Sonuçların yorumlarında genellikle aerodinamik teorilerde kullanılan "Stol açısı" terminolojisi kullanılmıştır. Stol açısı, panjurun üst yüzeyinde akış ayrımının gerçekleştiği geliş açısı olarak tanımlanmaktadır. Araştırmada stol açısı  $35^\circ$  olarak alınmıştır. Bu açı, windvent'in performansını optimize etmek açısından panjuruları ayarlamak için ideal açıdır. Panjurlar  $35^\circ$ 'ye ayarlandığı zaman, kullanıcılar windvent'ten gelen havalandırma ile kendilerini daha rahat hissetmişlerdir.

Liu vd. [17] rüzgar kulesi üzerinde bulunan panjurun etkisini CFD yöntemiyle analiz etmişlerdir. Araştırmada öncelikle panjurun uzunluğunun ve sayısının etkisine

odaklanmışlardır. Başlangıçta fazla sayıdaki panjur tabakasının daha yüksek hava akış hızına neden olduğu ortaya çıkmıştır. Daha sonra ise tersine altıdan fazla panjurla kısa devre nedeniyle hava akış hızı düşmüştür. Panjurun uzunluğu referans değerle aynı olduğunda, dış ortamdan indüklenen rüzgar optimum değerde elde edilmiştir. Panjurlar daha uzun olduğunda, hava akış hızı düşmüştür. Çalışmanın ikinci bölümünde, çok yönlü bir kare rüzgar kulesinin etkisi, termal kaynaklar ve pencere konumunun etkisiyle değerlendirilmiştir. Modeldeki kaldırma etkisinin (buoyancy effect) yeniden gerçekleşmesi için, odaya ısı kaynakları yerleştirilmiştir. Rüzgar altı tarafındaki pencereyle birleştirilmiş bir rüzgar kulesi kullanılmasının daha düzgün havalandırma ve daha iyi kirletici giderimi sağladığı bulunmuştur. Çalışma, basıncın hava akış hızı üzerinde kaldırma etkisinden daha fazla etkili olduğunu kanıtlamıştır. Ayrıca, termal kaynağın hava hızını arttırdığı ve kirleticinin dağılmasında yardımcı olduğu belirlenmiştir.

Elmualim [18] yaptığı çalışmada bir rüzgar kulesine gelen hava akışını kontrol etmek için sönümleyici ve kare petek menfezin etkinliğini kanıtlamıştır. Araştırma ilk aşamada duman görselleştirme ve tam ölçekli deney ile yapılmış olup sonraki aşamada CDF yöntemi uygulanmıştır. Araştırma için, bir odanın çatısına dört taraflı kare formlu bir rüzgar kulesi yerleştirilmiştir. Geometrik modeller CFX Windows ortamında oluşturulmuş ve simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları, damper ve kasa ızgarasının hava ikmal hacmini azaltmada etkili olduğunu kanıtlamıştır. Özellikle dış rüzgar yavaş olduğu zaman, hava ikmali yarıya indirilmiştir. Dış ortam rüzgarı orta derecede olduğu zaman hava ikmali sadece kısmen azalmıştır. Veriler ayrıca çıkarılan havanın da azaldığını göstermiştir. Elmualim, ayrıca ısıнын rüzgar kulesi performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Önceki sayısal modele, ısı kaynakları yerleştirilmiş ve simülasyondan önce etkinleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, iç sıcaklıkta düşüş ve akış hızında artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yüksek dış rüzgar hızının sistemin iç ortam sıcaklığını düşürmek için daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Bazı araştırmacılar, dış ortamdaki rüzgarın rüzgar kulesinin havalandırma performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bunu rüzgar yoğunluğunu ve geliş açısını değiştirerek yapmışlardır. Çalışmalar kapsamında, dış rüzgar hızı ve geliş açısı değişken olarak alınmıştır.

Montazeri vd. [19] farklı rüzgar geliş açıları ( $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ ) altında iki taraflı bir rüzgar kulesinin davranışını incelemişlerdir. Araştırma deneysel olarak, sayısal olarak ve daha sonra da analitik modelleme ile gerçekleştirilmiştir. Farklı yöntemlerden elde

edilen sonuçlar arasında uyum olduğu belirlenmiştir. Geometri, çatısında rüzgar kulesi bulunan bir odayı ve kulenin karşısındaki duvar üzerine yerleştirilmiş bir pencereyi içermiştir. Sayısal yöntem Fluent Simülasyon Programı ile yapılmıştır. Rüzgar yönünün sistem içinde üretilen basıncı, bunun da açıklığın davranışını (hava indükleyici veya hava egzozu) etkilediği sonucuna varılmıştır. Rüzgar geliş açısı  $0^\circ$  olduğunda, rüzgar kulesinde daha fazla akış hızı meydana gelmiş ve en yüksek basınç değeri oluşmuştur.

Li ve Mak [20] rüzgar açısının ( $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  ve  $45^\circ$ ) ve rüzgar hızının ( $0,5\text{--}6\text{ m/s}$  aralığında) çok yönlü kare rüzgar kulesinin havalandırma performansına etkisini araştırmıştır. Araştırma metodolojisi Fluent Simülasyon Programı kullanılarak CFD olarak belirlenmiştir. Çatının orta kısmına rüzgar kulesi yerleştirilmiş ve oluşturulan model ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Sayısal sonuçlar, başka bir araştırmanın deneysel verileri ile iyi bir uyum göstermiştir. Çalışma kapsamında hız dağılımı ve hava akış hızı incelenmiştir. Genellikle, rüzgar hızı  $3\text{ m/s}$ 'den düşük olduğunda, geliş açısı arttıkça, hava akış hızında düşme meydana gelmiştir. Çoğunlukla daha hızlı olan dış ortam rüzgar hızı ile mekan içinde daha fazla hava akış hızı sağlanmıştır. Bununla birlikte, yüksek geliş açısına (özellikle  $30^\circ$ ) bağlı olan yüksek dış ortam rüzgar hızı, hava dağılımının düzgünlüğünün bozulmasına neden olmuştur.

Rüzgar kulesinin performansını iyileştirmek veya teknolojiyi aşırı sert hava koşullarına (örneğin soğuk hava, aşırı sıcak ve kuru) uyarlamak için rüzgar kulesi diğer teknolojilerle bütünleştirilmiştir. Bu teknolojiler arasında, Isı Transfer Cihazı (HTD) örnek olarak verebilir. Gelen havayı iç mekana ulaşmadan önce soğutması için mekana buharlaşmalı soğutma sistemi içeren bir rüzgar kulesi monte edilebilmektedir. Bu sistem, havalandırma esnasında ortamın nemini artırmak amacıyla nemlendirici eklenerek gerçekleştirilmektedir. Bazı araştırmacılar, soğuk havalarda ısı geri kazanım sistemi entegre edilmiş rüzgar kulesini incelemişlerdir. Bu sistemler havalandırma esnasında odanın sıcaklığını korumak amacıyla kullanılmaktadır.

Calautit vd. [21] dört taraflı rüzgar kulesinin performansını karşılaştırmışlardır. Araştırılan rüzgar kulesi geleneksel sistemli ve geliştirilmiş sistemli olarak seçilmiştir. (evaporatif soğutma, yatay HTD ya da dikey HTD sistemler ile). Çalışma CFD ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle rüzgar kulesi ve sınıftan oluşan modeller simülasyon için hazırlanmıştır. Fluent Simülasyon Programında gerçekleştirilen simülasyonlar farklı dış rüzgar hızlarında ve  $0^\circ$ 'lik açı altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlarla,

deneysel veriler karşılaştırılarak yöntem doğrulanmıştır. HTD entegre modelinin soğutma için hem geleneksel rüzgar kulesinden hem de buharlaşmalı soğutma sisteminden daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Kule içindeki HTD parçaları kuledeki rüzgarın hızını yavaşlatsa bile, HTD ile sıcaklık düşüşü 15 K'e kadar çıkmıştır. Ayrıca, yatay HTD entegre rüzgar kulesi, dikey modelden daha iyi soğutma performansı göstermiştir.

Calautit vd. [22], yaptıkları çalışmada öncelikle geleneksel rüzgar kulesi performansının binaların içini soğutmakta yetersiz kaldığını vurgulamışlardır. Geleneksel rüzgar kulesini HTD ile birlikte farklı dış rüzgar hızlarında mekanı soğutma verimlilikleri açısından araştırmışlardır. Simülasyon modeli akış alanı, test odası ve üstüne makro iklim alanından oluşturulmuştur. Makro iklimde ısı transfer cihazı ile tek taraflı rüzgar kulesi yer almıştır. Model ile deneysel ölçümler yapıldıktan sonra, akış problemini sayısal olarak çözmek için Fluent Simülasyon Programını kullanmışlardır. Akış görselleştirmesi, gelen akışın odaya girmeden önce HTD tarafından yavaşlatıldığını göstermiştir. Rüzgar yavaşlamasına rağmen, veriler HTD'nin verimliliğini kanıtlamıştır.

Calautit vd. [23] kışın havalandırma amacıyla rüzgar kulesi kullanımı üzerine araştırma yapmışlardır. Rüzgar kulesi iç mekan havasını yenilemekle birlikte soğuk günlerde soğuk havayı mekanın içine getirmektedir. Bu sorunu çözmek için, çok yönlü rüzgar kulesine ısı boruları ve ısı emici monte edilmektedir. Araştırma, standart bir rüzgar kulesinin ve gelişmiş rüzgar kulesinin performansını farklı dış rüzgar hızları altında karşılaştırmayı amaçlamıştır. Çalışma kapsamında deneysel işlemler ve Fluent Simülasyon Programı ile simülasyon yapılmıştır. İki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sayısal yöntem deneysel verilerle doğrulanmıştır. Kule içi hız, iç toplam basınç ve hava ikmal hızı, ısı geri kazanım sistemine sahip rüzgar kulesi tarafından azaltılmıştır. Dış rüzgarın düşük olduğu durumda bile iç mekanda konfor sağlanmıştır. Dışardaki hız arttığında, hava akımı artmakta ve iç ortam sıcaklığı buna bağlı olarak düşmektedir. Bu nedenle, geri kazanım sistemine sahip rüzgar kulesinin standart rüzgar kulesinden daha verimli olduğu kanıtlanmıştır. Isı boruları ile rüzgar kulesi, soğuk iklimde iç mekanın termal kalitesi üzerinde olumlu etkiye sahip olmuştur.

Bouchahm vd. [24] Cezayir'in sıcak ve kurak hava koşulları altında nemlendirilmiş kolonlu rüzgar kulesinin performansını analiz etmişlerdir. İlk olarak, rüzgar kulesinin verimliliğini kanıtlamak için tam ölçekli bir deneysel çalışma yapmışlardır. Deney için çatılarında tek açıklıklı rüzgar kulesi olan iki ev seçmişlerdir. Ölçümlere göre aktif rüzgar



kulesi olan evin günün büyük bir bölümünde iç ortam sıcaklığının düşük olduğunu belirlenmiştir. Ancak, bu sıcaklık düşüşü konfor için yeterli olmamıştır. Ayrıca, iç mekan neminin düşük olduğu da belirlenmiştir. Bu nedenle, rüzgar kulesinin duvarlarına el ile su püskürtülmüştür. Ardından ölçümler tekrar yapılmıştır. Hem nem yüzdesinde hem de sıcaklık kaybında iyileşme elde edilmiştir. Araştırma sayısal metod kullanılarak devam etmiştir. Simülasyonlar ile araştırılan odadaki düşük sıcaklık ve daha yüksek nem oluşmasına neden olan bölme eleman boyutu ve ıslatılmış bölümün yüksekliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, şaft bölümünün eşdeğer çapı 0.14 ile 0.116 m arasında değiştirilmiştir. Ayrıca, ıslatılmış bölümün yüksekliği 5.5 ile 4.5 m arasında değiştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, daha küçük ıslatılmış bölümlere sahip rüzgar kulesi ile daha düşük sıcaklık ve daha fazla nem elde edilebildiğini göstermiştir. Ayrıca, ıslatılmış bölümün yüksekliğinin değiştirilmesi şaft bölümlenmesi kadar soğutmayı da önemli ölçüde etkilememiştir.

Havalandırmayı iyileştirmek için, rüzgar kulesinin hava girişinde veya odaya girmeden önce kule içinde rüzgar hızının arttırılması gerekmektedir. Hava girişindeki rüzgar hızını artırma kanatlı bir duvarla yapılabilmektedir. Kanat duvarı, dış çıkıntıları kullanarak rüzgarı kanalize etmek için kullanılan pasif bir havalandırma tekniğidir. Nejat vd. [25], araştırmalarını iki taraflı rüzgar kulesi ve kanat duvarlarını birleştiren sistemin performansı üzerine odaklamışlardır. Çalışma,  $5^\circ$  ile  $70^\circ$  arasında değişen birkaç kanat duvarı açısını kapsamıştır. Çalışma kanat çeperinin hangi açısının en iyi havalandırma performansını sağladığını bulmayı hedeflemiştir. Ayrıca, iki taraflı bir rüzgar kulesinin kanat duvarları  $30^\circ$ 'ye ayarlandığındaki havalandırma performansı, geleneksel çift taraflı rüzgar kulesi ile karşılaştırılmıştır. Önce maket model ile bir deney yapılmış, sonra CFD yöntemi bunu takip etmiştir. Akış problemini çözmek için Fluent Simülasyon Programı kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılarak sayısal yöntem onaylanmıştır. Simülasyon sonuçları, kanat duvarı açılarının  $15^\circ$  ile  $30^\circ$  arasında daha iyi havalandırma performansı sağladığını göstermiştir. Bunun nedeni, daha etkili rüzgar hızları ve daha fazla akış sağlamalarıdır. Beklendiği gibi, yeni tasarım rüzgar hızını artırarak daha iyi performans göstermiştir.

Rüzgar kuleleri üzerine yapılan çeşitli araştırmalar uygulanabilecek türlerini zenginleştirmiştir. Yapılan araştırmalardaki sonuçların güvenilirliği değişken olup, genel olarak olumlu düzeylerde gerçekleşmiştir. Yayınlanan araştırmalar, CFD'nin rüzgar

kulesinin performansını ve işlevini değerlendirmede son derece yararlı bir araç olduğunu kanıtlamıştır. Yapılan çalışmalarda incelenenlerin yanı sıra; basınç, rüzgar hızı, akış sıcaklığı, kirletici madde konsantrasyonu, Nusselt Sayısı, nem oranı vb. göstergelerle de araştırmalar yapılabileceği belirlenmiştir.

### **1.3. Konfor Kavramı**

#### **1.3.1. Giriş**

Yapılar tasarlanırken belirli kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Kriterler arasında Alberti'nin üçlüsü büyük önem taşımaktadır. Alberti'nin bakış açısından, “Necessitas, Voluptas, Commoditas”, mimari tasarım aşamasına dayanak olması gereken niteliklerdir [26]. “Necessitas” inşaatın kendisi, somut unsurları (malzeme) ve inşaat tekniği ile ilgilidir. Sağlam ve esnek bir bina elde edilmesini amaçlamaktadır. “Voluptas” binanın estetik özellikleri ile ilgilidir ve bir binanın şekli ile işlevsel unsurları güzelliğini tanımlayabilmektedir. Estetik aynı zamanda aksesuar elemanlarından da gelebilmektedir. Esnek ve güzel bir bina işlevsel de olmalıdır. “Commoditas” binanın işlevselliği ile ilgilidir. Farklı kullanıcılara ve faaliyetlere (halka açık veya özel) karşılık gelen farklı alan kullanımları ile ilgilidir. “Commoditas” kriterlerine saygılı olmak için plan organizasyonu anahtar durumundadır. Levy'e [26] göre Commoditas, bir alanın bir senaryoya cevap vermesi gerektiği anlamına gelmektedir. Ek olarak, bir mekan kullanıcının iyiliğine uygun olmalıdır. Bu bağlamda, mekan çevreye bağlı olmalıdır. Günümüzünde Commoditas, “tesisin çalışmasıyla (ekipman ve mekansal düzenleme) konforun sağlanabileceği biyoklimatik alan” olarak da ifade edilebilmektedir. Bu bağlamda Commoditas, biyoklimatik mekan olarak adlandırılabilir. Bir mekanda, ekipman kurulumu ve mekansal düzenleme ile konfor sağlanabilmektedir. Bu çalışma binanın içindeki konfor kavramını dikkate almaktadır. Bundan dolayı bu bölümde “konfor” ele alınmaktadır.

### 1.3.2. Mekanlar İçin Gereksinim Duyulan Konfor Tipleri

Konfor “rahatlamanın hoş hissi” olarak tanımlanmaktadır. Konfor, tamamlayıcı olarak “acısız” ifadesi ile daha iyi tanımlanmaktadır [27]. Bu bağlamda “acı” nın kaynağı çok fazla ışık ya da yetersiz ışık, çok fazla gürültü, çok fazla ısı, ortam kuruluğu vb. olabilmektedir. Bu nedenle, bir mekan/bina tasarlarken, görsel konfor (aydınlatma), akustik ve termal konfor gibi mekanın farklı fiziksel gereksinimleri dikkate alınmalıdır.

#### 1.3.2.1. Aydınlatma Konforu

Işığın insanın günlük yaşamında birçok yönden etkisi bulunmaktadır. Öncelikle ışık, gözün şekilleri algılamasını sağlamaktadır. Farklı ışık kaynakları kullanılarak mekan estetiği etkisi de sağlanabilmektedir. Işık aynı zamanda kullanıcıyı psikolojik olarak da etkileyebilmektedir. Işık yoğunluğu, bir kişiyi aktif hale getirebilmekte veya uyumasına neden olabilmektedir. Ayrıca, yetersiz aydınlatma depresyona katkıda bulunabilmektedir. Göz kamaştırıcı ışık, gözlerin net bir şekilde görmesini önlemekte, daha etkili ışık ise gözün bir şey görmesini engellemektedir [28].

#### 1.3.2.2. Akustik Konfor

Günümüzde iç mekanlardaki kullanıcı yoğunluğu da dikkate alındığında konforlu bir ortam oluşturmak için daha etkili akustik tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Akustik konfor, kaynaklar tarafından yayılan sesin enerjisi ve kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Akustik konforun incelenmesi, insan verimliliği veya rahatlığı için sesin optimize edilmesi doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Bu duruma, amfi tiyatro, oditoryum veya müzik kayıt stüdyosu gibi ses kalitesine daha fazla önem verilen alanlarda daha etkili gereksinim duyulmaktadır. Akustik konfor koşulunu yerine getirmek amacıyla mekanlar için uygun formlar, malzemeler ve özellikler belirlenmektedir [29].

### 1.3.2.3. Termal Konfor

ASHRAE'ye göre "Termal Konfor", "zihnin termal çevre ile ilgili memnuniyetini ifade eden şartı" olarak belirtilmektedir [30]. Termal koşulların algısı kişiden kişiye değişmektedir. Mekan kullanıcılarına konfor koşullarını sağlamak amacıyla iç mekanlarda termal konfor koşulları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Termal konforu etkileyebilecek faktörler kişisel veya çevresel olabilmektedir.

Termal koşullar aşağıdaki faktörlerle tanımlanmaktadır [31]:

- Metabolizma hızı (met)
- Giyim izolasyonu (Clo)
- Hava sıcaklığı (°C)
- Ortalama radyant sıcaklığı veya MRT (°C)
- Hava hızı (m/s)
- Bağıl nem (%)

#### 1.3.2.3.1. Metabolizma Hızı ( $1 \text{ met} = 58 \text{ w/m}^2$ )

Bir vücudun iç sıcaklığını koruyabilmesi için metabolizma arkasındaki kimyasal reaksiyonları gerçekleştirmesi gerekmektedir. Metabolik hız, enerjinin ısıya dönüşümünün ölçüsüdür. Değeri, kişinin etkinliğinin yoğunluğuna bağlıdır. Genel olarak daha ağır görev yapan bir kişinin metabolizması daha yüksektir. Tersine, daha hafif görev yapan veya dinlenen bir kişinin metabolizması ise daha düşüktür [32]. Örnek olarak, 3.2 km/s ile yürüyen bir kişinin metabolizma hızı 2 met'tir. Oturan ve okuma faaliyeti gerçekleştiren biri 1 met metabolik hıza sahiptir. Tablo 1.1'de metabolizma hızı değerinin birkaç örneği yer almaktadır.

Tablo 1.1. Belirli faaliyetlerdeki MET değerleri [33].

| Faaliyet      | Met Değerleri |
|---------------|---------------|
| Yaslanma      | 0.8           |
| Oturma, okuma | 1.0           |
| Yazma         | 1.1           |
| Ayakta durma  | 1.2           |
| Araba sürme   | 1.5           |

#### 1.3.2.3.2. Giyim ( $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ )

Soğuk algınlığı gibi dış koşullar nedeniyle oluşan rahatsızlıklar vücut üzerinde termal stres yaratabilmektedir. Cildin işlevlerinden biri, bu termal strese karşı engel oluşturmaktır. Bununla birlikte, cilt vücudu dış koşullardan korumak için yeterli olamayabilmektedir. Bundan dolayı termal bariyer oluşturmak için cilde kıyafet eklenmektedir [32]. Giyim vücudun ısı kaybını azaltmaktadır. Bu nedenle, giysiler vücut için bir yalıtım katmanı oluşturmaktadır. Giysilerin yalıtım değeri, “clo” ile ifade edilen giysi seviyesini belirlemektedir. Giysisi olmayan bir kişinin clo değeri 0.0’dır. Kişilerin giydikleri giysilerin farklı clo değerleri vardır [34]. Tablo 1.2’de farklı clo değerlerine sahip giyim örnekleri yer almaktadır.

Tablo 1.2. Farklı clo değerlerine sahip giyim örnekleri [33].

| Giyim                                                     | Clo değerleri |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Tipik yaz ev içinde giyim                                 | 0.5           |
| Pantolon, kısa kollu gömlek, çorap, ayakkabı, iç çamaşırı | 0.57          |
| Eşofman altı, uzun kollu kazak                            | 0.74          |
| Tipik kış ev içinde giyim                                 | 1.0           |

#### 1.3.2.3.3. Hava Sıcaklığı (°F or °C)

Parsons'a [35] göre hava sıcaklığı, insan vücudunu çevreleyen havanın sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca çevredeki havanın kuru termometre sıcaklığı olarak da bilinmektedir. Kuru termometre sıcaklığı, °C veya °F cinsinden ifade edilmektedir. Hava sıcaklığı, konveksiyon ve buharlaşma yoluyla vücudun ısıyı kaybetme hızını etkilemektedir [36].

Kuru termometre sıcaklığı termal konforun belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Kuru termometre sıcaklığı, Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'deki Psikrometrik çizelgenin eksenlerinden biridir. Genel olarak, insanlar sıcaklık 20-25 °C arasındayken kendilerini rahat hissetmektedirler [31]. Bununla birlikte, diğer termal parametreler mekan kullanıcıları için rahatsız edebilmektedir.

#### 1.3.2.3.4. Ortalama Radyant Sıcaklık (MRT)

Ortalama Radyant Sıcaklık (MRT) “çevresindeki tüm yüzeylerin alan ağırlıklı ortalama sıcaklığı”dır. Bu nedenle, çevre cisimlerin ve yüzeylerin sıcaklıklarının insanları termal konfor açısından nasıl etkilediğinin bir göstergesidir [37].

Bir mekanda farklı termal radyasyon değerleri yer almaktadır. Radyant sıcaklık hava sıcaklığından çok farklı olduğunda, termal konforu etkileyebilmektedir. Örnek olarak, soğuk bir odada, ılık pencerenin yanında duran bir kişi tarafından hissedilen radyant sıcaklık, termal konforu artırabilmektedir. Aksine, sıcak bir iç mekanda, soğuk pencerenin yanında duran bir kişi termal rahatsızlık hissedebilmektedir.

MRT, küre termometre ile ölçülebilmekte veya Denklem 1 ve 2 ile hesaplanabilmektedir. Hesaplama yöntemlerinden birinde, çevreleyen yüzeyin (duvarlar) ölçülen sıcaklığına ve açı faktörü olarak bilinen kişiye göre konumlarına gereksinim duyulmaktadır. Çevreleyen yüzeyin ölçülen sıcaklığı ve açı faktörü olarak bilinen kişiye göre pozisyonları ile MRT'yi hesaplamak için Denklem 1 kullanılabilir.

$$T_r^4 = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-2} + \dots + T_N^4 F_{p-N} \quad (1)$$

Burada;

$T_r$  : MRT (K)

$T_N$  : N yüzeyinin yüzey sıcaklığı (K)

$F_{p-N}$  : Bir insan ile N yüzeyi arasındaki açı faktörüdür.

Açı faktörünün yetersiz değerinden dolayı, MRT değeri Denklem 2'den de belirlenebilmektedir (2).

$$T_{mrt} = T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_N A_N / (A_1 + A_2 + \dots + A_N) \quad (2)$$

Burada;

$T_{mrt}$  : MRT (°C)

$T_N$  : Yüzey sıcaklığı (°C)

$A_N$  : Yüzey alanı (m<sup>2</sup>) dır.

Bu yöntemde, MRT tüm yüzey alanının ( $A_1, A_2 \dots A_N$ ) ortalama sıcaklığı olarak hesaplanmaktadır. Hesaplama yöntemi, en az kesin sonucu vermesine rağmen yaygın olarak kullanılmaktadır [38].

MRT ve hava sıcaklığı büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Termal konforun belirlenebilmesi için, radyasyonun ve konveksiyon ısıısının dikkate alınması gerekmektedir. Bu durumda, çalışma sıcaklığı kullanılmaktadır. Ramspeck vd.'e [30] göre, metabolik hız değeri 1.0 ile 1.3 arasında, doğrudan güneş ışığı olmadan ve 0.20 m/s'den düşük hava hızı koşullarında çalışma sıcaklığı Denklem 3 ile hesaplanmaktadır:

$$T_o = T_A + T_r / 2 \quad (3)$$

Burada;

$T_o$  : Çalışma sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_A$  : Hava sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_r$  : Ortalama radyant sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )'dır.

Bir küpün altı yüzünde ölçülen düzlem radyant sıcaklık dikkate alındığında, bu çalışma için ortalama radyant sıcaklık Denklem 4 ile hesaplanmaktadır [35].

$$t_r = \frac{0.08(t_{pr1}+t_{pr2})+0.23(t_{pr3}+t_{pr4})+0.35(t_{pr5}+t_{pr6})}{2(0.08+0.23+0.35)} \quad (4)$$

Burada;

$t_r$  : Ortalama radyant sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_{pr1}$  : Çatının düzlemsel radyant sıcaklıkları ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_{pr2}$  : Zeminin düzlem radyant sıcaklıkları ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_{pr3}$  : Sağ duvarın düzlem radyant sıcaklıkları ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_{pr4}$  : Sol duvarın düzlem radyant sıcaklıkları ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_{pr5}$  : Ön duvarın düzlem radyant sıcaklıkları ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_{pr6}$  : Arka duvarın düzlem radyant sıcaklıkları ( $^{\circ}\text{C}$ )'dır.

#### 1.3.2.3.5. Hava Hızı (m/s)

Hava hızı, havanın birim zamanda aldığı yoldur. Hava hareketi, konveksiyon ve buharlaşma yoluyla vücudun soğutulmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle doğal hava akımı ve vantilatör kullanımı yaz günlerinde vücudun soğuması açısından avantajlı



olabilmektedir. Genel olarak, rüzgar hızının 0,1 ila 0,3 m/s arasında olması iç mekanlarda kullanıcıların kendilerini ergonomik koşullarda hissetmelerini sağlamaktadır. 0,3 m/sn'nin üzerinde olması rahatsızlık etkisi oluşturmaktadır. Bununla birlikte, kişi çok aktif olduğunda rahatlık hissi için daha yüksek rüzgar hızı gerekebilmektedir [31]. Tablo 1.3'de, farklı rüzgar hızlarının sıcak ve kuru/nemli iklim bölgelerindeki konfor üzerine etkisi gösterilmektedir.

Tablo 1.3. Rüzgar hızları ve termal konfor algısı [31].

| Rüzgar hızı (m/s) | Konfor üzerindeki etkisi                                                                            |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.05              | Durgun hava, biraz rahat                                                                            |
| 0.2               | Ancak fark edilir rahat                                                                             |
| 0.25              | Kullanıcılara yakında bulunan hava çıkışları için hava hızı                                         |
| 0.4               | Göze çarpan ve rahat                                                                                |
| 0.8               | Çok dikkat çekici ancak hava sıcaksa bazı yüksek aktiviteli bölgelerde kabul edilebilir             |
| 1.0               | Klimalı alanlar için üst sınırdır<br>Sıcak ve kuru iklimlerde doğal havalandırma için iyi hava hızı |
| 2.0               | Sıcak ve nemli iklimlerde havalandırma için iyi hava hızı                                           |
| 4.5               | Dışarıda hissedildiğinde hafif bir esinti olarak kabul edilir                                       |

Beaufort ölçeğinde daha fazla rüzgar hızı aralığı ele alınmaktadır (Tablo 1.4). Ölçek başlangıçta navigasyon amacıyla yapılmış daha sonra, rüzgarın insanlar üzerindeki etkisini ekleyerek arazi kullanımı için genişletilmiştir. Geniş Beaufort ölçeğinden 3.4 m/s'den itibaren rüzgar hızının saçları rahatsız ettiği tespit edilmektedir. 3.9 m/s'den itibaren saçlar bozulmaya başlamaktadır. 5,6 m/s karadaki kabul edilebilir rüzgarın limitidir. Bu noktada, vücut rüzgarın gücünü algılamaktadır. 7,6 m/s'ye eşit veya daha yüksek rüzgar hızı nahoş etki oluşturmaktadır. 14,5 m/s civarında rüzgar insanları havaya uçurabildiği için tehlikelidir.

Tablo 1.4. İnsanlar Üzerindeki Rüzgar Etkilerini Gösteren Genişletilmiş Arazi Beaufort Ölçeği [39].

| Beaufort No | Rüzgar hızı (m/s) | Açıklama                     | Etkisi                                                                            |
|-------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 0           | 0 – 0,1           | Sakin                        | -                                                                                 |
| 2           | 0,2 – 1,0         | Hafif hava                   | Fark edilir rüzgar yok                                                            |
| 3           | 1,1 – 2,3         | Hafif esinti (light breeze)  | Yüzde rüzgar hissedilmekte                                                        |
| 4           | 2,4 – 3,8         | Hafif esinti (gentle breeze) | Saç sallanmakta<br>Giysi sallanmakta<br>gazete okumak zorlaşmakta                 |
| 5           | 3,9 – 5,5         | Orta esinti                  | Toz ve gevşek kağıtlar yükseltmekte, saç düzensizleşmekte                         |
| 6           | 5,6 – 7,5         | Taze esinti                  | Vücudun hissettiği rüzgar gücü, rüzgarlı bir bölgeye girerken tökezleme tehlikesi |
| 7           | 7,6 – 9,7         | Güçlü esinti                 | Zorlukla kullanılan şemsiye, düzgün saç kabarmış durumda, düzenli yürümek zor     |
| 8           | 9,8 – 12,0        | Fırtınaya yakın              | Yürürken rahatsızlık hissedilmekte                                                |
| 9           | 12,1 – 14,5       | Fırtına                      | Genellikle ilerlemeyi engellemekte, dengede büyük zorluk                          |
| 10          | 14,6 – 17,1       | Güçlü Fırtına                | İnsanları havaya uçurabilmekte                                                    |

#### 1.3.2.3.6. Bağıl Nem

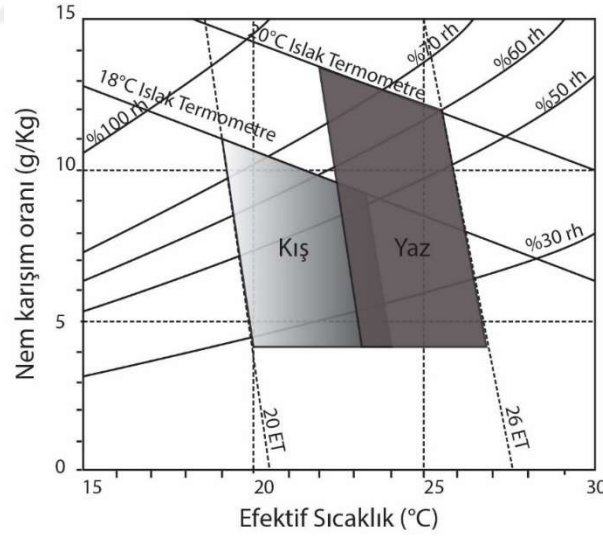
Yüzde olarak ifade edilen bağıl nem, havada bulunan su buharı miktarıdır. Genel olarak, insanlar yaz aylarında % 20 ila % 60 arasında nem oranı bulunduğunda kendilerini

rahat hissetmektedirler. Konfor için üst sınır kışın % 80'e kadar yükseltilebilmektedir. Düşük nem, cildin üzerindeki terin buharlaşarak vücudun soğumasına yardımcı olmaktadır. Aksine, yüksek nem buharlaşma sürecini engellemekte ve rahatsızlığa neden olmaktadır [31].

### 1.3.3. Konfor Bölgesi

Önceden belirtilen koşulların farklı değerlerinin belirli kombinasyonu ile konfor bölgesi oluşturulabilmektedir.

Şekil 1.1'de gösterildiği gibi, konfor bölgesi, havadaki sıcaklık ve nem karakteristiğinin bir dizi ilişkisine sahip olan psikrometrik çizelge ile belirlenmektedir (hava hızı ve MRT değişmez olarak kabul edilmektedir). Bu çizelgede, giyinen ve hafif aktif bir kişi için konfor değerlendirilmektedir [40].

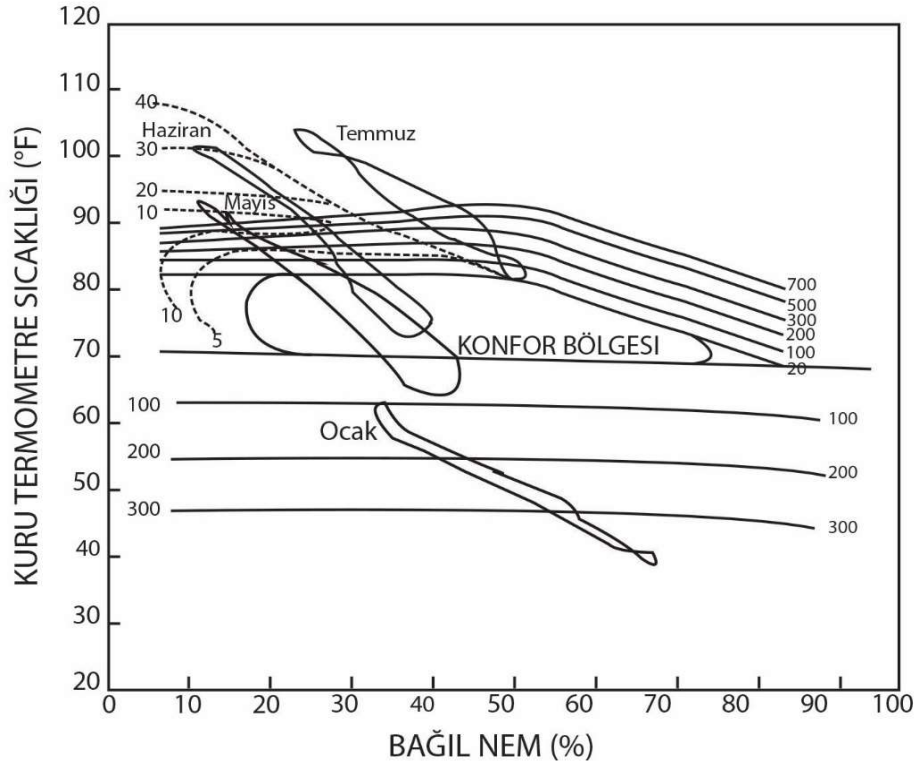


Şekil 1.1. Mevsimsel olarak tanımlanmış konfor bölgesi [40].

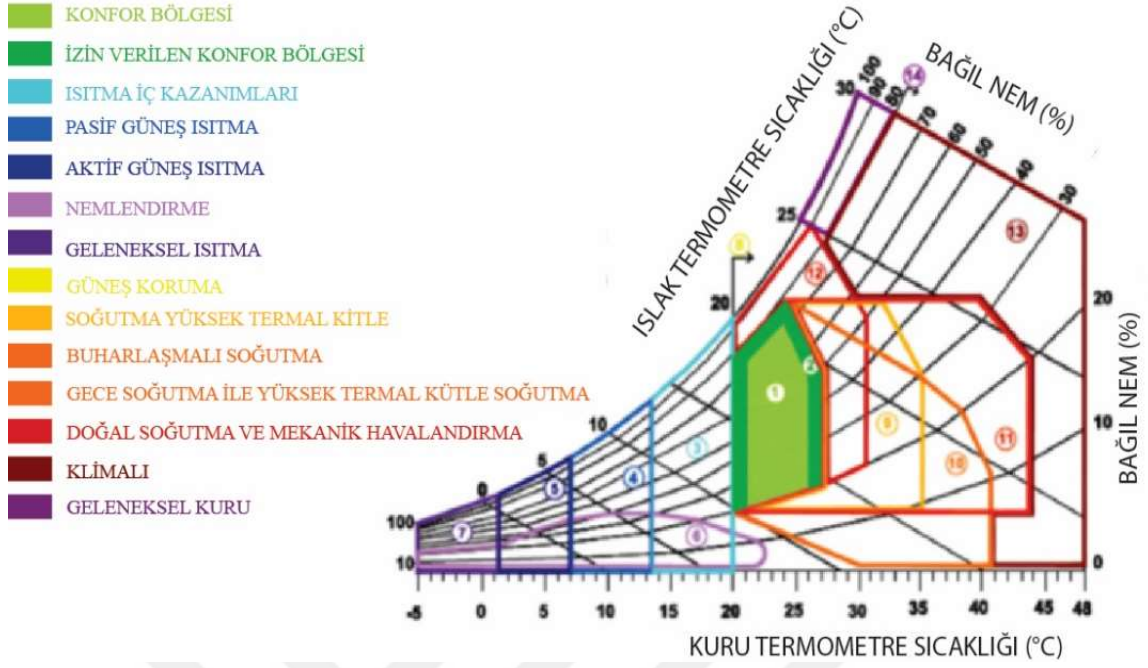
Sıcaklık ve nem oranı konfor koşulları için yeterli olmadığında, hava akımının değişimi ile yeterli düzeye getirilebilmektedir. Hava akımının hızına bağlı olarak sıcaklık

birkaç derece düşürülebilmektedir. Bu sıcaklık düşüşü sayesinde, konfor bölgesi koşulları sağlanabilmektedir. [41]

Olgyay Çizelgesi (Şekil 1.2.), iç ve dış sıcaklıkların çok yakın olduğu ortamlar için geçerlidir. Bununla birlikte çoğu durumda iç ortam sıcaklığı dış ortamdan büyük ölçüde farklı olabilmektedir. Bu nedenle Olgyay'ın çizelgesi tek bedene uymamaktadır. Olgyay'ın çizelgeleri sınırını göz önünde bulundurarak Givoni, iç ortam sıcaklığına dayanan yapı biyoklimatik çizelgesini (BBCC) geliştirmiştir. Şekil 1.3'de gösterildiği gibi, farklı pasif soğutma seçeneklerinden oluşan iklimsel sınırlar da göz önünde bulundurulmuştur [42].



Şekil 1.2. Olgyay'ın biyoklimatik çizelgesi [42].



Şekil 1.3. Givoni'den (1992) uyarlanan Biyoklimatik çizelge [10].

#### 1.3.4. Öngörülen Ortalama Değer (PMV) ve Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik Yüzdesi (PPD)

##### 1.3.4.1. Öngörülen Ortalama Değer (PMV)

Fanger [38] tarafından oluşturulan PMV, -3 ile 3 arasında değişen bir endekstir. PMV, çok sayıda kullanıcı oylarının termal algı ölçeğinde ortalama değerinin tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır. Termal parametrelerin herhangi bir kombinasyonu için (hem kişisel hem de çevresel) ortalama oy, termal algılama endeksini konfor denkleminde türetmek suretiyle tahmin edilebilmektedir. Endeks, çevresel termal parametreleri dikkate aldığından termal alanın kalitesini değerlendirmeye yardımcı olabilmektedir. Endeks termal duyumu Tablo 1.5'deki psiko-fiziksel ASHRAE ölçeğinde değerlendirilmektedir.

Tablo 1.5. Psiko-fiziksel ASHRAE ölçeği[38].

| Termal algı indeksi | His         |
|---------------------|-------------|
| -3                  | Soğuk       |
| -2                  | Serin       |
| -1                  | Biraz serin |
| 0                   | Nötr        |
| 1                   | Biraz sıcak |
| 2                   | Ilık        |
| 3                   | Sıcak       |

PMV Denklem 5 ile hesaplanmaktadır [34]

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036 \cdot M} + 0.028)[(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad (5)$$

Burada;

M : Metabolizma oranı (W/m<sup>2</sup>)

W : Etkin mekanik güç (W/m<sup>2</sup>)

H : Kuru ısı kaybı

E<sub>c</sub> : Deride evaporatif ısı değişimi

C<sub>res</sub> : Solunum konvektif ısı değişimi

E<sub>res</sub> : Solunum evaporatif ısı değişimidir.

#### 1.3.4.2. Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik Yüzdesi (PPD)

Bir ortamda büyük insan grubu göz önüne alındığında, PPD termal olarak memnun olmayanların yüzdesidir. Kısacası, “şikayet etmeye eğilimli insan sayısının ifadesidir”. Bu

yüzde, termal alanın düzgün olmadığı durum için artış eğilimindedir. Aynı giysi ve aynı aktivite göz önüne alındığında, PMV endeksi 0 olsa bile, sıcaklık seviyesinden memnun olmayan bazı bireyler olacaktır (5%).

PPD, Denklem 6 ile hesaplanmaktadır [34]

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (6)$$

Burada;

PMV: Öngörülen ortalama değerdir.

#### 1.4. Mimarlıkta Enerji Verimliliği

Isıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma için modern teknolojilerle konforlu iç ortam iklimi sağlanabilmektedir. Ancak, bu durum binalar için çok fazla enerji gereksinimine neden olmaktadır. Binaların ısıtılması için kullanılan enerji, binalar için kullanılan toplam enerjinin yarısından daha fazlasını gerektirmektedir [43]. Yaygın olarak kullanılan enerjiler yenilenemeyen enerji türleridir. Bu nedenle, kaynakların zamanla tükenmesi söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte her gün enerjiye olan talepte de artış söz konusudur. Sıcak bölgedeki çok katlı binaların bulunduğu bir şehri dikkate aldığımızda, bu şehirde klimaya ihtiyaç duyulmaktadır ve her yıl kullanılmaktadır. Klimanın kullanılması, iç ortam konforu sağladığı için avantajlı bir durumdur. İç mekanı klima ile soğutmak için önce cihaz dışarıdan hava almaktadır. Sonra klima havayı dış ortamdan soğutmaktadır. Daha sonra soğutulmuş hava, havalandırma yoluyla odaya yayılmaktadır. Soğuk taze hava kirli havanın yerini almakta ve kirlenmiş sıcak hava dışarıya gönderilmektedir. Dış ortamdaki sıcak hava yükselmektedir. Üst kattaki dairenin kliması daireye temiz hava sağlamak için bu kirlenmiş havayı işlemektedir. Daha sonra, bu işlem üst katlardaki daireler için de devam edip gitmektedir. Hava ne kadar sıcak olursa, klima cihazının çalışması için o kadar fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, üstteki daireler altlarındakilerden daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Tüm şehir içerisinde aynı senaryoyu dikkate aldığımızda, tüm binalardan dışarıya atılan kirlenmiş sıcak hava birikimi, artı diğer kaynaklar (arabalar,

fabrikalar vb.) tarafından üretilen ısı, şehir içindeki iklimi daha da sıcak hale getirmektedir. Bu fenomen “Urban Heat Island” (UHI) olarak bilinmektedir [44]. Alanın içindeki yüksek sıcaklık daha fazla klima kullanımı anlamına gelmektedir. Bunun sonucu olarak daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan, fosil kaynaklardan daha fazla enerji üretimi, ozon tabakasının tükenmesine ve küresel ısınma etkisine neden olmaktadır. Bu durum ayrıca, daha yüksek sıcaklığa neden olmaktadır. Bundan dolayı, daha fazla klima gereksinimi söz konusu olmaktadır. Bu işlem, Şekil 1.4’deki çevrimde gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Enerji kullanımıyla oluşan döngü [37].

Döngüyü kırmak için, sadece klimanın değil, aynı zamanda geleneksel sistemlerin (soğutma ve havalandırma için) de kullanımı azaltılmalıdır. Bunun için yapının enerjiye olan ihtiyacı azaltılmalıdır. Bunu yaparken, bina yine de kullanıcının ihtiyacını karşılamalıdır. Tasarımcılar enerji verimli binalar tasarlayarak bu duruma katkı sağlayabilirler. Enerji maliyetini ve israfını azaltmak için aşağıdaki maddeler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Termal koşulları etkileyen tasarım öğelerinin önceliklendirilmesi
- Bina tasarımında soğutma, ısıtma, havalandırma ve aydınlatma için pasif güneş tekniklerinin entegrasyonu
- Elektrik ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kullanımı



- Yerel malzeme kullanımı (çünkü malzeme nakliyesi enerji gerektirir)
- İnşaat için düşük enerjili malzeme kullanımının önceliklendirilmesi
- Enerji verimli yeni teknolojilerin kullanımı

### 1.5. Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri

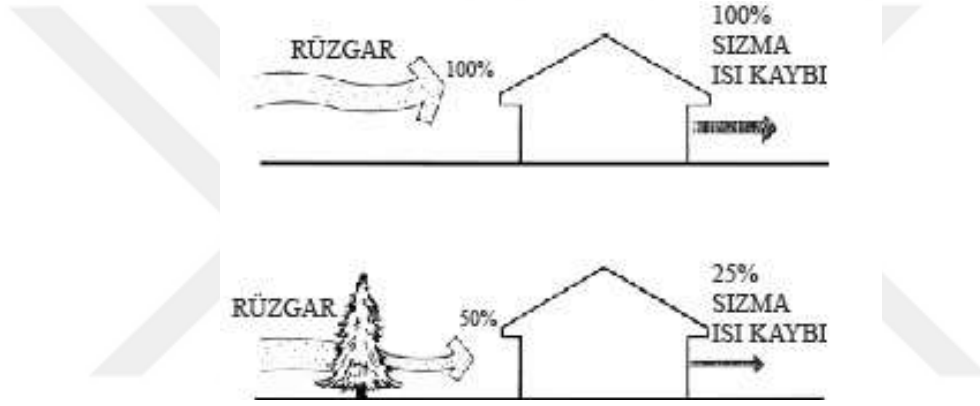
Enerji tasarruflu bir bina için, tasarım süreci yerleşim alanının akıllıca seçimi ile başlamaktadır. Daha sonra ise yapının tasarımı gelmektedir. Shambharkar'a [45] göre bina tasarlanırken aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Kentsel planlama ve çevre düzenleme (peyzaj),
- Su kütlelerinin yeri,
- Yönlenme,
- İnşaat formu ve yüzey / hacim oranı,
- Plan formu,
- Bina kabuğu ve ağaçlandırma

#### 1.5.1. Kentsel Planlama ve Çevre Düzenlemesi (Peyzaj)

Bitki örtüsü, topoğrafya ve yapılar ile peyzaj elemanları bir alanın mikro iklimini etkilemektedir. Örneğin, Şekil 1.5 bitki örtüsünün rüzgar yoğunluğunu azalttığını göstermektedir. Bitki örtüsü sayesinde binada daha az ısı kaybı meydana gelmektedir. Yapılar veya doğal unsurlar rüzgarın yolunu da değiştirebilmektedir. Rüzgarın geliş yönünde olan bitki örtüsü, dağlar veya binalar rüzgar için engel oluşturmaktadırlar. Bu unsurlar rüzgarın yönünü ve hızını değiştirmektedirler. Eğer bir bina daha az havalandırmaya ihtiyaç duyuyorsa, rüzgara karşı gölge alanında yerleştirilmelidir. Eğer bir bina daha fazla havalandırmaya ihtiyaç duyuyorsa, rüzgarın geliş yönüne yerleştirilmelidir. Rüzgarın, ağaçların düzenine bağlı olarak kanalize edilebilmesi nedeniyle rüzgar yolu

öngörülebilir olmalıdır. Doğrudan güneş ışığı aşırı ısınmaya ve görsel rahatsızlığa neden olabildiği için yaz günlerinde ağaçlar binayı doğrudan güneş ışığından koruyabilen gölgeler olarak görev yapabilmektedirler. Ayrıca, bitki örtüsü havanın evapotranspirasyon (terleme ve buharlaşma) yoluyla soğutulması için verimlidir. Yeşil bir alanın seçimi hem sıcak hem de soğuk bölgelerde büyük ölçüde olumlu sonuçlar vermektedir [31]. Kısacası, peyzaj elemanı güneş ışımasını, gölgelemeyi, havalandırmayı ve bir alandaki sıcaklığı etkileyebilmektedir. Yerleşimin artılarını ve eksilerini analiz etmek, tasarım sürecinin bir parçası olmalıdır.

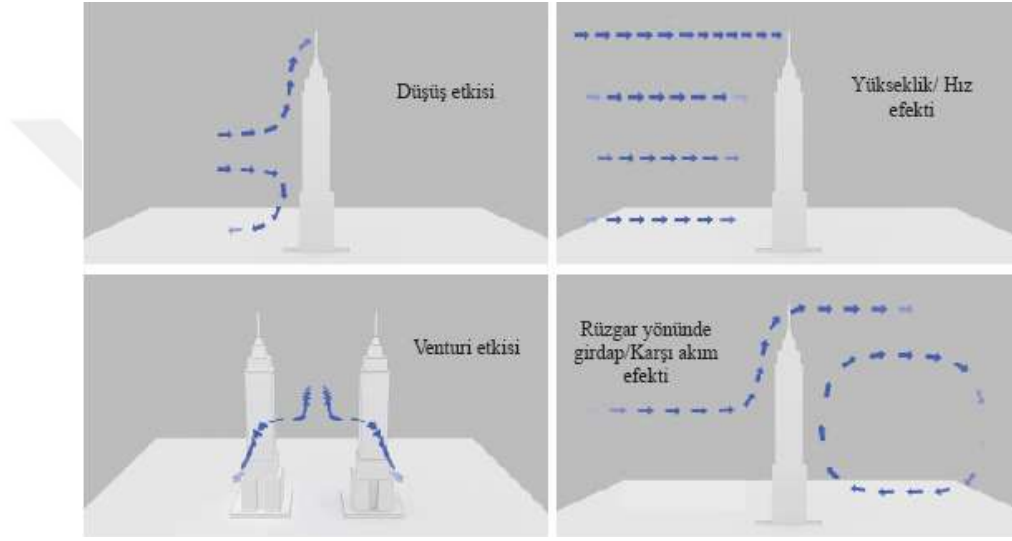


Şekil 1.5. Rüzgar hızıyla orantılı ısı kaybı [31].

Şekil 1.6'de gösterildiği gibi, insan eseri olan binalar, rüzgarın yönünü ve hızını etkilemektedirler. Rüzgar binalara çarptığında binanın farklı alanlarında farklı basınçlar meydana gelmektedir. Bina ve yapılar nedeniyle rüzgar yönü ve hızına olan etkiler şunlardır [46]:

- **Düşüş etkisi:** Hava akımının aşağı doğru sapmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek bir bina hava akışını ikiye bölmektedir. Üst akış binanın üzerinde gitmekte, eş zamanlı olarak alt akış bir girdap oluşturmakta ve binanın alt tarafında daha hızlı akış meydana gelmektedir. Bu etki, sıcak havalarda soğutma için avantajlı olabilmektedir. Rüzgar hızının yüksek olduğu durumlarda ise yayalarda tehlike oluşturabilmektedir.
- **Yukarı sapma:** Rüzgar hızları ve basınç rakım ile artmaktadır.

- Venturi etkisi: Hava akımının blokların oluşturduğu dar boşluklar arasında zorlanıp hızlandığı durumlarda meydana gelmektedir. Bu özellik dış mekanları soğutmak için çoğunlukla kullanışlı olmaktadır.
- Düşük hızlı girdaplar: Hava akımı binanın alt düzlemine dönmektedir.
- Karşı akım efektleri: Rüzgar yönü, girdap nedeniyle tersine çevrilmiştir.



Şekil 1.6. Yüksek yapının rüzgar yönü ve hızına etkisi [46].

Bina yerleşimi sorun teşkil edebileceği için dikkatli seçilmelidir. Çünkü binanın etrafında meydana gelen hızlar avantaj veya dezavantaj sağlayabilmektedir.

### 1.5.2. Su Kaynaklarının Yerinin Önemi

Su kütleleri insan yapımı veya doğal olabilmektedir. İnsan yapımı olanlar genel olarak havuzlar, göletler ve çeşmelerdir. Havuzlar, göletler ve çeşmeler genellikle dekoratif özellikte tasarlanmaktadır. Bununla birlikte, herhangi bir su kütlesi işlevsel bir değere de sahip olmaktadır. Su buharlaşırken su kütleleri nem üretmektedir. Aynı süreçte, sıcaklık düşmektedir. Soğutma etkisi göz önüne alındığında, bir göl veya nehrin yanına bina inşa etmek, yapay soğutma için enerji ihtiyacını azaltabilmektedir. Yerleşimin yakınında doğal

bir yapı yer almıyorsa, mikro iklim bir havuz veya gölet ekleyerek değiştirilebilmektedir. Sıcak ve nemli bölgelerde, soğutma için nemi arttırmaya gerek duyulmamaktadır. Bu durumda, nem oranının artırılması daha fazla termal rahatsızlık meydana getirmektedir [45].

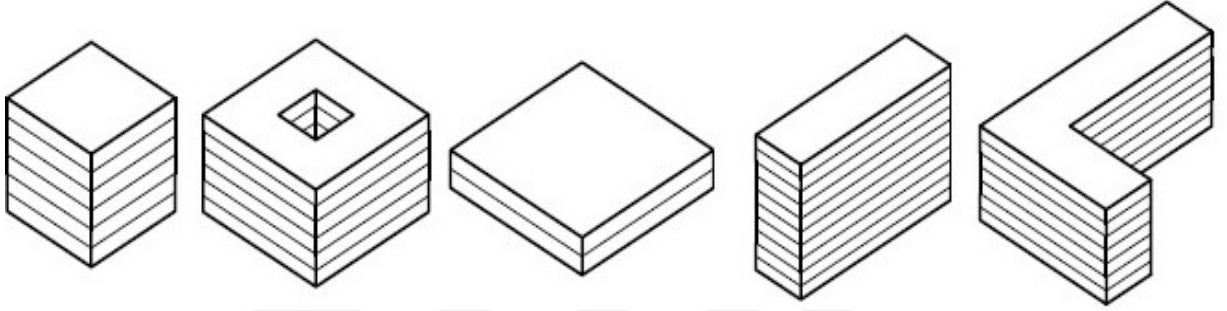
### 1.5.3. Yönlenme

Alanı seçtikten sonra, aydınlatma, ısıtma, havalandırma, soğutma ihtiyaçlarına göre binanın en iyi yönünü seçmek önem taşımaktadır. Örneğin, kışın daha uzun ve daha soğuk olduğu bir Kuzey Yarımküre ülkesinde, bina yönlenmesi güneş ışınımını teşvik edecek şekilde olmalıdır. Böylece soğuk havalarda güneş ışığından daha fazla yararlanılabilir ve ekstra sıcaklık elde edilebilir. Güneş ışınlarından yararlanmak için bina Doğu-Batı eksenine yerleştirilmelidir. Ayrıca, daha büyük pencereler güneşe yönlendirilmelidir. Bu yapılandırma sayesinde, kışın gelecekteki enerjiye olan talep, ısı kazanımları ve gün ışığının optimizasyonu nedeniyle azaltılmaktadır. Oturma odası, derslikler veya etkinliklerin daha uzun sürdüğü yerler güney yönüne yönlendirilmelidir. Bununla birlikte, büyük açıklıklardaki olası ısı kayıplarına da dikkat edilmelidir. Bunun yanı sıra, diğer cepheler (özellikle kuzeye bakan) genellikle soğuk rüzgarlar tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle, kapak daha yalıtıcı olmalı ve açıklıklar en aza indirilmelidir. Kışın güneş ışınlarından yararlanılan odalarda yaz günlerinde aşırı ısınma ortaya çıkabilmektedir. Bu kapsamda enerji tasarruflu tasarım doğrultusunda kalınması için pasif havalandırma ve soğutma teknikleri uygulanabilmektedir [47].

### 1.5.4. Yapı Formu / Yüzey-Hacim Oranı

Bazı binaların formları nedeniyle ısıtılması, soğutulması, aydınlatılması veya doğal olarak havalandırılması daha kolay olmaktadır. Yüzey-hacim oranını belirleyen yapı formlarıdır. Bir binanın kompaktlığı da yüzey-hacim oranıyla ölçülmektedir. Binanın kompaktlığı, dış koşullara maruz kalan daha az yüzey sayesinde ısı kaybı / ısı kazancını en aza indirebilmektedir. Soğuk iklimli bölgelerde, kompakt binaların daha az ısıtılmaya ihtiyacı olmaktadır. Diğer taraftan, daha az kompakt bir bina daha fazla ısıtma

gerektirmektedir ve iç mekan koşullarının düzgün olmaması muhtemeldir. Örnek olarak, Şekil 1.7’de gösterilen üçüncü ve dördüncü binalar radyant ısıtma ve günışığı aydınlatması için daha elverişlidir. Bunun sebebi, daha kısa ve sıg yapı biçiminden dolayı güneş ışınlarının odaların çoğuna ulaşmasıdır. Buna karşı, Şekil 1.7’de gösterilen birinci ve ikinci binalar radyant ısıtma ve gün ışığı için daha az elverişlidir. Bunun sebebi, daha yüksek ve derin yapı biçiminden dolayı güneş ışınlarının sadece birkaç odaya ulaşabilmesidir [31].



Şekil 1.7. Yapı biçimleri [31].

#### 1.5.5. Plan Formu

Bir binanın plan formu, etrafındaki basınç farklarını oluşturmaktadır. Basınç farkı hava hareketini etkilemektedir. Hava hızını hızlandırabilmekte veya yavaşlatabilmektedir. Bu nedenle, plan formu seçimi binadaki ısıtma / soğutma ve havalandırma işlemlerinde yardımcı olabilmektedir. Bir plan formunun binadan ısı kaçırma ya da ekleme etkinliği çevre / alan oranıyla ( $P / A$ ) değerlendirilmektedir.  $P / A$  oranının daha yüksek değerine daha fazla günlük ısı kazancı ve geceleri daha fazla ısı kaybı eşlik etmektedir. Bununla birlikte, daha küçük  $P / A$  daha iyi termal performans sağlamaktadır (daha az ısı kaybı, daha az ısı kazancı). Bu nedenle, hem sıcak hem de soğuk bölgelerdeki binalar için genellikle asgari  $P / A$  oranı öngörülmektedir. Sıcak bölgede, düşük  $P / A$  oranına sahip bir bina ile ısı kazanımı önlenemekte, gerekirse pasif soğutma teknolojisi ile soğutma yapılabilmektedir. Öte yandan, soğuk iklimde  $P / A$  oranının düşük olduğu binalarda ısı kaybı en aza inmektedir. Böylece iç mekan sıcak tutulabilmektedir. Isıtma gerektiğinde ise bina pasif ısıtma teknolojisi ile ısıtılabilir [45]

### 1.5.6. Bina Dış Kabuğu

Bina dış kabuğu; duvardan, zeminden, çatıdan, pencereden ve kapıdan oluşan binanın kabanı olarak görülmektedir. Kabuk, iç mekan ile dış mekan arasındaki fiziksel ayırıcı olarak nitelendirilmektedir. İç mekanı dış termal baskı ve koşullardan korumaktadır. Bina kabuğu mekanlar arasındaki ısı ve nem geçişini sağlayan yapı bileşenleridir. Bu nedenle, kabuk malzemeleri dikkatlice seçilmelidir. İzolasyon gerektiğinde, iyi yalıtım özelliğine sahip sistem ve malzeme tercih edilmelidir.

Ayrıca, bina bileşenlerinin montaj sistemi de dikkatlice seçilmelidir. Bileşenler arasındaki (örneğin: duvar ile zemin arasındaki) kötü bağlantı, termal köprüden dolayı ısı kaybına neden olabilmektedir [48]. Isı transferi nedeniyle, iç ortam sıcaklığı etkilenebilmekte ve bu durum termal rahatsızlığa neden olabilmektedir. Sonuç olarak, yanlış montaj sistemi binanın ısıtılması için gereken enerji miktarının artmasına neden olabilmektedir.

Mesela, çift cidarlı dış cephe iç mekanı dış ortamdaki rüzgar ve sıcaklığa karşı yalıtım için kullanılmaktadır. Bu sayede, bina kabuğunun tipine de bağlı olarak ısı kaybı veya ısı kazancı en aza indirilebilmektedir. Bu uygulamalarla birlikte, bina ısıtma ve soğutma işlerinde enerji tasarrufu sağlayabilmektedir [49].

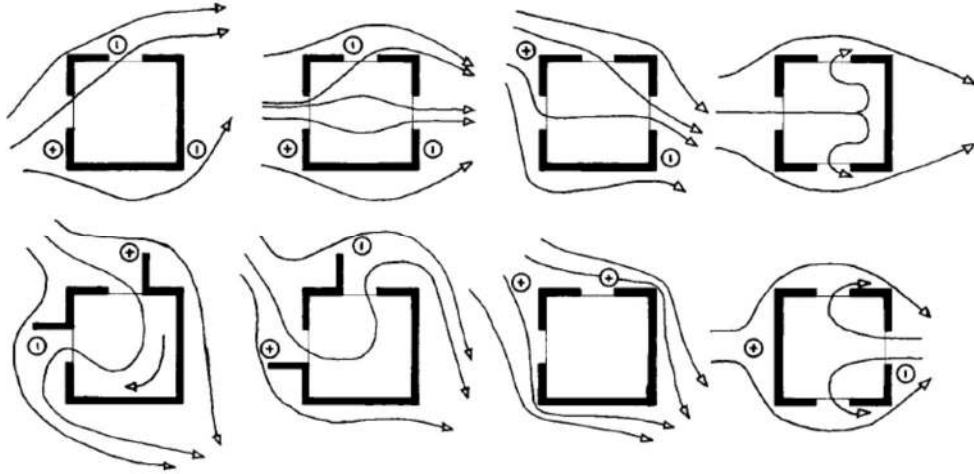
### 1.5.7. Pencere Düzeni

Bir binanın duvarındaki veya çatısındaki pencereler, iç mekanlarda doğal aydınlatmayı sağlamaktadır. Işık miktarı, açıklığın boyutu ve türüyle orantılı olarak değişmektedir. Pencerenin uygun boyut ve konumu, bina için enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

Aynı zamanda, pencereler doğrudan güneş ısını mekana iletebilmekte veya radyant soğutma ile iç mekandaki ısıyı serbest bırakabilmektedir. Bu yaklaşımlar dikkate alındığında, pencerelerin tasarımı enerji tasarrufuna katkıda bulunabilmektedir. Burada, pencere boyutu, camın kalınlığı, çerçeve malzemesi ve sayısı, konumu ve pencerenin açılış yönü, vb etkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Kalın ve çok katmanlı pencereler, ısı

kaybını en aza indirerek ısıtma için kışın enerji ihtiyacından tasarruf sağlayabilmektedirler. Buna karşılık, ısı kazancını azaltmak için pencerelere panjur gibi gölgeleme özellikler eklenebilmektedir [47].

Pencereler aynı zamanda havalandırma amacıyla da kullanılan açıklıklardır. Hava hareketi, Şekil 1.8'de görüldüğü gibi pencerelerin yerleşimi ve sayısına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, havalandırma işlemini optimize etmek için en iyi konumu ve pencere sayısını belirlemek önem taşımaktadır. Gelen rüzgar, binanın içinde ve çevresinde farklı basınçlar oluşturmaktadır. Bu basınç değerleri konfigürasyonlara göre değişmektedir. Rüzgar pencereye dik olarak yönlendiğinde oluşan basınç en yüksek düzeyde olmaktadır. Rüzgar eğik açı ile geldiğinde ise basınç düşmektedir. Bu durumda, iç mekanlarda daha etkili rüzgar hareketi gerçekleşmekte ve iç mekanın havalandırması daha iyi elde edilmektedir. Hakim rüzgarın bilindiği yerlerde, daha iyi havalandırma sağlamak amacıyla pencereler rüzgarın çapraz olarak giriş sağlayacağı şekilde yerleştirilmelidir [37].



Şekil 1.8. Pencere yerleşimi ve rüzgar geliş yönüne bağlı olarak bina içinde ve etrafında meydana gelen hava hareketleri [37].

İç mekanlarda en uygun termal koşulları elde edebilmek, belirtilen tasarım unsurları dikkate alındığında yeterli olmayabilmektedir. Bu durumlar özellikle sert iklim (aşırı sıcak ve kuru, aşırı sıcak ve nemli veya aşırı soğuk) için geçerli olmaktadır. Günümüzde teknoloji, iç mekan termal koşulları (nemlendirici, fan, HVAC vb.) için basit çözümler sunmaktadır.

Ancak bu teknolojiler gürültülü, enerji tüketimi yüksek, maliyetli ve kirletici olabilmektedir. Bu dezavantajları önlemek amacıyla pasif teknolojiler, iç mekan konforu sağlamak için iyi bir alternatif olmaktadır. Ayrıca, enerji tasarrufu sağlamak için pasif teknolojik uygulamalar fosil enerjisi de gerektirmemektedir.

## **1.6. Pasif Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Teknikleri**

Bir binaya, iç mekanın iklimlendirilmesi amacıyla dış termal koşullardan faydalanabileceği mimari özellikler eklenebilmektedir. Bu özellikler, çalışması için harici enerji gerektirmediğinde veya çok az enerji gerektirdiğinde pasif sistem olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemler güneş, rüzgar vb. serbest enerjiyi kullanmaktadırlar.

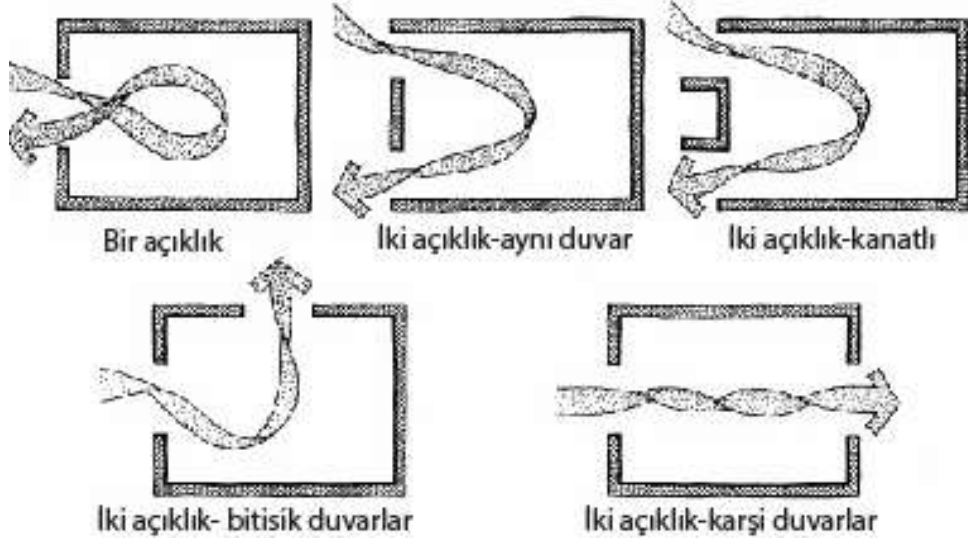
### **1.6.1. Rüzgar Kaynaklı Uygulanan Teknikler**

#### **1.6.1.1. Konforlu Havalandırma ve Çapraz Havalandırma**

Doğal havalandırma sağlamanın en kolay yolu açıklıklardır. Havalandırma tipi konforlu havalandırma veya çapraz havalandırma olabilmektedir. Konforlu havalandırmada hava aynı açıklıktan giriş ve çıkış yapmaktadır. Çapraz havalandırmada ise bir açıklıktan hava mekana girmekte ve diğer açıklıktan dışarı çıkmaktadır. İkinci açıklık aynı duvara, bitişik duvarlara veya karşı duvara yerleştirilebilmektedir. Genellikle daha fazla açıklık ile iç mekana daha fazla rüzgar sağlanabilmektedir. Bu durum mekan için daha verimli havalandırma ve soğutma sağlamaktadır.

Rüzgarın hızı ve açısı binanın etrafındaki basıncı etkilemektedir. Dış ortamdan rüzgar binaya ulaştığında, açıklıkların türü binanın etrafındaki ve içindeki baskıyı da etkilemektedir. Rüzgar hareketinin yönü Şekil 1.9'da gösterildiği gibi açıklıkların tipi ve konumuna bağlı olarak değişmektedir.





Şekil 1.9. Duvarlarda açıklık (pencere) yerleşimleri ve rüzgar hareketleri [50].

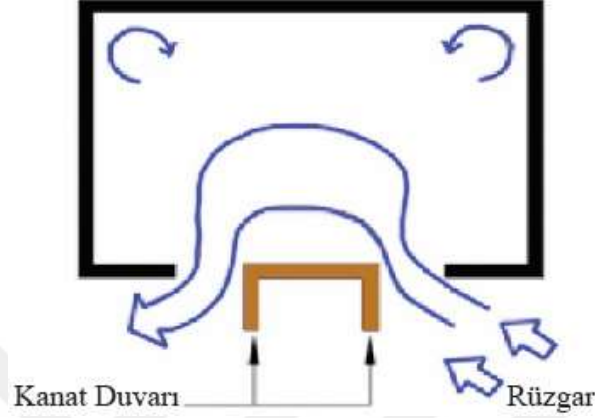
#### 1.6.1.2. Rüzgar Kulesi

Pencere açıklığı sayesinde sağlanan pasif havalandırma daha ziyade yatay özelliğe sahiptir. Buna karşılık, rüzgar kulesinde dikey hava hareketleri gerçekleşmektedir. Rüzgar kulesi yüksek seviyeden temiz hava almakta ve onu aşağı düzleme kanalize etmektedir. Bu nedenle, rüzgar kulesi binada doğal havalandırma için kullanılan bir mimari unsurdur. Rüzgar kulesi, genellikle Fars mimarisinde karşılaşılan binalarda soğutma (serinletme) amacıyla kullanılan mimari bir unsurdur [32]. Bu çalışma rüzgar kulesinin verimliliğine odaklandığı için, rüzgar kulesine ilişkin bilgiler daha detaylı olarak verilecektir.

#### 1.6.1.3. Kanat Duvarı

Kanat duvarı, iç mekandaki doğal havalandırmayı artırmak için açıklıklara eklenen mimari bir elemandır (Şekil 1.10). Açılıştaki kanat duvarı nedeniyle, rüzgar geldiğinde hava girişindeki basınç artmakta ve eş zamanlı olarak, eğer varsa hava çıkışı için ikinci açıklıkta daha düşük düzeyde basınç oluşmaktadır. Daha büyük basınç farkı sayesinde, dış ortamdaki rüzgar hızı düşük olsa bile, yeterli havalandırma sağlanabilmektedir [25]. Kanatsız tek bir

açıklık için mekandaki ortalama hava hızı dış hava hızının % 17'si kadardır. Bu açıklığa dikey kanat duvarlarının eklenmesi, mekandaki ortalama hava hızını dış hava hızının % 35'ine kadar artırabilmektedir [50].



Şekil 1.10. Gelişmiş doğal havalandırma için Kanat Duvarı [25].

## 1.6.2. Güneş Kaynaklı Uygulanan Teknikler

### 1.6.2.1. Trombe Duvarı

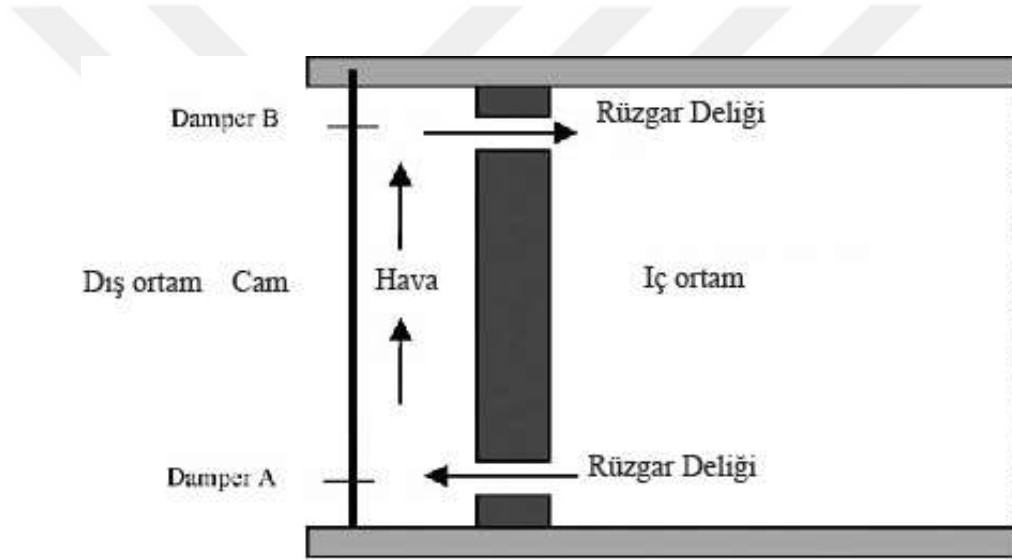
Trombe duvarı, binayı ısıtmak amacıyla güneş enerjisini kullanan mimari bir özelliktir. Güneş enerjisini kullandığı için, Trombe duvarı tercihen gün boyunca daha uzun süre güneşe maruz kalan binanın cephesine yerleştirilmektedir. Trombe duvarı, dış cam ve aralarında hava katmanı bulunan büyük bir duvardan oluşmaktadır.

İç mekanın bir Trombe Duvarı ile ısıtılması için, camın önce güneş ile ısıtılması gerekmektedir. Daha sonra camdan gelen ısı hava katmanına aktarılmakta, sonrasında ise ısı transferi havadan büyük kütleyle sağlanmaktadır. Sonunda ısı duvardan odaya iletim yoluyla aktarılmaktadır.

Trombe duvarı yüzdürme etkisinden yararlanarak da çalışabilmektedir. Düşük kottaki havalandırma deliğinden, mekandan gelen daha soğuk hava, camla masif duvar arasına ulaşmaktadır (Şekil 1.11). Güneş camı ısıtırken, ısı konveksiyon yoluyla havaya

aktarılmaktadır. Ardından, ısınan hava yükselmekte ve mekana tekrar üst havalandırma deliğinden geri dönmektedir. Çevrim devam ettikçe, oda sıcaklığı da artmaktadır.

Yüzdürme etkisinden faydalanan Trombe duvarı, soğutma amacıyla da kullanılabilir. Bunun için eski havanın dışarı çıkmasını sağlamak amacıyla cam üzerine bazı damperler monte edilmektedir. Önceki işlemde olduğu gibi cam ve masif duvar arasındaki hava ısıtılmaktadır. Sadece Damper B ve alt havalandırma deliği açıldığında (Şekil 1.11), Trombe duvarı arasındaki sıcak hava üst damperden dışarı çıkmaktadır. Sonra Trombe duvarındaki hava, odadan gelen sıcak hava ile değiştirilmektedir. Böylece odadaki havanın sıcaklığı düşmektedir [3].

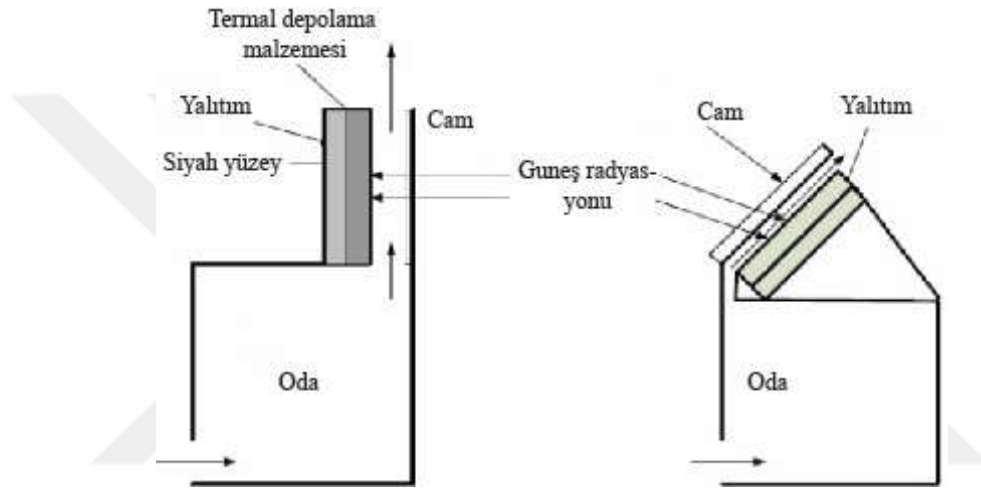


Şekil 1.11. Klasik Trombe-Michel duvarı [3].

#### 1.6.2.2. Güneş Bacaları

Güneş bacaları havalandırma amacıyla kullanılan mimari elemanlardır. Baca, yüzdürme etkisinden faydalanan mekandan kirlenmiş havayı almaktadır. Güneş bacalarında; camlar, termal depolama malzemeleri ve yalıtım malzemesi yer almaktadır. Bazı güneş bacalarında ise sadece cam ve yalıtım kullanılmaktadır (Şekil 1.12).

Öncelikle, güneş radyasyonu camlara ulaştığında camlar ısıyı biriktirmektedir. Daha sonra, camlardan duvara konveksiyonla iletilen ısı sayesinde baca içerisindeki hava ısıtılmaktadır. Bacadaki sıcak hava yükselmekte ve böylece dış ortama çıkmaktadır. Diğer tarafta mekandaki hava, düşük kotta yer alan açıklıktan giren temiz hava aracılığıyla temizlenmektedir (Şekil 1.12). Güneş bacaları ve Trombe duvarlar soğutma amaçlı kullanıldıklarında birbirleri ile benzerlikler göstermektedirler. Aralarındaki fark, Trombe duvarının gün ışığını büyük duvar gövdesiyle engelliyor olmasıdır [51].



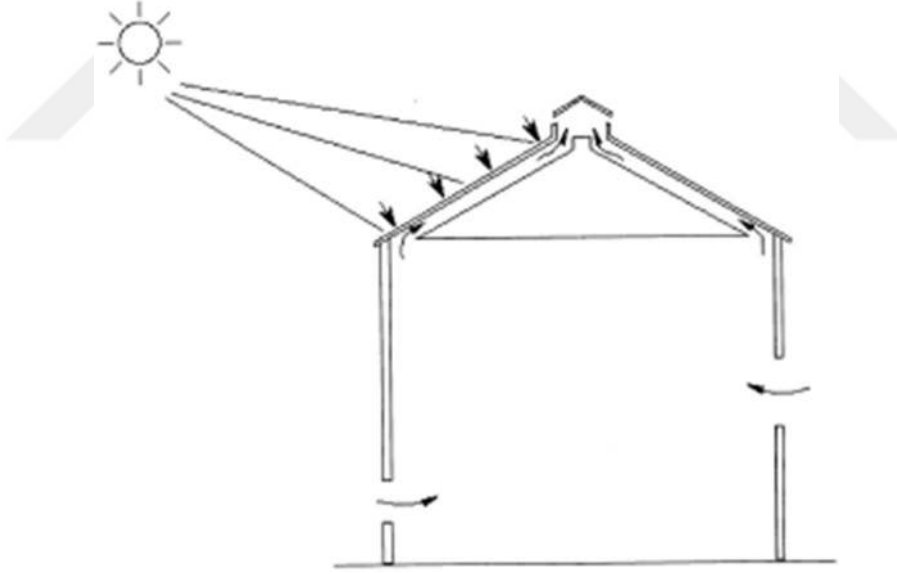
Şekil 1.12. Güneş Bacaları [3].

### 1.6.2.3. Güneş Enerjisi Toplayıcıları (Transpired Solar Collector)

Hollick ve Rolf Peter'in buluşları olarak bilinen Güneş Enerjisi Toplayıcıları, binayı örten delikli metal tabakadan yapılmıştır. Teknoloji aynı zamanda solar duvarı ve sırsız delikli emici kollektör olarak tanımlanmaktadır [3]. Binanın ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır. Bunu yapmak için hava, metalik tabaka ile kabuğu arasında fan yardımıyla hava girişi sağlandıktan sonra metalik tabaka boyunca hava güneş ışınlarıyla ısıtılmakta ve ısınan hava binaya yönlendirilmektedir [52].

#### 1.6.2.4. Solar Çatı Vantilatörü

Solar çatı vantilatörü, Trombe duvarı ile aynı fiziksel prensiplere dayanarak çalışmaktadır. Öyle ki, çatının yüzeyi enerji toplayıcı olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.13’de, eğimli çatının güneş enerjisi topladığı ve havayı yüzeyinin altında ısıttığı gösterilmiştir. Kaldırma etkisinden dolayı, sıcak hava yükselmekte ve binanın çatısındaki üst deliklerden uzaklaşmaktadır. Daha sonra, mekanın içinden gelen hava, emilen havanın yerini almaktadır. Mekan içindeki hava ise pencere açıklıklarından gelen hava ile yenilenmektedir. Bu nedenle, doğal havalandırma gerçekleşmektedir. Normalde çatı yüzeyleri, güneş ışınlarının yeryüzüne daha dik geldiği zaman aralıklarında güneş ışınlarına duvar yüzeylerinden daha fazla maruz kalmaktadırlar. Bundan dolayı, solar çatı havalandırmasının Trombe duvarından daha avantajlı olduğu söylenebilir [53].

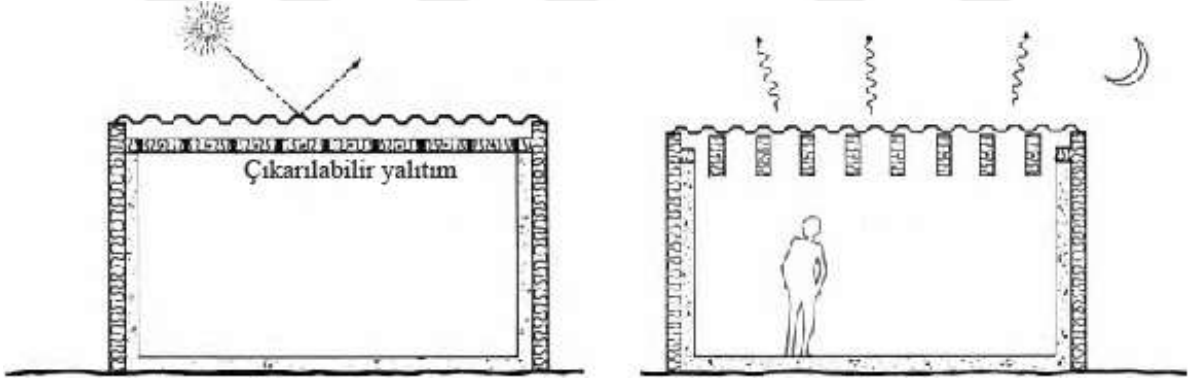


Şekil 1.13. Solar çatı vantilatörü [53].

### 1.6.3. Radyant Soğutma Tekniği

#### 1.6.3.1. Doğrudan Radyant Soğutma

“Radyant Soğutma Tekniği” iki adımda yapılmaktadır. İlk adımda, iç mekanın ısınımasını emmek için soğutulmuş bir yüzey kullanılmaktadır. Daha sonra, emilen ısı radyasyon yoluyla dışarıya serbest bırakılmaktadır. Doğrudan radyant soğutma uygulamasında beton kütleleri soğutucu olarak kullanılabilir (Şekil 1.14). Gün boyunca, dış ortam sıcaklığı termal konfor için çok yüksek olduğunda, güneş ısının iç mekanlara girmesini önlemek için kaldırılabilir yalıtım kullanılmaktadır. Kapalı iç mekanda, soğuk beton kütleleri ısıyı emmekte ve bu sayede iç ortam sıcaklığı düşmektedir. Gece olunca ve dış ortam daha serin olduğunda, yalıtım kaldırılmaktadır. Bu sayede beton kütlede gün boyunca biriken ısı, dışarıya radyasyonla serbest bırakılabilmektedir. Sabah olunca beton kütleleri soğumuş olduğundan ısıyı tekrar emebilmektedir.

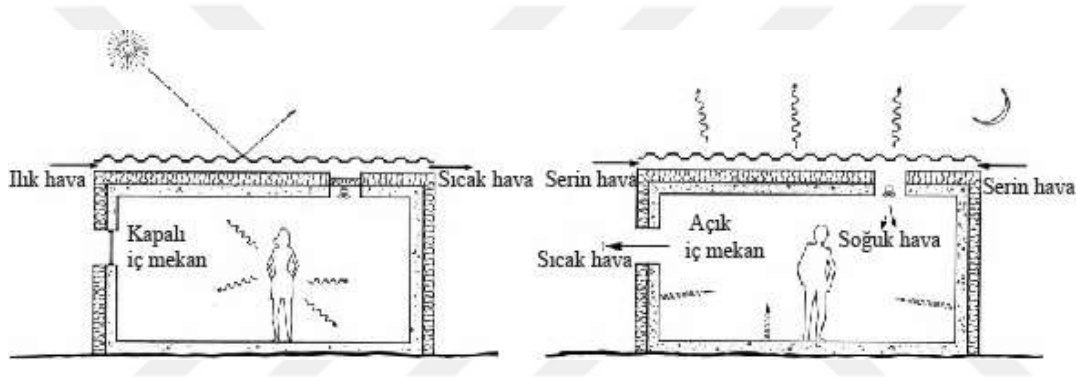


Şekil 1.14. Doğrudan radyant soğutma örneği [31].

#### 1.6.3.2. Dolaylı Radyant Soğutma

Daha önce tarif edildiği gibi bir beton kütle kullanıldığında, yalıtımı söküp geri almak dezavantaj sağlamaktadır. Yalıtımı çıkarmak zorunda kalmamak için başka bir yaklaşım kullanılabilir. Bu yaklaşım dolaylı radyant soğutmadır.

Dolaylı Radyant soğutma üç adımda gerçekleştirilmektedir. İlk adımda, radyant soğutma tekniği gibi, iç mekanın ısınısını emmek için soğutulmuş bir yüzey (mesela beton kütlesi) kullanılmaktadır. Daha sonra, yüzeyi soğutması için radyasyon yoluyla soğutulmuş hava iç mekana yönlendirilmektedir. Şekil 1.15’de gün boyunca iç mekanın kapalı olduğu gösterilmektedir. İç mekanın ısısı soğuk beton kütlesi tarafından emilmektedir. Gece olunca, dış ortamdaki gelen serin hava metalik radyatör ile soğutulmaktadır ve ventilatör ile iç mekana yönlendirilmektedir. Soğutulmuş hava, iç mekanda beton kütlesini de soğutmaktadır. Açık pencere aracılığıyla, ısı iç mekandan çıkabilmektedir. Sabah olunca, beton kütlesi soğutulmuş durumda olduğundan ısıyı tekrar emmeye başlamaktadır [31].



Şekil 1.15. Dolaylı radyant soğutma örneği [31].

#### 1.6.4. Buharlaşmalı Soğutma Tekniği

Buharlaşmalı (Evaporatif) Soğutma Tekniği, havanın buharlaşmasıyla birlikte soğutulmasıyla gerçekleşmektedir. Suyun buharlaşması için kuru havadan ısı sağlanmaktadır. Suyun buharlaşması daha yüksek nem oranına ve daha düşük hava sıcaklığına neden olmaktadır. Buharlaşmalı soğutma genellikle orta ila düşük nemli iklimlerde uygulanmaktadır. Teknik, doğrudan ve dolaylı buharlaşmalı soğutma olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir. Doğrudan yöntem, binada bir fan kullanılmasını gerektirmeyen buharlaşmalı bir soğutucu (pasif soğutma kulesi, çeşme vb.) ile gerçekleştirilmektedir. Bu durumda su buharlaşma işlemi iç mekamlarda gerçekleşmektedir. İç mekandaki havanın nem oranı artmakta, hava sıcaklığı ise düşmektedir.

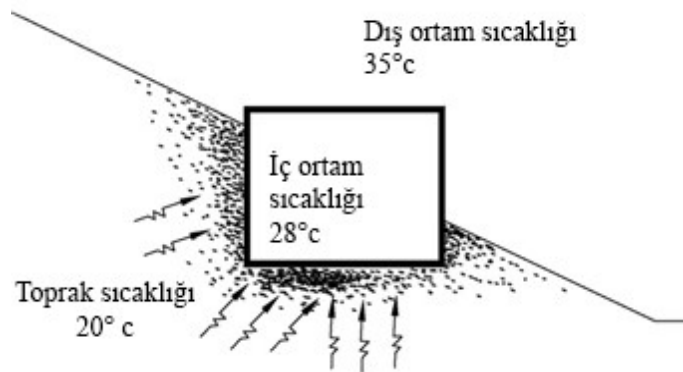
Nem oranının yüksek olduğu yerlerde, nem oranını “buharlaşmalı soğutucu” ile artırmak iç ortam sıcaklığını düşürmek için verimli değildir. Bu durumda, dolaylı buharlaşmalı soğutma tercih edilmektedir. Dolaylı buharlaşmalı soğutmanın gerçekleştirilmesi için, önce iç mekandaki ısı bir soğutucuya (mesela beton kütle) aktarılmaktadır. Sonra soğutucu buharlaşmalı soğutma tekniği yoluyla soğutulmaktadır.

### 1.6.5. Jeotermal Enerji (Toprak Soğutma)

1.5 ila 3 m yeraltında, sıcaklık neredeyse sabittir. Normalde, yer altında sıcaklık zemindeki ortalama yıllık hava sıcaklığına yakındır. Zemin yüzeyindeki sıcaklık iç mekanda konfor için uygun olmadığında, yeraltındaki sıcaklık kullanılabilir. Bunu gerçekleştirebilmek amacıyla, doğrudan toprak bağlantılı ve toprakla dolaylı bağlantılı teknikler geliştirilmiştir [31].

#### 1.6.5.1. Doğrudan Toprak Bağlantılı

Binanın dış kabuğunun derin toprakla doğrudan temas ettirilmesi ile oluşturulan bir sistemdir. Bina dış duvarı derin zemin altı ile temas halinde inşa edilmektedir (Şekil 1.16.). Bu sayede, yaz aylarında derinlemesine düşük olan sıcaklık, duvara aktarılmaktadır. Sonra duvar mekandaki havayı soğutmaktadır. Diğer taraftan, bina ısı kaybedeceği için kışın toprak bağlantısı bir soruna dönüşebilmektedir. Bu nedenle yalıtım uygulaması da yapılmalıdır [31].

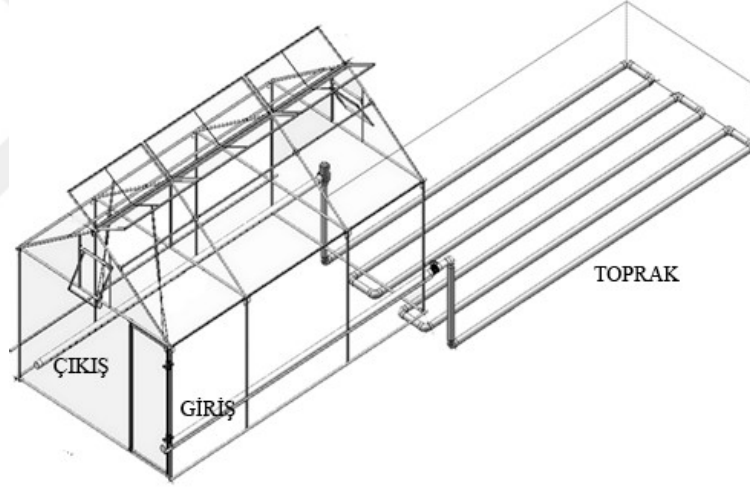


Şekil 1.16. Pasif soğutma için toprak korumalı bina [54].



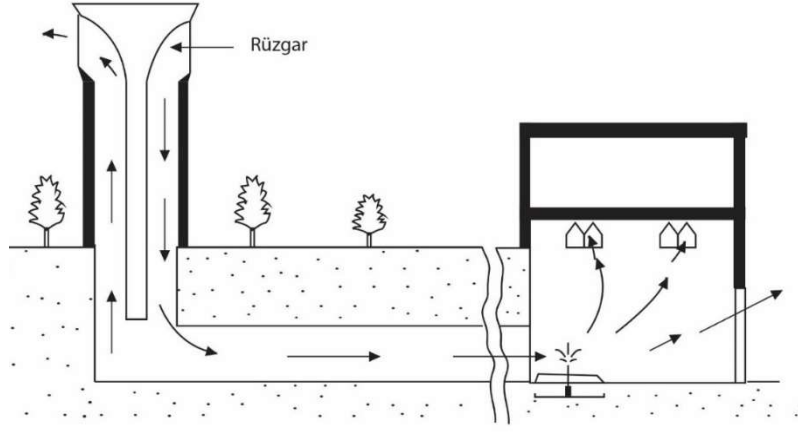
### 1.6.5.2. Toprakla Dolaylı Bağlantılı

Soğutma / ısıtma amacıyla derinlemesine sıcaklıktan yararlanan bir teknoloji, topraklama borusudur. Topraklama borusu, içinden hava çekilen uzun, metal veya plastik bir borudur. Hava borudan geçerken, ısısının bir kısmını çevresindeki toprağa vermekte veya almaktadır ve soğutma ile ısıtma döneminde odaya soğutulmuş veya ısıtılmış hava olarak girmektedir [55]. Bu nedenle, topraklama borusu iklimlendirme sistemi olarak kullanılabilir. Şekil 1.17’de bir serayı soğutmak için topraklama borusu sistemi kullanım örneği yer almaktadır.



Şekil 1.17. Bir serayı soğutmak için topraklama borusu sistemi [56].

İç mekanın soğutulması, binadan ayrılmış rüzgar kulesi ve Şekil 1.18’de gösterildiği gibi yeraltı tüneli ile birleştirilmesiyle yapılabilir. Şekilde rüzgar kulesine giren hava akımı tünele doğru inmektedir. Ardından hava akımı yer altı tüneline geçtiğinde soğumaktadır. Hava akımı odaya ulaştığında, binanın hava girişine çeşme yerleştirilerek nemlendirme de sağlanabilir.



Şekil 1.18. Toprak borusu ve rüzgar kulesi kombinasyonu ile gerçekleştirilen havalandırma [57].

### 1.7. Rüzgar Kulesi

Daha önce (1.6.1.2.'de) pasif soğutma tekniği arasında tanıtılan bu mimari özellik, tam anlamıyla anlaşılabilmesi için bu alt bölümde daha ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 1.19'de İran'ın Yazd Kentindeki rüzgar kulelerine ait bir görsel yer almaktadır.



Şekil 1.19. İran'ın Yazd Kentindeki rüzgar kulelerinden bir görünüm [58].

#### 1.7.1. Rüzgar Kulesinin Kökeni

Rüzgar kulesi, sert sıcak havalarda binaların iç mekan iklimini yumuşatmak için tasarlanmış mimari elemanlardır. Bu nedenle, ilk olarak sıcak iklime sahip ülkelerde ortaya

çıkmiştir. Rüzgar kulesinin kökenine ilişkin araştırma yapan birkaç çalışma, rüzgar kulelerinin yerlerini ve kökenlerini tam olarak belirlemek için yeterli olmamıştır. İlk rüzgar kulelerinin doğal afetler ve süreç içinde tahrip olduğu düşünülmektedir. İlk fikrin, Orta Doğu'da ortaya çıktığı düşünülmektedir [59]. Diğer taraftan, Tal-el-Amarna'daki Nebamun'un mezarının M.Ö. 1300'deki resmini analiz eden bir çalışma rüzgar kulesinin Mısır'da doğmuş olabileceğini belirtmektedir [60]. Mahmoudi'nin çalışmasında [61], rüzgar kulesinin Hint ve Pakistan evlerinde bulunduğu ancak muhtemelen Pers mimarisinin etkisinin bir sonucu olduğu belirtilmiştir. Son olarak, Kiani'nin [62] araştırmaları rüzgar kulesinin Pers kökenli olduğunu arkeolojik kaynaklarla doğrulamıştır. M.Ö 4000 yıllarından kalma rüzgar kulesi benzeri yapılar Flint tepelerinde makul kanıtlar olarak elde edilmiştir.

### **1.7.2. Rüzgar Kulesinin Bileşenleri**

Rüzgar kulesi isminde de belirtildiği gibi bir kuledir. İçine rüzgarı almak amacıyla kulenin tepesinde en az bir açıklık yer almaktadır. Kule içindeki bölümlerin eklenmesiyle hava kanalı daraltılarak akış artırılabilir. İç bölme düzenlemesi bir rüzgar kulesinden diğerine farklı olabilmektedir. Rüzgar kulesinin bölümleri Şekil 20.a'da gösterilmektedir.

#### **1.7.2.1. Kule**

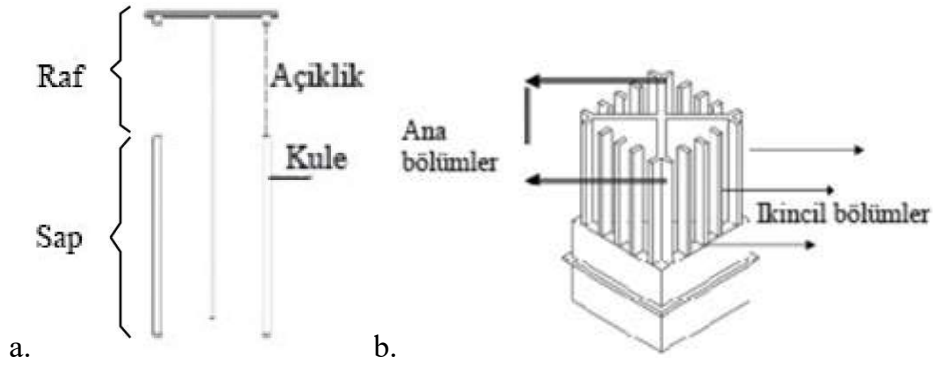
Kule değişken yüksekliğe sahip ve binanın çatısına monte edilmektedir. Genellikle en az iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar; Sap ve Raf'tır. Sap doğrudan alttaki mekandan itibaren inşa edilmektedir. Rüzgar kulesi, bölme elemanları ile birkaç şafta bölünebilmektedir. Rüzgarı yüksek rakımda yakalamak için sapın yüksekliği artırılabilir. Bazen cephesinde tuğla dizileri düzenlenmektedir. Kulenin üst kısmı Raf'tır. En az tek taraftan açıktır ve bıçakları tutmaktadır [63].

### 1.7.2.2. Açıklık

Kulelerin tepesinde bulunan açıklıklar, sistemin içine rüzgar girişi sağlamakta veya kirli havanın mekandan dışarı atılmasını sağlamaktadır (Şekil 1.20). Bir rüzgar kulesi birkaç açıklığa sahip olabilmektedir. Açıklıkların sayısı, farklı yönlerden gelen rüzgar türlerini ayırt etmeye yardımcı olabilmektedir. Bunlar tek yönlü rüzgar kulesi, çift yönlü rüzgar kulesi veya çok yönlü rüzgar kulesi olarak belirtilmektedir [64].

### 1.7.2.3. Bölümler

Kule içindeki ana bölüm veya rüzgar girişindeki ikincil bölümler hava hareketini arttırmak için küçük şaft sağlayan alt bölümlere elemanlarıdır (Şekil 1.20b). Bernoulli etkisine göre, rüzgar kulesindeki şaftların bölüm sayısı arttıkça hava hızında da artış olmaktadır [65].

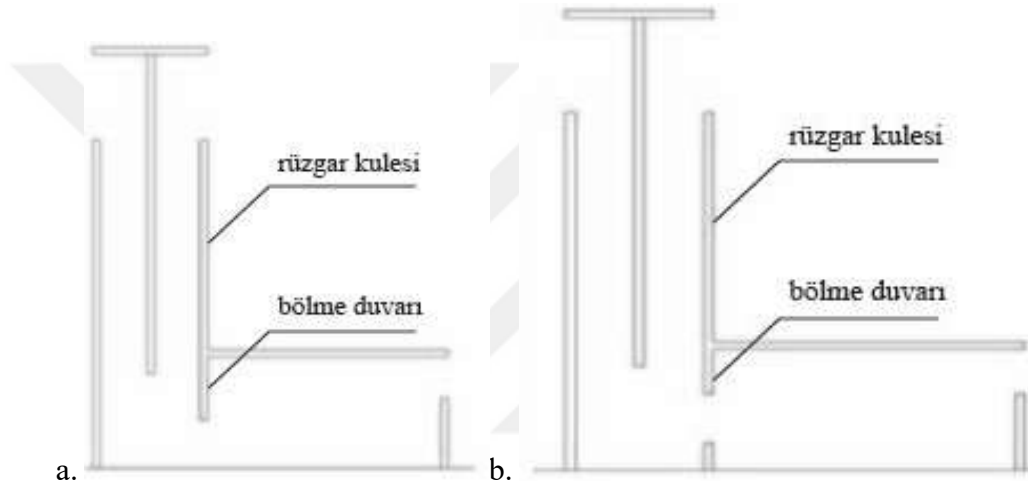


Şekil 1.20. Rüzgar kulesinin bileşenleri ve bölmeler [64].

### 1.7.2.4. Bölme Duvarı

Bölme duvarı, rüzgar kulesinin altındaki alanı ve havalandırılan mekanı ayıran dikey bir duvardır. Rüzgar kulesinden gelen hava akımının mekanı dolaşmasına izin veren bir

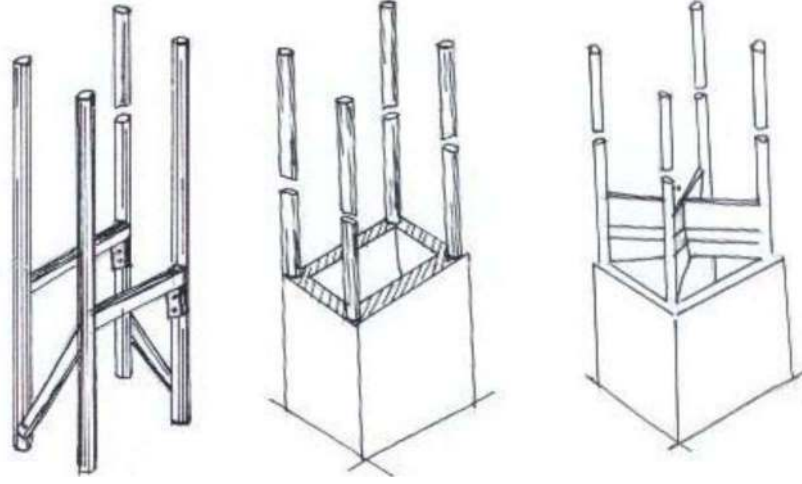
açıklığı yer almaktadır [66]. Tüm rüzgar kulelerinde bölme duvarı yer almamaktadır. Bazı rüzgar kulelerinde, geniş bir devirdaim akışı sağlamak amacıyla tasarlanabilmektedir. Reyes vd. [15], bölme duvar konfigürasyonlarına sahip farklı bir rüzgar kulesi önermiştir. Basit bölme duvarı konfigürasyonları Şekil 1.21’de yer almaktadır. Şekilde bölme duvarları rüzgar kulesi duvarlarının uzantıları olarak yer almaktadır. Şekil 1.21a’daki bölme duvarında, zemin seviyesinde 1m açıklık bulunmaktadır. Şekil 1.21b’de ise açıklık duvarın orta bölgesine yer almaktadır.



Şekil 1.21. Zemin düzleminde farklı açıklıklı bölme duvar örnekleri [15].

### 1.7.3. Yapı ve Malzeme

Geleneksel rüzgar kulesi ahşap kirişler ve direkler ile desteklenmektedir. İç bölme elemanları da ayrıca ahşap kiriş tarafından desteklenmektedir. Ahşap kiriş, rüzgar kulesinin toplam sağlamlığına ve direncine katkıda bulunmaktadır. Şekil 1.22’de bir rüzgar kulesinin ahşap yapısı gösterilmektedir. Duvarlar ise çamur veya pişmiş tuğladan yapılmaktadır. Tuğla düzenleme, tasarıma estetik ve kültürel değer katmaktadır [67].



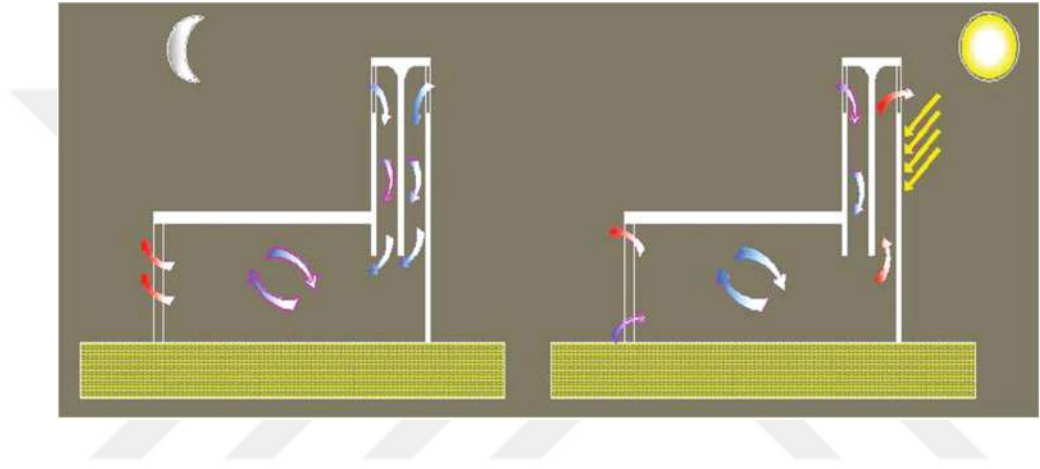
Şekil 1.22. Rüzgar kulelerinin yapısı [67].

#### 1.7.4. Çalışma Modu

Rüzgar kulesi dış ortamdan havayı almakta ve kirlenmiş havayı dışarı atmaktadır. Bunu yapabilmesi için rüzgar kuvveti veya sıcaklık değişiminden kaynaklanan basınç farkı gerekmektedir. Hava, basıncın pozitif olduğu yerden girmekte ve genellikle açıklık seviyesinde meydana gelmektedir. Rüzgar kulesinin bölme elemanına ulaştığında, hava yoğunluğu artmaktadır. Bölmelerin çevresinde yüksek basınçlı bir bölge meydana gelmekte sonra temiz hava şaftın içine doğru ilerlemektedir. Rüzgar kulesi iki yönlü ise, kirli hava negatif basıncın olduğu açıklıktan dışarı atılabilmektedir. Bu durumda, iç mekanının havalandırması Bernoulli Prensibi ile çalışmaktadır.

Dış mekanda rüzgar hareketi yokken rüzgar kulesi farklı bir prensiple çalışmaktadır. Bu durumda, iç mekandaki sıcaklık farkından dolayı kaldırma etkisi nedeniyle meydana gelen hava sirkülasyonu hala devam etmektedir. Gündüz, güneş rüzgar kulesinin güney yüzünü ısıtmaktadır (Şekil 1.23). Kulesinin içindeki hava duvar yüzeyi vasıtasıyla ısınmaktadır. Isınan hava düşük basınç nedeniyle yükselmektedir. Yükselen hava rüzgar kulesi açıklığından çıkmaktadır. Kuledeki hava böylece iç mekandan gelen hava ile değiştirilmiş olmaktadır. Kuledeki hava ısınmakta ve tekrar yukarı hareket etmektedir. Bu döngü, mekanın içindeki kirli havanın rüzgar kulesi tarafından emilmesi nedeniyle mekanın içinde vakum benzeri bir durum meydana getirmektedir.

Gece vakti hava serinlediğinde, taze hava rüzgar kulesine girmekte ve oradan odaya inmektedir. Mekan duvarının kütlesi gün boyunca ısı depolamaktadır. Geceleri duvarların kuleden gelen temiz havayı ısıtmalarından dolayı mekandaki ısıtılmış hava hareket etmektedir. Sonuçta, hava bir pencereden dışarı atılmaktadır. İşlem, duvar sıcaklığı ile dış sıcaklık arasında bir denge oluşana kadar devam etmektedir. Sabaha karşı, rüzgar kulesi kaldırma etkisi altında veya Bernoulli'nin Prensibine göre tekrar çalışmaya başlamaktadır [68].



Şekil 1.23. Rüzgar kulelerinin sıcaklık farkına göre çalışma durumu [68].

### 1.7.5. Rüzgar Kulesi Tipolojisi

#### 1.7.5.1. Biçimlerine Göre Rüzgar Kuleleri

Yazd'deki rüzgar kuleleri: daire, sekizgen, çokgen, kare ve dikdörtgen biçimli olarak uygulanmıştır. Yaygın olarak kullanılan rüzgar kuleleri dik açılara sahip olan kare ve dikdörtgendir [8].

Dikdörtgen biçimli rüzgar kulesinin dairesel kuleden daha verimli olduğu kanıtlanmıştır. Aerodinamik olmayan şekli rüzgar kulesinin farklı alanlarındaki basınç farkını artırmakta, dolayısıyla havalandırma da artmaktadır [5].

Genel olarak, kare biçimli çok yönlü rüzgar kulesi ikiye veya dörde bölünmüş şekilde uygulanmaktadır. Diğer taraftan dikdörtgen rüzgar kulesi sekiz küçük açıklığa da bölünebilmektedir. Sekizgen model ise sekiz açıklığa sahiptir [8].

Açıklık sayısının artması düşey doğrultuda hareket eden rüzgar hızının yavaşlamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, sadece tek kanallı rüzgar kuleleri daha fazla hava akış hızı sağlamak ve ağır rüzgarların bulunduğu yerlerde kullanıldığında daha avantajlı olmaktadır. Diğer taraftan, rüzgarın yönünün çok değişken olduğu bir yerde, çok yönlü rüzgar kuleleri havalandırmayı daha etkili bir şekilde sağlayabilmektedir. Çünkü bu durumda hava akışı birden fazla kanaldan tetiklenebilmektedir [5].

#### **1.7.5.2. Bölme Elemanları Düzenlemesine Göre Rüzgar Kuleleri**

Rüzgar kuleleri bölme eleman düzeniyle de tanımlanmaktadır. Zarandi [12] bölme eleman düzenine göre rüzgar kulelerini:

- X kanatlı (bölme elemanlı) rüzgar kuleleri
- + kanatlı (bölme elemanlı) rüzgar kuleleri
- H kanatlı (bölme elemanlı) rüzgar kuleleri
- K kanatlı (bölme elemanlı) rüzgar kuleleri
- I kanatlı (bölme elemanlı) rüzgar kuleleri, olarak tanımlamaktadır.

Yazd'de X şeklindeki dikdörtgen rüzgar kulesi az sayıda yer almaktadır. Buna karşılık, dikey olarak düzenlenmiş bölme elemanları (yani + şekilli) yaygındır. Kanallar genellikle + şeklindeki dikey bölme elemanlarla eşit olarak bölünmektedir. H şeklinde bölme elemanlara sahip rüzgar kulesinin kanalları eşit olmadan bölünmektedir. Bu konfigürasyon hakim rüzgarı yakalamak için daha verimlidir. Ancak H şeklindeki rüzgar kulesi az sayıda yer almaktadır. K şeklindeki bölme elemanları düzenlemesi, + ve X şeklindeki bölme elemanlarını tek bir tasarımda birleştirmektedir. I şeklinde bölme eleman nadir olarak kullanılmaktadır. I şeklinde bölme eleman rüzgar kulesinde, hava akımı sisteme bir



açıklıktan girmekte ve karşı açıklıktan çıkmaktadır. Şekil 1.24 de, farklı bölme elemanlarının düzenlemesi yer almaktadır.



Şekil 1.24. Farklı bölme elemanları düzenlemelerine sahip rüzgar kuleleri [58].

Rüzgar kulesi tipi, bölme tipi düzenlemesi, plan şekli veya açıklık sayısı ile ayırt edilebilmektedir. Tablo 1.6’da farklı tipteki rüzgar kuleleri gösterilmektedir.

Tablo 1.6. Form ve bölme elemanlarının düzenine göre rüzgar kulesi tipleri [65].

| Bölme Tipi | Kare Formlu | Dikdörtgen Formlu | Sekizgen Formlu |
|------------|-------------|-------------------|-----------------|
| X          |             | -                 |                 |
| I          |             |                   | -               |
| H          | -           |                   | -               |
| +          | -           |                   | -               |

### 1.7.5.3. Kentlere Göre Rüzgar Kuleleri

Orta Doğu'nun birçok ülkesinde rüzgar kuleleri yer almaktadır (Şekil 1.25). Tablo 1.7'de kökenlerine göre farklı rüzgar kuleleri gösterilmektedir. Tabloda ayrıca temel özellikleri de belirtilmektedir (biçimi, özellikleri, kullanıldıkları iklim tipi, boyutu, yön sayısı, kullanımı, ek bileşeni). İran, diğer tüm ülkelerden daha fazla rüzgar kulesine sahip olup İran'da kullanılan ana tipler: Ardakani, Kermani ve Yazdi'dir. Ardakani rüzgar kulesi en temel geometriye sahiptir. Sadece bir açıklık ile karakterize edilmektedir ve diğer tiplerden daha kısadır. Ardakani rüzgar kuleleri baskın rüzgarı tetiklemek için kullanılmaktadır. Bu nedenle genellikle kuzey rüzgarına yönlendirilmektedir. Güneydoğudaki Kerman kentinde yer alan Kermani rüzgar kuleleri, iki tarafı ile tasarım olarak hala basittir. Bununla birlikte, karşı taraflarda meydana gelen basınç farkı nedeniyle daha verimlidir. Kermani genellikle sarnıçları havalandırmak için kullanılmaktadır. Yazdi modeli daha büyük ve uzun boylu rüzgar kulesidir. Yazdi rüzgar kuleleri en az dört açıklığa sahiptir [7].



Şekil 1.25. Orta Doğu'da bulunan farklı tiplerdeki rüzgar kuleleri [69].

Tablo 1.7. Kökenlerine göre rüzgar kuleleri

| Rüzgar Kulesi Türleri                                                                                                                                            | Özellikleri ve Açıklamalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Kaynaklar                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Basra Körfezi'ndeki rüzgar kulesi                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                               |
|  <p>Doha'da rüzgar kulesi</p>                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sıcak ve nemli iklimde kullanılmakta</li> <li>• Çok yönlü</li> <li>• Kare kesitli</li> <li>• Ortalama boyutu: 1x1m</li> <li>• Yükseklik: 1 ila 5 m arasında</li> <li>• Rüzgara göre yönelim: Diyagonal</li> <li>• Düz çatılı</li> <li>• Resepsiyonu ve diğer odaları havalandırmak için kullanılmakta</li> <li>• Buharlaşmalı soğutma yok</li> </ul>                        | <p>[70]<br/>[71]</p>          |
| Irak'aki rüzgar kulesi                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                               |
|  <p>Irak binalarının çatısında görülen rüzgar kulesinin şematik gösterimi</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sıcak ve kurak iklimde kullanılmakta</li> <li>• Dikdörtgen kesit</li> <li>• Ortalama boyutları: 0.5x 0.15; 1.20x0.06m</li> <li>• Yükseklik: 1,80 ila 2,10 m arasında</li> <li>• Rüzgara göre yönelim: dik</li> <li>• Eğimli çatılı (30°)</li> <li>• Bodrum havalandırması için</li> <li>• Çok yönlü</li> <li>• Sistemde bazen buharlaşmalı soğutma kullanılmakta</li> </ul> | <p>[70]<br/>[71]<br/>[83]</p> |
| Pakistan'daki rüzgar kulesi                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                               |

Tablo 1.7' in devamı

|                                                                                    |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sıcak nemli bölgelerde kullanılmakta</li> <li>• Tek yönlü</li> <li>• Kare kesitli</li> <li>• Ortalama boyut: 1x1m</li> <li>• 5 m'ye kadar yükseklik</li> <li>• Rüzgara göre yönelim: Köşegen</li> <li>• Eğimli çatılı (45 °)</li> <li>• Tüm odaların havalandırılması için kullanılmakta</li> <li>• Buharlaşmalı soğutma yok</li> </ul>                                                                | <p>[70]</p> <p>[72]</p> <p>[83]</p>             |
| Sindh'teki rüzgar kulesi                                                           |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                 |
| Mısır'daki rüzgar kulesi                                                           |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                 |
|  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Malqaf olarak da bilinmekte</li> <li>• Sıcak ve kurak iklimde kullanılmakta</li> <li>• Tek yönlü</li> <li>• Toza karşı korunması var</li> <li>• Sütunsuz</li> <li>• Eğimli çatılı 30 °</li> <li>• Dikdörtgen kesitli</li> <li>• Rüzgara göre yönelim: normal</li> <li>• Resepsiyon ve odanın havalandırılması için kullanılmaktadır</li> <li>• Bazen buharlaşmalı soğutma ile kullanılmakta</li> </ul> | <p>[73]</p> <p>[74]</p> <p>[70]</p> <p>[75]</p> |
| Kahire'deki El-Jawhara evinin Malqaf'ı                                             |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                 |
| İran'daki rüzgar kuleleri                                                          |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                 |
| Ardakani                                                                           |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ardakan şehrinde (Yazd İli)</li> <li>• Sıcak ve kurak iklimde kullanılmakta</li> <li>• Basit mimari</li> <li>• Tek- taraflı</li> <li>• Dik çatılı</li> <li>• Genellikle kuzey-batı veya kuzeye yerleştirilmekte</li> </ul>                                                                                                                                                                             | <p>[7]</p> <p>[63]</p> <p>[76]</p>              |

Tablo 1.7' in devamı

|                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <p>Ardakani</p>  <p>Tek- taraflı rüzgar kulesi</p>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sıcak nemli iklimde kullanılırsa (Bandar Abbas ve Bandar Boushehr'de) : kısa kule</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>[7]<br/>[63]<br/>[76]</p>                            |
| <p>Kermani</p>  <p>Eğimli çatılı iki taraflı rüzgar kulesi</p>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kerman şehrinde</li> <li>Basit mimari</li> <li>İki taraflı</li> <li>Sarnıç ve sıradan evler için kullanılmakta</li> <li>Kavisli çatı olabilmekte</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>[7]<br/>[76]<br/>[63]</p>                            |
| <p>Yazdi</p>  <p>Düz çatılı dört taraflı rüzgar kulesi (Yazd)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dört taraflı</li> <li>İran'daki en popüler rüzgar kuleleri türü</li> <li>Sıcak kuru bölgede ve sıcak nemli bölgede kullanılmaktadır</li> <li>Karmaşık mimari</li> </ul> <p>Sıcak ve kuru bölge için:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Küçük hacimli ve daha uzun</li> <li>Buharlaşmalı soğutma kullanımı</li> <li>Malzemeler: Çamur tuğla veya pişmiş tuğla ile saman sıva</li> </ul> <p>Sıcak ve nemli bölge için:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Buharlaşmalı soğutmasız</li> <li>Büyük açıklık ve kısa şaft</li> </ul> | <p>[63]<br/>[12]<br/>[76]<br/>[64]<br/>[77]<br/>[7]</p> |

Tablo 1.7' in devamı

|                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                    |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|  <p>Sıcak ve nemli bölgede dört taraflı rüzgar kulesi</p>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• kare kesit</li> <li>• Bir odayı havalandırma</li> <li>• Malzeme: kireç sıva, küller ve harç sıva</li> </ul>                               |                                     |
| <p>Üç taraflı rüzgar kulesi</p>                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabas'ta (Yazd İli) görüldü.</li> <li>• Nadir</li> </ul>                                                                                  | <p>[13]</p> <p>[78]</p>             |
| <p>Çok yönlü rüzgar kuleleri</p>  <p>Yazd'deki sekiz yüzlü rüzgar kulesi</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sarnıçların üzerine inşa edilmekte</li> <li>• Her taraftan rüzgar alabilmekte</li> <li>• Diğer rüzgar kulelerinden daha yüksek</li> </ul> | <p>[63]</p> <p>[79]</p> <p>[76]</p> |



Tablo 1.7' in devamı

|                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <p>Kubbeli rüzgar kulesi</p>  <p>Kashan'daki kubbeli rüzgar kulesi</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahar evlerinin üstüne yerleştirilmekte</li> <li>• Kubbe, rüzgar alıcılarının performansını artırmakta</li> </ul>            | [79] |
| <p>İki katlı rüzgar kulesi</p>                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nadir</li> <li>• Alt kat üst katı desteklemekte</li> <li>• Üst kat alttan küçük</li> <li>• Daha uzun</li> </ul>              | [79] |
| <p>Boru biçimli rüzgar kulesi (Chopoghi)</p>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sadece Sirjan'da (İran'ın güneyi)</li> <li>• Bükülmüş borular</li> </ul>                                                     | [80] |
| <p>Khishkhan</p>                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yazd'da mevcut</li> <li>• Hishkhan anlamı: Çamur rafları</li> <li>• Üzerinde suya batırılmış paspas kullanılmakta</li> </ul> | [80] |

### 1.7.6. Rüzgar Kulelerinin Boyutları

Rüzgar kulelerinin boyutları uygulandığı coğrafyaya bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak, kuru ve sıcak iklimde kullanılan rüzgar kulesi daha uzun ve daha küçük kesite sahip olarak uygulanmaktadır. Buna karşılık, nemli ve sıcak iklimde kullanılan rüzgar kuleleri daha kısa ve daha büyük kesite sahip olacak şekilde uygulanmaktadır [70].

Roaf [81] tarafından yapılan çalışma, rüzgar kulesi boyutları hakkında veri sunmaktadır. Roaf, Yazd şehrinde bulunan 52 rüzgar kulesini incelemiştir. Araştırmaya göre, ölçülen rüzgar kulelerinin çoğunun yüksekliği 801 - 1100 cm (% 53) arasında elde edilmiştir. Sonraki en yaygın kule yüksekliği 501-800 ve 1101-1400 cm arasında elde edilmiştir. Daha nadir olarak ise, 500 cm'den daha kısa rüzgar kuleleri ve 1700 cm'den çok yüksek rüzgar kuleleri olduğu kaydedilmiştir.

Açıklık yüksekliği ile ilgili olarak; ölçülen rüzgar kulelerinin % 58,8'inin 50 cm ile 250 cm arasında raf yüksekliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Sonraki en yaygın yüksekliğin 251 ile 450 cm arasında olduğu (ölçülen rüzgar kulelerinin % 37,2'si) belirlenmiştir. Açıklık yüksekliği 450 cm'den fazla olan rüzgar kuleleri de yer almakta birlikte bunların daha az yaygın uygulandığı belirlenmiştir (% 4).

Yapılan çalışmada rüzgar kulesi genişliklerinin % 68,6'sı 100 ila 200 cm arasında elde edilmiştir. Bu durum 100 ila 200 cm aralığındaki rüzgar kulesi genişliklerini daha popüler yapmaktadır. Yapılan çalışmada rüzgar kulesi genişliklerinin % 13,7'sinin 100 cm'den az genişliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, rüzgar kulelerinin % 17,7'sinin ise 200 cm'den daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Çalışmaya göre, en sık görülen rüzgar kulelerinin uzunluğu 200 ile 300 cm arasında olup, çalışma kapsamındaki rüzgar kulelerinin % 45,1'ine karşılık gelmektedir. 200 cm'den daha düşük uzunluğa sahip rüzgar kulelerinin oranı % 21,6 iken 300 ile 500 cm aralığında uzunluğa sahip olan rüzgar kulelerinin oranı % 33,3 kadardır.



### 1.7.7. Modern Mimaride Rüzgar Kulelerinin Kullanımları

Rüzgar kulesi teknolojisi günümüz mimarisinde pek çok biçimde hala kullanılmaktadır. Bazı mimarlar, iç mekanlarda soğutma sağlamak için rüzgar kulesini kullanmayı tercih etmektedirler. Bu sayede rüzgar kulesinin kültürel değerini, Arap yerel mimari tarzının bir özelliği olarak korumaktadırlar. Mimar Hassan Fathy tarafından tasarlanan Abdel-Rahman Nassif Evi bu uygulamalar arasında yer almaktadır. Suudi Arabistan'da bulunan binada malqaf olarak bilinen rüzgar kulesi ve bağlantılı bir avlu yer almaktadır [82].

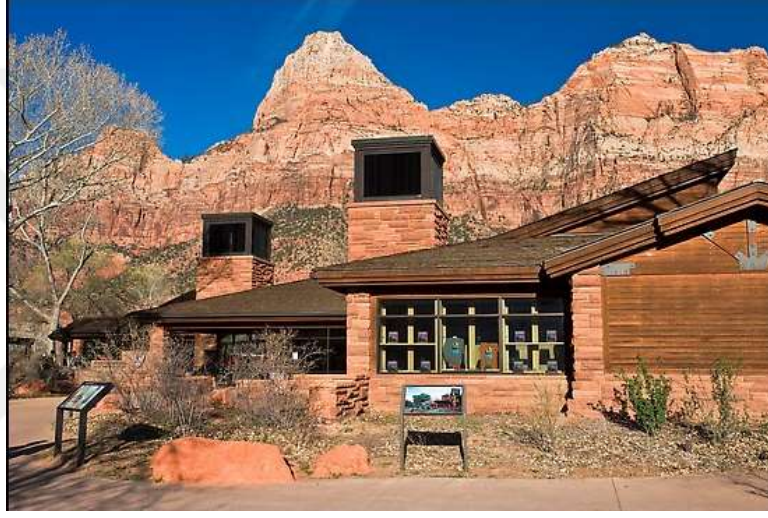
Mısır'daki sıcak hava konusunda endişeli olan Hassan Fathy, Yeni Barış Köyü'nün tasarımı için basit teknolojiler kullanmıştır. Binaların tasarımı kapsamında rüzgar kulelerinin ve hava bariyerlerinin birleşimi sağlanmıştır. Bunlar kullanılarak, bina kullanıcılarına termal konfor sağlanmış, ayrıca bu sayede yiyecekler ve içecekler için soğutulmuş bir depolama imkanı da elde edilmiştir [73].

Katar Üniversitesi'ndeki bazı binalarda rüzgar kulesi tasarlanmıştır. Kuleler, iç mekanlarda soğutma ve havalandırma için temel işleve sahiptir. Ayrıca, kulelerin hava girişinde yer alan delikli geometrik desenler kuleye estetik bir değer de kazandırmıştır (Şekil 1.26).



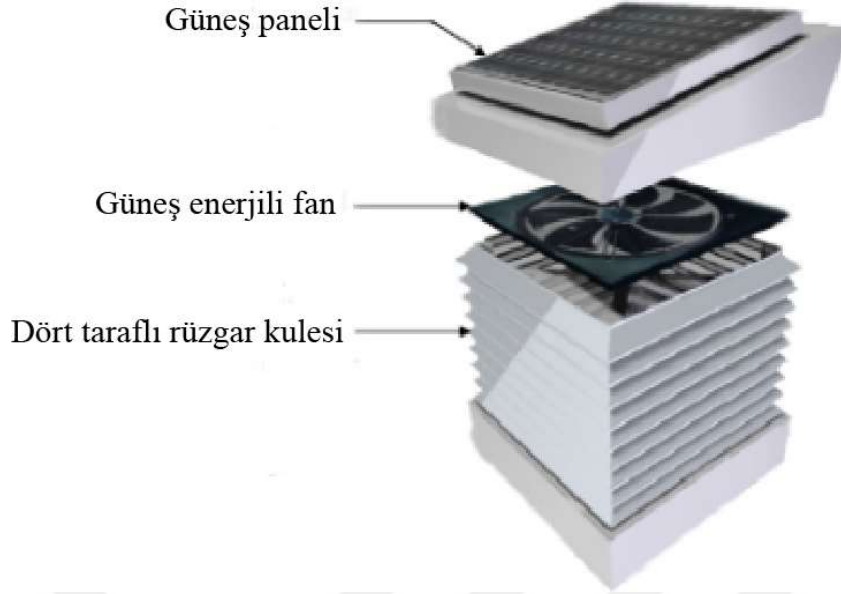
Şekil 1.26. Katar Üniversitesi'nde uygulanan rüzgar kuleleri [82].

Rüzgar kulesi batı dünyasında da kullanılmaktadır. Batılı mimarlar ve mühendisler kendi tasarımlarında tarihi süreçte kullanılan basit ama verimli rüzgar kulesi teknolojisinden ilham almışlardır. Teknoloji, farklı hava koşullarına adapte edilmiş ve farklı mimari tarzlar ile birleştirilmiştir. ABD’de Zion National Park’taki Ziyaretçi Merkezi, rüzgar kulesi teknolojisinin kullanıldığı başarılı bir örnek olarak gösterilmektedir (Şekil 1.27) [83].



Şekil 1.27. Zion Ulusal Parkı'ndaki Ziyaretçi Merkezi [84].

Rüzgar kulesi günümüzde sadece geleneksel haliyle kullanılmamaktadır. Rüzgar kulesinin yeni versiyonlarına damper, panjur, fan, sprej vb. özellikler eklenmiş ve detaylandırılmıştır. Rüzgar kulesinin ticari versiyonları daha karmaşık yapıya sahiptir. Şekil 1.28’de gösterilen cihaz kulesinin içine entegre edilmiş, fana güç sağlamak amacıyla bir güneş paneli ile donatılmıştır. Cihaz etkinleştirildiğinde, dış ortamda rüzgar olmadığında bile güneş enerjisi sayesinde fan aracılığı ile iç mekana taze hava sağlanabilmektedir [85].



Şekil 1.28. Üzerine güneş enerjili bir fan entegre edilmiş rüzgar kulesi [86].

## 1.8. Akışkanlar Dinamiği ve Akışının Özellikleri

### 1.8.1. Akışkanlar Dinamiği

Bu çalışmada, farklı rüzgar kulelerinin iç mekanları havalandırmaları ve kullanıcıların rahatlığı üzerindeki etkileri incelenmektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın kapsadığı her durum için rüzgar kulelerinde ve iç mekanlardaki hava akımı davranışının incelenmesi gerekmektedir. Akış davranışı ve akışkanlar hareketi çalışmalarına odaklanan bilim dalı akışkanlar dinamiğidir [87]. Akışkanlar dinamiği, mekanik bilimlerin bir alt kategorisidir. Birçok alanda akışkan sorunları ile karşılaşıldığı için akışkanlar dinamiği önem taşımaktadır. Bunlar arasında; taşıtların, uçakların ve gemilerin tasarlandığı makine mühendisliği sayılabilmektedir. Ayrıca kan akışının kan pıhtısı üzerine etkisi ile ilgili yapılan simülasyon çalışmaları için tıp alanında da akışkanlar dinamiği önem taşımaktadır. Mimari alanda ise; özellikle havalandırmanın iç mekan kalitesine etkisi ile ilgili çalışmalarda büyük önem taşımaktadır. Akış problemlerine çözüm bulmak için, Isaac Newton gibi ünlü bilim insanları teoriler geliştirmişler ve yasalar oluşturmuşlardır. Günümüzde bu teoriler ve yasalar, hesaplama teknolojilerinin gelişmesi nedeniyle simülasyon yöntemleri ile karmaşık

geometrilere kolayca uygulanabilmektedir [88]. Karmaşık hesaplamalar ve pahalı deneyler yapmak zorunda kalmadan, bu simülasyon yöntemleri ile daha iyi bir havalandırma sistemi tasarlamak için binaların içindeki ve çevresindeki hava akımları incelenebilmektedir.

Metodolojiye, simülasyon programına, model hazırlığına ve simülasyonlara geçmeden önce, akışkanlar dinamiği çalışmalarında kullanılan terminolojilere genel bir bakış atmak önem taşımaktadır. Bundan dolayı, bu bölümde bazı akış özellikleri ve farklı akış türleri tanıtılmakta, ayrıca simülasyon programları tarafından çözülen yönetim denklemleriyle ilgili bazı akışkanlar dinamiği ilkelerine yer verilmektedir.

### 1.8.2. Akışkanların Özellikleri

Akışkanların önemli temel özelliklerinden bazıları Tablo 1.8’de verilmektedir.

Tablo 1.8. Akışkanın özellikleri [88] [87].

| Özellik   | Tanımlama                                                                                         | Birim                  |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Hız       | Birim zamanda alınan yol                                                                          | m/s                    |
| Sıcaklık  | Bir sıvının iç enerji seviyesini belirleyen özellik                                               | K veya °C              |
| Basınç    | Birim alana uygulanan kuvvet                                                                      | N/m <sup>2</sup><br>Pa |
| Yoğunluk  | Birim hacmin kütesini ifade etmekte, sıcaklık ve basınç gibi diğer özelliklerden etkilenebilmekte | Kg/m <sup>3</sup>      |
| Viskozite | Bir sıvının harekete karşı direncini temsil eden özellik                                          | Kg/m.s                 |

Bir akış dinamik problemini çözmek için, öncelikle ilgili akışkan tipini tanımlamak önem taşımaktadır. Bu çalışma, rüzgar kulesi ile yapılan havalandırma performansına odaklandığından, bu bölümde hava akışının özelliklerinden de bahsedilmektedir.

### **1.8.3. Akım Türü**

#### **1.8.3.1. Newton Olana Karşı Newton Olmayan**

Newtonsak akışkan, viskoz gerilmelerin her noktada lineer olduğu bir akışkandır [89]. Dış kuvvetlerden bağımsız olarak bir sıvı akmaya devam ediyorsa bu onun Newtonsal akışkan olduğu anlamına gelmektedir. Örnek olarak, su Newtonsaldır. Ne kadar hızlı çalkalandığına bakılmaksızın sürekli olarak bir sıvının özelliklerini göstermektedir. Aynı şekilde hava da öyledir. Newton olmayan sıvılarda ise kremlerde, nişasta süspansiyonlarında vs. olduğu gibi viskozite aniden değişebilmektedir.

#### **1.8.3.2. Viskoza Karşı Viskoz Olmayan**

Viskoz bir akışkan, kolay akmayan bir akışkandır. Bu durumda viskozite daha yüksektir. Sıvıların tümü basınç, sıcaklık gibi çevre koşullarına da bağılı olarak belirli bir seviyede viskozdur. Bununla birlikte, sıfır viskoziteli sıvı yoktur. Mesela, havanın önemli bir viskozite katsayısı olmasına rağmen pratikte, viskoz olmayan bir akış olduğu varsayılmaktadır [87].

#### **1.8.3.3. Sıkıştırılabilir Karşı Sıkıştırılmaz**

Bir akışkanın sıkıştırılabilirliği, hareket gerçekleştiğinde yoğunluktaki nispi değişimiyle belirlenmektedir. Bu nedenle, bir akışkanın hareket esnasında yoğunluğu çok değiştiğinde sıkıştırılabilmektedir. Yoğunluğu neredeyse sabit olduğunda ise akışkan sıkıştırılmaz durumdadır [87]. Genellikle gazlar sıkıştırılabilir olarak sınıflandırılmaktadır. Bununla birlikte, düşük hızlarda hava sıkışabilirliği ihmal edilebilir düzeydedir.

#### **1.8.3.4. Laminere Karşı Türbülanslı**

Akışkan akışı laminar veya türbülanslı olarak tanımlanabilmektedir. Laminar, mükemmel ve sorunsuz şekilde sıvı parçacıklarının hareketi ile karakterize edilmektedir. Her katman düzgün hareket etmekte ve az veya hiç karışmadan paralel katmanlar halinde düzenlenmektedir [90]. Genel olarak, düşük hızdaki akış düzgün bir şekilde hareket etmekte, bu nedenle laminar olmaktadır. Buna karşılık, türbülanslı bir akış, akış hızında düzensiz değişiklikler ve düzensiz akış parçacıkları hareketleriyle karakterize edilmektedir [91]. Çoğunlukla, yüksek hızda olan hava türbülanslıdır.

#### **1.8.3.5. Zorunlu Karşı Doğal Akışlı**

Mekanik alet, fan, pompa vb. bir cihazla başlatıldığında akış zorlanmaktadır. Buna karşılık doğal akış, yüzdürme etkisi gibi doğal olaylarla desteklenmektedir[86]. Doğal havalandırmayı gerçekleştirmek için doğal akış kullanılmaktadır.

#### **1.8.3.6. Sürekliye Karşı Geçici**

Bir akışın bir noktadaki hız, sıcaklık vb. özelliği zamanla değişebilmektedir. Bu durumda akış geçicidir. Değişim olmuyorsa akış sürekli'dir. Bir akışın belirlenen bir bölgede, farklı noktalardaki özellikleri değişiyorsa akış tekdüze değildir. Aksine, özellikler aynı bölgedeki konumlarda aynı kalıyorsa (yani akış bir noktadan diğerine değişmiyorsa) akış tekdüze olmaktadır [87].

#### **1.8.4. Akışkan Dinamiğinde Temel Prensipler**

Akışkanlar dinamiği problemleri Fluent gibi CFD kodları ile çözülebilmektedir. CFD kodları, fiziksel probleme dayalı matematiksel modele sayısal çözümler elde etmektedir. Matematiksel model, korunum denklemleri ve sınır koşullarından oluşmaktadır. Korunum

denklemleri temel fiziksel ilkelere dayanmaktadır. Matematiksel modelin dayandığı fiziksel ilke ise koruma yasalarıdır. Bu bölümde, akışkanlar mekaniğinde yaygın olarak kullanılan yasalar tanıtılmaktadır. Genellikle denklemlerde bulunan fiziksel prensipler kütlenin, momentumun ve enerjinin korunmasıdır. Denklemleri integral formun diferansiyel formunda olabilir.

#### 1.8.4.1. Kütlenin Korunumu İlkesi

Kütlenin Korunumu İlkesi'ne göre, “bir beden yok olamaz ya da yaratılamaz” [92]. Bu ilke akışkanlar için de uygulanabilmektedir. Bu durumda, akışkanın kütlesi korunmalıdır. Yani binaya giren hava kütlesi binadan çıkan hava kütlesine eşit olmalıdır.

Kütlenin korunumu süreklilik denklemi ile ifade edilmektedir. Sıkıştırılamaz bir akışkan için, kütle korumanın diferansiyel formu Denklem 7'de verilmektedir [93]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

Burada;

u: x yönünde hız (m/s)

v: y yönünde hız (m/s)'dir.

#### 1.8.4.2. Momentumun Korunması

Beiser'e [94] göre, momentumun korunumu yasası: “İzole bir sistemde çarpışma veya patlama gibi bir olay gerçekleştiğinde, parçacıkların olaydan önceki momentumlarının vektörel toplamı, olaydan sonrakilerin vektörel toplamına eşit olmaktadır” olarak ifade edilmektedir.

X yönünde momentumun korunmasının son şekli Denklem 8'de yer almaktadır [93]:

$$\rho(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \Delta^2 u \quad (8)$$

Burada;

$\rho$ : yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

$u$ : x yönünde hız (m/s)

$v$ : y yönünde hız (m/s)

$\mu$ : viskozite katsayısı (kg.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>)'dir.

Y yönünde momentumun korunmasının son şekli Denklem 9'da yer almaktadır [93]:

$$\rho(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \Delta^2 v \quad (9)$$

Burada;

$\rho$ : yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

$u$ : x yönünde hız (m/s)

$v$ : y yönünde hız (m/s)

$\mu$ : viskozite katsayısı (kg.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>)'dir.

Bu denklemler sürekliliğe bağlandığında Denklem 10 elde edilmektedir [93]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (10)$$

Burada;

$u$ : x yönünde hız (m/s)

$v$ : y yönünde hız (m/s)'dir.



### 1.8.4.3. Enerjinin Korunumu

Termodinamiğin birinci yasası olarak bilinen, enerjinin korunumu kanunu çeşitli enerji formları ve enerji değişimleri arasındaki ilişkileri incelemek için kullanılmaktadır. Kanun şöyledir: Sistemin toplam depolanan enerjisinin artma süresi, ısı transferiyle ve sisteme iş transferiyle net enerji ekleme süresine eşittir. Basit ifadeyle enerji yok edilemez ya da yaratılamaz, sadece formları değiştirilebilir [95].

Sert'e [96] göre, Enerji Denklemi:

$$\rho \left[ \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h\vec{V}) \right] = - \frac{Dp}{Dt} + (k \nabla T) + \phi \quad (11)$$

dir. Burada;

$h$  : özgül entalpi (kJ/kg)

$T$  : mutlak sıcaklık (K)

$\phi$  : kayıp fonksiyonu (terimi)

$p$  : basınç (Pa)

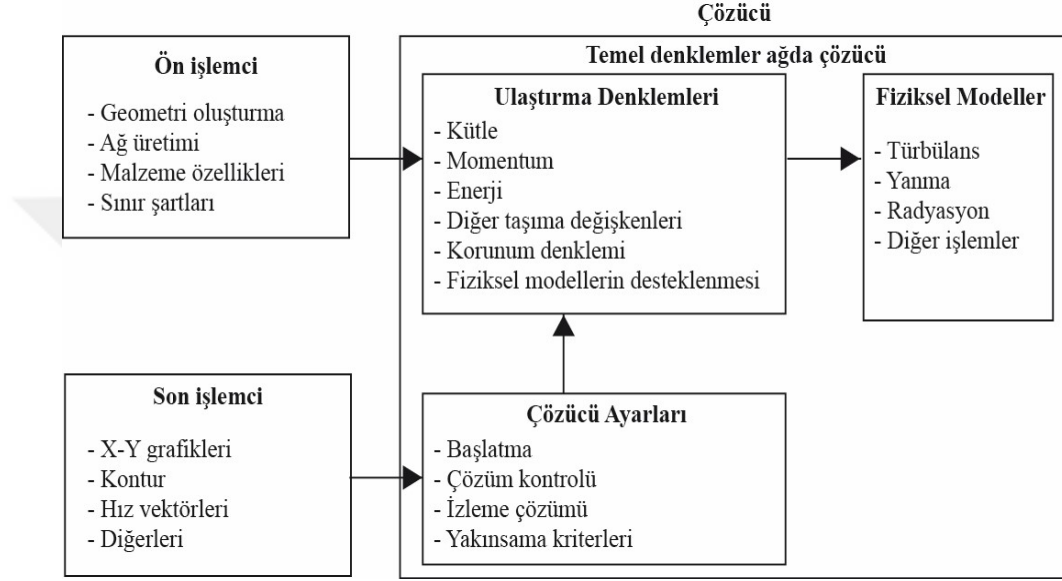
$\rho$  : yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

$k$  : ısı iletim katsayısı (W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)'dir.

### 1.9. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yöntemi başlangıçta havacılık ile ilgili sorunları çözmek amacıyla kullanılmıştır. Günümüzde ise çeşitli disiplinlerde farklı akışkan problemlerini çözmek amacıyla kullanılmaktadır.

CFD, bilgisayar bilimi ile akışkan dinamiği çalışmasının bir karışımıdır. Sayısal çözümler ANSYS paketi gibi bilgisayar programları kullanılarak elde edilmektedir ve bu paket programlar genellikle aynı çerçeveye sahiptirler. CFD problemlerini çözmek için üç ana unsur bulunmaktadır. Bunlar; ön işlemci, çözücü ve son işlemcidir. Aralarındaki ilişki Şekil 1.29’de yer almaktadır.



Şekil 1.29. CFD analizlerindeki üç ana unsur [97].

### 1.9.1. Ön İşlemci

Akış problemi tanımlandıktan sonra, CFD model analizinde öncelikle akış alanının belirlenmesi gerekmektedir. Akış alanı iki boyutlu (kesit) veya üç boyutlu olabilmektedir. ANSYS kullanırken, akış alanı "Design Modeler" içinde yapılmaktadır. Akış alanının boyutlandırılması önem taşımaktadır. Akış sürekliliği engellenmeden dolayı etki alanının boyutu çok fazla kısaltılmamalıdır. Aynı zamanda, çözüm süresini uzatacağından dolayı etki alanının boyutu çok fazla uzatılmamalıdır. Bu durumlar göz önünde bulundurularak geometri modellenmelidir.

Geometriyi modelledikten sonra, bir sonraki adım “Mesh” aracı ile ağ ya da ızgara oluşturmaktır. Bu adımda, akış alanı “kontrol hacmi” olarak da bilinen hücrelere

bölünmektedir. Hesaplama aşamasında, program her bir hücredeki denklemleri çözeceği için etki alanı bölümlere ayrılmalıdır. Bu işlemten sonra her hücrenin bir noktasında hesaplanan akışkan özellikleri belirlenmektedir. Hücrelerin kapsama alanı arttıkça elde edilen sonuçların hassasiyetinde azalma meydana gelmektedir. Kapsama alanı daha küçük ızgara CPU süresini arttırmakta ve daha fazla hesaplama işlemleri gerektirmektedir. Daha doğru bir çözüm için ızgara bağımsızlık testi yapılmalıdır [97]. Mesh tipi de hesaplama süresi üzerinde etkili olabilmektedir. Genellikle kare ve dikdörtgen gibi düzgün geometrilerde yapısal mesh, CFD çözümü sağlamak için daha az zaman gerektirmektedir. Öte yandan, yapılandırılmamış mesh, karmaşık geometriler için daha uygun olmaktadır [87].

Öncelikle fiziksel soruna bağlı olarak matematiksel alan içindeki akışkanın tipi ve yüzey malzemelerinin özellikleri tanımlanmaktadır. Akış ve malzeme özellikleri, sınır koşulları getirilerek modelde belirtilmektedir. Bu işlem çözümün doğruluğu için önem taşımaktadır. Çünkü doğru girdinin gerçek fiziksel problemi yansıtması gerekmektedir. Aşağıdaki sınır koşulları belirlenmektedir [87]:

- Giriş(ler): Akışkanın sisteme giriş yerini tanımlamaktadır. Hız ya da basınç koşullandırılabilir.
- Çıkış(lar): Akışın sistemden çıkış yerini tanımlamaktadır. Giriş gibi, hız veya basınç koşullandırılabilir.
- Duvarlar: Çözülecek denklemlere göre kaymazlık şartı, sıcaklık, ısı akısı vb. fiziksel özelliklere sahiptir.

Bu çalışmanın sınır şartları, 2.7.3.3. Bölümünde “Sınır Koşullarının Belirlenmesi” başlığı altında belirtilmektedir.

### 1.9.2. Çözücü

Çözücüde, fiziksel probleme (kütle, momentum, enerji vb.) uygulanan prensiplere dayanarak yönetim denklemi seçilmektedir. Ayrıca akışkanın özellikleri (laminer, türbülanslı vb.) bu aşamada belirtilmektedir.

Sınır şartları ve geçerli denklemler ayarlandıktan sonra, çözüm yöntemi seçilmekte ve doğrulanmaktadır. Bunu yapmak için, çözüm yöntemi ile elde edilen sonuçlar mevcut verilerle karşılaştırılmaktadır. Daha sonra ortalama hata yüzdesi hesaplanmaktadır. Ortalama hata yüzdesinin düşük olduğu durumlarda, kullanılan yöntem onaylanmakta ve sonraki simülasyonlar için kullanılabilir.

Sayısal bir problemi çözmek için, çözücü yenilemeli bir prosedür geçmelidir. Bu işlem sayesinde hata en aza indirilebilmektedir. Bunu kontrol etmek için, çözüm izleme ve yakınsama kriterleri çözücü ayarından belirlenmektedir. Ardından, akış özellikleri bir sınırdan başlatılmaktadır (örneğin: girişten). Bu başlangıç aşamasında yakınsama kriterleri tanımlanmıştır. Sonraki aşamada program koşturulabilmektedir.

Yenilemeli prosedür esnasında, artıkların (Residuals) önceden tanımlanmış olan kriterlerin altına düşmesi gerekmektedir.

### **1.9.3. Son İşlemci**

Program kapsamında elde edilen ham veriler Excel gibi başka bir programda açılabilir. CFD programında, verilerin yorumlanmasını kolaylaştıran görselleştirme aracı da bulunmaktadır [97]. Araç, mevcut verileri kontur çizimleri ve animasyonlar gibi renkli grafik görüntülere dönüştürebilmektedir. Ek olarak, daha fazla bilgi elde edilebilmesi için akış, vektörlerle gösterilebilir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Giriş

Bu tez çalışması kapsamında, geleneksel rüzgar kulesi aracılığıyla havalandırılan bir sınıfın termal konfor koşulları değerlendirilmektedir. Bu bölümde öncelikle, araştırma metodolojisi verilmiş, daha sonra akış dinamik analizi için kullanılan modeller sunulmuştur. Ayrıca, simülasyonlar için yapılan kabuller ve sınır koşulları da belirlenmiştir. Simülasyonlarda kullanılacak uygun ızgara belirlemek için temel model (BM1) üzerinde bir ızgara bağımsızlık testi yapılmıştır. Simülasyon yöntemlerinin (akış dinamik simülasyonu ve termal simülasyon için) doğrulanması da bu bölümde sunulmuştur.

Simülasyon sonuçlarının elde edilmesi süreci bu bölümde adım adım belirtilmektedir. Hazırlanmış modeller ve tüm geometriler ANSYS 16 kapsamında yer alan “Fluent” bileşeni ile modellenmiştir. Ardından, Fluent’in “mesh” aracı kullanılarak geometrilerden üretilen yüzeylerde ızgaralar oluşturulmuştur. Yine “mesh” aracı kapsamında modellerin sınırları tanımlanmıştır. Daha sonra “Fluent” içindeki geçerli denklemler ve sınır şartları belirlenmiştir. Sonrasında, hesaplama koşulları ayarlanmış ve ardından simülasyon işlemlerinin sonuçlarının elde edilmesi için program çalıştırılmıştır.

Yapılan Çalışmaların son kısmı elde edilen verilerin nasıl değerlendirildiğini göstermektedir. Akış dinamiği çalışmasında, farklı boyutsal özelliklere sahip rüzgar kulelerinin hava akımı davranışları ve havalandırma üzerindeki etkileri belirlenmek için modellerdeki farklı bölgelerde basınç ve hızlar incelenmiştir. Kullanılan termal koşullarda konfor için uygun hava hızları CBE aracı kullanılarak belirlenmiştir.

Termodinamik çalışmada kullanılan model, akış dinamik çalışmasının sonucuna göre elde edilmiştir. Termodinamik simülasyonu termal koşulları içermektedir. Termodinamik simülasyon sonucunu elde etmek için akış dinamik çalışmasında tarif edilen işlemler tekrarlanmıştır (geometri, ağ oluşturma, sınır koşullarının tanımı, simülasyon koşulları

ayarı, hesaplama ayarları, simülasyon, sayısal sonuç). Model içindeki sıcaklık dağılımı analiz edilmiştir. CBE aracı bir kez daha kullanıcıların termal algısını ve termal konfor endeksleri belirlemek için kullanılmıştır. CBE aracı tarafından verilen termal konfor endeksleri, sınıfın farklı bölgesindeki termal konforu değerlendirmek için kullanılmıştır.

## **2.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Kullanarak Bir Sınıf Ortamında Rüzgar Kulesi Verimliliğinin Değerlendirilmesi**

Tüm iç mekanlarda olduğu gibi sınıflarda da ergonomik bir ortam elde etmek için termal konforun sağlanması gerekmektedir. Termal konforun oluşmadığı mekanlarda aşırı ısınma, kuru hava vb. nedeniyle öğrencilerin konuya odaklanması azalabilmektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında sınıfların havalandırılması için rüzgar kulelerinden yararlanılmış ve bu kulelerin verimliliği incelenmiştir. Bunun için farklı fiziksel özelliklere sahip rüzgar kuleleri seçilerek akışkan dinamik özellikleri incelenmiştir.

Değerlendirmeleri yapabilmek amacıyla gerekli niceliksel değerleri elde etmek için iki yaklaşım uygulanabilmektedir. Bunlar; deneysel ve teorik yöntemlerdir. Deneysel yöntemde gerçek boyutlu model veya ölçekli model kullanılmaktadır. Tam ölçekli deneme, daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, test amaçlı olarak ölçüm cihazları, binalar ve rüzgar kuleleri inşa edilmesinin gerekliliği düşünüldüğünde yöntem maliyetli olmaktadır. Ayrıca, sonuçların genelleştirilmesi de sınırlı olmaktadır. Çünkü deney koşulları, mevcut atmosferik koşullarla (hava durumu) sınırlandırılmaktadır. Diğer taraftan, küçük ölçekli deneyler daha fazla zaman kazandırabilmektedir. Rüzgar tüneli içindeki deneysel koşulların kontrolü kolaylık sağlamaktadır. Ancak, yine de bir laboratuvar, ekipman ve belirli bir bütçeye sahip olmayı gerektirmektedir.

İkinci yaklaşımı analitik modelleme ve sayısal modelleme (CFD) oluşturmaktadır. Analitik analiz sayesinde temel denklemler çözülerek akış davranışının tahmini gerçekleştirilebilmektedir. Bu durumda, analizler detaylı bir şekilde gerçekleştirilememektedir [83].

CFD, zaman kazandıran ve uygun maliyetli bir yöntemdir. Dahası, hesaplama yaklaşımı, karmaşık durum ve geometrileri mümkün kılmaktadır. Ayrıca, sayısal sonuçta birkaç ekran hamlesiyle farklı öğeler araştırılabilmektedir. Bunun yanı sıra, belirli

programlarla sayısal verilerin renkli kontur ve vektör animasyonu şeklinde görselleştirilmesi de sağlanabilmektedir. Bunlar sayısal çözümü yorumlamayı kolaylaştırmaktadır. Tüm bu avantajlar göz önüne alındığında, CFD yöntemi farklı rüzgar kulelerinin verimliliğini incelemek için tercih edilmiştir. CFD aracılığıyla, rüzgar kulesinde ve sınıf mekanı içindeki hava akış davranışının daha iyi anlaşılması için veriler sağlanabilmektedir. Bu çalışma için ANSYS 16.0 paketi kullanılmıştır. Bu paket akışkan simülasyonu için tasarlanmış Fluent Analiz Sistemini içermektedir. Sınıf mekanındaki havalandırmanın farklı rüzgar kuleleriyle denetlenmesini ve değerlendirilmesini sağlamaya imkan tanıdığı için çalışma kapsamında Fluent Analiz Sistemi kullanılmıştır. Fluent Analiz Sistemi ile havalandırma ve sıcaklık kontrolü gerçekleştirilmiştir.

### **2.3. Mekanların ve Rüzgar Kulelerinin 2D Modellerinin Hazırlanması**

Bu çalışmada simüle edilen rüzgar kulesi modeli literatüre dayalı olarak oluşturulmuştur. “Design Modeler” aracı kullanılarak mekana eklenen tüm rüzgar kulesi modelleri 2D (kesit) olarak hazırlanmıştır. Hesaplama süresini kısaltmak için mobilyalara, lambalara vb. ait detaylar modele dahil edilmemiştir.

### **2.4. Simülasyon Programı İçin Yapılan Kabuller**

Simülasyon programlarındaki hesaplama işlemleri ile ilgili kabuller yapmak gerekmektedir. ANSYS’de de bu kabuller yapılmaktadır. Bu çalışma, iç mekan ve rüzgar kulesinde hava akımı karakteristiğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle modelin geometrisi, sınırları (giriş, çıkış, duvarlar), sınır şartları (hava girişi, çıkış basınçları, duvar koşulları vb.) ve malzeme özellikleri üzerine kabuller yapılmıştır.

### 2.4.1. Mekan Boyutu

Rüzgar kulesinin etkinliğinin araştırıldığı çalışma kapsamındaki mekanın 20 öğrenci kapasiteli küçük bir sınıf olduğu varsayılmaktadır. Geleneksel yapıdaki bir sınıfta öğrenci başına en az 1.8 m<sup>2</sup> alan gerekmektedir. Aynı sınıfın tavan yüksekliği ise 2.7 ile 3.40 m arasında olmalıdır [98]. Bu bilgilere dayanarak çalışma kapsamındaki sınıf 3 m tavan yüksekliğinde ve 6 x 6 m<sup>2</sup> ölçülerinde tasarlanmıştır. Rüzgar kulesiyle çapraz havalandırma yapmak için, rüzgar kulesinin karşısındaki duvara bir pencere yerleştirilmiştir. Pencerenin toplam yüksekliği 1.5 m, penceredeki açılır kanat yüksekliği ise 1m olarak kabul edilmiştir. Sınıfın plan ve kesiti Ek Şekil 1’de yer almaktadır.

### 2.4.2. Rüzgar Kulelerinin Ölçüleri

Literatürden elde edilen bilgilere dayanarak, başlangıçta simülasyon için bir temel rüzgar kulesi tasarlanmıştır. Daha sonra, aşağıdaki değişkenler uygulanarak diğer modeller hazırlanmıştır.

- Açıklık sayısı
- Yükseklik
- Genişlik
- Açıklık yüksekliği
- Bölme duvarın eklenmesi ve bölme duvarın açılma konumu

#### 2.4.2.1. Tek Taraflı (Temel Model) ve İki Taraflı Rüzgar Kulesi

Genel Bilgiler Bölümü’ndeki Tablo 1.7’de, farklı iklim bölgelerinde kullanılan rüzgar kulelerine ait bilgilere yer verilmiştir. Trabzon’un nemli iklimi dikkate alındığında, Tablo 1.7’deki verilerin çalışma kapsamındaki tercihinde nemli iklimde kullanılan rüzgar kulesinin genel özellikleri ve ortalama boyutları göz önünde bulundurulmuştur. Nemli iklim bölgelerinde hem tek yönlü hem de çok yönlü rüzgar kulesi kullanılmaktadır. Tablo 1.7’ye göre, Basra Körfezi’nin nemli ikliminde kullanılan rüzgar kulesinin ortalama yüksekliği 1 ila 5 m arasında değişmektedir. Bu nedenle, temel rüzgar kulesi modelinin yüksekliği



ortalama yükseklik olarak 3m seçilmiştir. Nemli iklim bölgelerinde kullanılan rüzgar kulesinin maksimum ve minimum genişliği hakkında veri eksikliği bulunmaktadır. Ancak Tablo 1.7'ye göre, nemli iklim bölgelerinde kullanılan rüzgar kulelerinin ortalama genişliği 1 m'dir. Bu nedenle, temel model için rüzgar kulesinin genişliği 1 m olarak belirlenmiştir.

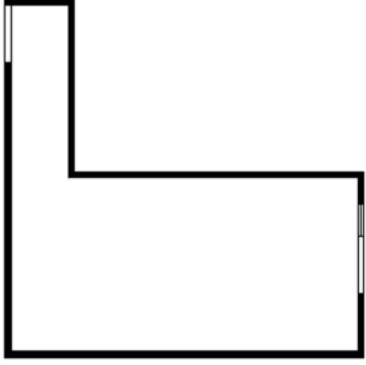
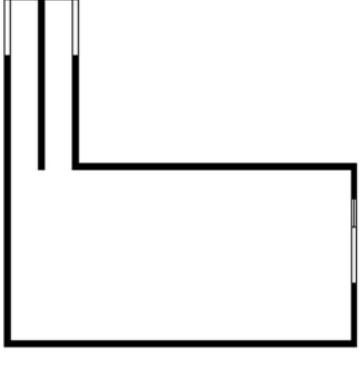
Nemli iklim bölgelerinde kullanılan rüzgar kulesinin açıklık yüksekliği hakkında veri eksikliği bulunmaktadır. Ancak, birçok araştırmada kullanılan rüzgar kulesi açıklık yüksekliği 1 m olarak yer almaktadır [14] [25]. Bundan dolayı, tez çalışması kapsamındaki temel model için açıklık yüksekliği de 1 m olarak seçilmiştir.

Temel model için kabul edilen rüzgar kulesinin karakteristikleri Tablo 2.1'de özetlenmiştir. İki yönlü rüzgar kulesi modeli, tek yönlü model ile aynı boyutsal özellikleri taşımaktadır. Ancak iki yönlü rüzgar kulesi, bölme elemanı tarafından ikiye ayrılmıştır.

Tablo 2.1. Tek taraflı ve iki taraflı rüzgar kulesi (temel) kabulleri

|                        | Tek Taraflı Rüzgar Kulesi Modelinin Özellikleri | İki Taraflı Rüzgar Kulesi Modelinin Özellikleri |
|------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| İsim                   | BM1                                             | BM2                                             |
| Akış Kavramı           | Tek Yönlü                                       | İki Yönlü                                       |
| Yükseklik (m)          | 3                                               | 3                                               |
| Genişlik (m)           | 1                                               | 1                                               |
| Açıklık yüksekliği (m) | 1                                               | 1                                               |
| Çatı Şekli             | Düz                                             | Düz                                             |

Tablo 2.1' nin devamı

|       |                                                                                   |                                                                                    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil |  |  |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|

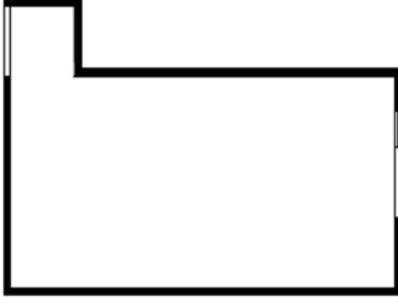
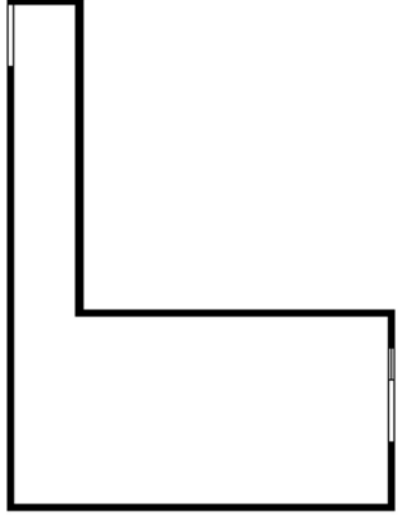
#### 2.4.2.2. Farklı Yüksekliklerdeki Rüzgar Kulesi Modelleri

Rüzgar kulesi yüksekliğinin termal ve havalandırma etkisi birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [8], [9], [10]. Rüzgar kulesi yüksekliğinin sınıfının havalandırılmasında etkisi bu çalışma kapsamında da araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunun temel model rüzgar kulesinin iyileştirilmesinde yardımcı olabileceği düşünülmüştür. Genel olarak, Basra Körfezi'nin nemli iklim bölgesinde kullanılan rüzgar kulesi 1 ile 5 m arasındadır. Dolayısıyla, temel modelde kullanılan 3 m yüksekliğindeki rüzgar kulesinden ayrı olarak, bu çalışmada diğer iki kulenin yükseklikleri 1 ve 5 m olarak kabul edilmiştir. Farklı yüksekliklere sahip olan rüzgar kulelerinin diğer tüm ölçüleri temel modeldeki ölçüler ile aynı seçilmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Farklı yüksekliklerdeki rüzgar kulelerine ait veriler

|              | 1m Yüksekliğe Sahip Rüzgar Kulesinin Özellikleri | 5m Yüksekliğe Sahip Rüzgar Kulesinin Özellikleri |
|--------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| İsim         | MH1                                              | MH5                                              |
| Akış Kavramı | Tek Yönlü                                        | Tek Yönlü                                        |

Tablo 2.2' nin devamı

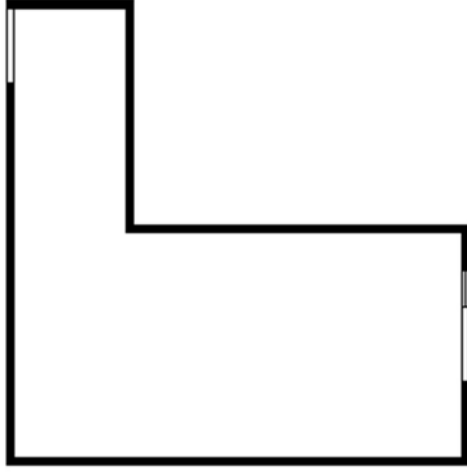
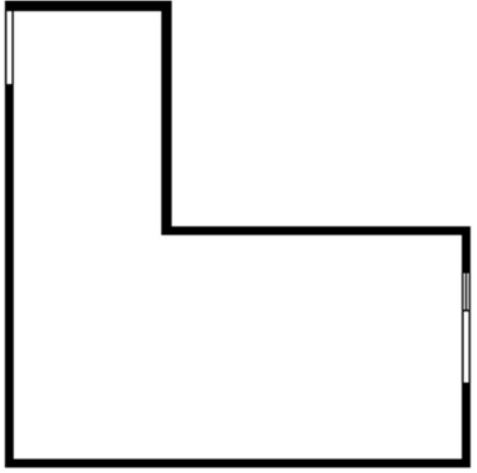
|                        |                                                                                   |                                                                                     |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Yükseklik (m)          | 1                                                                                 | 5                                                                                   |
| Genişlik (m)           | 1                                                                                 | 1                                                                                   |
| Açıklık yüksekliği (m) | 1                                                                                 | 1                                                                                   |
| Çatı Şekli             | Düz                                                                               | Düz                                                                                 |
| Şekil                  |  |  |

#### 2.4.2.3. Rüzgar Kulesinin Farklı Genişliklerdeki Modelleri

Yüksekliğin etkisi gibi, rüzgar kulesi genişliğinin havalandırma etkisinin belirlenmesi de önem taşımaktadır. Roaf'ın [8] araştırmasına göre, ölçülen rüzgar kulelerinin % 68,6'sı 101-200 cm arasında değişmektedir. Bu çalışmada, temel modelin genişliği (1m) haricindeki diğer iki modelde genişlikler 1.5 ve 2m olarak kabul edilmiştir.

Farklı genişliklere sahip olan rüzgar kulelerinin diğer tüm ölçüleri temel modeldeki ölçüler ile aynı seçilmiştir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3. Farklı kule genişliklerine sahip rüzgar kuleleri kabulleri

|                        | 1.5m Genişliğinde Rüzgar Kulesinin Özellikleri                                      | 2m Genişliğinde Rüzgar Kulesinin Özellikleri                                         |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| İsim                   | MW1.5                                                                               | MW2                                                                                  |
| Akış Kavramı           | Tek Yönlü                                                                           | Tek Yönlü                                                                            |
| Yükseklik (m)          | 3                                                                                   | 3                                                                                    |
| Genişlik (m)           | 1.5                                                                                 | 2                                                                                    |
| Açıklık yüksekliği (m) | 1                                                                                   | 1                                                                                    |
| Çatı Şekli             | Düz                                                                                 | Düz                                                                                  |
| Şekil                  |  |  |

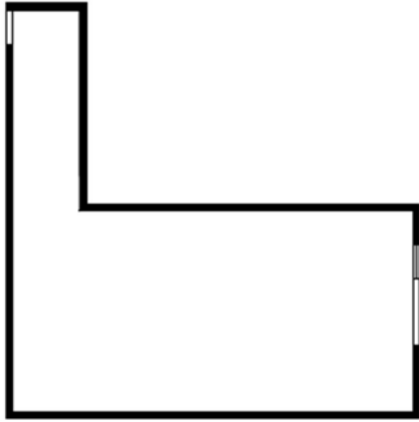
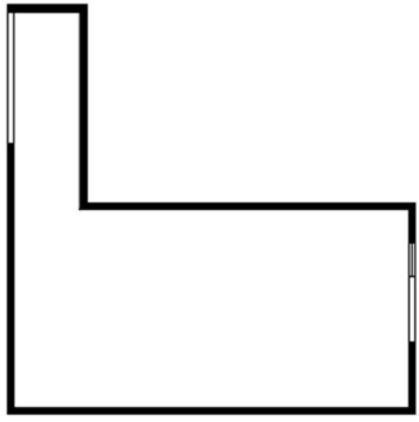
#### 2.4.2.4. Farklı Açıklık Yüksekliklerine Sahip Rüzgar Kulesi Modelleri

Yapılan literatür araştırmasında, rüzgar kulelerinin açıklık yüksekliklerinin havalandırma performansı üzerindeki etkileri ile ilgili bir araştırma bulunamamıştır. Ancak, rüzgar kulesinin açıklık yüksekliğinin havalandırma üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir. Roaf'ın [8] araştırmasına göre, incelenen rüzgar kulelerinin % 58.8'inin

açıklık yüksekliği 50 ile 250 cm arasında yer almaktadır. Temel modelin açıklık yüksekliğinin (1m) haricindeki diğer iki modelde açıklık yükseklikleri 0.5 ve 2m olarak kabul edilmiştir.

Farklı açıklık yüksekliklerine sahip olan rüzgar kulelerinin diğer tüm ölçüleri temel modeldeki ölçüler ile aynı seçilmiştir (Tablo 2.4).

Tablo 2.4. Farklı Açıklık Yüksekliğine Sahip Rüzgar Kulesi Modelleri kabulleri

|                        | 0.5m Açıklık Yüksekliğine Sahip Rüzgar Kulesinin Özellikleri                        | 2m Açıklık Yüksekliğine Sahip Rüzgar Kulesinin Özellikleri                           |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| İsim                   | MO0.5                                                                               | MO02                                                                                 |
| Akış Kavramı           | Tek Yönlü                                                                           | Tek Yönlü                                                                            |
| Yükseklik (m)          | 3                                                                                   | 3                                                                                    |
| Genişlik (m)           | 1                                                                                   | 1                                                                                    |
| Açıklık yüksekliği (m) | 0.5                                                                                 | 2                                                                                    |
| Çatı Şekli             | Düz                                                                                 | Düz                                                                                  |
| Şekil                  |  |  |

#### 2.4.2.5. Bölme Duvarlı Modeller

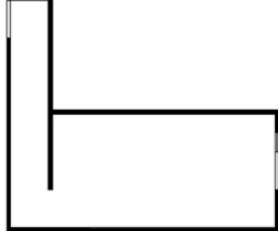
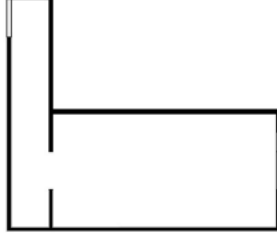
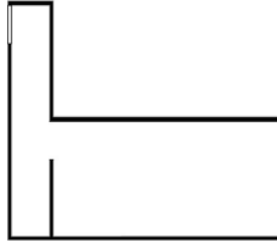
Rüzgar kulesi ile mekan arasındaki iç açıklığa bir bölme duvarı eklemek, model etrafındaki basıncı ve hava akış yönünü etkilemektedir. Bu nedenle, havalandırma performansı da etkilenmektedir.

Reyes vd. [15] yapmış oldukları çalışmada iç mekan rüzgar kulesinden bölme duvarı ile ayrılmıştır. Bölme duvarına, kuleden gelen rüzgarın odayı dolaşmasını sağlamak için 1 m'lik bir açıklık yerleştirmişlerdir. Bu açıklığın pozisyonu değişken olarak seçmişlerdir. Reyes vd. [15] önerdiği açıklıklar zemin seviyesinde ve duvarın orta bölgesinde yer almıştır. Bölme duvarındaki iç açıklığı önce zemin seviyesine, sonra da duvarın orta bölgesine yerleştirildiği durumları araştırmışlardır. Yapmış olduğumuz çalışmada da aynı durum değerlendirmeye alınmıştır. Bu kapsamda; Konfigürasyon 1, iç açıklığın zemin seviyesine yerleştirildiği durumu ifade etmektedir. Konfigürasyon 2 ise, iç açıklığın bölme duvarının orta bölgesine yerleştirildiği durumu ifade etmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında, açıklığın üst seviyesine yerleştirildiği üçüncü bir konfigürasyon da önerilmiştir. Bu konfigürasyonlar, Tablo 2.5'de yer almaktadır.

Tablo 2.5. Farklı iç açıklık konfigürasyonlarına sahip rüzgar kulesi modellerine ait kabuller

| Bölme Duvarlı Rüzgar Kulesi    | Konfigürasyon 1   | Konfigürasyon 2         | Konfigürasyon 3   |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| Akış Kavramı                   | Tek Yönlü         | Tek Yönlü               | Tek Yönlü         |
| Yükseklik (m)                  | 3                 | 3                       | 3                 |
| Genişlik (m)                   | 1                 | 1                       | 1                 |
| Açıklık yüksekliği (m)         | 1                 | 1                       | 1                 |
| Çatı Şekli                     | Düz               | Düz                     | Düz               |
| Bölme duvardaki açıklığın yeri | Zemin seviyesinde | Duvarın orta bölgesinde | Tavan seviyesinde |

Tablo 2.5' in devamı

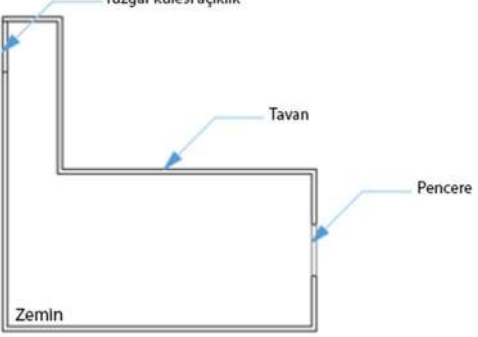
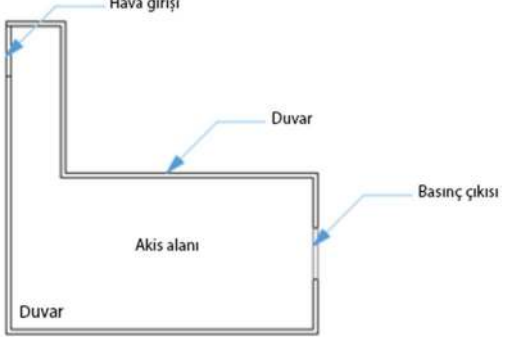
|                                      |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Bölme duvardaki açıklığın boyutu (m) | 1                                                                                 | 1                                                                                  | 1                                                                                   |
| Şekil                                |  |  |  |

### 2.4.3. Kullanılan Sınır Tipi

Çalışma kapsamında yer alan modellerdeki her yüzeyi (kesit düzleminde çalışılmakta) tanımlayan sınır tipi bulunmaktadır (hava girişi, hava çıkışı ve duvar). Geometrinin tüm bölümleri için sınır Tablo 2.6'de tanımlanmıştır.

Tablo 2.6'da görüldüğü gibi modelin geometrisi; rüzgar kulesinin duvarı, tavanı ve açıklığı ile odanın duvarı, penceresi, zemini ve tavanından oluşturulmuştur. Ansys 16 programının, modelin her bir geometrik elemanının işlevini tanıması için geometrideki birimler Tablo 2.6'da gösterilen şekilde ayarlanmıştır. Örnek olarak rüzgar kulesi açıklığı hava girişi, pencere ise çıkış basıncı olarak ayarlanmıştır. Rüzgar kulesinin ve odanın duvarları ile zemin ve tavan ise Ansys 16'da duvar olarak ayarlanmıştır.

Tablo 2.6. Kullanılan sınır tipi

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Geometrik Model                                                                    | ANSYS 16 programi içinde kullanılan Sınır Tipi                                      |
| Rüzgar kulesi açıklığı                                                             | Hava girişi (velocity inlet)                                                        |
| Pencere                                                                            | Basınç çıkışı (pressure outlet)                                                     |
| Odanın tavan, doseme, ve duvarları                                                 | Duvar                                                                               |
| Rüzgar kulesi duvarları ve tavanı                                                  | Duvar                                                                               |
|  |  |

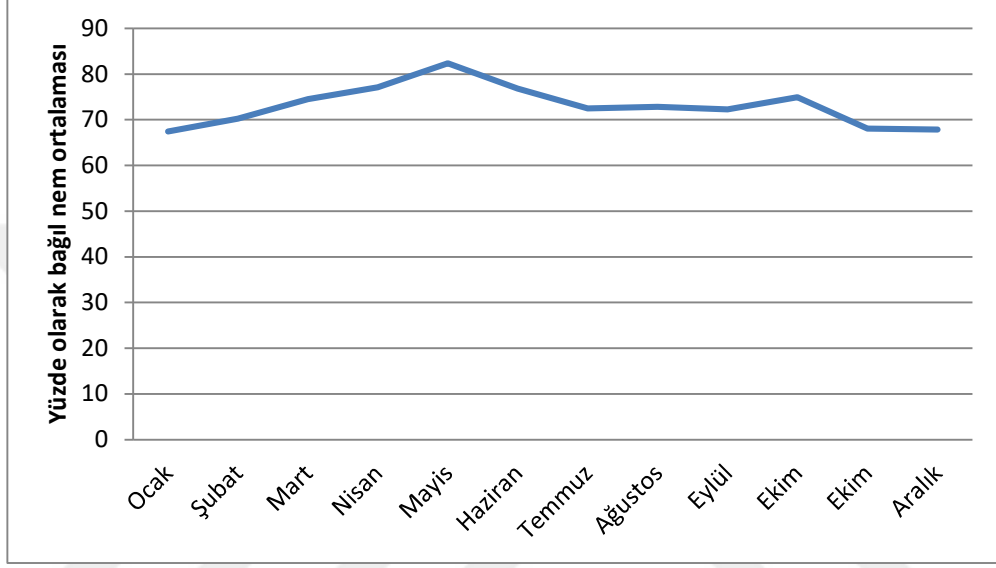
#### 2.4.4. Sınırlardaki Girdiler

Çalışmada, Trabzon İli hava koşulları dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan hava durumu verileri T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 11. Bölge Müdürlüğü'nden (Trabzon) elde edilmiştir (6.2. Ek Tablo 1. Meteoroloji verileri).

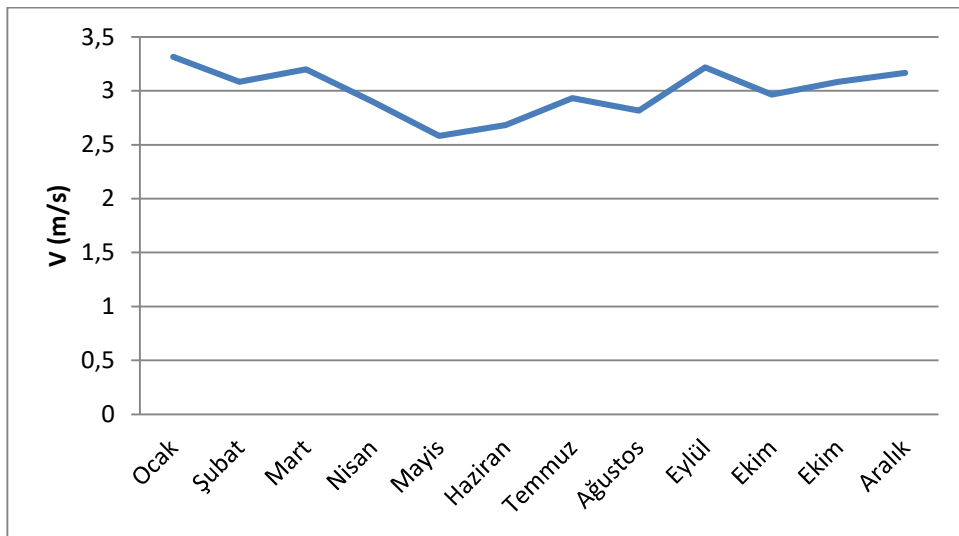
Türkiye'nin kuzey doğusunda Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Trabzon kenti genel olarak nemli bir iklime sahiptir. Trabzon'da nem oranı, ortalama yıllık verilere göre çoğunlukla % 70'den daha yüksek değerlere ulaşmaktadır (Şekil 2.1). Nem, özellikle % 82'den fazla oranıyla Mayıs ayında etkili şekilde gerçekleşmektedir. Trabzon'daki aylık ortalama rüzgar hızı değerleri Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Ortalama rüzgar hızı yıl boyunca 3,5 m/s'nin altında kalırken yaz mevsiminde 3 m/s'nin altında kalmaktadır. Trabzon'da yaz mevsiminde nem yüksek rüzgar hızları ise düşük değerlere sahip olmaktadır. Trabzon'da 2013 - 2018 yılları arasındaki ortalama aylık sıcaklık değerleri Şekil 2.3'de



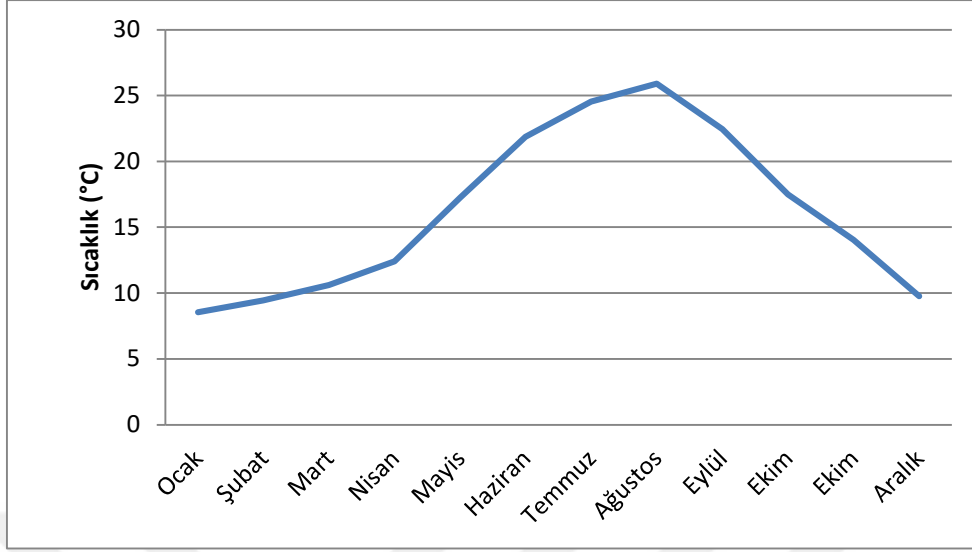
göstermektedir. Trabzon'da, yazların ılık olduğu ve en yüksek aylık ortalama sıcaklığın Ağustos ayında meydana geldiği ve bu değerin yaklaşık  $26^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, kışın en düşük ortalama sıcaklık değerinin Ocak ayında ve yaklaşık  $8,5^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmektedir [99].



Şekil 2.1. Trabzon'da 2013-2018 yılları arasındaki ortalama aylık bağıl nem değerleri



Şekil 2.2. Trabzon'da 2013-2018 yılları arasındaki ortalama aylık rüzgar hızı değerleri



Şekil 2.3. Trabzon’da 2013-2018 yılları arasındaki ortalama aylık sıcaklık değerleri

Şekil 2.3. değerlendirildiğinde Trabzon İli koşullarında Ağustos’un ortalama en yüksek sıcaklık değerlerine sahip ay olduğu anlaşılmaktadır. Bundan dolayı çalışma kapsamında, ağustos ayına ait hava durumu verileri akış dinamiği analizi ve termodinamik analiz için kullanılmıştır. Tablo 2.7, çalışmada kullanılan iklim koşullarını özetlemektedir. Buna göre rüzgar kulesi girişinde uygulanan rüzgar hızı 2,81 m/s olarak kabul edilmiştir. Termal simülasyon için dış sıcaklık 299.06 K (25.91°C) olarak kabul edilmiştir. Bu sıcaklık değerine bağlı olarak, termodinamik analizinde kullanılan modelin tüm duvarlarının sıcaklıkları Tablo 2.8’de belirtilmiştir. Ayrıca, ortalama radyant sıcaklığın hesaplanması için Tablo 2.8’deki değerler kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, iç sınıf mekan kalitesi değerlendirmesi için, elde edilen sayısal veriler ve hesaplanan MRT ile birlikte % 72.8’lik nispi nem CBE aracına yüklenmiştir.

Tablo 2.7. Trabzon’da Ağustos ayındaki hava koşulları ortalama değerleri

| Koşul                             | Yazın en sıcak ayı (Ağustos) |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Ortalama sıcaklık (K)             | 299.06                       |
| Bağıl nem (%)                     | 72.8                         |
| Rüzgar hızı ( $\text{m.s}^{-1}$ ) | 2.81                         |

Tablo 2.8. Duvar sıcaklığı ile ilgili yapılan kabuller

|              | Doğu duvarı | Batı duvarı | Kuzey duvar | Güney duvarı | Çatı   | Zemin  |
|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------|--------|
| Sıcaklık (K) | 299.06      | 300.06      | 297.06      | 298.06       | 311.06 | 293.06 |

Tablo 2.6’de gösterilen modellerin çıkışlarındaki uygulanan basınç 1 atm’dir (Sıfır statik gösterge basıncı). Yüzeylerde Kaymazlık şartı uygulanmaktadır. Ayrıca, pürüzlülük uzunluğu (roughness height) 0 m'a eşit olduğu kabul edilmiştir.

#### 2.4.5. Malzeme Kabulleri

Çalışma kapsamında yapılan analizler için kullanılan malzemelerin ve akışkanların termal ve fiziksel özellikleri Tablo 2.9’da göstermektedir.

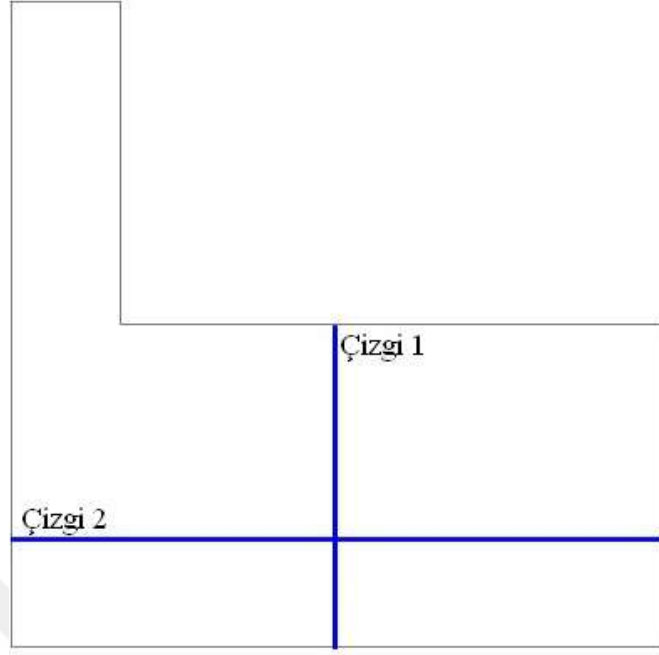
Tablo 2.9. Termo-fiziksel malzemelerin karakteristikleri [10].

| Yüzey          | Malzeme ve sıvı | Yoğunluk (kg / m <sup>3</sup> ) | Özgül Isı Cp (j/KgK) | Termal iletkenlik K (W/m.K) | Dinamik viskozite F1 (Kg/m.s) | Termal genleşme katsayısı (1/K) |
|----------------|-----------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Akış alanı     | Hava            | 1.225                           | 1006.43              | 0.0242                      | $1.7894 \times 10^{-5}$       | 0.001                           |
| Duvar          | Tuğla           | 1920                            | 840                  | 0.72                        | -                             | -                               |
| Tavan ve zemin | Betonarme       | 2300                            | 1000                 | 1.13                        | -                             | -                               |
| Pencere        | Cam             | 2530                            | 840                  | 1.0                         | -                             | -                               |

## 2.5. Kullanılan Izgara

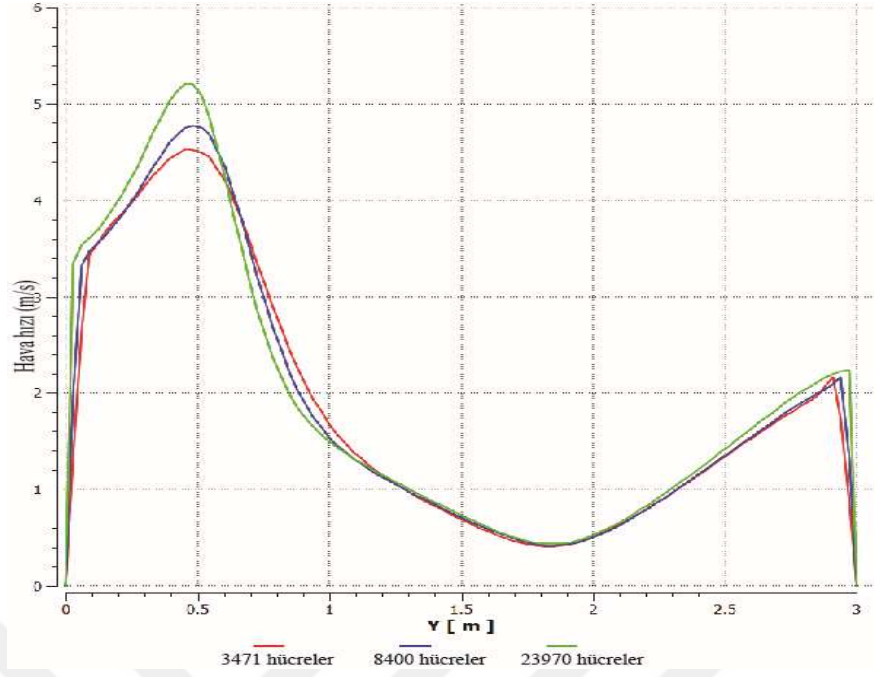
Bu bölümümde açıklanan temel model geometrisi Design Modeler ile oluşturulmuştur. Geometrilere daha sonra akış alanına dönüştürülmüştür. Akış alanını modelledikten sonra, bir sonraki adım Meshing aleti ile ızgara oluşturmaktır. Bu adımda, akış alanı hücrelere bölünmektedir. Hesaplama aşamasında, simülasyon programı her bir hücredeki yönetim denklemlerini çözmektedir.

Sayısal çözümü çok fazla etkilemeyen ızgarayı bulmak için bir ızgara bağımsızlık testi yapılmıştır. Test aynı zamanda on iki modelin (BM1, BM2, MH1, MH5, vb) simüle edildiğini göz önünde bulundurarak CPU zamanından tasarruf sağlayacak bir ızgara bulmayı hedeflemiştir. İlk olarak, temel modelin geometrisi üzerinde üç farklı ızgara üretilmiştir. Temel modelde her biri sırasıyla 0.03, 0.05 ve 0.08 m büyüklüğünde 3471, 8400 ve 23970 dörtgen elemanlı üç farklı ızgara yapılmıştır [10]. Tüm ızgaralar için simülasyonlar aynı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen sayısal sonuçlar belirlenen konumlarda karşılaştırılmıştır. Bunu yapmak için, modelde çizgiler oluşturulmuştur. Bunlar; sol duvardan 3m mesafede bulunan dikey bir çizgi (Şekil 2.4'deki Çizgi 1) ve modelin zemininden 1 m uzakta bulunan yatay bir çizgidir (Şekil 2.4'deki Çizgi 2).

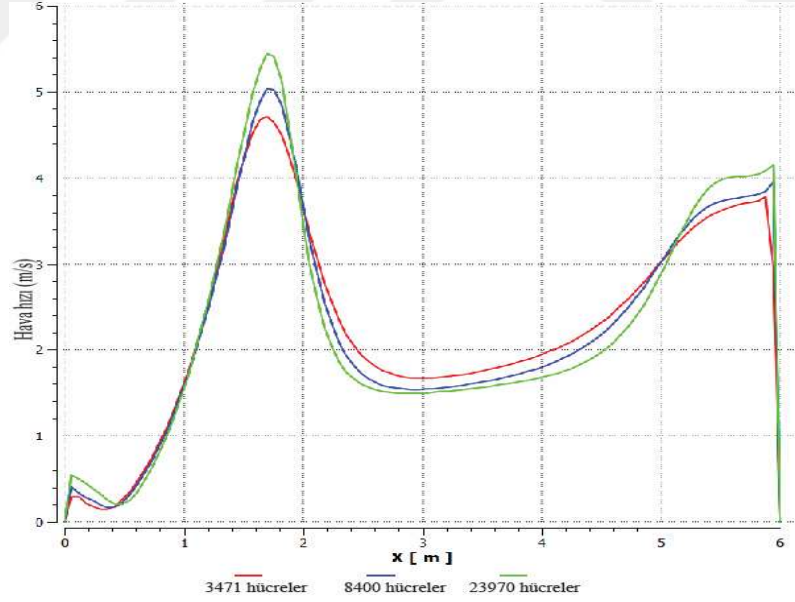


Şekil 2.4. Sayısal sonuçların karşılaştırıldığı çizgiler

Belirtilen üç ızgaranın simülasyonlarından elde edilen Çizgi 1'deki hız profilinin karşılaştırılması Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Şekil 2.6 ise Çizgi 2'deki hız profilinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Bunlardan, kaba ızgara (3471 elemanlar) ve orta ızgara (8400 elemanlar) ile rüzgar hızı profillerinin yakınsak değilse bile birbirlerine yakın kaldığı söylenebilmektedir. Bu teste dayanarak, ayırıklaştırma hatası (discretization error) ve hesaplama süresini azaltmak için 0.05 m eleman boyutuna sahip ağın tüm simülasyonlar için uyarlanması karar verilmiştir.



Şekil 2.5. Farklı ızgaralar için hız profillerinin Çizgi 1’de karşılaştırılması



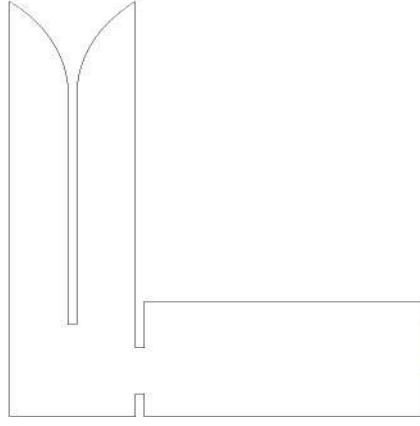
Şekil 2.6. Farklı ızgaralar için hız profillerinin Çizgi 2’de karşılaştırılması

## 2.6. Kullanılan Metod

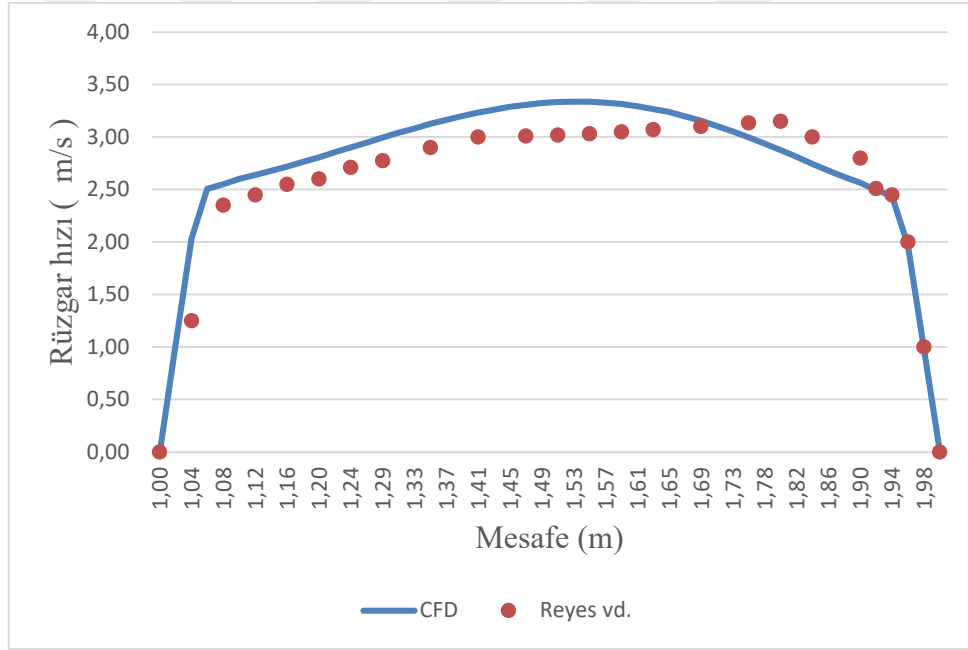
### 2.6.1. Akış Dinamiği Metodunun Doğrulanması

CFD modellemede, farklı yöntemler farklı çözümler getirebilmektedir. Doğru çözümler alabilmek için yöntemin güvenilirliği kontrol edilmelidir. Kullanılan CFD yöntemini doğrulamak için, yöntem literatürdeki bir akış problemine uygulanmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar literatür verileri ile uyum gösterdiği için yöntem onaylanmış ve sonraki simülasyonlar için kullanılmıştır.

Akış dinamiği simülasyonlarında CFD yöntemini doğrulamak amacıyla yapılan karşılaştırmada, Reyes vd. [15]'nin iki boyutlu akış dinamik çalışması değerlendirmeye alınmıştır. Geometri, iki yönlü rüzgar kulesi ve bir odadan oluşmaktadır. İlk olarak, geometri “Design Modeler” ile yapılmıştır. Daha sonra ızgara “Meshing” aracı ile üretilmiştir. ANSYS ile 1.27 m/s hız model girişinde uygulanmıştır. Daha sonra simülasyon yapılmış ve bundan sonra sonuçlar bir grafik üzerinde çizilmiştir. Şekil 2.7’de gösterilen pencere boşluğu için rüzgar hızı profillerinin karşılaştırılması Şekil 2.8’de yer almaktadır. Şekilden de anlaşıldığı gibi uygulamış olduğumuz CFD yönteminde özellikle yüksek hız bölgesinde Reyes vd. [15]'nin çalışmasında elde edilen hızlardan daha yüksek değerler elde edilmiştir. En yüksek hız değerinde hata yüzdesi % 10,19’dur. Buna karşılık, en düşük hız değeri için hata yüzdesi % 1.15’tir. Ortalama hata yüzdesi ise % 6.22’dir. Bu değerlere ve hız profili karşılaştırmasına göre bu çalışmada farklı modellerde hava akımı davranışının öngörülmesi için kullanılacak CFD yöntemi doğrulanmaktadır.



Şekil 2.7. Hız profil konumu



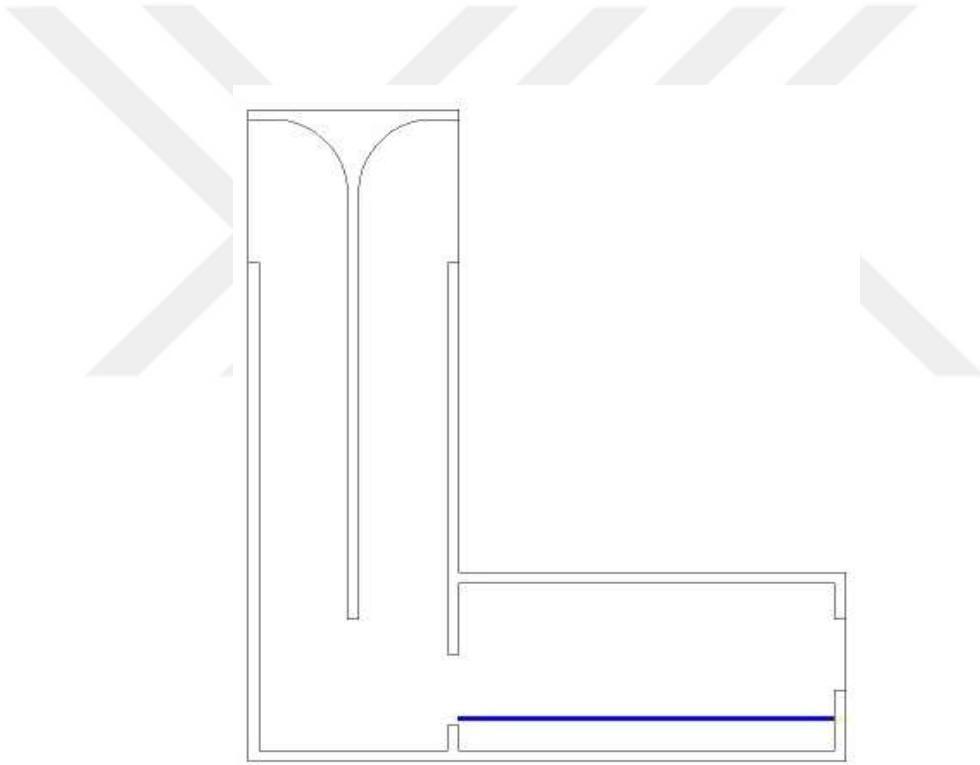
Şekil 2.8. CFD simülasyonundan elde etmiş olduğumuz ve Reyes vd. [15] çözümlerinden elde edilen hız değerlerinin karşılaştırılması.

### 2.6.2. Termal Simülasyon Metodunun Doğrulanması

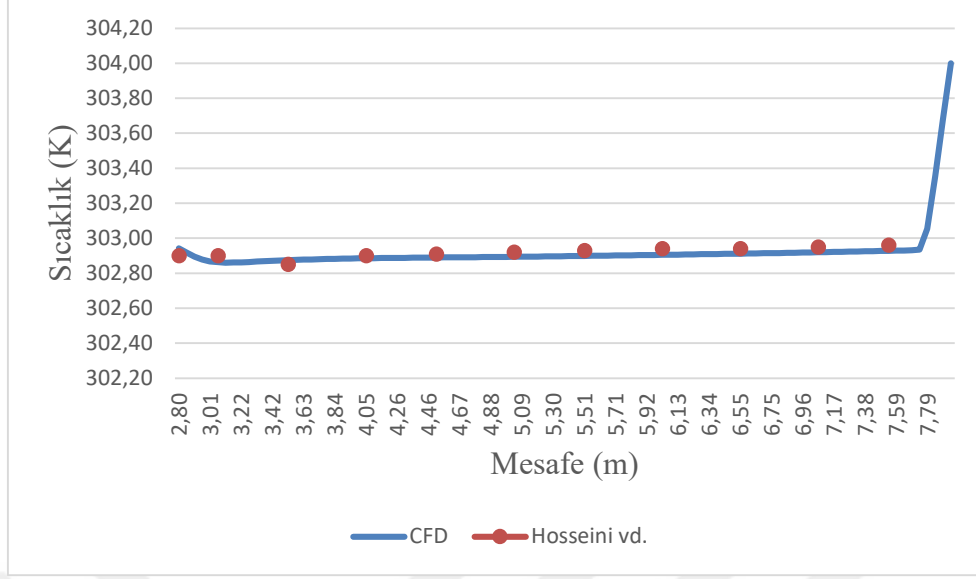
Termal çalışmada CFD yöntemini doğrulamak için Hosseini vd. [10]'nin termal dinamik problemle ilgili çalışması göz önünde bulundurulmuştur. Hosseini vd. [10], rüzgar



kulesi ve bir oda içeren iki boyutlu (kesit) bir model üzerinde termal analiz yapmışlardır. Çalışma alanının geometrisi, “Design Modeller” ile çizilmiştir. Makalede belirtilen simülasyon koşulları ANSYS 16’ya eklenmiştir. Simülasyon yapıldıktan sonra zeminden 60 cm üst kotta bulunan yatay bir çizgi boyunca sıcaklık profili oluşturulmuştur (Şekil 2.9). Elde edilen veriler literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır. Yapmış olduğumuz çalışmada elde edilen CFD sonuçları ile Hosseini vd [10]’den elde edilen sonuçların karşılaştırması Şekil 2.10’de yer almaktadır. Şekilden de anlaşıldığı gibi uygulamış olduğumuz CFD yönteminde Hosseini vd [10]’in çalışmasında elde edilen sıcaklıklara yakın değerler elde edilmiştir. Ortalama hata yüzdesi % 0,5’dir. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan yöntem doğrulanmış ve bu çalışmada termal simülasyon için kullanılabilir olarak kabul edilmiştir.



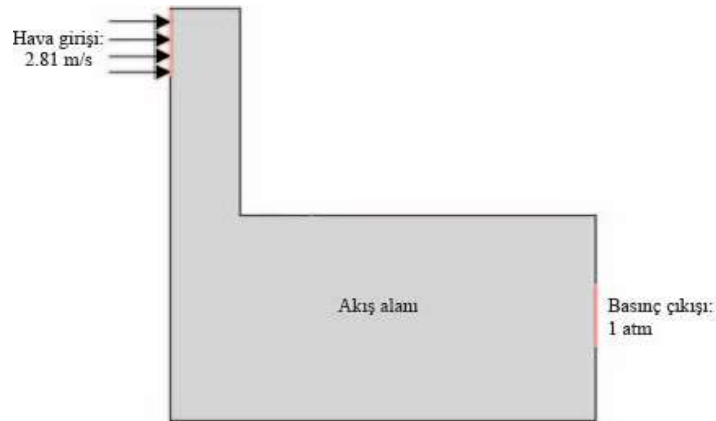
Şekil 2.9. Sıcaklık profil konumu



Şekil 2.10. CFD simülasyonundan elde etmiş olduğumuz ve Hosseini vd. [10]'den elde edilen verilerin sıcaklık profillerinin karşılaştırılması

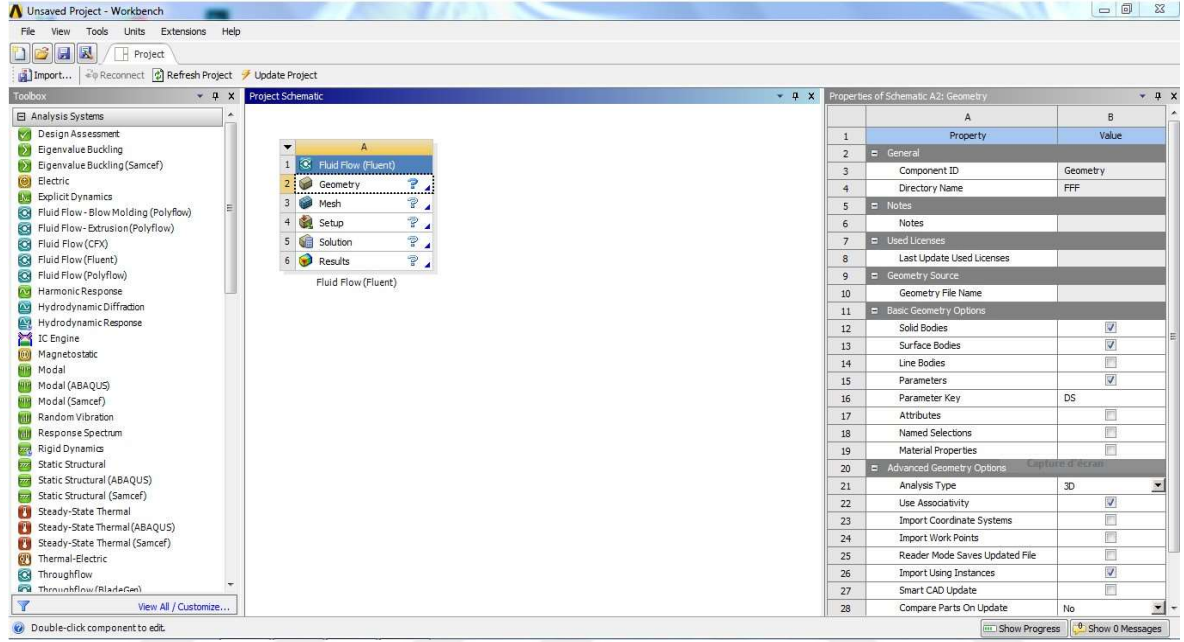
## 2.7. Simülasyon Sonuçlarının Elde Edilmesi Süreci

Çalışma kapsamında düzenlenen temel modeldeki göstergeler Şekil 2.11'de yer almaktadır. Rüzgar kulesi açıklığı hava girişi (velocity inlet) olarak ayarlanmış ve 2,81 m / s hız girilmiştir. Mekanın penceresi, 1 atm ile basınç çıkışı (basınç çıkışı) olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2.11. Temel model için akış problemine genel bakış

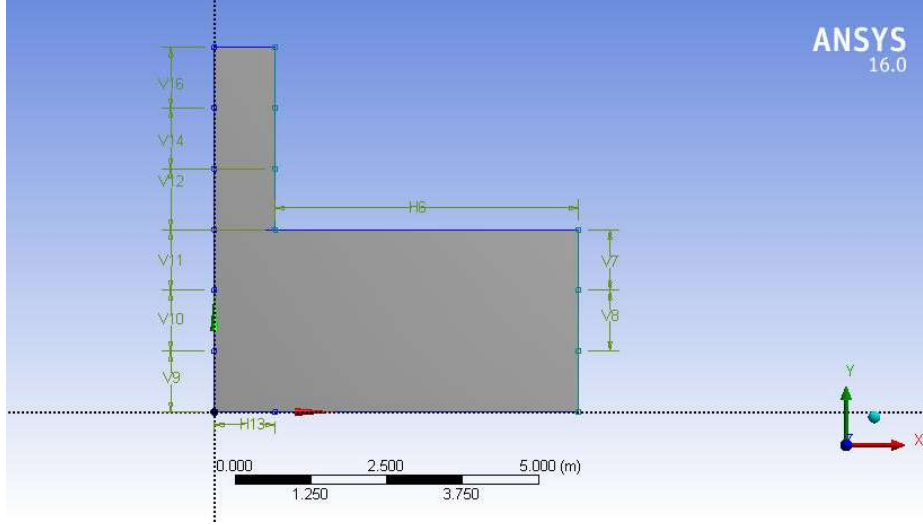
Çalışmada ANSYS Simülasyon Programı kapsamındaki FLUENT bileşeni ile işlemler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.12). Geometriye başlamadan önce, “Analysis Type” Özellikler menüsünde “Advance Geometry Options” altında 2D olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2.12. ANSYS Programı arayüzü

### 2.7.1. Geometrilerin Hazırlığı

Çalışma kapsamındaki geometriler, Design Modeler ile hazırlanmıştır. Problemin etki alanı burada belirtilmiş, yani matematiksel model hakkında anahtar bilgiler verilmiştir. Ünite, metre (m)’ye ayarlandıktan sonra rüzgar kulesi ve oda XY düzleminde çizilmiştir. Yapılan çizim daha sonra “surface from sketch” aracı kullanılarak bir alana dönüştürülmüştür. Oluşturulan yüzey daha sonra akışkan olarak ayarlanmıştır. Böylece Korunum denklemlerinin çözüldüğü ve sınır şartlarının belirlendiği alan hazır duruma getirilmiştir (Şekil 2.13).

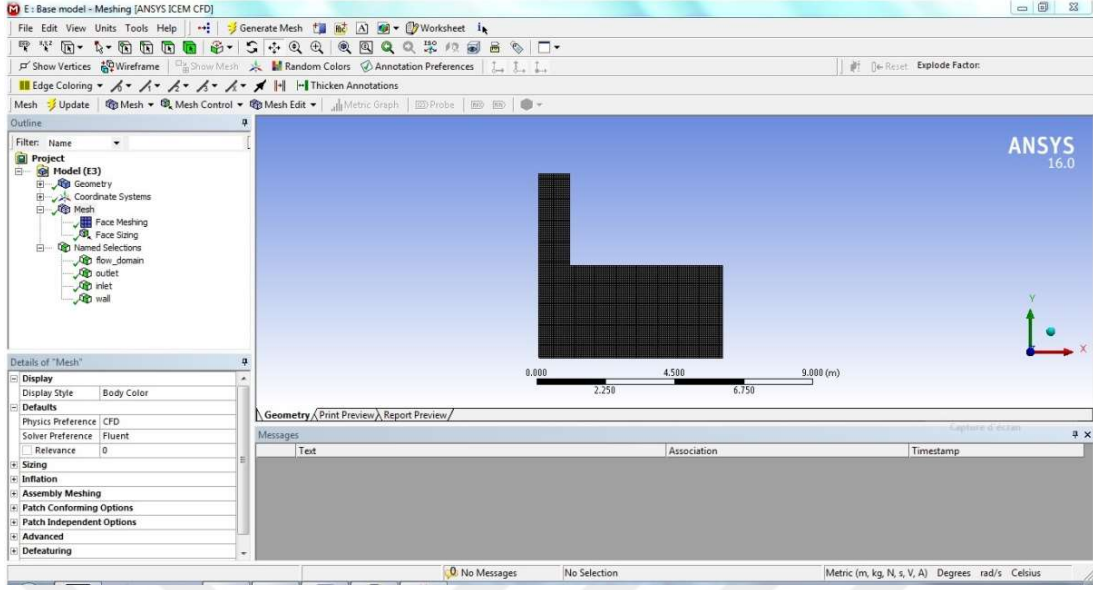


Şekil 2.13. ANSYS’de oluşturulan geometri

### 2.7.2. Meshing Aşaması

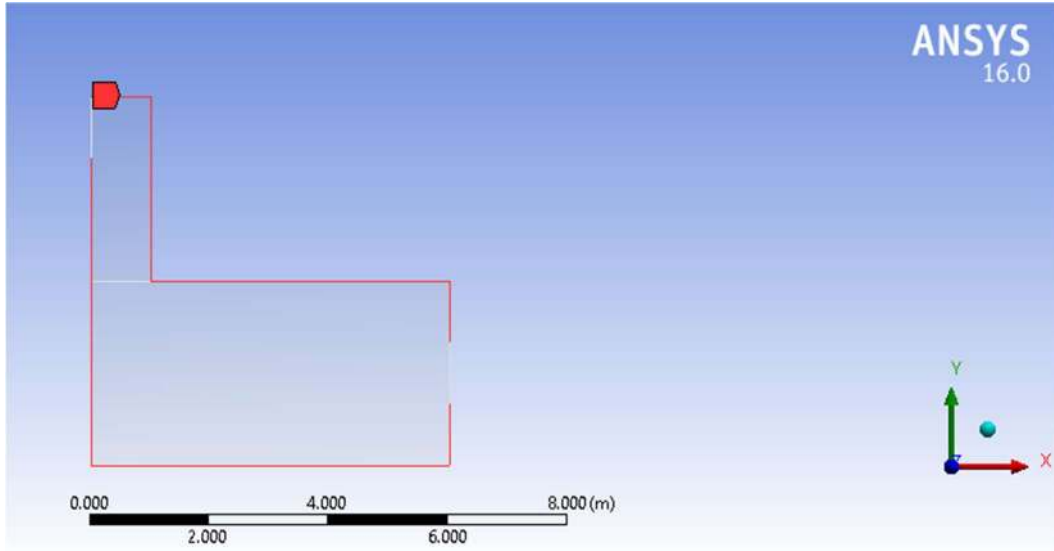
Bölüm 1.9.1’de CDF programı hakkında bahsedildiği gibi, meshleme geometri üzerinde yapılmıştır. Akış alanı “kontrol hacmi” olarak da bilinen hücrelere bölünmüştür. Hesaplama aşamasında, program her bir hücredeki denklemleri çözmektedir.

Bu adımda, sayısal çözüm prosedürü hakkında önemli bilgiler yer almaktadır. Başlangıçta metrik (m, kg, N, s, V, A) birimler seçilmiştir. Meshing tipi ve eleman boyutu manuel olarak belirlendiği için ANSYS yerleşik gelişmiş boyutlandırma fonksiyonu OFF duruma getirilmiştir. Daha önce yapılan yüzeye bir “Face Meshing” yerleştirilerek yapısal bir ağ oluşturulmuştur. Bundan sonra “Sizing” aracı yardımıyla, bir elemanın boyutu 0,05 m olarak ayarlanmıştır. Simülasyon aşamasında, hücrelerin her birinin merkezinde çözücü tarafından; hız, basınç ve sıcaklık değerleri hesaplanmaktadır. Şekil 2.14’da “Meshing” işlemine ait görsel yer almaktadır.



Şekil 2.14. Meshing işlemi

Sınırlar, “Meshing” penceresi içinde etiketlenmiştir. Kenarlar, bir sonraki adım için gereken uygun sınır koşullarını belirlemek amacıyla Tablo 2.6’ya göre seçilmiş ve adlandırılmıştır (Şekil 2.15.).



Şekil 2.15. Meshing aracı içindeki sınırların seçilmesi

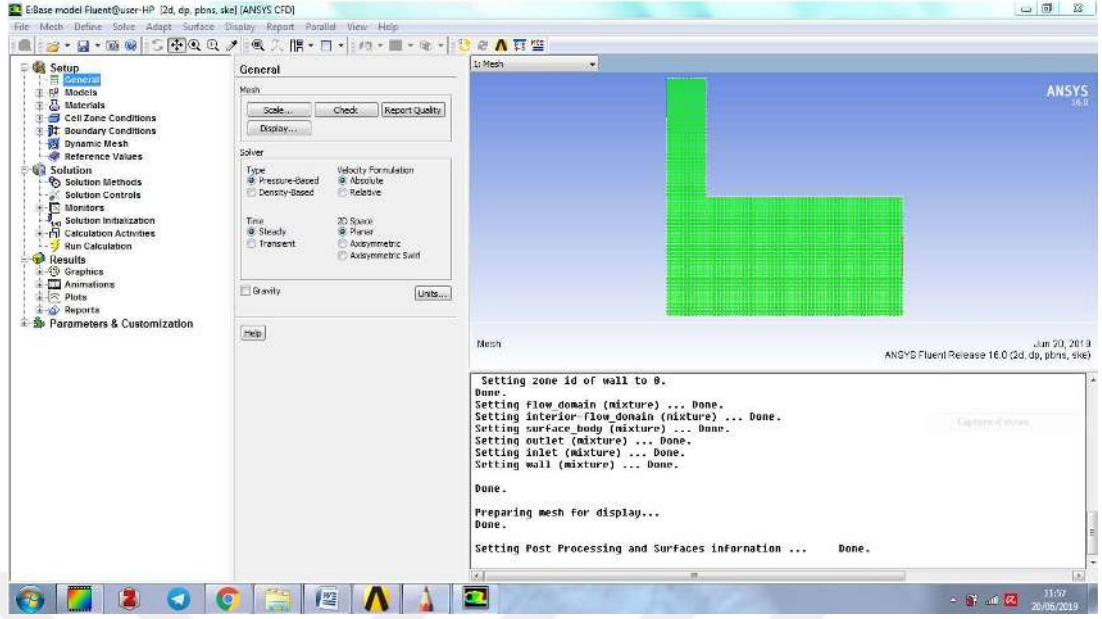
### 2.7.3. Simülasyon Kurulumu

Program kapsamındaki “Project Page” penceresinden “Fluent Solver” seçilerek Setup” uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sonuçların kesinliğini arttırmak amacıyla “Fluent Launcher” penceresinden “Double Precision” ayarlanmıştır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Fluent başlatıcı

Sonraki aşamada Fluent ara yüz açılmıştır (Şekil 2.17). Fluent ara yüz, sınır-değer problemi için geçerli denklemlerin ve sınır koşullarının belirtildiği yerdir.

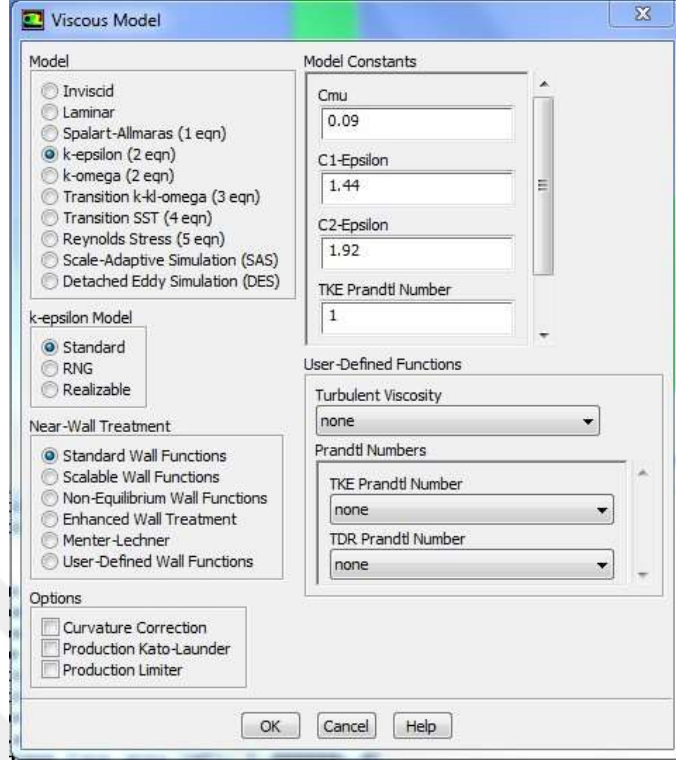


Şekil 2.17. Fluent arayüzü

Daha sonra ağlar kontrol edilmiş ve görüntülenmiştir. Dikey ve yatay akslar “scale mesh” penceresinde kontrol edilmiştir.

### 2.7.3.1. Korunum Denklemi

“General setup” sekmesinde, çözücü “Pressure-based” olarak ayarlanmıştır. Korunum denkleminin sürekli ve düzlemsel versiyonu "steady" ve "planar" üzerine tıklanarak ayarlanmıştır (Şekil 2.17). Akışın türbülans olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle, “Viscous Model” pencerede, “standart k-ε” ve “standard wall function” seçilmiştir. Termal simülasyon için enerji modeli eklenmiştir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Türbülans model seçim penceresi

### 2.7.3.2. Malzemeler

“Materials” sekmesinin altında  $\rho$  ve  $\mu$  yönetim denklemindeki sabitler tanımlanmıştır. Akışkan (hava) yoğunluğu ve viskozitesi, Tablo 2.9’a göre ayarlanmıştır. Aynı şekilde, katı malzemelerin özellikleri termal simülasyon için oluşturulmuştur. “Cell Zone Conditions” sekmesinden her yüzeye uygun malzemeler atanmıştır.

### 2.7.3.3. Sınır Koşullarının Belirlenmesi

Girişte belirlenen “inlet” hız büyüklüğü 2,61 m/s’dir. “Energy Equation” açık olduğunda, girişteki “Türbülans Yoğunluğu” % 5 ve “Türbülans Viskozite Oranı” %10 varsayılan değerleri kullanılmıştır. Termal simülasyon için girişteki sıcaklık ise “Termal”



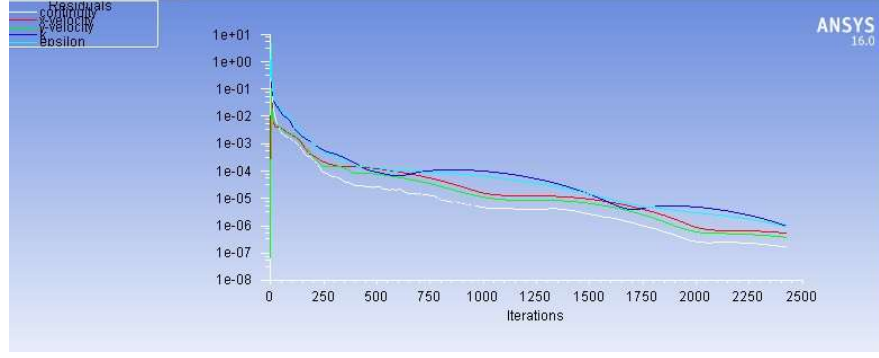
sekmesinden ayarlanmıştır. Modeldeki basınç çıkışında 1 atm sınır koşullarını ayarlamak için, basınç çıkışını düzenlerken değeri 0 Pa olarak belirlenmiştir.

“Wall Function” ayarları, “No-slip condition” şartı 0 m “roughness height” olarak ayarlanmıştır. Termal simülasyon için, her duvarın sıcaklığı ve uygun materyali “Termal” sekmesinde ayarlanmıştır. Yapılan bu işlemler sonucunda matematiksel model hazır hale getirilmiştir. Bir sonraki adımda hesaplama yönteminin seçilmesi ve hesaplamalar süreci başlamıştır.

#### 2.7.4. Sayısal Çözüm

“Solution method” sekmesinde, “SIMPLE” algoritması, basınç hızı eşleşmesi için seçilmiştir. Basınç enterpolasyonu “second order” olarak ayarlanmıştır. “The Second-Order Upwind” tüm denklemler için kullanılmıştır. “Monitor” sekmesinde, “Residual Tolerance” tüm denklemler için  $10e-6$ 'ya ayarlanmıştır. Değerler  $10e-06$ 'a ulaştığında yakınsamanın elde edildiği varsayılmıştır.

FLUENT, tekrarlama (iteratif) işlemlerini başlatmak için belirlenen bir konumdaki akış değişkenlerinde (hız, basınç vb.) başlangıç tahmini gerektirmektedir. Başlatma metodu seçmesi, “Initialization Methods” sekmesinde yapılmaktadır. Bu sekmede, “Standard Initialization” seçilmiştir ve başlatma işlemi, “Compute from: inlet” üzerine tıklanarak gerçekleştirilmiştir. Sonra “Run Calculation” sekmesinde, “Number of Iterations” değeri yüksek bir sayı olarak girilmiştir. Ardından hesaplamalar başlatılmıştır. Hesaplama yapılırken ekranda artıklar (residuals) sayısal değeri yer almaktadır (Şekil 2.19). Artıklar önceden ayarlanan değer altına düşene kadar tekrar etmiştir. Doğrusallaştırma hatası toleransın altına düştükten sonra Fluent çözücü kapatılmıştır ve sayısal sonuçları çizmek için “Result” açılmıştır.



Şekil 2.19. Hesaplamalar sırasında artıkların görüntülenmesi

## 2.8. Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Akış dinamiği sorunları ANSYS 16 kullanılarak sayısal olarak çözüldükten sonra akış davranışını araştırmak için basınç ve hız dağılımları çizilmiştir. Sistem içindeki basınç ve hız değerlendirilmiştir. Daha sonra, sınıf mekanındaki farklı bölgelerde hız ortalamaları hesaplanmıştır. Kullanıcıların baş ve göğüs seviyesindeki hız daha önemli olduğundan dolayı bu seviyedeki değerler Beaufort Ölçeğine (Tablo 1.4) göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, oturma pozisyonunda kullanıcıların termal algısı, ilgili hesaplanan hava hızı ve diğer termal parametrelerin CBE'nin termal konfor aracına girilmesiyle belirlenmiştir. Diğer termal parametreler ve değerleri Tablo 2.10'da yer almaktadır.

Tablo 2.10'daki termal parametre değerlerini CBE aracına girerek ve hava hızını 0'dan 2 m/s'ye değiştirerek, çalışmanın termal koşulları ile 0,1 ila 0,5 m/s arasındaki hava hızlarının ASHRAE 55-2017 Standardını karşıladığı bulunmuştur. Yani 0,1 ila 0,5 m/s arasındaki hava hızları ve 0,57 clo ile oturma pozisyonundaki kullanıcılar termal olarak kendilerini rahat hissetmektedirler.

Sonradaki aşama için (Termal dinamik), oturma pozisyonunda kullanıcılara en rahat havalandırmayı sağlayan model seçilmiştir. Seçilen model, en iyi bölme duvar konfigürasyonu ile iyileştirilmiştir. Termal dinamik sorunları ANSYS 16 kullanılarak sayısal olarak çözüldükten sonra termal davranışı araştırmak için termal dağılımlar çizilmiştir. Ayrıca, "Region Adaptation" aracı ve "Face Split" kullanılarak mekan daha küçük bölgelere ayrılmıştır. Bu bölgelerin her biri için alan ağırlıklı ortalama hava hızı ve

sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Bu elde edilen veriler ve diğer termal konfor parametre kabulleri (Tablo 2.10) CBE aracına girilerek sınıf mekanındaki konfor seviyesi değerlendirilmiştir.

Tablo 2.10. CBE aracına girilen Termal Konfor Parametreleri

| Termal Konfor Parametresi                            | Çalışma Sıcaklığı (°C)           | Hava Hızı (m/s) | Bağıl Nem (%) | Metabolizma Hızı (met)                    | Giyim Seviyesi (clo)                                                  |
|------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Kullanılan Değerler<br>(akış dinamik çalışması için) | 26 (akış dinamik çalışması için) | Değişken        | 72.8          | 1.0 (oturan, okuyan veya yazan kullanıcı) | 0.57<br>(pantolon, kısa kollu gömlek, çorap, ayakkabı ve iç çamaşırı) |
| (termal dinamik çalışma için)                        | Değişken                         | Değişken        | 72.8          | 1.0<br>1.2                                | 0.57                                                                  |

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Giriş

Bu bölümde ANSYS 16 ile simülasyon işlemleri sonucu elde edilen verilere ilişkin analizler ve değerlendirmeler yer almaktadır. Akış dinamik simülasyonları “Yapılan Çalışmalar” bölümde açıklanan modeller için çalıştırılmıştır. Bu modeller, farklı fiziksel özelliklere sahip (farklı açıklık sayısı: BM1 ve BM2, farklı yükseklik: MH1, MH5, farklı genişlik: MW1.5 ve MW2, farklı açıklık boyutu: MO0.5 ve MO2, iç açıklık konumu ile BM1 Konfigürasyon 1, 2 ve 3) rüzgar kulesi ile donatılmış sınıf için gerçekleştirilmiştir. Modellerin simülasyon sonuçları, bu bölümde sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan modeller içindeki basınç ve hız dağılımları yorumlanmıştır. Ayrıca, modellerde hava akış yönünü kolayca göstermek için hız vektörleri de sunulmuştur. İç mekandaki farklı bölgeler için ortalama hava hızı (Tablo 3.1.) hesaplanmıştır. Kullanıcılar üzerinde meydana gelen hava özellikle incelenmiştir. Kullanıcıların oturma pozisyonunda baş ve göğüs bölgesinde meydana gelen ortalama hava hızı, termal konfor için önerilen optimum değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, her durum için kullanıcıların termal algısı belirlenmiştir. Bundan sonra, farklı açıklık sayısına sahip modellerin performansları karşılaştırılmıştır (BM1, BM2’ye karşı). Benzer şekilde, farklı rüzgar kulesi yüksekliklerine (MH1, BM1 ve MH5), farklı rüzgar kulesi genişliklerine (BM1, MW1.5 ve MW2) ve farklı rüzgar kulesi açıklık boyutlarına (MO0.5, BM1 ve MO2) sahip modellerin performansları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Konfigürasyon 1, 2 ve 3 için elde edilen sonuçlar iç açıklık pozisyonunun hava akış davranışı ve havalandırma üzerindeki etkisini görmek için karşılaştırılmıştır. CBE aracı ile hesaplanan PMV, PPD değerleri ve oturma pozisyonundaki kullanıcıların termal algısı belirlenmiştir. Bu elamanlara göre, oturma pozisyonunda kullanıcılara en rahat havalandırmayı sağlayan model ve bölme duvarı konfigürasyonu belirlenmiştir. Termodinamik analizde incelenen model önceki bulgulara dayanılarak oluşturulmuştur.

Termodinamik analizdeki simülasyon, yüzeylerin (duvarlar, tavanlar ve zemin) termal özelliklerini içermektedir. Simülasyon çalışması sonrasında sıcaklık dağılımı ANSYS 16 son işlemcisinden üretilmiştir. İç mekanın farklı bölgelerindeki sıcaklıklar

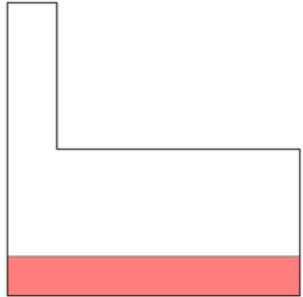
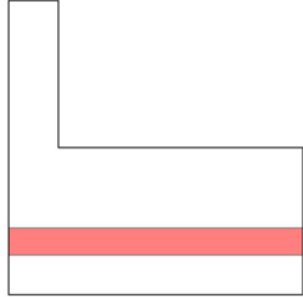
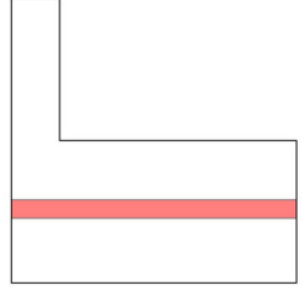
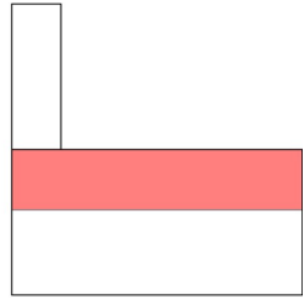
analiz edilmiştir. Ayrıca, iç mekanın daha küçük bölümlerindeki ortalama hava hızları ve sıcaklıklar hesaplanmıştır. Bu değerler ve diğer termal konfor parametreleri, CBE aracı yardımıyla iç mekanın farklı alanlarındaki (Tablo 3.1.) konfor seviyelerini belirlemek için kullanılmıştır.

### 3.2. Akış Dinamiği Analizi

Akış-dinamik çalışma süresince, kullanıcı konforunu değerlendirmek için, Tablo 2.10'daki termal konfor parametre değerleri kullanılmıştır. Bu değerler, çalışma sıcaklık: 26 ° C, bağıl nem: %72.8, Metabolizma: 1 / 1.2 met ve Giyinme: 0.57 clo'dur. Bu koşullar ile, sadece 0,5 m/s'ye eşit veya daha düşük hava hızı ASHRAE Standardı 55-2017'ye uygunluk göstermektedir. 0,5 m/s'nin üzerindeki hava hızı hafif soğuk olmaktadır ve ASHRAE 55-2017 Standardına uygun değildir.

Ayrıca, “İnsan vücudu ısı üretmektedir. Bu ısıyı çoğunlukla kafa yüzeyinden ve biraz daha az göğüs kısmından salıvermektedir. Bu nedenle yalnızca, kullanıcının vücudunun üst seviyesindeki soğuk hava akımlarıyla temas halinde olması durumunda rahatlık sağlanabilmektedir” [15]. Bu nedenle, oturma pozisyonunda olan kullanıcıların kafa ve göğüs bölgelerinde konfor üretilmesi için daha uygun olan modeli bulmak amacıyla, iç mekanın farklı bölgelerindeki ortalama hava hızı değerlendirilmektedir. Buna göre iç mekan, Tablo 3.1'de gösterildiği gibi dört bölgeye ayrılmıştır.

Tablo 3.1. Hava akımı değerlendirmesi amacıyla iç mekanda yapılan bölümler

|         | Bölgenin Konumu                                                 | Konum (m)   | Kesit                                                                                 |
|---------|-----------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Bölge 1 | Zemine yakın yükseklik                                          | 0 to 0.8    |    |
| Bölge 2 | Göğüs ve baş seviyesinin etrafındaki yükseklik (oturanlar için) | 0.8 - 1.35  |   |
| Bölge 3 | Baş seviyesinde yükseklik (ayakta duran kişi için)              | 1.35 - 1.75 |  |
| Bölge 4 | Tavana yakın yükseklik                                          | 1.75 - 3    |  |

### 3.2.1. Rüzgar Kulesi Açıklık Sayısının Etkisi

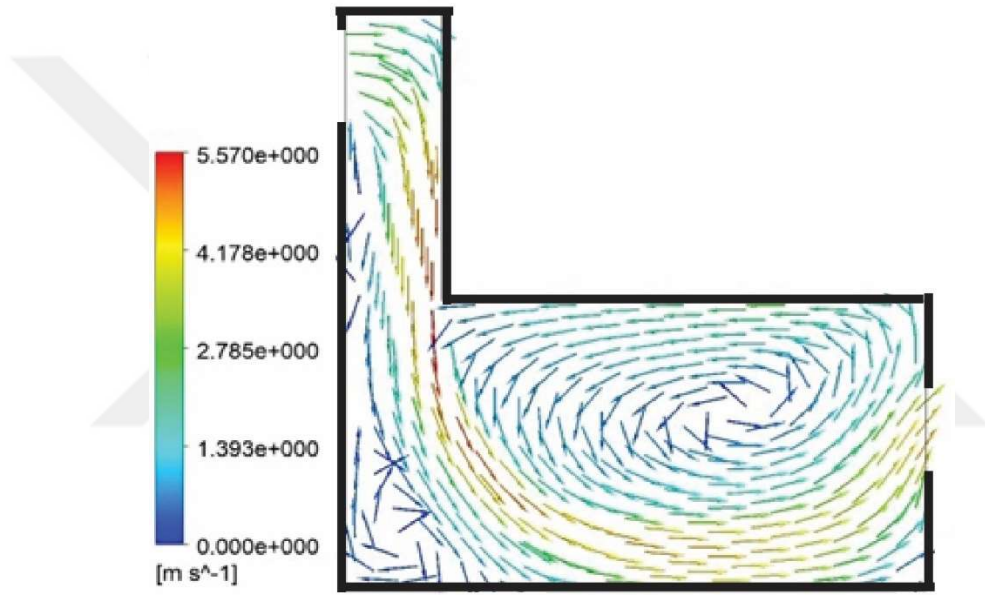
Rüzgar kulesi açıklık sayısının etkisini incelemek için BM1 ve BM2 modeli simüle edilmiştir. BM1 modeli bir rüzgar kulesi açıklığına sahiptir. BM2 modeli ise iki açıklığa sahiptir.

#### 3.2.1.1. BM1 İçin Hız Analizi

Şekil 3.1, iç mekandaki ve tek yönlü rüzgar kulesi içindeki hava akımının hız vektör dağılımını göstermektedir. Şekil 3.2 ise aynı rüzgar kulesindeki ve sınıf içindeki hava hızı dağılımını göstermektedir. Her iki şekilde de, hava akımının kuleye başlangıç hızı 2,81 m/s ile girdiği görülmektedir. Kuleye giren hava akımı karşı duvara akmaktadır. Rüzgar kulesinin üst başlığı altında, hava akımı kıvrılırken sağ köşede küçük bir durgunluk alanı oluşmaktadır. Ana akım aşağıya doğru hareket etmekte ve gittikçe hızı artmaktadır. Modelde en yüksek hava hızı kulede 5,57 m/s'ye ulaşmaktadır. Bu değer başlangıç hızının neredeyse iki katıdır. Şekil 3.1'de rüzgar kulesi duvarına paralel olarak hava hızı artışı gösterilmektedir. Ayrıca ana akımın rüzgar kulesi girişinin altına bir rüzgar gölgesi bıraktığı da gösterilmektedir. Rüzgar gölgesi bölgelerinde, hava hızının değeri 0 m/s'ye kadar düşmektedir. Bacadan sonra, ana akım odaya girmekte ve sağ tarafa doğru bükülmektedir. Ana akım zemine yaklaşırken, hızı kademeli olarak azalmaktadır. Ana akım yönünde bacaya komşu olarak ilerleyen akım zemine ulaştığında yön değiştirmekte ve hızı 0,27 m/s'nin altına düşmektedir. Diğer taraftan, ana akım, azalan bir hızla pencereye doğru ilerleyişini sürdürmektedir. Sonra pencerede ana akım bölünmektedir. Akımın büyük kısmı 4,56 m/s ortalama hız ile iç mekan alanından çıkmaktadır. Hız vektörü dağılımı, tavana doğru bükülen ikincil bir akış göstermekte ve karşı tarafa doğru hareket etmektedir. Daha sonra, mekanın içinde dönen bir akımla sonuçlanmaktadır. Dönen akım ise düşük hız ile karakterize edilmektedir.

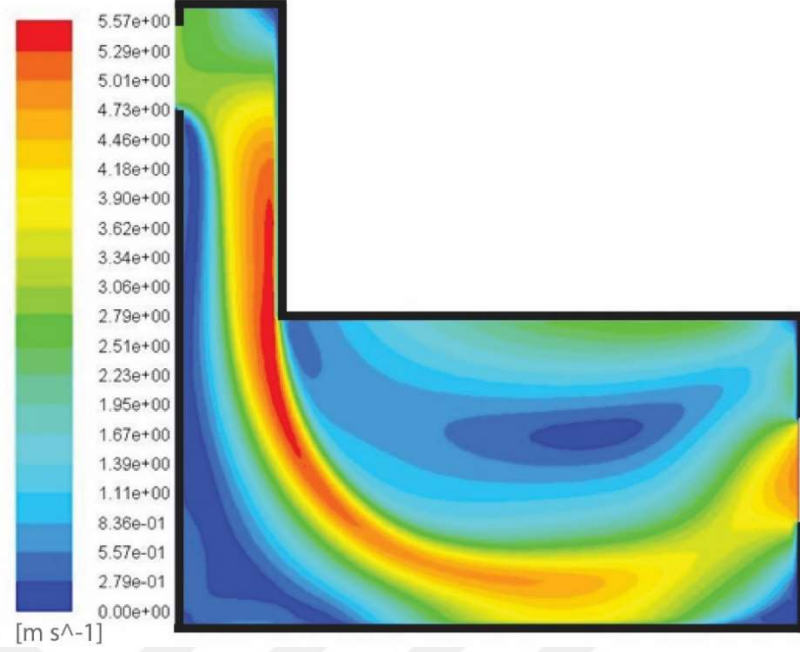
Model içinde hesaplanan ortalama hız 2,03 m/s'dir. Bu hava hızı nedeniyle, sınıf kullanıcılarının % 31'inin konforsuzluk hissetme olasılığı yüksektir. Tablo 3.1'deki Bölge 2 ve 3'te hesaplanan ortalama hız 1,89 m/s'dir. Beaufort ölçeğine göre, kullanıcıların baş ve

göğüs bölgelerinde hava hareketi hafiftir (Beaufort no. 3). Oturma pozisyonundaki kişiler için baş ve göğüs bölgelerinde hesaplanan ortalama hız 2,20 m/s'dir. Beaufort ölçeğine göre, bu hava hızı kullanıcılar tarafından hafif esinti (Beaufort No 3) olarak hissedilmektedir. Bu durumda, Tablo 2.10'daki parametreler dikkate alındığında oturma pozisyonundaki kullanıcıların en az % 32'si CBE aracına göre kendilerini rahatsız hissetmektedir. PMV değerinin -1,14 olması nedeniyle oturan kullanıcılar kendilerini termal açıdan biraz serin hissetmektedir.



Şekil 3.1. BM1 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)





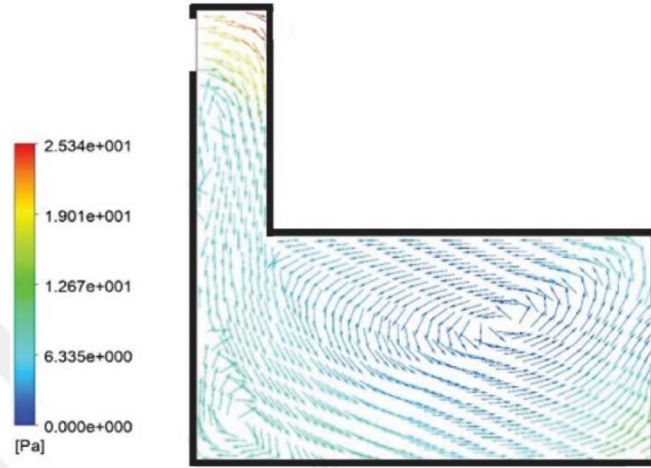
Şekil 3.2. BM1 modelinde hız dağılımı (m/s)

### 3.2.1.2. BM1 İçin Basınç Analizi

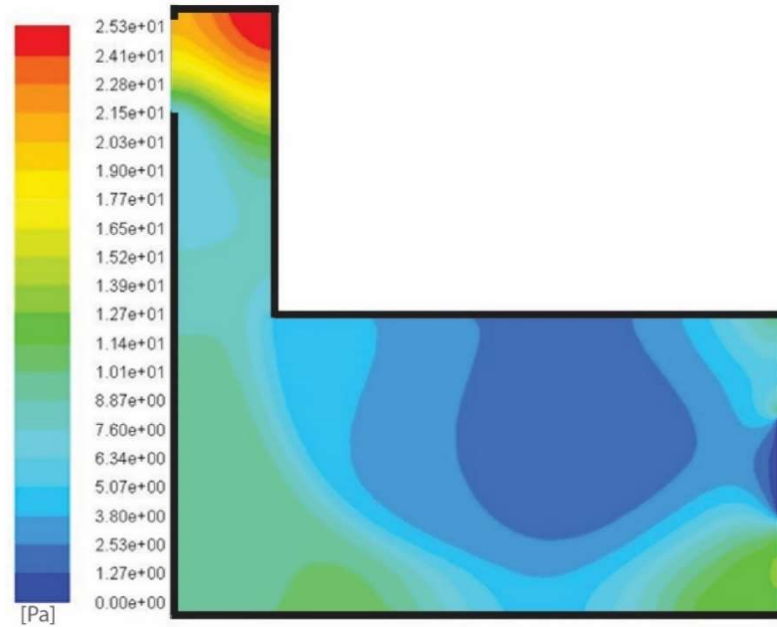
Şekil 3.3, BM1 modelinde basınç değerlerinin de yer aldığı renkli hız vektörlerinin dağılımını göstermektedir. Şekil 3.4 ise modeldeki farklı basınç değerlerini göstermektedir. Şekil 3.3’de yer aldığı gibi rüzgar kulesinin üst başlığının altında en yüksek basınçlı bölge oluşmaktadır. Şekil 3.3’de görülen üst başlığının altında köşedeki alanda basınç 25,34 Pa’ya kadar ulaşmaktadır. Rüzgar kulesinin hava girişi altındaki bölgede basınç düşmektedir. Sonra kulenin altında, basınç biraz artmaktadır. Sınıf bağlantısında da bu etki devam etmektedir. Odanın sağ tarafında ise basınç yine azalmaktadır. Basınç, özellikle akışın devirdaim ettiği bölgede düşük değerlere sahiptir (Şekil 3.4). Modelin diğer tarafında, penceredeki 0 Pa basıncı en düşük basınç değerine sahiptir. Bundan dolayı, vakum etkisi pencerede ortaya çıkmaktadır. Hız analizinde, pencerenin yakınında hava hareketinin hızlandığı görülmektedir.

Model içinde farklı basınç değerleri yer almaktadır. Basınç farkı, model içindeki giriş ortalama basıncı ile ortalama basınç arasındaki fark olarak belirlenmektedir. Hem girişteki hem de model içindeki basınç simülasyon programı tarafından hesaplanmaktadır. Bu

değerler Tablo 3.2’de yer almaktadır. Modeldeki hesaplanan basınç farkı 10,34 Pa’dır (Tablo 3.2).



Şekil 3.3. BM1 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)



Şekil 3.4. BM1 modelindeki basınç dağılımı (Pa)

Tablo 3.2. BM1’deki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

| Konumlar       | Basınç (Pa) | Basınç Farklılığı (Pa) |
|----------------|-------------|------------------------|
| Giriş (inlet)  | 16,62       | -                      |
| Çıkış (outlet) | 0           | -                      |
| Model          | 6,28        | 10,34                  |

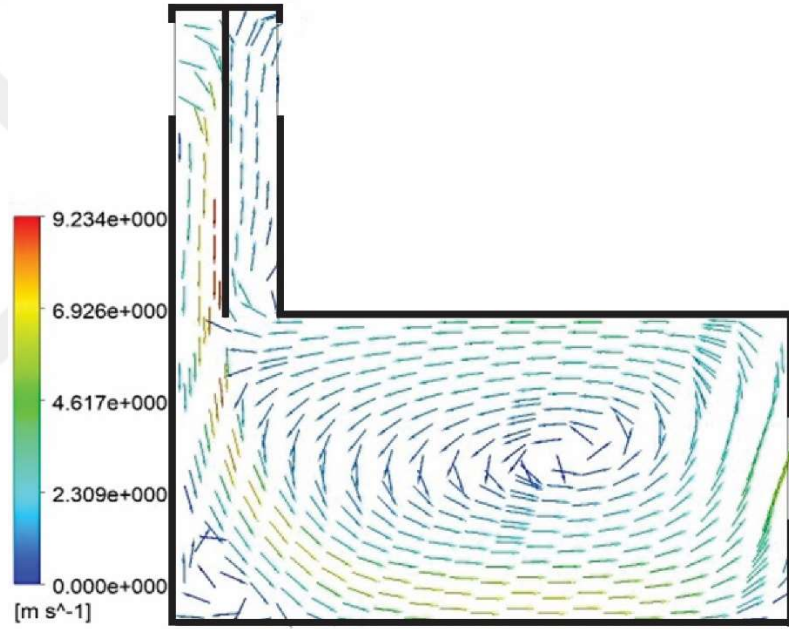
### 3.2.1.3. BM2 İçin Hız Analizi

BM2 kulesinin modeli BM1’deki modele benzemektedir. Diğer taraftan model kanalı bölen elemanla ikiye ayrılmaktadır. Rüzgar kulesine rüzgar girişi sol taraftan tanımlanmıştır. Basınç çıkışı ise rüzgar kulesi ikinci açıklığı ve pencere olarak tanımlanmıştır.

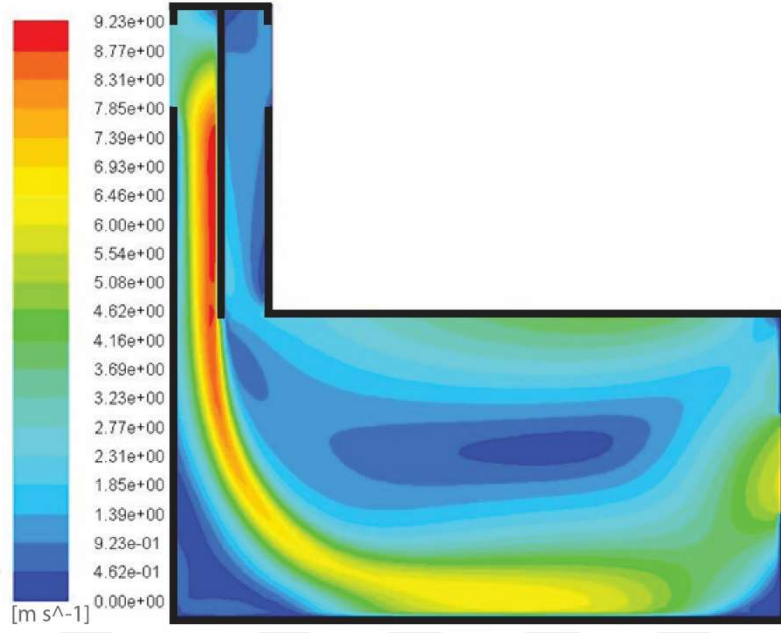
Kuledeki açıklık girişine, BM1’deki aynı giriş koşulu uygulanmıştır. Rüzgar kulesi girişinden modele giren hava akışı Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Giren hava akımı dar şaft içinde aşağıya doğru yönelmektedir. Girişte uygulanan hız nedeniyle girişin altında fazla rüzgar gölgesi oluşmamaktadır. Hava akımı aşağı doğru hareket ederken, modelde en yüksek hava hızına ulaşmaktadır ve bu değer 9,23 m/s’ye kadar yükselmektedir (Şekil 3.6). Buna karşılık, en düşük hava hızı değeri 0 m/s’dir. Ana akım iç mekana girdikten sonra zemin seviyesinde, ana akımın minimal bir kısmı alt köşede devirdaim etmektedir. Bu devirdaim bölgesinde, hava hızı 0,46 m/s’nin altında kalmaktadır. Diğer taraftan, ana akım zemine paralel olarak pencere tarafına doğru hareket etmektedir. Pencerenin yakınındayken ana akım hızı yükselmekte ve iç mekandan 5,09 m/s ile çıkmaktadır.

Mekanın üst ve orta bölümüne yönelen hava akımı iç mekanda kalmaktadır. Bu bölümde ikincil bir akış hücresi oluşmaktadır. İkincil akış hücresi düşük hızda ve saatin aksi yönünde hareket etmektedir. Bu hareket yönünde geniş devirdaim bölgesi oluşturmaktadır. Aynı zamanda, tavan seviyesindeki akım hafif bir hızlanma ile tavana paralel yönde hareket etmektedir. Bu akım, rüzgar kulesindeki ikinci şafta yönelmektedir. Daha sonra şafta giren hava akımı Şekil 3.5’de gösterildiği gibi rüzgar kulesinin ikinci şaftından 0,84 m/s hız ile dışarıya çıkmaktadır.

2,65 m/s ile iç mekandaki ortalama hız tek yönlü rüzgar kulesindeki daha yüksek olarak elde edilmiştir. Bu durumda, Trabzon termal koşullarında, kullanıcıları BM1'deki rüzgar kulesinden daha rahatsız edici bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Tablo 3.1'deki Bölge 2 ve 3'de hesaplanan ortalama hız 2,09 m/s'dir. Beaufort ölçeğine göre, kullanıcıların baş ve göğüs bölgelerinde hava hareketi hafiftir (Beaufort no. 3). Bu durumda, Tablo 2.10'daki parametreler dikkate alındığında oturma pozisyonundaki kullanıcıların en az % 35'i CBE aracına göre kendilerini rahatsız hissetmektedir. PMV değerinin -1,19 olması nedeniyle oturan kullanıcılar kendilerini termal açıdan biraz serin hissetmektedir.



Şekil 3.5. BM2 modelindeki hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)

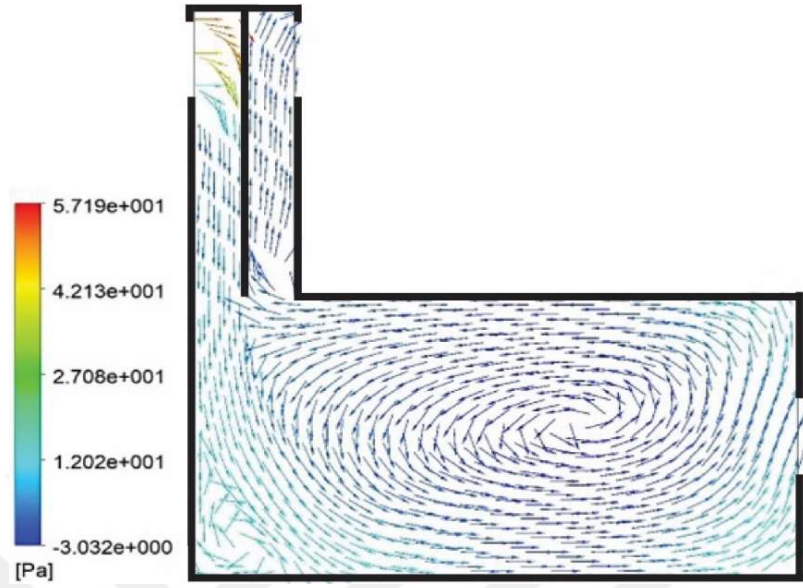


Şekil 3.6. BM2 modelindeki hız dağılımı (m/s)

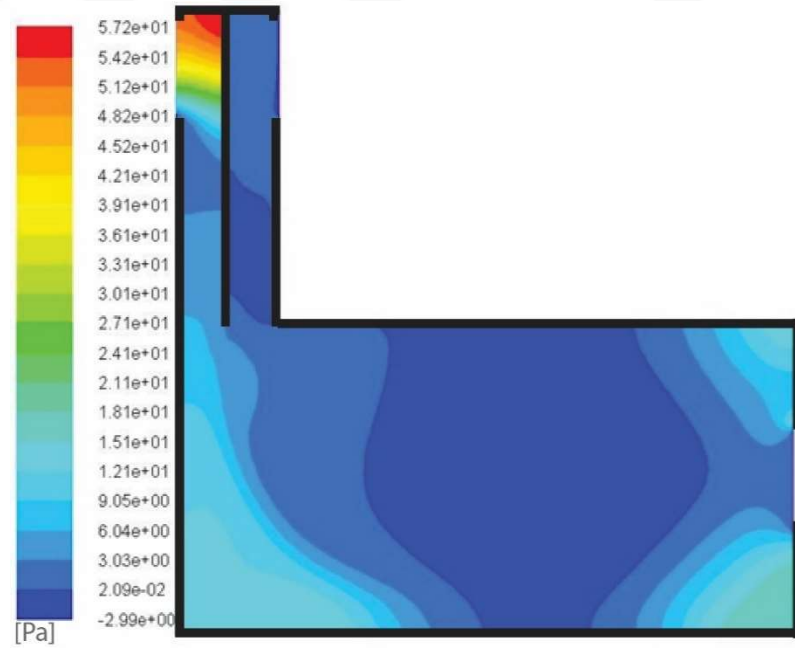
#### 3.2.1.4. BM2 İçin Basınç Analizi

Şekil 3.7, BM2 modelinde basınç değerlerinin de yer aldığı renkli hız vektörlerinin dağılımını göstermektedir. Şekil 3.8 ise BM2 modeli içindeki basınç dağılımını göstermektedir. Rüzgar kulesinde hava giriş seviyesinde en yüksek basınçlı bir bölge oluşmaktadır. Giriş bölgesinde yer alan üst başlığın altında basınç 57,19 Pa'ya ulaşmaktadır. Kuleden aşağıya inildikçe basınç kademeli olarak azalmaktadır. En düşük basınç ise, iç mekan ile ikinci şaftta yer almaktadır. İç mekanda, -3 Pa'dan daha az olan geniş bir düşük basınçlı bölge ortaya çıkmaktadır. Bu bölge, Şekil 3.7'de görülen bir hava devirdaim bölgesinin bulunduğu yere karşılık gelmektedir. Rüzgar kulesindeki ikinci şaftın alt kısmında daha küçük bir düşük basınç bölgesi yer almaktadır. Bu bölgedeki düşük basınç, iç mekandan gelen havanın ikinci şaftın içine girmesine neden olmaktadır. Modelin diğer tarafında, penceredeki düşük basınç ana akımın mekandan çıkışını sağlamaktadır.

BM2 modelinde hava akımı girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.3'te gösterilmektedir. Hava akımı girişindeki basınç ve akış alanı içindeki (modeldeki) ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 32,98 Pa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.7. BM2 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)



Şekil 3.8. BM2 modelindeki basınç dağılımı (Pa)

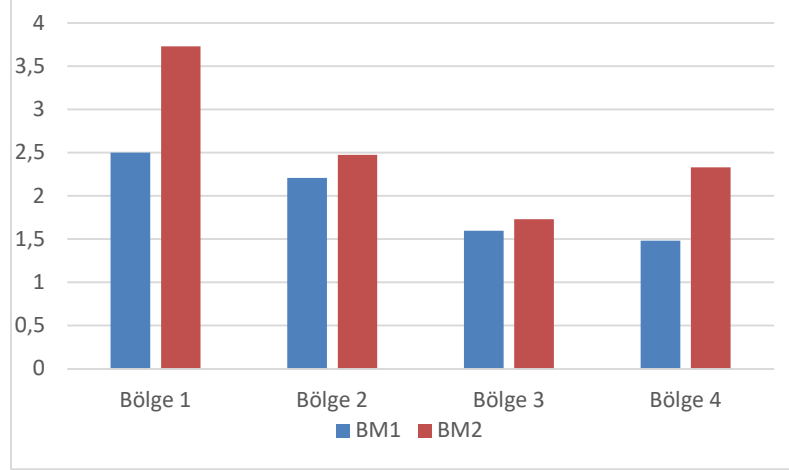
Tablo 3.3. BM2 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

| Konum | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|-------|-------------|-------------------|
| Giriş | 36,37       | -                 |
| Çıkış | 0           | -                 |
| Model | 3,39        | 32,98             |

### 3.2.1.5. Model BM1 ve BM2'nin Performans Karşılaştırması

Tek yönlü rüzgar kulesi ve iki yönlü rüzgar kulesi bağlantısı bulunan iç mekanın farklı bölgelerindeki (Tablo 3.1'e göre) ortalama hızlar Şekil 3.9'de karşılaştırılmaktadır. İki yönlü rüzgar kulesi ile bağlantısı olan mekanın tüm bölgelerindeki hava hızlarının, tek yönlü rüzgar kulesi ile bağlantısı olan mekan modelindeki hızlardan daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. İki yönlü rüzgar kulesi bulunan modeldeki daha hızlı hava hareketinin, hesaplanan önemli basınç farkından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. BM1 ve BM2 içindeki basınç farkı sırasıyla 10,34 Pa ve 32,98 Pa'dır.

Bununla birlikte, Ağustos ayı sıcaklığı göz önüne alındığında hava hızının 0,5 m/s'den daha fazla olmaması gerekmektedir. Tek taraflı rüzgar kulesinin kullanılması, iç mekandaki oturma pozisyonundaki kullanıcılara çok taraflı modelden daha fazla konfor getirmektedir. BM2 için PPD yüzdesi 35 olup BM1'den daha yüksektir. Bu durumda, oturma pozisyonundaki daha fazla kullanıcı kendisini rahatsız hissetmektedir.



Şekil 3.9. İç mekanın farklı bölgelerindeki ortalama hız değerleri (m/s)

### 3.2.2. Rüzgar Kulelerindeki Yüksekliğin Etkisi

Rüzgar kulesi yüksekliğin etkisini incelemek için MH1 ve MH5 modeli simüle edilmiştir. Yüksekliğin etkisi temel rüzgar kulesi (BM1) ile elde edilen değerlerle karşılaştırmalar yapılarak gerçekleştirilmiştir.

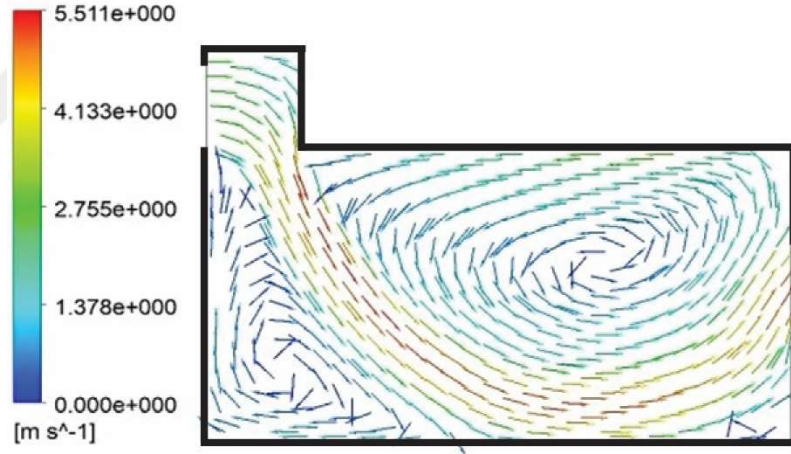
#### 3.2.2.1. MH1 İçin Hız Analizi

Şekil 3.10, MH1 modeli içindeki hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımlarını göstermektedir. Kuleye girişteki hava hızı 2,81m/s'dir. Hava akımı kuleye girdikten sonra aşağı doğru hareket etmekte ve en yüksek 5,51 m/s hızıyla iç mekana girerken daha da hızlanmaktadır. Ana akım diyagonal olarak taban seviyesine ve iç mekanın sağ tarafına doğru hareket etmektedir (Şekil 3.11). Ana akım zemine ulaştığında, asgari bir kısmı rüzgar kulesinin altında dolaşım yapmaktadır. Devirdaim bölgesinin boyutu ise oldukça büyüktür. Ayrıca, o bölgede hava durgunluk alanları ortaya çıkmakta ve hava hızı en düşük değerine ulaşmaktadır (0 m/s). Diğer taraftan ana akım, zemine yakın alandan akmaya devam etmektedir. Daha sonra iç mekan alanından çıkmadan önce pencereye doğru yön değiştirmektedir. Pencereden çıkan ortalama hava hızı 4,84 m/s'dir. Hız vektörü

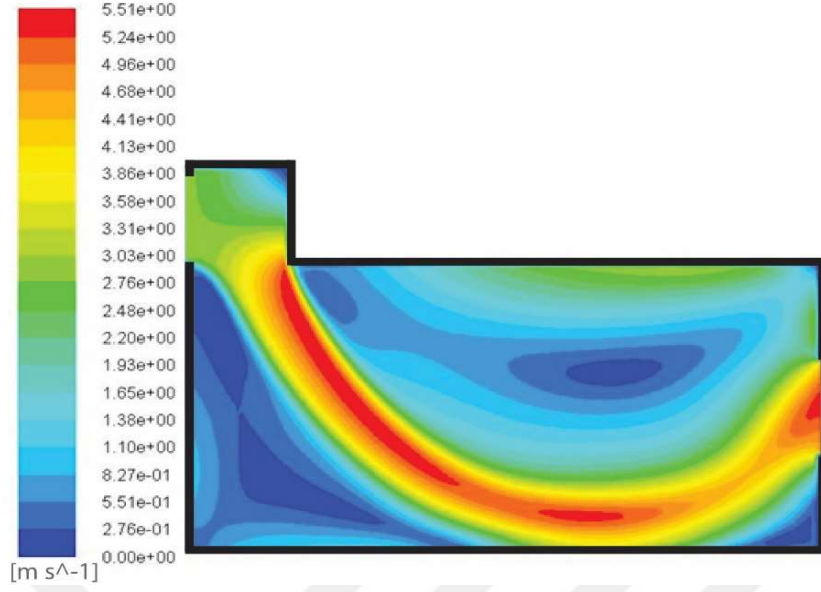


dağılımı, ikincil bir akışın ana akımdan pencerenin yakınında ayrıldığını göstermektedir (Şekil 3.10). Yön değiştiren bu akım iç mekanın orta bölgesinde geniş bir devirdaim akış bölgesi oluşturmaktadır.

İç mekan alanında hesaplanan ortalama hız 1,95 m/s'dir. Bu bağlamda Trabzon'da Ağustos ayı sıcaklıklarında kullanıcılar kendilerini mekanda biraz serin olarak hissetmektedir. Tablo 3.1'deki Bölge 2 ve 3'te hesaplanan ortalama hız 2,02 m/s'dir. Bu değerler dikkate alındığında kullanıcılar baş ve göğüs bölgesinde hafif bir esinti hissetmektedir (Beaufort no. 3). Oturma pozisyonundaki kullanıcılar için baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız 2,29 m/s'dir. Bu durum oturma pozisyonundaki kullanıcılar tarafından hafif bir esinti olarak hissedilmektedir. Çalışmanın termal koşulları dikkate alındığında 2,29 m/s'lik hava hızı, oturma pozisyonundaki kullanıcılar için biraz serin hissedilmektedir.



Şekil 3.10. MH1 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)

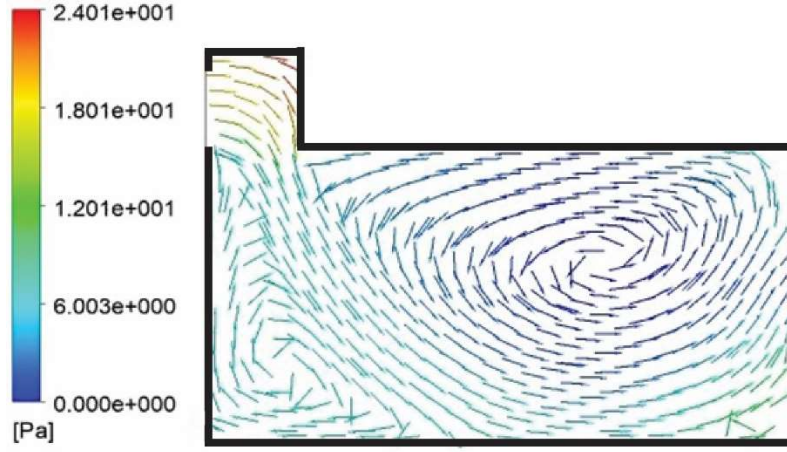


Şekil 3.11. MH1 modelindeki hız dağılımı (m/s)

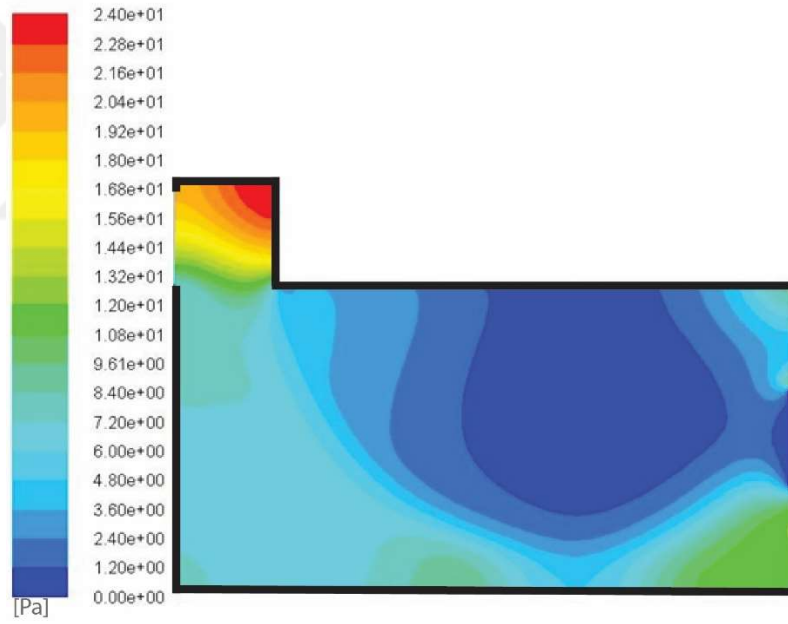
### 3.2.2.1. MH1 İçin Basınç Analizi

MH1 modelinde meydana gelen basınç farklılıkları, Şekil 3.12 ve 3.13’de gösterilmektedir. Rüzgar kulesinin hava giriş bölgesinde yüksek basınç oluşmaktadır. Kule içindeki basınç 24,01 Pa ile en yüksek değerine ulaşmaktadır. Hava akışı aşağı doğru hareket ettikçe basınç kademeli olarak düşmektedir. Basınç iç mekanda daha da azalmaktadır. Mekan içindeki ve pencere bölgesindeki basınç 0 Pa ile en düşük değerine ulaşmaktadır. Özellikle iç mekanın orta bölgesinde ve pencerede düşük değerlere sahip olmaktadır. Basınç değerlerini de gösteren renkli hız vektörlerinin dağılımı Şekil 3.12’de yer almaktadır. Şekil 3.12 düşük basınç bölgesinin hava devirdaim bölgesine karşılık geldiğini göstermektedir.

MH1 modelinde, hava akımı girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.4’te gösterilmiştir. Hava akımı girişindeki basınç ve akış alanı içindeki (modeldeki) ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 10,96 Pa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.12. MH1 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)



Şekil 3.13. MH1 modelinde basınç dağılımı (Pa)

Tablo 3.4. MD1 modelinde farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

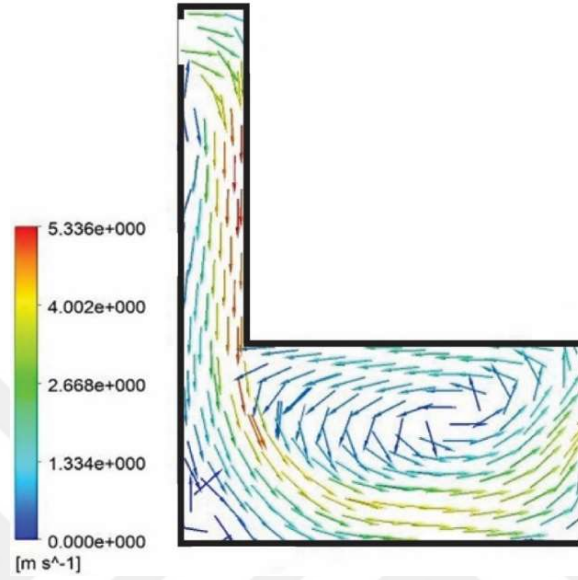
| Konum | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|-------|-------------|-------------------|
| Giriş | 15,69Pa     | -                 |
| Çıkış | 0           | -                 |
| Model | 4,73        | 10,96             |

### 3.2.2.2. MH5 İçin Hız Analizi

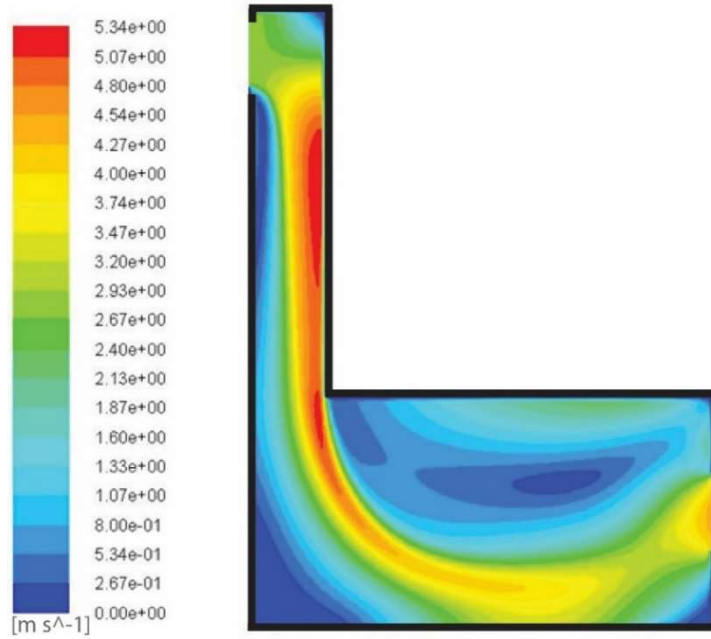
Şekil 3.14 ise model boyunca hız vektörlerini göstererek hava akım yönünü belirtmektedir. Model simülasyonundan elde edilen hız dağılımı Şekil 3.15’de yer almaktadır. Hava akımı, rüzgar kulesinin içine girdikten sonra iç duvarına çarpmakta ve rüzgar kulesi girişinin altında bir rüzgar gölgesi oluşmaktadır. Ardından hava akımı aşağı doğru ilerlemekte ve 5.34 m/ s’lik modeldeki en yüksek hava hızına ulaşmaktadır. Kulenin sonunda hava akımı biraz yavaşlamakta ve iç mekana girerken hava akımı tekrar hızlanmaktadır. Ardından, iç mekanda hava akımı hızı kademeli olarak azalmaktadır. Ana hava akımının küçük bir bölümü rüzgar kulesinin altında, mekanın köşesinde düşük hızla dönmektedir (Şekil 3.14). Köşede hava hızı 0 m/s ile en düşük değerine ulaşmaktadır. İç mekandaki ana akım zemin düzleminden pencereye doğru hareket ettikten sonra pencerenin yanında yönünü değiştirmektedir. Penceredeki ana akım, odadaki ortalamadan daha yüksek hıza sahip olup 4,15 m/s’ye ulaşmaktadır. Bunun yanı sıra, ikincil akış hücreleri iç mekanın orta bölgesinde devirdaim akış bölgesi oluşturmaktadır.

İç mekan alanında hesaplanan ortalama hız 1,79 m/s’dir. Bu bağlamda Trabzon’da Ağustos ayı sıcaklıklarında kullanıcılar kendilerini mekanda biraz serin olarak hissetmektedir. Tablo 3.1’deki Bölge 2 ve 3’te hesaplanan ortalama hız 1,84 m/s’dir. Bu hızlar, kullanıcıların baş bölgesinde ve göğüs bölgesinde hafif bir esinti olarak hissedilmektedir (Beaufort no.3). Oturma pozisyonundaki kullanıcılar için baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız 2,17 m/s’dir. Bu durum oturma pozisyonundaki kullanıcılar tarafından hafif bir esinti olarak hissedilmektedir. Çalışmanın termal koşulları dikkate

alındığında 2,17 m/s'lik hava hızı, oturma pozisyonundaki kullanıcılar için biraz serin hissedilmektedir.



Şekil 3.14. MH5 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)

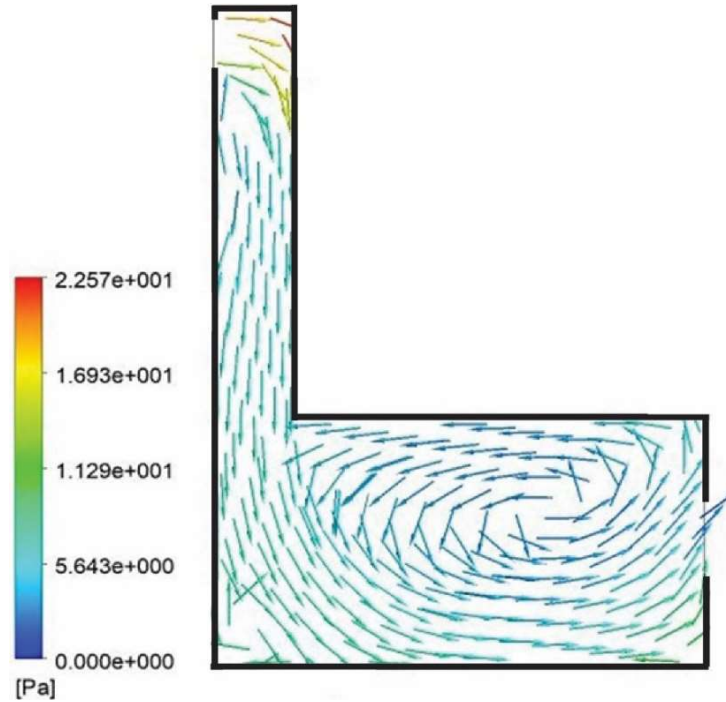


Şekil 3.15. MH5 modelindeki hız dağılımı (m/s)

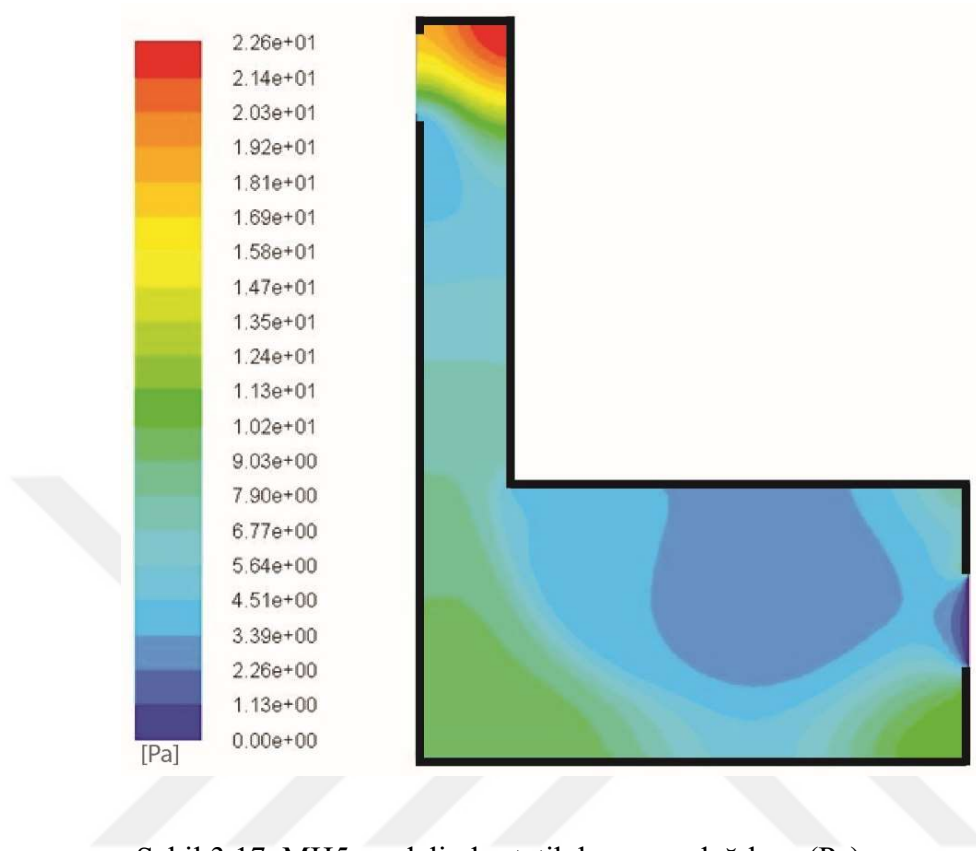
### 3.2.2.3. MH5 İçin Basınç Analizi

MH5 modeli içindeki basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları Şekil 3.16'da yer almaktadır. Şekil 3.17 ise MH5 modeli içindeki statik basınç dağılımını göstermektedir. Şekil 3.16'ya göre rüzgar kulesindeki başlığın altındaki bölgede basınç 22,57 Pa ile model içerisinde en yüksek değere ulaşmaktadır. Şekil 3.16'daki vektör hız dağılımında da görüldüğü gibi, akış kulenin içinden aşağıya doğru ilerledikçe basınç düşmektedir. İç mekandaki basınç ortalaması 5,46 Pa düzeyindedir. Şekil 3.17, iç mekanda geniş bir düşük basınç bölgesi olduğunu göstermektedir. Bu bölge akış devirdaim bölgesine karşılık gelmektedir. Ayrıca, akımın emme etkisi penceredeki en düşük basıncın 0 Pa değeri ile mekandan çıkmasına neden olmaktadır.

MH5 modelinde yer alan hava akımı girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Rüzgar kulesi açıklık girişindeki basınç ve akış alanı içindeki (modeldeki) ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 7,78 Pa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.16. MH5 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)



Şekil 3.17. MH5 modelinde statik basıncın dağılımı (Pa)

Tablo 3.5. MH5 modelinde farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

| Konum | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|-------|-------------|-------------------|
| Giriş | 13.86       | -                 |
| Çıkış | 0           | -                 |
| Model | 6.08        | 7.78              |

### 3.2.2.5. Farklı Yüksekliklerdeki Rüzgar Kulelerinin Performanslarının Karşılaştırılması

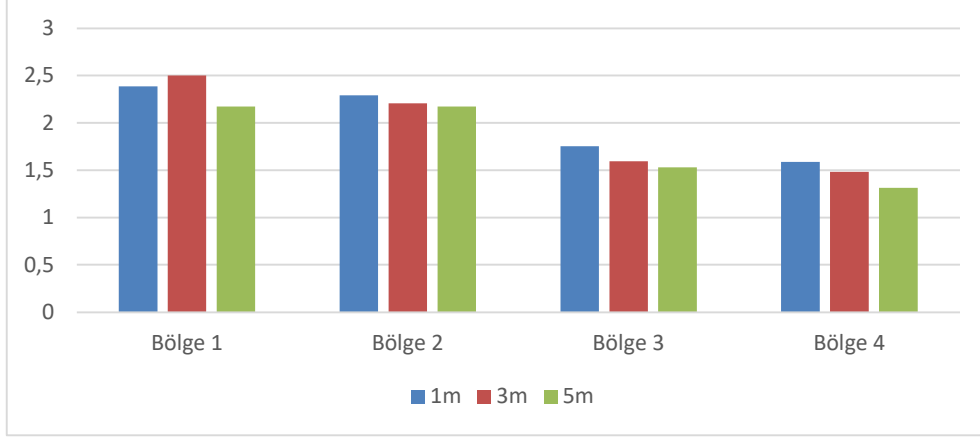
Farklı yüksekliklere sahip olan rüzgar kulelerinin her bir durumu için modellerde hesaplanan basınç farkı ve ortalama hız değerleri Tablo 3.6’de yer almaktadır. Tablo 3.6, modellerin içindeki basınç farklarının kulenin yükseklik artışı ile azaldığını göstermektedir. Benzer şekilde, iç mekandaki ortalama hız değerleri de rüzgar kulesinin yüksekliğinin artışı ile azalmaktadır.

Tablo 3.6. Farklı yükseklikteki rüzgar kulesi modellerinde basınç farklarının ve ortalama hızların karşılaştırılması

| Modelin Kimliği | Kule Yüksekliği (m) | Basınç Farkı (Pa) | İç Mekandaki Ortalama Hız (m/s) |
|-----------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|
| MH1             | 1                   | 10,96             | 1,95                            |
| BM1             | 3                   | 10,34             | 1,90                            |
| MH5             | 5                   | 7,78              | 1,72                            |

Şekil 3.18’de, farklı yükseklikteki her bir model için iç mekandaki farklı bölgelerde (Tablo 3.1) ortalama hava hızları karşılaştırılmıştır. Tüm bölgeler için, 5 m yüksekliğe sahip rüzgar kulesinde hız en düşük düzeyde elde edilmiştir. Bölge 2’de, 3 ve 5 m yüksekliğindeki rüzgar kuleleri için ortalama hız değerleri yakın olarak elde edilmiştir. Bu nedenle, 3m ve 5m yüksekliğe sahip rüzgar kulesi yakın termal konfor seviyelerine sahiptir.





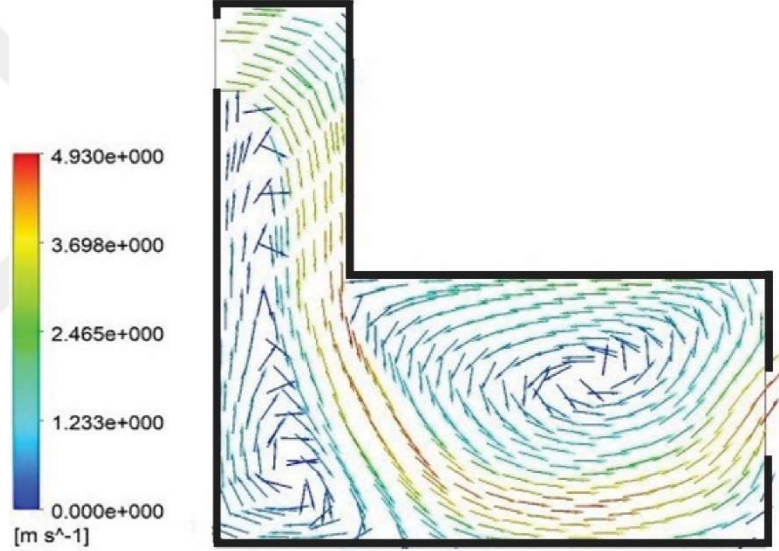
Şekil 3.18. Farklı yüksekliklere sahip rüzgar kulelerine bağlı olarak iç mekanın farklı bölgelerindeki ortalama hız değerleri (m/s)

### 3.2.3. Rüzgar Kulelerinin Genişliklerinin Etkisi

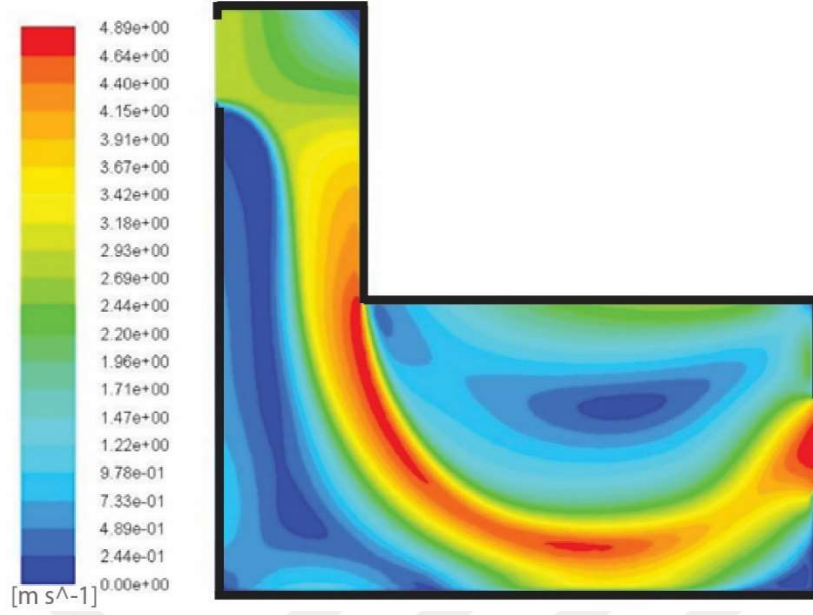
#### 3.2.3.1. MW 1.5 İçin Hız Analizi

Şekil 3.19, model içindeki hız vektör dağılımını göstermektedir. Şekil 3.20’de ise, modeldeki hız büyüklüğü dağılımı gösterilmektedir. Rüzgar kulesinden rüzgar giriş hızı 2,81 m/s’dir. Hava akımı, rüzgar kulesi açıklığına karşı duvar tarafına doğru hareket etmektedir. Bu nedenle, açıklığın altında hava durgunluk bölgesi oluşmaktadır. Hava akımı, aşağı doğru hareket ettikçe kademeli olarak hızlanmaktadır. Rüzgar kulesi duvarının sonunda hız 4,93 m/s ile en yüksek değere ulaşmaktadır. İç mekandaki hava akımı, taban seviyesine ve iç mekanın sağ tarafına doğru hareket etmektedir. Hız vektörü dağılımı, ana akımın bir kısmının zemin seviyesinde ters yöne saptığını göstermektedir. Buradaki devirdaim bölgesinde düşük hızda bir akış oluşmaktadır. En düşük hava hızı değeri 0 m/s’dir. Diğer taraftan, ana akım zemine yakın olarak yoluna devam etmekte ve pencereye yakın alanda pencereye doğru yön değiştirmektedir. Pencerede ana akımın büyük bir kısmı iç mekan alanından yüksek hızla çıkmaktadır. Pencereden çıkan ortalama hava hızı 4,54 m/s’dir. Diğer taraftan, iç mekanın orta bölgesinde, ikincil akış hücreleri geniş bir devridaim bölgesi oluşturmaktadır.

İç mekan alanında hesaplanan ortalama hız 1,85 m/s'dir. Bu bağlamda Trabzon'da Ağustos ayı sıcaklıklarında kullanıcılar kendilerini mekanda biraz serin olarak hissedeceklerdir. Tablo 3.1'deki Bölge 2 ve 3'te hesaplanan ortalama hava hızı 1,89 m/s'dir. Buna göre, oturma ve ayakta durma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgesinde meydana gelen hızlar onlara hafif bir esinti sağlanmaktadır. Oturma pozisyonundaki kullanıcılar için baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız 2,15 m/s'dir. Bu durum oturma pozisyonundaki kullanıcılar tarafından hafif bir esinti olarak hissedilmektedir. Çalışmanın termal koşulları dikkate alındığında 2,15 m/s'lik hava hızı, oturma pozisyonundaki kullanıcılar için biraz serin hissedilmektedir.



Şekil 3.19. MW1.5 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)

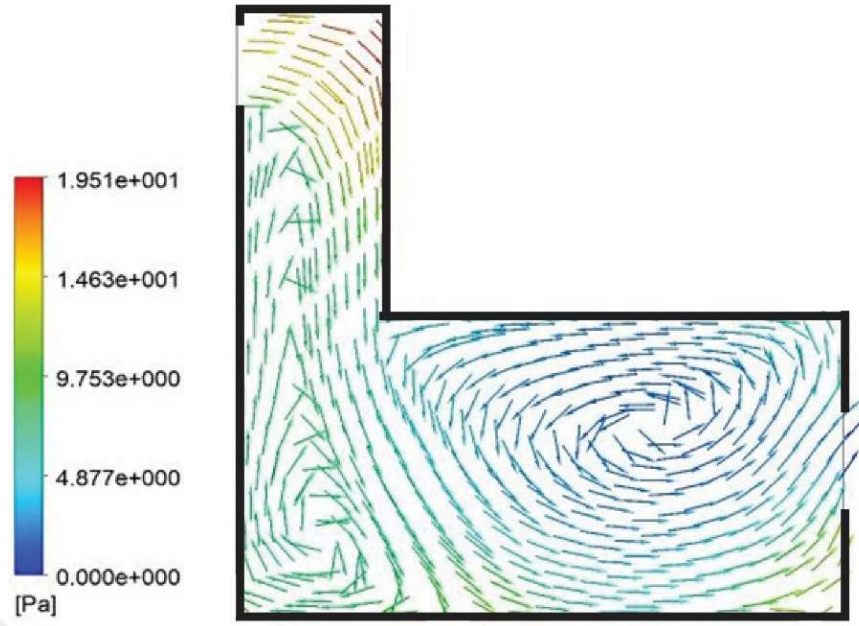


Şekil 3.20. MW1.5 modelinde kontur hızı büyüklükleri (m/s)

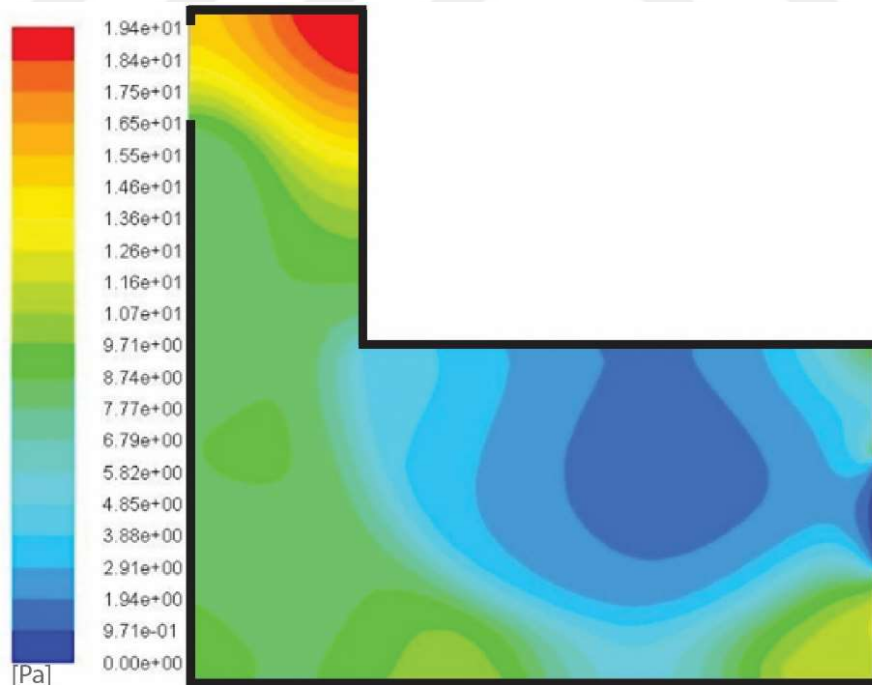
### 3.2.3.2. MW 1.5 İçin Basınç Analiz

Basınç değerlerini de gösteren renkli hız vektörleri dağılımı Şekil 3.21’de yer almaktadır. Şekil 3.22 ise, 1,5 m genişliğindeki rüzgar kulesine sahip modeldeki basınç değeri dağılımlarını göstermektedir. Önceki modellerde olduğu gibi, rüzgar kulesindeki hava giriş seviyesinde yüksek bir basınç bölgesi meydana gelmektedir. Burada, basınç 19.51 Pa ile en yüksek değerine ulaşmaktadır. Rüzgar kulesinin alt kısmına doğru ve iç mekanlarda basınç kademeli olarak düşmektedir. İç mekanın sağ tarafındaki bölgede basınç daha da düşmektedir. Akışın devirdaim bölgesinin düşük basınçlı alanında gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 3.21). Hava akışının iç mekandan çıktığı pencere bölgesindeki basınç 0 Pa ile en düşük değere ulaşmaktadır.

MW1.5 modelinde rüzgar kulesi girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.7’te gösterilmiştir. Hava akımı girişindeki basınç ve akış alanı içindeki (modeldeki) ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 6,49 Pa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.21. MW1.5 modelinde basınç değerlerinin de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)



Şekil 3.22. MW1.5 modelindeki basınç dağılımı (Pa)

Tablo 3.7. MW1.5 modelinde farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

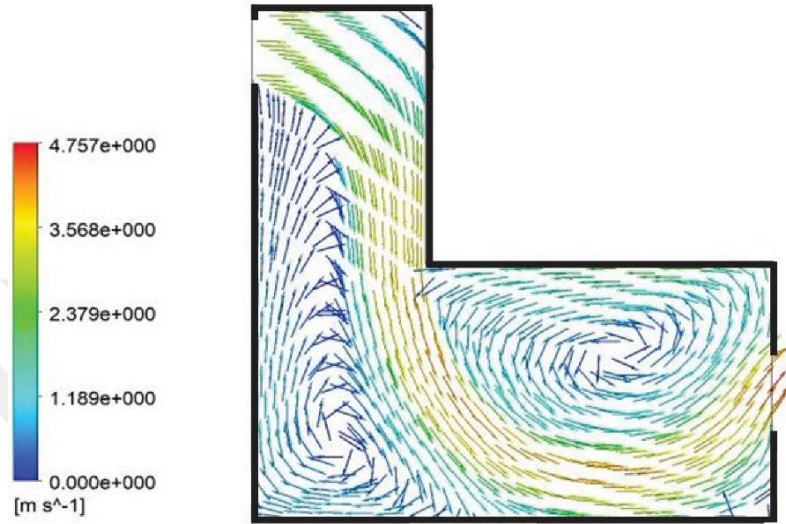
| Konum | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|-------|-------------|-------------------|
| Giriş | 13,08       | -                 |
| Çıkış | 0           | -                 |
| Model | 6,59        | 6,49              |

### 3.2.3.3. MW2 İçin Hız Analizi

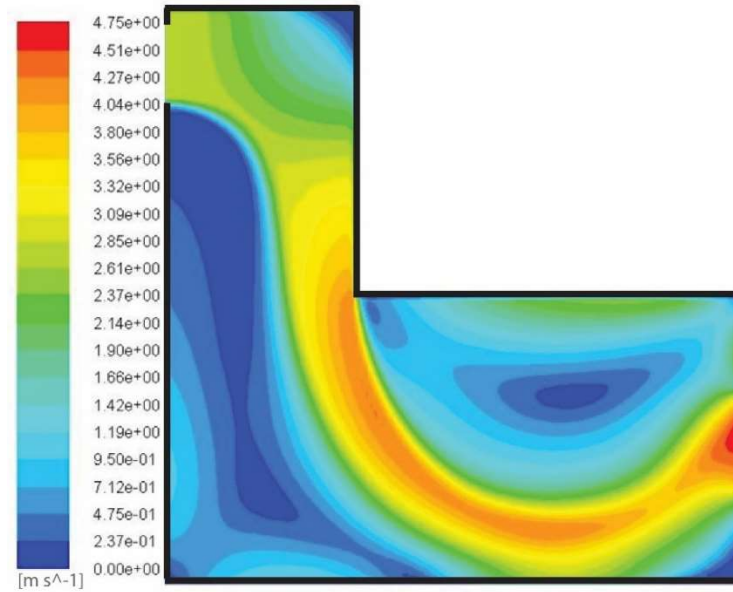
Aynı sınır şartları ile yapılan uygulama sonucu elde edilen değerler Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de yer almaktadır. Şekil 3.23, 2 m genişliğindeki rüzgar kulesine sahip modeldeki hız vektör dağılımını göstermektedir. Şekil 3.24’de, modeldeki hız dağılımı gösterilmektedir. Rüzgar kulesi girişinde uygulanan başlangıç hızı 2.81 m/s’dir. Hava akımı, hava girişinin altında önemli bir durgunluk bölgesi bırakmakta ve karşı duvar bölgesine yönelmektedir. Durgunluk bölgesinde hava hızı 0 m/s ile en düşük değere ulaşmaktadır. Bundan sonra, hava akımı aşağı doğru hareket ettikçe kademeli olarak hızlanmaktadır. Ana akım diyagonal olarak taban seviyesine ve iç mekanın sağ tarafına doğru hareket etmektedir. Hız vektörü dağılımı, ana akımın asgari bir kısmının zemin seviyesinde saptığını göstermektedir. Burada düşük hızda geniş bir devirdaim akış bölgesi oluşmaktadır. Diğer taraftan, ana akım zemine yakın hareketine devam etmekte, pencereye yakın alanda pencereye doğru yön değiştirmektedir ve pencereden etkili bir şekilde çıkmaktadır. Model içindeki en yüksek hız 4,75 m/s ile pencere bölgesinde oluşmaktadır. Ancak hava akımı 4,39 m/s ortalama hızda çıkış yapmaktadır. İç mekanın orta bölgesinde, ikincil akış hücreleri geniş bir devirdaim bölgesi oluşturmaktadır.

İç mekan alanında hesaplanan ortalama hız 1,62 m/s’dir. Bu bağlamda Trabzon’da Ağustos ayı sıcaklıklarında kullanıcılar kendilerini mekanda biraz serin olarak hissedeceklerdir. Tablo 3.1’deki Bölge 2 ve 3’te hesaplanan ortalama hız 1,84 m/s’dir. Bu değerler ile kullanıcılar oturma ve ayakta durma pozisyonlarında baş ve göğüs bölgesinde hafif bir esinti hissetmektedirler (Beaufort no.3). Oturma pozisyonundaki kullanıcılar için baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız 2,06 m/s’dir. Bu durum oturma pozisyonundaki

kullanıcılar tarafından hafif bir esinti olarak hissedilmektedir. Çalışmanın termal koşulları dikkate alındığında 2,06 m/s’lik hava hızı, oturma pozisyonundaki kullanıcılar için biraz serin olarak hissedilmektedir.



Şekil 3.23. MW2 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)



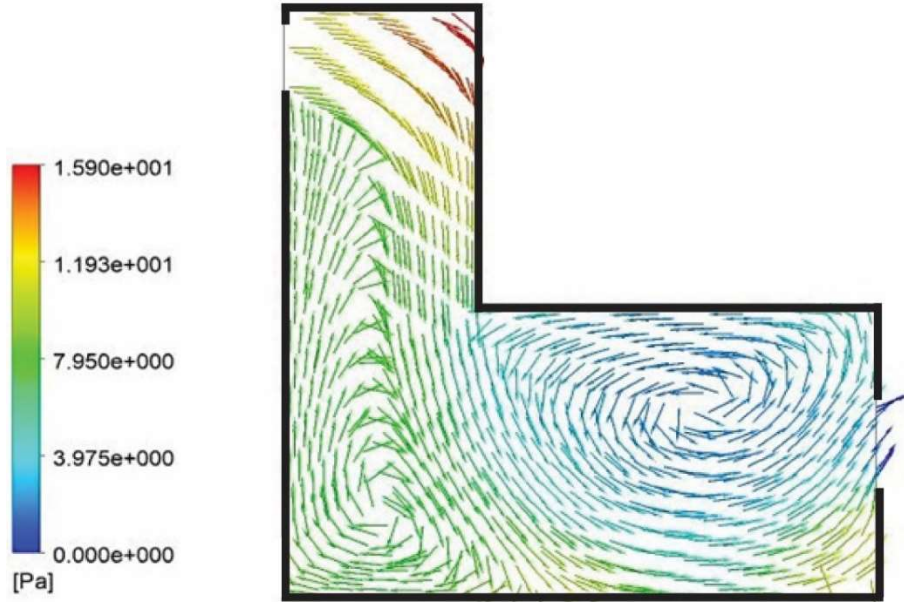
Şekil 3.24. MW2 modelinde kontur hızı büyüklükleri (m/s)



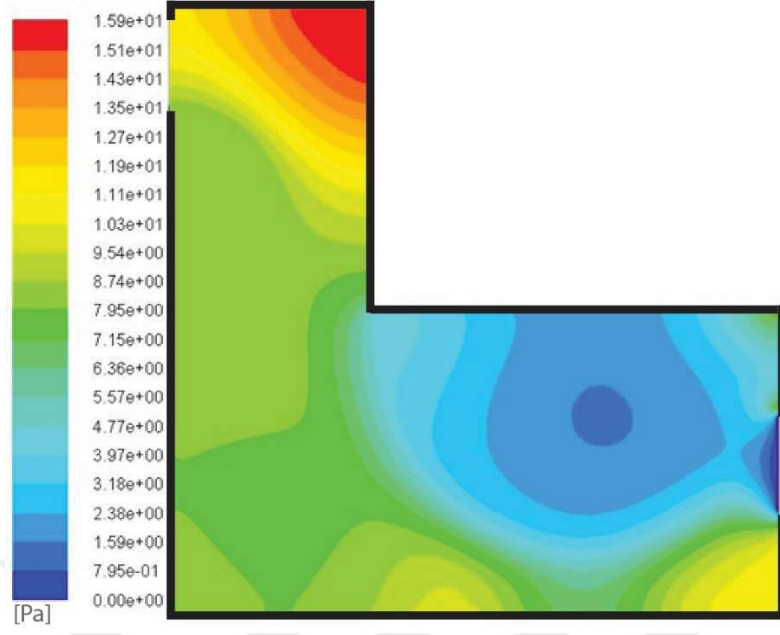
### 3.2.3.4. MW2 İçin Basınç Analizi

Şekil 3.25, 2 m genişliğindeki bir rüzgar kulesine sahip model içindeki renklendirilmiş hız vektörleriyle farklı basınç değerlerini göstermektedir. Şekil 3.26 ise, aynı modeldeki basınç dağılımını göstermektedir. Rüzgar kulesinin üst başlığının alt bölümünde 15,9 Pa olan en yüksek basınç bölgesi oluşmaktadır. Ancak, kanalın içine indikçe basınç düşmektedir. Rüzgar kulesindeki ortalama basınç 10,38 Pa değerindedir. İç mekandaki ortalama basınç ise 5,50 Pa olup bu değerden daha düşük düzeydedir. Şekil 3.25’de aynı zamanda iç mekanın ortasındaki düşük basınç bölgesinde meydana gelen devirdaim akış alanı da yer almaktadır. Buna ilave olarak, pencere bölgesinde 0 Pa ile en düşük basınç yer almaktadır. O düşük basınç, ana akımın mekandan emilmesini sağlamaktadır.

MW2 modeli hava akımı girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.8’te gösterilmiştir. Hava akımı girişindeki basınç ve modeldeki ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 3,86 Pa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.25. MW2 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)



Şekil 3.26. MW2'deki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri (Pa)

Tablo 3.8. MW2 modelinde farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

| Konum | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|-------|-------------|-------------------|
| Giriş | 10,59       | -                 |
| Çıkış | 0           | -                 |
| Model | 6,73Pa      | 3,86              |

### 3.2.3.5. Farklı Genişliklerdeki Rüzgar Kuleleri Performanslarının Karşılaştırılması

Tablo 3.9 farklı genişliklerdeki rüzgar kulelerine sahip modellerdeki basınç farklarını özetlemektedir. Ayrıca bu modellerdeki meydana gelen ortalama rüzgar hızları da gösterilmektedir. Modellerdeki basınç farkının, rüzgar kulesinin genişliğinin artışı ile azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde, iç mekandaki hava hızı ortalaması da rüzgar kulesinin genişliğinin artışı ile azalmaktadır.

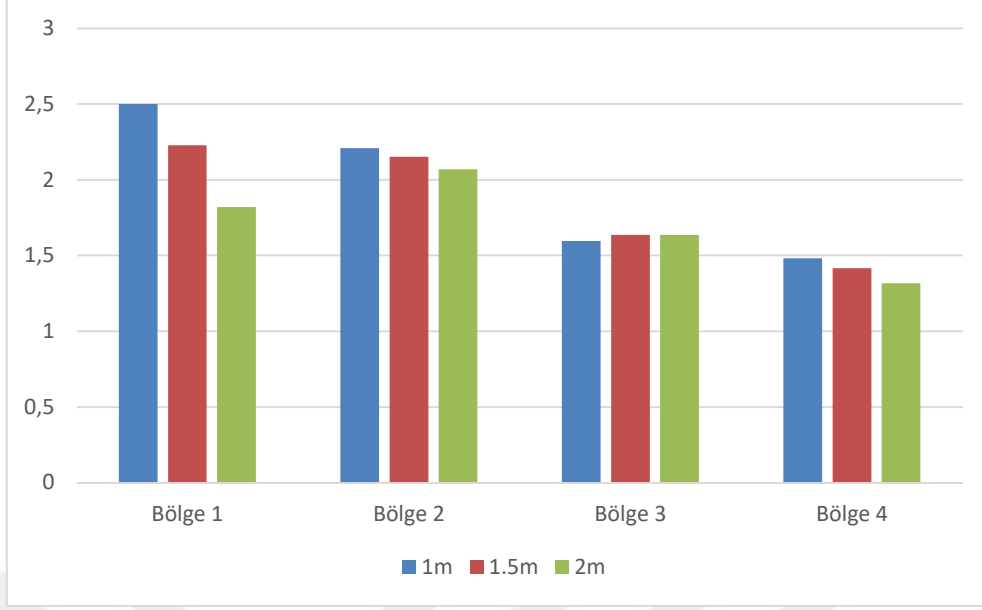


Şekil 3.27’de farklı genişlikteki her bir model için iç mekandaki ortalama hava hızları karşılaştırılmaktadır. Tablo 3.1’de yer alan Bölge 2’deki değerler, rüzgar kulesi genişliğinin daha büyük olduğu durumlarda, oturma pozisyonunda kullanıcıların baş ve göğüs bölgelerinde meydana gelen ortalama hava hızlarının azaldığını göstermektedir. Buna karşılık ayakta durma pozisyonunda olan kullanıcılar için baş bölgelerinde hissedilen ortalama hava hızı, rüzgar kulesi genişliğinin artışı ile hafifçe artmaktadır.

Bu bağlamda Trabzon’da Ağustos ayı sıcaklıklarında, daha geniş bir rüzgar kulesi mekanda oturan kullanıcılara daha fazla konfor sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, rüzgar kulesi büyüdükçe iç mekanın sol tarafındaki (rüzgar kulesinin alt bölgesinde) hava durgunluk alanı büyümektedir. Hava durgunluk alanı nedeniyle mekanda daha az düzgün havalandırma meydana gelmektedir.

Tablo 3.9. Farklı genişlikteki rüzgar kulesi modellerinde basınç farklarının ve ortalama hızlarının karşılaştırılması

| Modelin kimliği | Kule Genişliği (m) | Model İçindeki Basınç Farkı (Pa) | İç Mekandaki Ortalama Hız ( m / s) |
|-----------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| BM1             | 1                  | 10,34                            | 1,90                               |
| MW1.5           | 1,5                | 6,49                             | 1,85                               |
| MW2             | 2                  | 3,86                             | 1,62                               |



Şekil 3.27. Farklı genişliklere sahip rüzgar kulelerine bağlı olarak iç mekanın farklı bölgelerdeki (Tablo 3.1’deki) ortalama rüzgar hızı değerleri

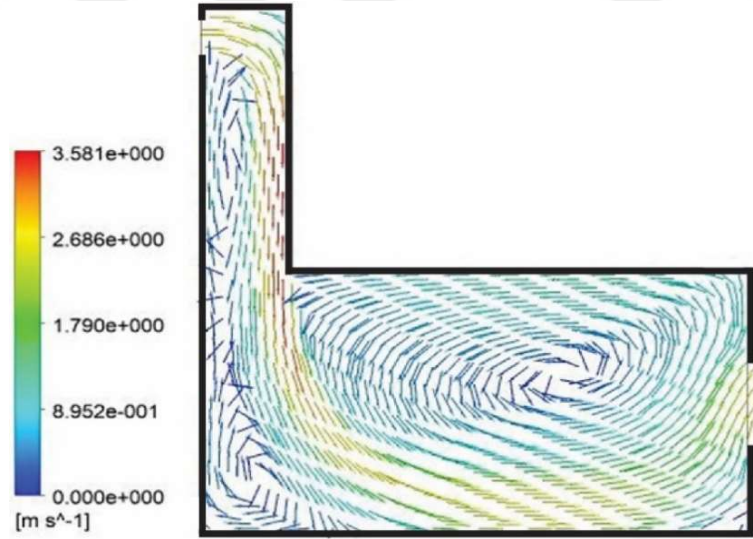
### 3.2.4. Rüzgar Kulelerinin Etkinliklerinde Açıklık Boyutlarının Etkisi

#### 3.2.4.1. MO 0.5 İçin Hız Analizi

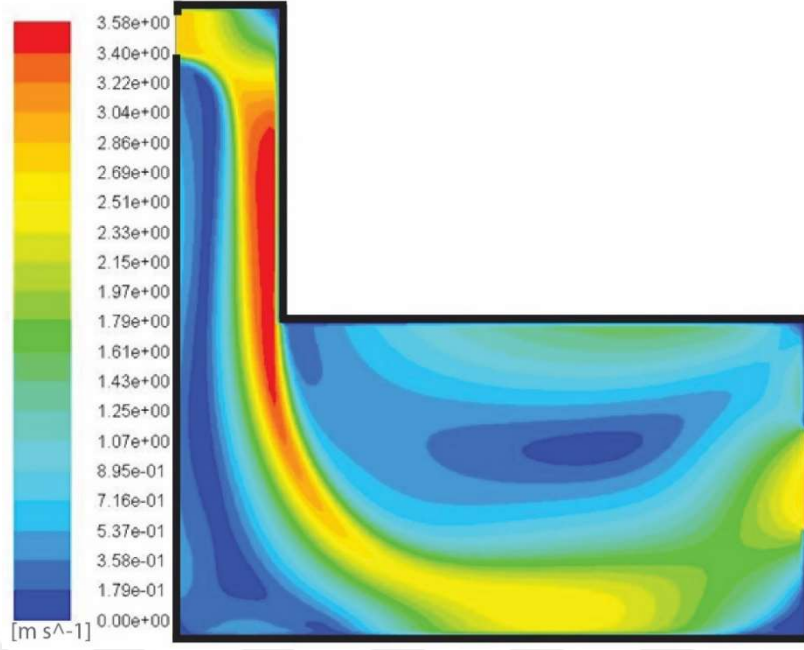
Bu bölümde analiz edilen MO 0.5 modeli BM1 temel modeli ile benzerlik göstermektedir. Ancak, rüzgar kulesi açıklığının yüksekliği 1 m’den 0,5 m’ye düşürülmüştür. Şekil 3.28’de MO 0.5 modeli içindeki hız vektörü dağılımı gösterilmektedir. Şekil 3.29 ise, hız dağılımını göstermektedir. Hava akımı modele rüzgar kulesi açıklığından girmektedir. Hava akımı rüzgar kulesinin sağ duvarı boyunca aşağı doğru hareket etmektedir. Rüzgar kulesi girişinin altında bir rüzgar gölgesi yer almaktadır. Rüzgar gölgesindeki rüzgar hızı en düşük 0 m/s değere sahiptir. Hava hızı, rüzgar kulesinden aşağı yönde gittikçe artmakta ve modelde 3,58 m/s en yüksek hıza ulaşmaktadır. Hava akımı iç mekana girdiğinde yön değiştirmekte ve yavaşlamaktadır. Şekil 3.28’deki hız vektörü dağılımı, rüzgar kulesi girişinin altına kadar devirdaim akış bölgesi oluştuğunu göstermektedir. Diğer taraftan, ana akım zeminin yanından ve zemine paralel olarak pencere tarafına doğru hareket etmektedir. Pencerenin yakınında akım yön değiştirmekte ve

pencereden 2,44 m/s ile çıkmaktadır. Şekil 3.29, akım mekandan çıkmadan önce ana akımın pencerenin yakınındaki hızlanmasını göstermektedir. İç mekanın üst ve orta kısmında, daha geniş bir akış devirdaim bölgesi meydana gelmektedir.

İç mekan alanında hesaplanan ortalama hız 1,07 m/s'dir. Düşük hız olmasına rağmen, Trabzon'da Ağustos ayı sıcaklıklarında iç mekanda oturma pozisyonundaki kullanıcıların çoğuna konfor sağlamak için yüksek bir değere sahiptir. Bu bağlamda kullanıcılar kendilerini mekanda biraz serin olarak hissetmektedirler. Tablo 3.1'deki Bölge 2 ve 3'te hesaplanan ortalama hız 1 m/s'dir. Bu değerler ile kullanıcılar oturma ve ayakta durma pozisyonlarında baş ve göğüs bölgesinde hafif hava hissetmektedirler (beaufort no.2). Oturma pozisyonundaki kullanıcılar için baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız 1,17 m/s'dir. Bu durum oturma pozisyonundaki kullanıcılar tarafından hafif bir esinti olarak hissedilmektedir (Beaufort no.3). Çalışmanın termal koşulları dikkate alındığında 2,06 m/s'lik hava hızı, oturma pozisyonundaki kullanıcılar için biraz serin olarak hissedilmektedir.



Şekil 3.28. MO 0.5 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)



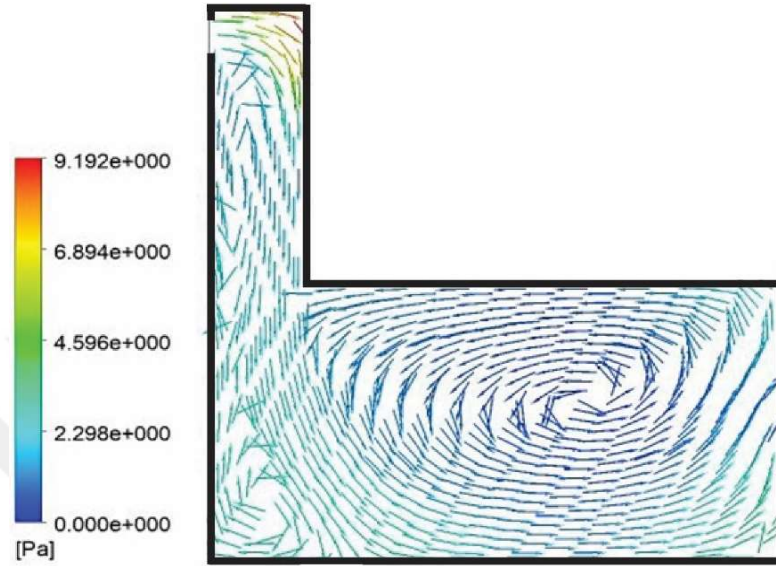
Şekil 3.29. MO 0.5 modelindeki hız dağılımı (m/s)

#### 3.2.4.2. MO 0.5 İçin Basınç Analizi

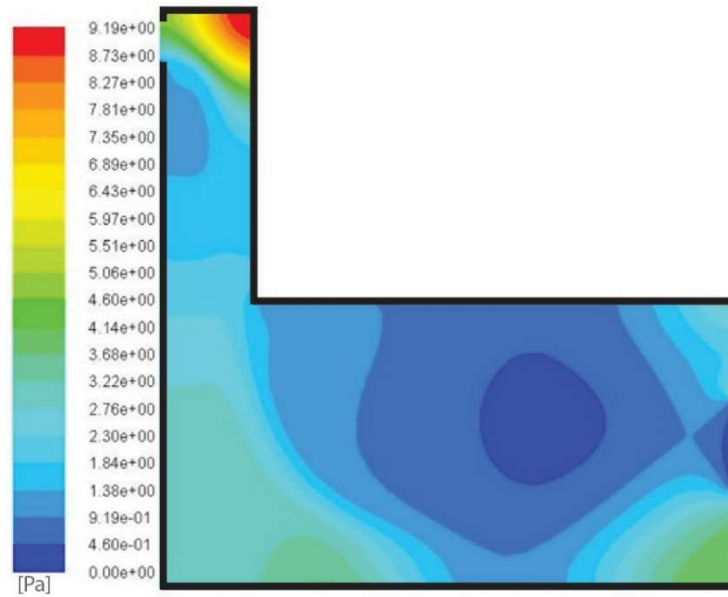
Şekil 3.30, MO 0.5 modeli içindeki renklendirilmiş hız vektörleriyle farklı basınç değerlerini göstermektedir. Şekil 3.31 ise, MO 0.5 modelindeki basınç dağılımını göstermektedir. Her iki şekilde de gösterildiği gibi, rüzgar kulesi üst başlığının altında yüksek basınçlı bölgeler meydana gelmektedir. Hava girişinin karşısındaki köşede en yüksek basınç değeri 9.19 Pa'ya ulaşmaktadır. Daha sonra kulenin içine doğru ilerledikçe basınç değerleri kademeli olarak azalmaktadır. Mekan içinde oluşan etki alanı düşük basınç bölgesi nedeniyle ortalama basınç değeri de daha düşüktür. Modelin içinde en düşük basınç değeri 0 Pa'dır. Mekan içinde ortalama basınç değeri ise 2,62 Pa'dır. Bu düşük basınç bölgesi, mekandaki merkez bölgede meydana gelmekte ve daha önce görülen devirdaim akış bölgesine karşılık gelmektedir. Hava akımının 0 Pa basıncının ayarlandığı pencereden çıktığı görülebilmektedir.

MO 0.5 modelinde yer alan hava akımı girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.10'te gösterilmiştir. Hava akımı girişindeki basınç ve akış alanı içindeki

(modeldeki) ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 1,13 Pa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.30. MO 0.5 modelinde basınç değerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)



Şekil 3.31. MO 0.5 modelindeki basınç dağılımı (Pa)

Tablo 3.10. MO 0.5 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

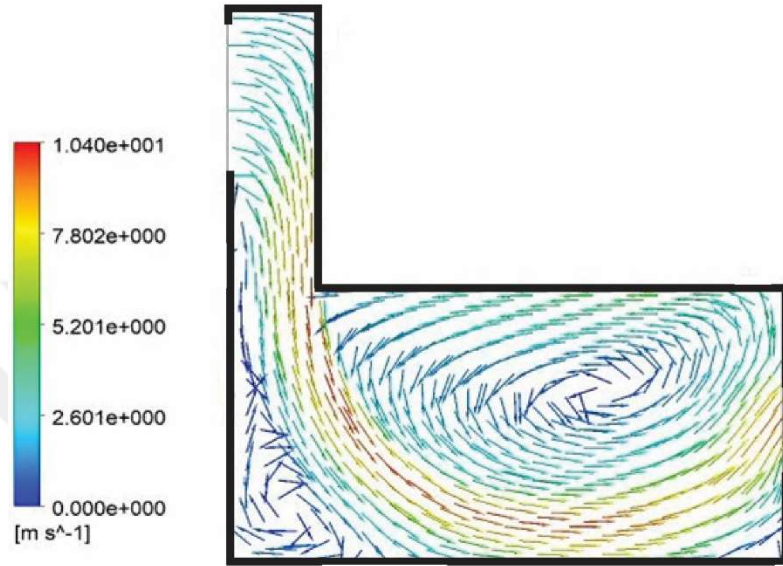
| Konum | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|-------|-------------|-------------------|
| Giriş | 3.75        | -                 |
| Çıkış | 0           | -                 |
| Model | 2.62        | 1.13              |

### 3.2.4.3. MO2 İçin Hız Analizi

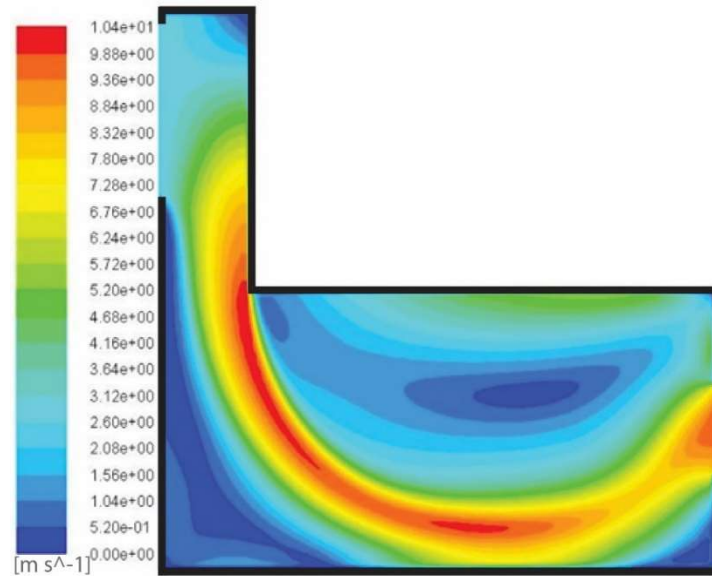
Daha önce analiz edilen modellerden farklı olarak, bu model 2 m'lik açıklığa sahiptir. Bu modeldeki hız vektörü dağılımı Şekil 3.32'de, hız büyüklüğü dağılımı ise Şekil 33'de yer almaktadır. Açıklık değerindeki artış kulenin içindeki hava hızının da artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, rüzgar kulesinin hava girişinde neredeyse hiç rüzgar gölgesi oluşmamaktadır. Kule içinde hava akımı aşağı doğru hareket ettikçe kademeli olarak hızlanmaktadır. Rüzgar kulesinde ortalama hız 4,40 m/s'ye ulaşmaktadır. Bacadan gelen hava akımı, mekana en yüksek 10,4 m/s hız ile girmektedir. Mekana giren hava akımının düşük bir kısmı rüzgar kulesinin altındaki mekanın köşesinde ve mekan duvarına yakın alanda devirdaim oluşturmaktadır. Bu bölgelerde, hava hızı 0 m/s ile en düşük değere sahiptir. Mekana giren hava akımının büyük bir kısmı (ana akım) ise zeminin yanından ve zemine paralel olarak pencere tarafına doğru hareket etmektedir. Akım pencerenin yanında yön değiştirmekte ve 9,02 m/s ortalama hava hızı ile bir kısmı pencereden çıkmaktadır. Diğer kısmı ise mekanın merkezi alanında bir akış devirdaim bölgesi oluşturmaktadır.

İç mekan alanında hesaplanan ortalama hız 3,81 m/s'dir. Bu hızın çok yüksek olması nedeniyle mekanda konfor koşulu sağlanamamaktadır. Tablo 3.1'deki Bölge 2 ve 3'te hesaplanan ortalama hız 3,77 m/s'dir. Bu değerler ile kullanıcılar oturma ve ayakta durma pozisyonlarında baş ve göğüs bölgesinde hafif bir esinti hissetmektedirler (Beaufort no. 4). Oturma pozisyonundaki kullanıcılar için baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız 4,38 m/s'dir. Bu durum oturma pozisyonundaki kullanıcılar tarafından ılımlı bir esinti olarak

hissedilmektedirler. Belirtilen bu hızlar sınıfta sıralar üzerinde bulunan kağıtları yükseltebilmektedir. Bu durumda, Trabzon’da Ağustos ayı sıcaklıklarında konfor koşulu sağlanamamaktadır.



Şekil 3.32. MO2 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)



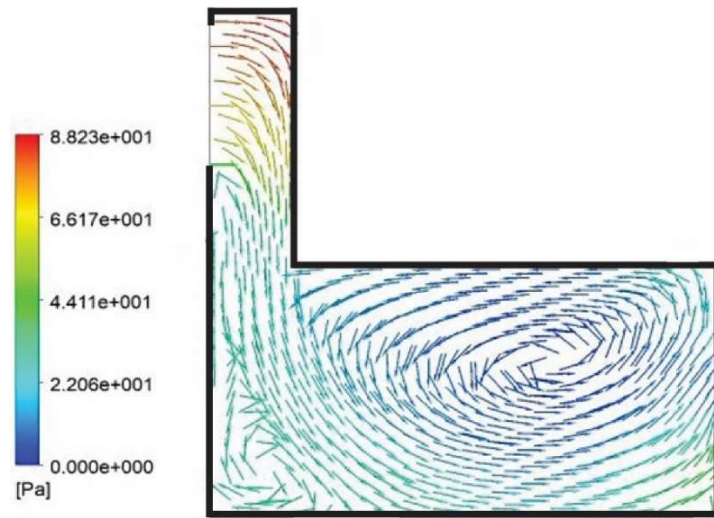
Şekil 3.33. MO2 modelindeki hız dağılımları (m/s)



### 3.2.4.4. MO2 İçin Basınç Analizi

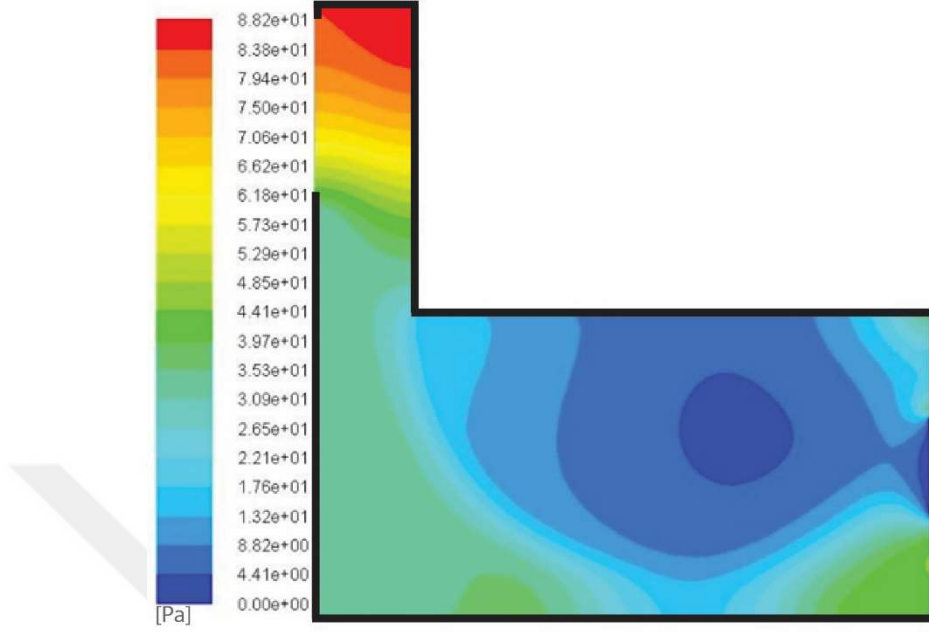
Şekil 3.34, MO2 modeli içinde meydana gelen basıncı hız vektörleriyle birlikte göstermektedir. Şekil 3.35 ise aynı modeldeki basınç dağılımını göstermektedir. Rüzgar kulesinin üst başlığının altında geniş bir yüksek basınç bölgesi oluşmaktadır. Buradaki en yüksek basınç değeri 88,2 Pa'ya ulaşmaktadır. Hava akımı kuleden aşağıya doğru indikçe basınç değerleri kademeli olarak azalmaktadır. Kademeli olarak azalan basınç değerleri mekanın merkezi bölgesinde etkili bir alçak basınç bölgesi oluşturmaktadır. Şekil 3.34'de bu düşük basınç bölgesinde meydana gelen devirdaim akış bölgesi hız vektörleri ile gösterilmektedir. Pencere bölgesindeki basınç 0 Pa ile en düşük değere sahiptir. Ayrıca, penceredeki düşük basınç değeri, akımın emme etkisiyle mekandan çıkmasına neden olmaktadır.

MO2 modelinde yer alan hava akımı girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.11'te gösterilmiştir. Hava akımı girişindeki basınç ve model içindeki ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 9,11 Pa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.34. MO2 modelinde basınç değerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)





Şekil 3.35. MO2 modelindeki basınç dağılımı (Pa)

Tablo 3.11. MO2 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

| Konum | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|-------|-------------|-------------------|
| Giriş | 67,54       | -                 |
| Çıkış | 0           | -                 |
| Model | 58,43       | 9,11              |

#### 3.2.4.5. Farklı Açıklık Boyutlarına Sahip Rüzgar Kulesi Performanslarının Karşılaştırılması

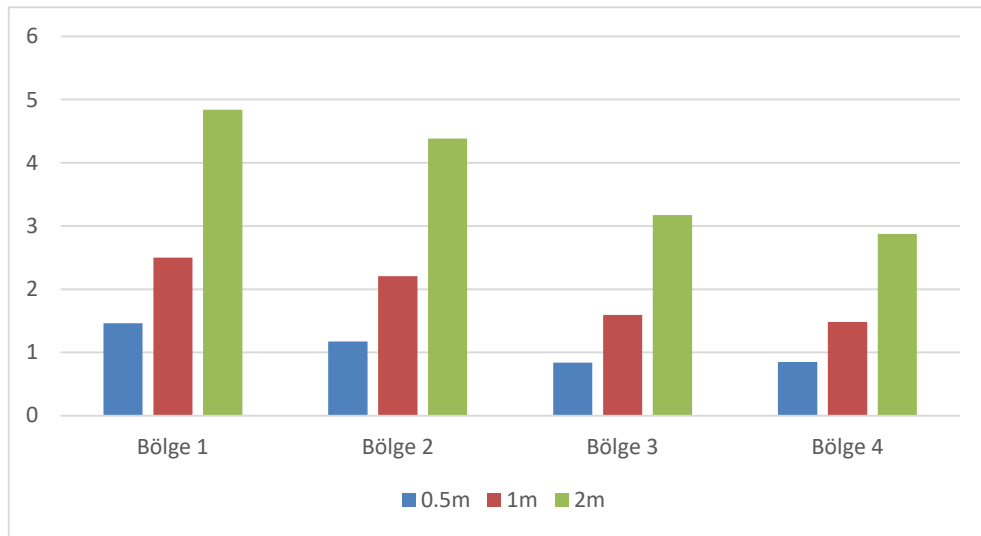
Tablo 3.12, farklı açıklık boyutlarına sahip rüzgar kulelerinin modellerinde hesaplanan basınç farklarını ve ortalama hız büyüklüklerini özetlemektedir. Giriş açıklık ölçüsünün 0,5 m'ye düşürülmesiyle basınç farkı 1,13 Pa'ya düşmektedir. Küçük açıklıklı

rüzgar kulesi, mekan alanında daha düşük hava hızı oluşmasına neden olmaktadır. Rüzgar kulesinin açıklık yüksekliğinin artışı ise, mekanlarda yüksek basınç farkı ve daha yüksek ortalama hız oluşmasına neden olmaktadır.

Şekil 3.36’da, farklı rüzgar kulesi açıklık boyutlarına sahip her bir model için mekandaki elde edilen ortalama hava akış hızları yer almaktadır. Mekandaki dört bölge için (Tablo 3.1’de), açıklık boyutu en küçük rüzgar kulesi en düşük değerde hava hızı sağlamaktadır. Trabzon’da Ağustos ayı sıcaklıklarında, olumsuz konfor koşullarının en aza indirilmesi için rüzgar kulesinin açıklık boyutu en düşük düzeyde olmalıdır.

Tablo 3.12. Farklı açıklık boyutlarına sahip rüzgar kulesi modellerinde basınç farkları ve ortalama hız değerleri

| Modelin kimliği | Kulenin Açıklık Yüksekliği (m) | Basınç Farkı (Pa) | İç Mekandaki Ortalama Hız (m / s) |
|-----------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| MO0.5           | 0,5                            | 1,13              | 1,08                              |
| BM1             | 1                              | 10,34             | 1,90                              |
| MO2             | 2                              | 9,11              | 3,1                               |



Şekil 3.36. Farklı açıklık boyutlarına bağlı olarak mekanın farklı bölgelerindeki (Tablo 3.1’deki) ortalama rüzgar hızı değerleri

0,5 m açıklıklı sahip rüzgar kulesi yer alan mekanın termal kalitesi, mekanın farklı bölümlerinin termal koşulları dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, mekan on iki bölgeye ayrılmıştır. On iki termal bölge Şekil 3.37’de gösterilmektedir. Her bölge için, CBE aracı kullanıcıların termal algısını belirlemek amacıyla sürece dahil edilmektedir. Bu süreçte PMV ve PPD de hesaplanmaktadır. Termal algıları ve bu değerleri belirlemek için, Tablo 2.10’deki sayısal değerler CBE aracına veri olarak girilmiştir. Ayrıca, simülasyondan elde edilen hava hızı ve sıcaklık ortalama değerleri de CBE aracına veri olarak girilmiştir. Bu veriler Tablo 3.13’de yer almaktadır.

Tablo 3.13. Termal bölgede simülasyonlar aracılığıyla hesaplanan hava hızı ve ortam sıcaklık değerleri (MO0.5 ile)

| Bölge    | Sıcaklık (K) | Hız (m/s) |
|----------|--------------|-----------|
| Bölge 1  | 299.15       | 0.52      |
| Bölge 2  | 299.23       | 1.98      |
| Bölge 3  | 299.12       | 1.42      |
| Bölge 4  | 299.3        | 1.09      |
| Bölge 5  | 299.54       | 0.79      |
| Bölge 6  | 299.37       | 1.36      |
| Bölge 7  | 299.43       | 0.98      |
| Bölge 8  | 299.53       | 0.27      |
| Bölge 9  | 299.44       | 0.69      |
| Bölge 10 | 299.56       | 0.93      |
| Bölge 11 | 299.61       | 0.76      |
| Bölge 12 | 299.46       | 0.81      |

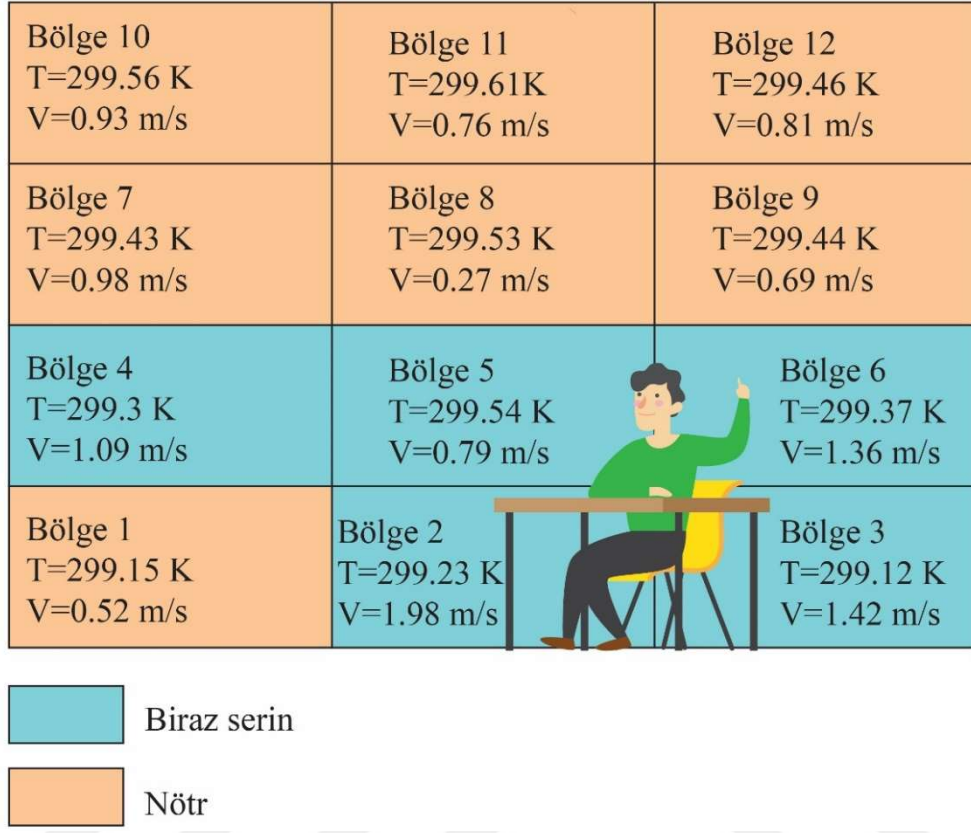
Termal koşul parametreleri CBE aracına girildiğinde, araç her bölge için PMV ve PPD’yi hesaplamaktadır. Termal algı, ayrıca PMV değerine göre belirlenmektedir.

Belirlenen PMV ile PPD ve termal algı sonuçları Tablo 3.14'te yer almaktadır. Ayrıca mekandaki ergonomik bölgeleri göstermek amacıyla Şekil 3.37 hazırlanmıştır.

Şekil 3.37'ye göre, zemin seviyesindeki rüzgar kulesinin altındaki bölge için nötr bir termal durum elde edilmektedir. Orta bölgede ve pencereye yakın kullanıcılar ise, zemin seviyesinde biraz serin hissetmektedirler. Oturma pozisyonundaki kullanıcılar baş ve göğüs seviyesinde ise biraz serin hissetmektedirler. Bölge 5'te PMV değeri -0,5 ve PPD değeri %10'dur (Tablo 3.14). Bu değerler, Bölge 4 ve 6 için hesaplanan değerlerden daha düşüktür. Bundan dolayı, serinlik hissine rağmen, odanın orta bölgesinde oturma pozisyonunda kullanıcılar kendilerini daha rahat hissedebilmektedirler. Bölge 7, 8 ve 9'daki PPD değerleri sırasıyla %7, %8 ve %5'dir. Bundan dolayı, bu bölgelerdeki termal algı nötr etki oluşturmaktadır. Ayrıca, ayakta durma pozisyonundaki kullanıcılar kendilerini rahat hissetmektedirler. Bölge 10, 11 ve 12'deki PPD değerleri sırasıyla %6, %5 ve %6'dır. Bundan dolayı, bu bölgelerdeki termal algı nötr etki oluşturmaktadır. Tavan seviyesi termal konfor için elverişlidir. Ancak, kullanıcılar normalde bu seviyeyi işgal etmemektedirler.

Tablo 3.14. Termal bölgelerde PMV, PPD ve termal algı (MO 0.5 ile)

| Bölge    | PMV   | PPD (%) | Termal algı |
|----------|-------|---------|-------------|
| Bölge 1  | -0.44 | 9       | Nötr        |
| Bölge 2  | -1.06 | 29      | Biraz serin |
| Bölge 3  | -0.95 | 24      | Biraz serin |
| Bölge 4  | -0.75 | 17      | Biraz serin |
| Bölge 5  | -0.5  | 10      | Biraz serin |
| Bölge 6  | -0.83 | 20      | Biraz serin |
| Bölge 7  | -0.3  | 7       | Nötr        |
| Bölge 8  | 0.36  | 8       | Nötr        |
| Bölge 9  | -0.14 | 5       | Nötr        |
| Bölge 10 | -0.24 | 6       | Nötr        |
| Bölge 11 | -0.14 | 5       | Nötr        |
| Bölge 12 | -0.21 | 6       | Nötr        |



Şekil 3.37. On iki termal bölgede kullanıcılar için termal algı çizelgesi (MO 0.5 ile)

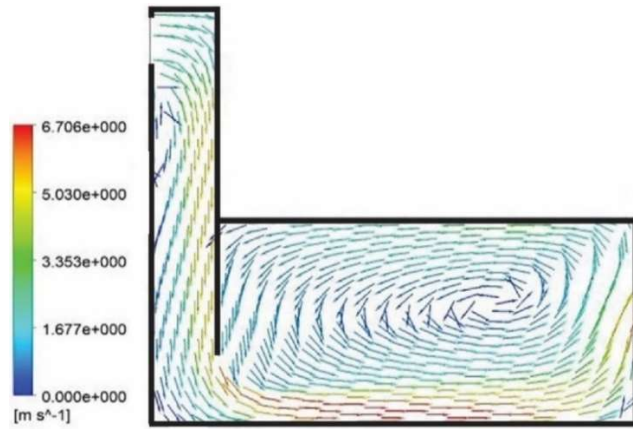
### 3.2.5. Eklenen İç Duvardaki Açıklık Konumlarının Rüzgar Kulelerinin Etkinliklerine Etkisi

“Yapılan Çalışmalar” Bölümünde yer alan Tablo 2.5’de belirtildiği gibi, temel modele (BM1) bir bölme duvarı eklenmektedir. Bu duvarda bir de iç açıklık yer almaktadır. İç açıklık, rüzgar kulesinden gelen hava akışının iç mekana doğru yönlenmesini sağlamaktadır. İç açıklık üç farklı konfigürasyon oluşturacak şekilde belirlenmiştir. Bu kapsamda iç açıklık konumunun mekandaki hava akış hareketini ve havalandırmayı nasıl etkilediği incelenmiştir.

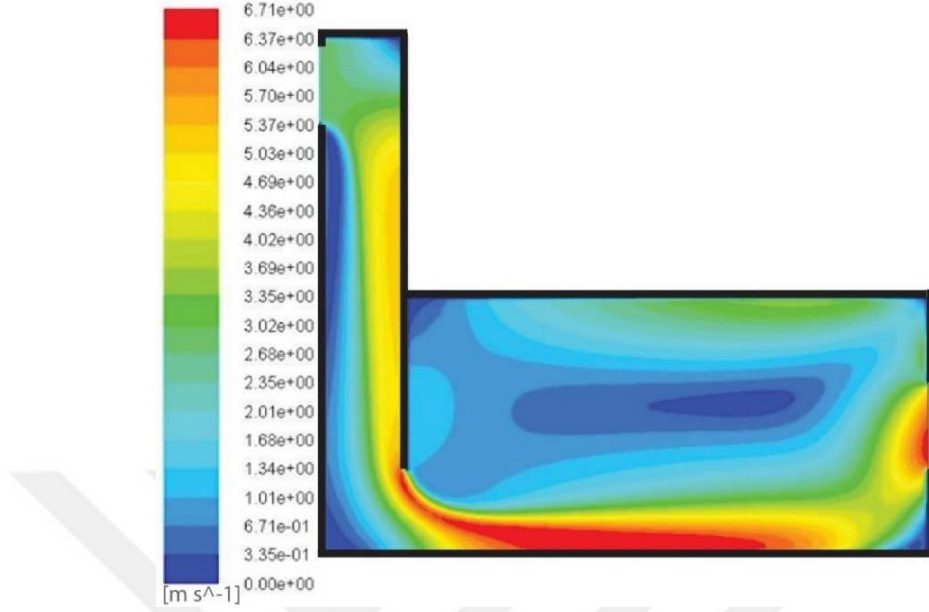
### 3.2.5.1. Konfigürasyon 1 İçin Hız Analizi

Bu konfigürasyondaki iç açıklık, temel model BM1'e ilave edilen bölme duvarının zemin seviyesinde yer almaktadır (Tablo 2.5). Simülasyon işleminden sonra Şekil 3.38 ve 3.39'daki hız vektörü dağılımı ve hız dağılımı elde edilmiştir. Şekillerde de belirtildiği gibi rüzgar kulesi açıklığından kuleye giren hava akımı duvar boyunca aşağı yönde hareket etmektedir. Bu hareket artan hız ile gerçekleşmekte ve iç duvarın sonunda hava hızı 6,71 m/s'ye kadar ulaşmaktadır. Bu hız, model içinde hesaplanan en yüksek değerdir. Ayrıca bölme duvarın sonunda, hava akışı yön değiştirmekte ve mekana girmektedir. Mekandaki ana akım zemin seviyesinde aynı hızda karşı duvara doğru hareket etmektedir. Ardından, pencerenin yanında hava akışı yavaşlamakta ve yön değiştirmektedir. Hava akımının bir kısmı pencere aracılığıyla 5.99 m/s'lik ortalama hava hızı ile mekandan çıkmaktadır. Diğer kısmı ise Şekil 3.38'de görüldüğü gibi mekanın büyük bölümünde bir devirdaim akış alanı oluşturmaktadır. Mekan içindeki en düşük hava hızı değeri 0 m/s'dir.

Tablo 3.1'deki Bölge 2 ve 3'te hesaplanan ortalama hız 1,45 m/s'dir. Bu değerler ile kullanıcılar oturma ve ayakta durma pozisyonlarında baş ve göğüs bölgesinde hafif bir esinti hissetmektedirler (Beaufort no.3). Oturma pozisyonundaki kullanıcılar için baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız 1,75 m/s'dir. Bu durum oturma pozisyonundaki kullanıcılar tarafından hafif bir esinti olarak hissedilmektedir. Çalışmanın termal parametre değeri göz önünde bulunduğunda (Tablo 2.10), 1.75 m/s'lik hafif esinti, oturma pozisyonundaki kullanıcılar tarafından biraz serin hissedilmektedir (PMV=1,04; PPD= 28%).



Şekil 3.38. Konfigürasyon 1 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)



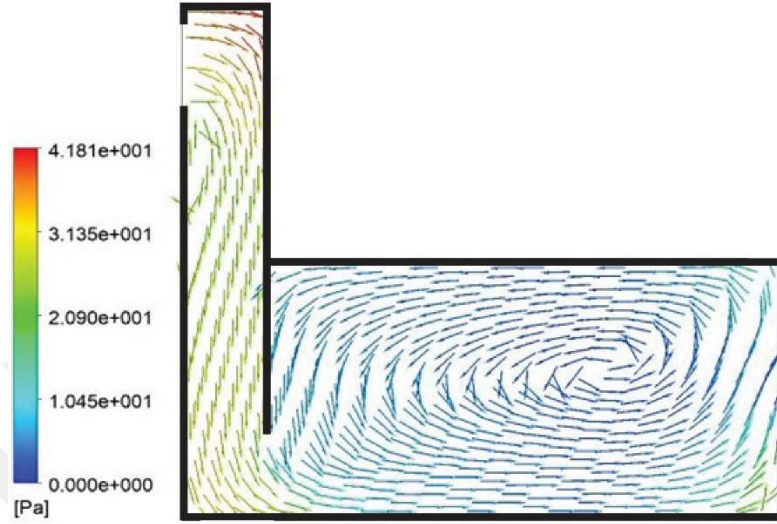
Şekil 3.39. Konfigürasyon 1 modelindeki hız büyüklüğü dağılımı (m/s)

### 3.2.5.2. Konfigürasyon 1 İçin Basınç Analizi

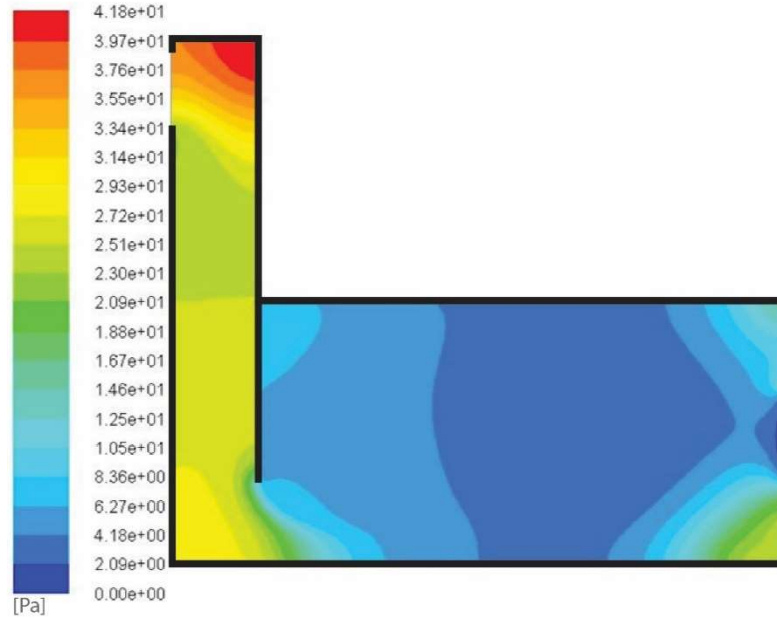
Şekil 3.40 ve 3.41, Konfigürasyon 1 modelinde sırasıyla hız vektörlü ve hız vektörsüz basınç dağılımını gösterilmektedir. Şekillerden de anlaşıldığı gibi yüksek basınç bölgesi kulede, düşük basınç bölgesi ise mekanda oluşmaktadır. Şekil 3.41'deki basınç dağılımı, rüzgar kulesi üst başlığının altındaki en yüksek basınç değerinin 41,81 Pa'ya ulaştığını göstermektedir. Üst başlık seviyesinden itibaren bölme duvarı seviyesine kadar basınç değerlerinde kademeli olarak düşüş meydana gelmektedir. Bölme duvarı seviyesinde, basınç değerlerinde biraz artış olmaktadır. Mekandaki basınç değerleri genellikle düşük düzeyde oluşmaktadır. Mekandaki en düşük basınç değeri 0 Pa'dır. Şekil 3.40'deki hız vektör dağılımı devirdaim akış bölgesinin düşük basınç bölgesinde meydana geldiğini göstermektedir.

Konfigürasyon 1 modelinde hava akımı girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.15'te gösterilmiştir. Hava akımı girişindeki basınç ve model içindeki

ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 5,77 Pa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.40. Konfigürasyon 1 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)



Şekil 3.41. Konfigürasyon 1 modelindeki basınç dağılımı (Pa)



Tablo 3.15. Konfigurasyon 1 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

| Konum    | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|----------|-------------|-------------------|
| Giriş    | 33,09       | -                 |
| Çıkış    | 0           | -                 |
| Ortalama | 27,32       | 5,77              |

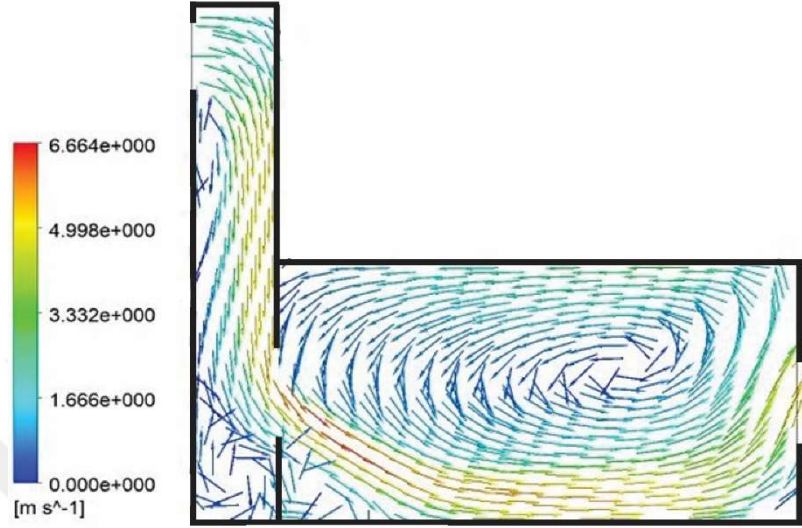
### 3.2.5.3. Konfigürasyon 2 İçin Hız Analizi

İç açıklığı bölme duvarının orta kısmına yerleştirilen temel model BM1 için (Tablo 2.5) Şekil 3.42 ve Şekil 3.43’de sırasıyla hız vektör dağılımı ve hız dağılımı gösterilmektedir. Rüzgar kulesi açıklığından giren hava akımı, rüzgar kulesi açıklığının karşısındaki duvar boyunca aşağı yönde hareket etmektedir. Aynı zamanda, rüzgar kulesi açıklığının altında bir rüzgar gölgesi oluşmaktadır. Bölme duvarının açıklığında, ana akım mekana hızlanarak girmektedir. Hızlanma nedeniyle, hava akımı mekana girdiğinde en yüksek 6,66 m/s değerine ulaşılmaktadır. Şekil 3.42’de gösterildiği gibi rüzgar kulesinin altındaki zemin seviyesinde, saat yönünde hava devirdaim akışı meydana gelmektedir. Mekanda, ana akım zemine yaklaştıkça yavaşlamaktadır. Ayrıca ana akım, bölme duvarı açıklığının altındaki bölgede bir rüzgar gölgesi bırakmaktadır. Daha sonra ana akım zemin düzlemine paralel olarak pencere tarafına doğru hareket etmektedir. Pencerenin yanında, hava akımı küçük hızlanma ile yön değiştirmektedir. Ardından, hava akımının bir kısmı 5,13 m/s ortalama hız ile pencereden çıkmaktadır. Hız vektör dağılımı, hava akımının bir kısmının mekanda kaldığını göstermektedir. Mekanın üst ve orta bölgesinde bir devirdaim akış alanı oluşturmaktadır. Rüzgar hızı 0 m/s ile o bölgedeki en düşük değere ulaşmaktadır.

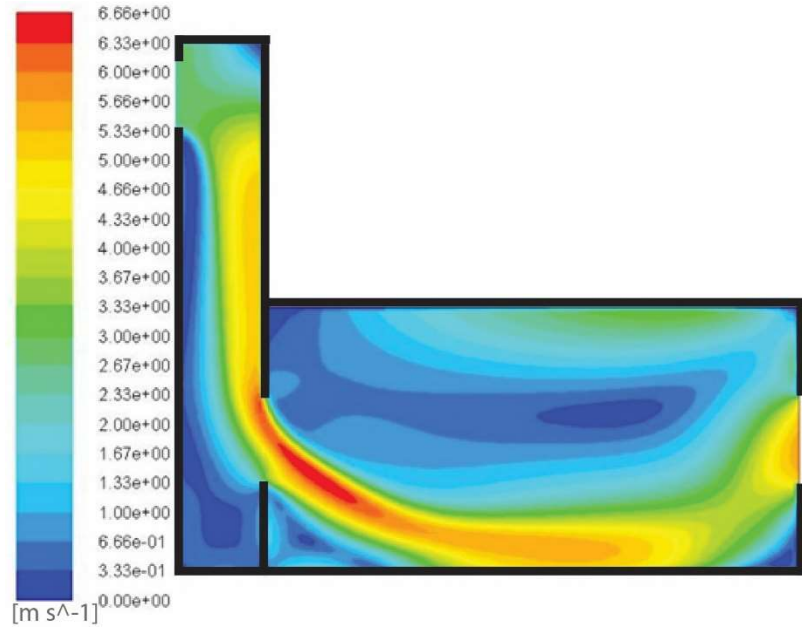
Tablo 3.1’deki Bölge 2 ve 3’te hesaplanan ortalama hız 1,93 m/s’dir. Bu değerler ile kullanıcılar oturma ve ayakta durma pozisyonlarında baş ve göğüs bölgesinde hafif bir esinti hissetmektedirler (Beaufort no.3).

Oturma pozisyonundaki kullanıcılar için baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız 2,5 m/s’dir. Bu durum oturma pozisyonundaki kullanıcılar tarafından hafif bir esinti olarak hissedilmektedir (Beaufort no. 4). Aynı termal çalışma koşulları göz önüne alındığında, 2,5

m/s'lik hava hızı oturma pozisyonundaki kullanıcılarda biraz serinlik ve rahatsızlık hissi oluşturmaktadır.



Şekil 3.42. Konfigurasyon 2 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)

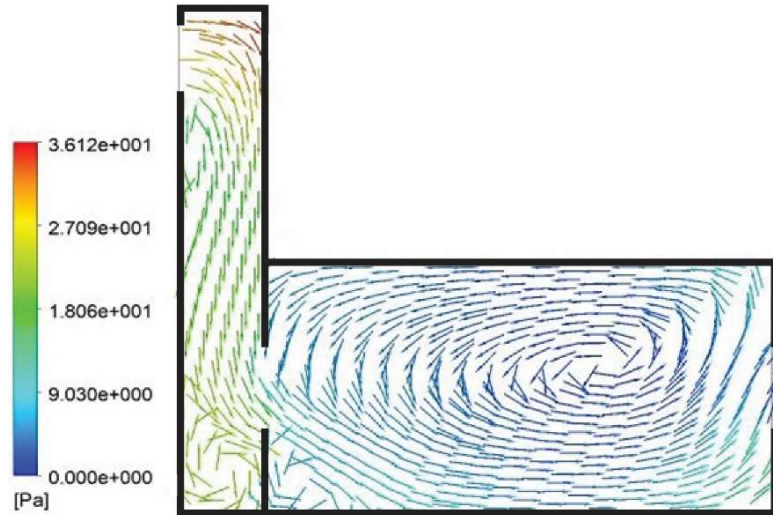


Şekil 3.43. Konfigurasyon 2 modelinde hız büyüklüğü dağılımı (m/s)

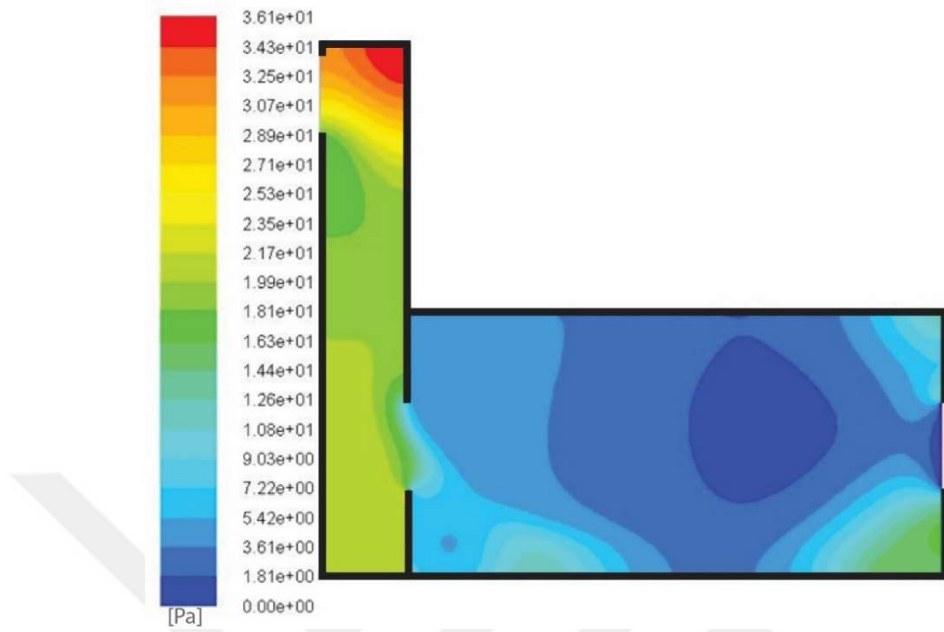
### 3.2.5.4. Konfigürasyon 2 İçin Basınç Analizi

Bölme duvarının merkezi bölgesinde iç açıklığı olan BM1 modeli için basınç analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.44 ve Şekil 3.45 sırasıyla model içindeki hız vektörlü ve hız vektörsüz basınç dağılımlarını göstermektedir. Model iki basınç bölgesine ayrılmıştır. Bunlar: rüzgar kulesindeki yüksek basınç ile mekandaki düşük basınç bölgeleridir. En yüksek basınç rüzgar kulesinin üst başlığı altında gerçekleşmekte ve değer 36,12 Pa'ya kadar ulaşmaktadır. Kulenin içinde aşağı yönde ilerledikçe basınç değerleri kademeli olarak azalmaktadır. Bölme duvarı seviyesinde ise basınç değeri biraz artmaktadır. Sonra iç mekanda basınç değerinde tekrar azalma meydana gelmektedir. Mekanın merkezi bölgesinde düşük basınç bölgesi yer almaktadır. Şekil 3.44'de gösterildiği gibi, devirdaim akış bölgesi bu düşük basınçlı alanda meydana gelmektedir. Ayrıca, penceredeki 0 Pa basıncı hava akışının iç mekandan çıkmasına neden olmaktadır.

Konfigürasyon 2 modelinde, hava akımı girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.16'da gösterilmiştir. Hava akımı girişindeki basınç ve akış alanı içindeki (modeldeki) ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 5,95 Pa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.44. Konfigürasyon 2 modelindeki basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (Pa)



Şekil 3.45. Konfigürasyon 2 modelindeki basınç dağılımı (Pa)

Tablo 3.16. Konfigürasyon 2 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

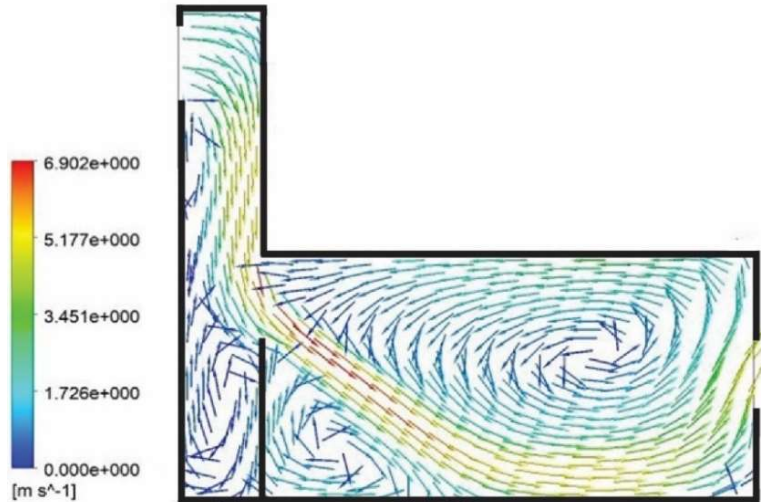
| Konum    | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|----------|-------------|-------------------|
| Giriş    | 27,40       | -                 |
| Çıkış    | 0           | -                 |
| Ortalama | 21,45       | 5,95              |

### 3.2.5.5. Konfigürasyon 3 İçin Hız Analizi

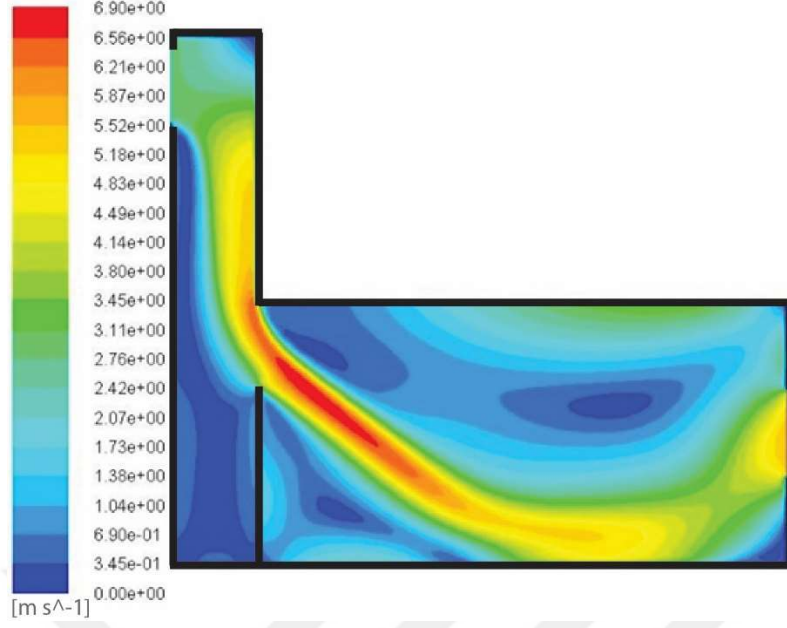
Konfigürasyon 3'ü elde etmek için temel model BM1'e, mekanın tavan seviyesinde açıklığa sahip bir bölme duvarı eklenmiştir (Tablo 2.5). O modelin simülasyon işleminden sonra, elde edilen Şekil 3.46 ve Şekil 3.47 model içinde sırasıyla hız vektörü dağılımını ve hız dağılımını göstermektedir. Her iki şekilde de rüzgar kulesi girişinden (açıklık) modele giren hava akımı, kule giriş duvarının karşısındaki duvar boyunca aşağı yönde hareket

ederken kule girişinin altında bir rüzgar gölgesi bırakmaktadır. Bu bölgedeki hava hızı 0 m/s ile en düşük değere ulaşmaktadır. Hava hızı aşağı yönde ilerledikçe kademeli olarak artmaktadır. Rüzgar kulesi duvarının sonunda, hava akımı daha da hızlanmaktadır. Burada hava akımı yön değiştirmekte ve mekana girmektedir. Aynı zamanda, ana akım hem rüzgar kulesinin altındaki alanda hem de mekanın sol alt köşesinde bir devirdaim bölgesi oluşturmaktadır. İç mekana giren hava akımı modeldeki en yüksek hava hız değerine sahip olup 6,90 m/s'ye kadar ulaşmaktadır. Daha sonra, kademeli yavaşlayarak eğik açı ile zemin seviyesine doğru hareket etmektedir. Burada, hava akımı hareketi zemin seviyesine paralel olarak gerçekleşmektedir. Daha sonra, pencerenin yanında ana akım yön değiştirmekte ve pencereye doğru hızlanmaktadır. Hava akımının bir kısmı ortalama 5,10 m/s hız ile pencereden çıkmaktadır. Hava akımının diğer kısmı ise mekanda kalmaktadır. Mekan içinde süren akım mekanın üst ve orta seviyesinde bir devirdaim bölgesi oluşturmaktadır.

Tablo 3.1'deki Bölge 2 ve 3'te hesaplanan ortalama hız 2.37 m/s'dir. Bu değerler ile kullanıcılar oturma ve ayakta durma pozisyonlarında baş ve göğüs bölgesinde hafif bir esinti hissetmektedirler (Beaufort no.3). Oturma pozisyonundaki kullanıcılar için baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız 2,67 m/s'dir. Bu durum oturma pozisyonundaki kullanıcılar tarafından hafif bir esinti olarak hissedilmektedir. Çalışmanın termal koşulları dikkate alındığında 2,67 m/s'lik hava hızı, oturma pozisyonundaki kullanıcılar için biraz serin ve rahatsız edici olarak hissedilmektedir.



Şekil 3.46. Konfigürasyon 3 modelinde hız değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)



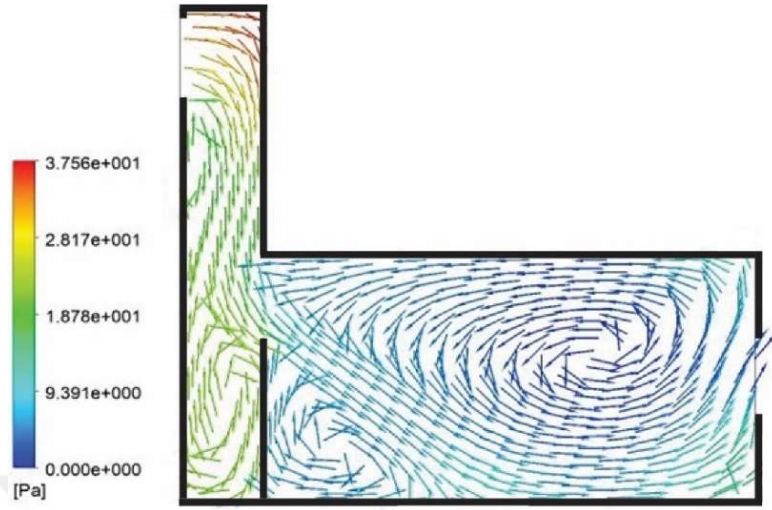
Şekil 3.47. Konfigürasyon 3 modelinde hız büyüklüğü dağılımı (m/s)

### 3.2.5.6. Konfigürasyon 3 İçin Basınç Analizi

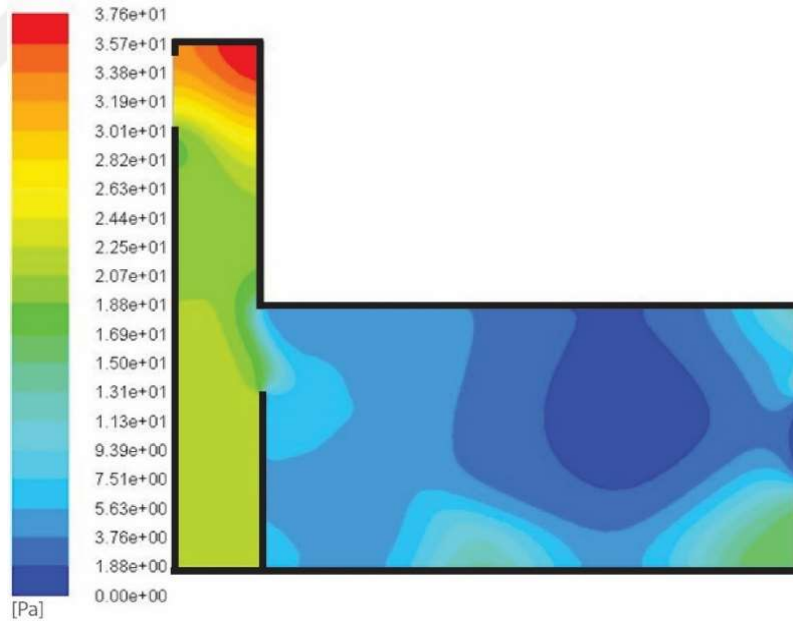
Açıklığın bölme duvarının üst bölümünde bulunduğu Konfigürasyon 3 için temel model içindeki basınç analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.48 ve Şekil 3.49, model içinde sırasıyla hız vektörlü ve hız vektörsüz basınç dağılımını göstermektedir. Önceki durumlarda görüldüğü gibi, model iki basınç bölgesine ayrılmıştır. Bunlar: rüzgar kulesindeki yüksek basınç ile mekandaki düşük basınç bölgeleridir. En yüksek basınç 37,56 Pa değeri ile rüzgar kulesinin üst başlığının altında oluşmaktadır. Yüksek basınç kulesinin alt kısmı yönünde kademeli olarak azalmaktadır. Bölme duvarı seviyesinde, basınç biraz artmaktadır. Mekanda, basınç genellikle rüzgar kulesindeki düzeyden daha düşüktür. Mekanın orta bölgesinde geniş bir düşük basınç bölgesi oluşmaktadır. Şekil 3.48’den de anlaşıldığı gibi, devirdaim akış bölgesi bu en düşük basınç bölgesi çevresinde meydana gelmektedir. Ayrıca, penceredeki 0 Pa basıncı, hava akımının mekandan dış ortama çıkmasına neden olmaktadır.

Konfigürasyon 3 modelinde hava akımı girişindeki ve modeldeki ortalama basınç değerleri Tablo 3.17’de yer almaktadır. Hava akımı girişindeki basınç ve model içindeki ortalama basınç dikkate alındığında, model içindeki basınç farkı 6,44 Pa olarak elde edilmiştir.





Şekil 3.48. Konfigürasyon 3 modelinde basınç değerlerini de gösteren hız vektörlerinin dağılımları (m/s)



Şekil 3.49. Konfigürasyon 3 modelinde basınç dağılımı (Pa)

Tablo 3.17. Konfigurasyon 3 modelindeki farklı konumlarda hesaplanan basınç değerleri

| Konum    | Basınç (Pa) | Basınç Farkı (Pa) |
|----------|-------------|-------------------|
| Giriş    | 28,85       | -                 |
| Çıkış    | 0           | -                 |
| Ortalama | 22,41       | 6,44              |

### 3.2.5.7. BM1 Modeli Performansının Üç Farklı Konfigürasyonlu Rüzgar Kulesi Performanslarıyla Karşılaştırılması

Üç farklı konfigürasyona sahip rüzgar kulesinin basınç farkları ve hız ortalamaları, Tablo 3.18’de özetlenmektedir. Tablo 3.18’e göre, iç açıklığın konumu model içindeki basınçları ve hızları etkilemektedir. İç açıklık yukarı düzleme doğru hareket ettikçe basınç farkı artmaktadır. Buna bağlı olarak, iç açıklığı tavan seviyesinde olan model en büyük basınç farkına sahiptir (Konfigürasyon 3). Diğer tarafta, iç açıklık yukarı düzleme doğru hareket ettikçe iç mekanda hesaplanan ortalama hız değerleri düşmektedir. Buna bağlı olarak, iç açıklığı tavan seviyesinde (Konfigürasyon 3) olan model en düşük hız ortalamasına sahiptir. Buna karşılık, iç açıklığı zemin seviyesinde (Konfigürasyon 1) olan model ise en yüksek hız ortalamasına sahiptir.

Tablo 3.18. Farklı konfigürasyonlara sahip modellerdeki basınç farkları ve hız ortalamaları

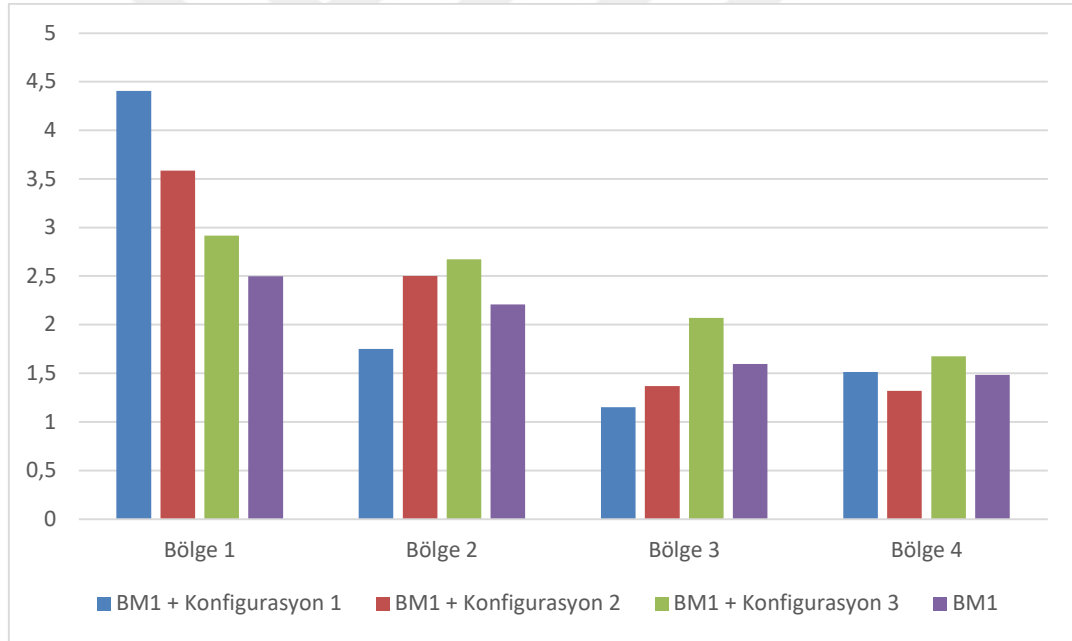
| Modelin Konfigürasyonu | Basınç Farklılığı (Pa) | Ortalama Hız (m/s) |
|------------------------|------------------------|--------------------|
| Konfigürasyon 1        | 5,77                   | 2,64               |
| Konfigürasyon 2        | 5,95                   | 2,27               |
| Konfigürasyon 3        | 6,44                   | 1,84               |

Tablo 3.1’de dört bölgedeki ortalama hız değerleri Şekil 3.50’de yer almaktadır. Konfigürasyon 1 modeli iç mekanlarda en yüksek hız ortalamasına sahip olmasına rağmen,



en önemli durumları ifade eden baş ve göğüs bölgeleri için en yüksek hız ortalamasına sahip değildir. Konfigürasyon 1'in zemin seviyesinde en yüksek ortalama hızı sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte Konfigürasyon 1, oturma pozisyonlarındaki kullanıcılar (Bölge 2) için baş ve göğüs bölgesine en düşük ortalama hızı getirmektedir. Konfigürasyon 1 modeli Bölge 2'ye hafif esinti getirmektedir. Diğer konfigürasyon modellerinde, daha güçlü esintiler mekanda kullanıcıları rahatsız etmektedir (Tablo 1.4, Beaufort no: 4).

Buna ilave olarak, baş ve göğüs bölgesindeki ortalama hız değeri, bölme duvarsız ölçülen ortalama hız değerinden daha düşüktür. Çalışmanın termal koşulları dikkate alındığında, rüzgar kulesinin zemin seviyesinde bir açıklığa sahip bölme duvarı olması durumunda, mekanda konforun karşılanması daha olasıdır.



Şekil 3.50. Farklı Konfigürasyona sahip BM1 için farklı bölgelerdeki ortalama hava hızı değerleri (m/s)

### 3.3. Termo-Dinamik Çalışma Modeli

Mekanın işlevinin bir sınıf olduğu düşünüldüğünde, çok sayıda kullanıcının bulunduğu bilinmektedir. Buna bağlı olarak oturma pozisyonundaki kullanıcılara daha fazla konfor sağlayan model termo-dinamik çalışma için tercih edilmektedir.

Mekandaki oturma pozisyonunda kullanıcılarının baş ve göğüs bölgelerindeki PMV ve PPD, CBE aracı kullanılarak tüm modeller için hesaplanmıştır. Farklı rüzgar kulesi modellerinde hesaplanan değerlerle, oturma pozisyonunda kullanıcıların termal algıları Tablo 3.19’da özetlenmiştir.

Tablo 3.19 dikkate alındığında, çoğu rüzgar kulesi modeline göre mekanda oturma pozisyonundaki kullanıcılar kendilerini biraz serin hissetmektedirler. Hiçbir durumda nötr termal algı elde edilmemektedir. En düşük PMV değeri (0.85) daha küçük açıklığa sahip rüzgar kulesi (MO 0.5) ile elde edilmiştir. Ayrıca, kullanıcıların muhtemelen sadece %20’si termal durumdan şikayet edeceklerdir. Aynı zamanda MO 0.5 ile oturma pozisyonunda kullanıcılar için daha fazla konfor sağlanmaktadır.

Tablo 3.19. Tüm modeller için oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgesindeki hesaplanan ortalama hız, PMV, PPD değerleri ve termal algı

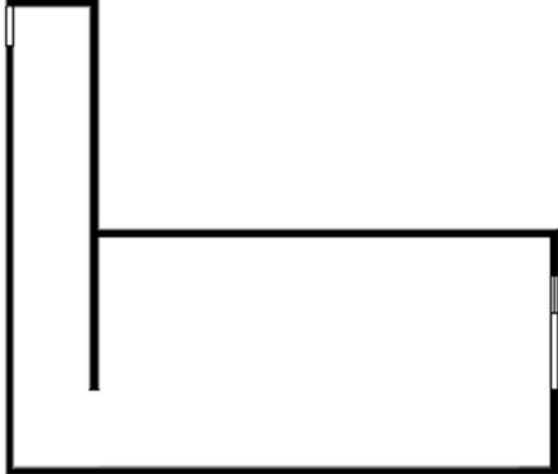
| Model | Baş ve göğüs bölgesinde ortalama hız değerleri(m/s) | PMV (Öngörülen Ortalama Değerleri) | PPD % (Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik Yüzdesi) | Termal Algı |
|-------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|-------------|
| BM1   | 2,20                                                | -1,14                              | 32                                             | Biraz serin |
| BM2   | 2,47                                                | -1,19                              | 35                                             | Biraz serin |
| MH1   | 2,29                                                | -1,16                              | 33                                             | Biraz serin |
| MH5   | 2,17                                                | -1,13                              | 32                                             | Biraz serin |
| MW1.5 | 2,15                                                | -1,13                              | 32                                             | Biraz serin |
| MW2   | 2,06                                                | -1,11                              | 31                                             | Biraz serin |

Tablo 3.19' un devamı

|              |      |                                                           |    |             |
|--------------|------|-----------------------------------------------------------|----|-------------|
| MO0.5        | 1,17 | -0,85                                                     | 20 | Biraz serin |
| MO2          | 4,38 | Standardın uygulanabilirlik sınırları dışında kalan değer |    |             |
| BM1+Konfig 1 | 1,75 | -1,04                                                     | 28 | Biraz serin |
| BM1+Konfig 2 | 2,50 | -1,20                                                     | 35 | Biraz serin |
| BM1+Konfig 3 | 2,67 | -1,23                                                     | 37 | Biraz serin |

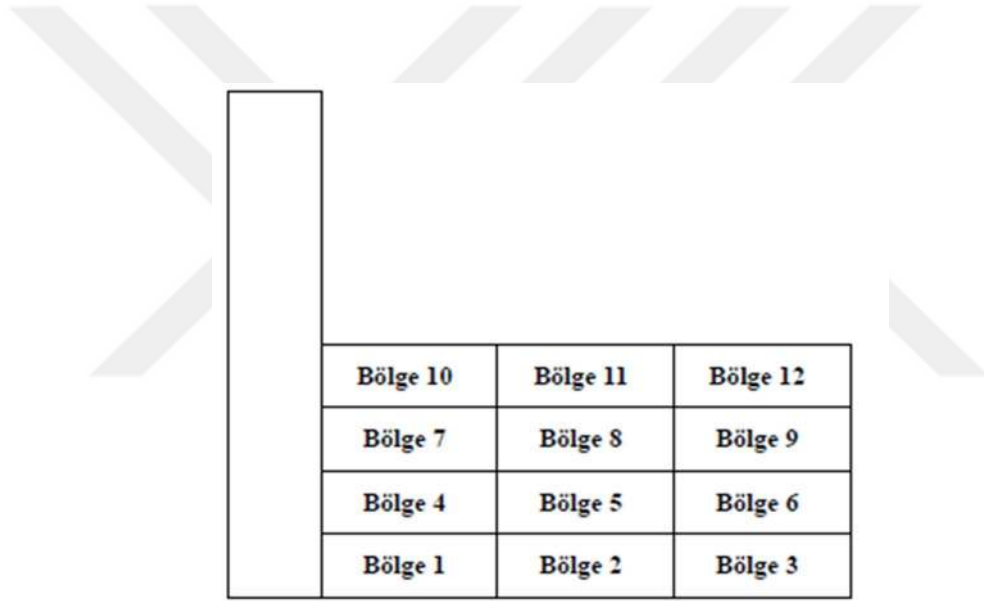
MO 0.5 modeli oturma pozisyonunda kullanıcılara en uygun konfor koşulunu sağlandığı için, MO 0.5 modeline bir sonraki adımda zemin seviyesinde açıklığa sahip bir bölme duvarı eklenmektedir. Yeni tasarlanan modelin özellikleri Tablo 3.20’de özetlenmektedir. Termal simülasyon, ANSYS 16 simülasyon programı kullanılarak optimize edilmiş model üzerinde yapılmıştır. Ayrıca, iç mekanın termal kalitesi CBE aracı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3.20. Termo-dinamik için kullanılacak rüzgar kulesi modelinin özellikleri

|                                      | Optimize Edilmiş Model | Şekil                                                                                |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Yön sayısı                           | 1                      |  |
| Rüzgar kulesi yüksekliği (m)         | 3                      |                                                                                      |
| Rüzgar kulesi genişliği (m)          | 1                      |                                                                                      |
| Rüzgar kulesi açıklık yüksekliği (m) | 0,5                    |                                                                                      |
| İç açıklık konumu                    | Konfigürasyon 1        |                                                                                      |

### 3.4. Termodinamik Analizi

Bu bölümde termal dinamik çalışma için seçilen modeldeki sıcaklık dağılımı sunulmakta ve yorumlanmaktadır. Ayrıca, iç mekandaki konfor seviyeleri değerlendirilmektedir. Bunu gerçekleştirmek amacıyla mekan Şekil 3.51’de gösterildiği gibi on iki bölgeye ayrılmıştır. Her bölge için hava hızı ve sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ve Tablo 2.10’daki diğer termal konfor parametre değerleri (yani bağıl nem %72,8; 1 ya da 1,2 met ve 0,57 clo) ile CBE aracı kullanılarak her bölge için termal algı belirlenmiştir. Bu sayede mekanın genel termal kalitesi belirlenmiştir.

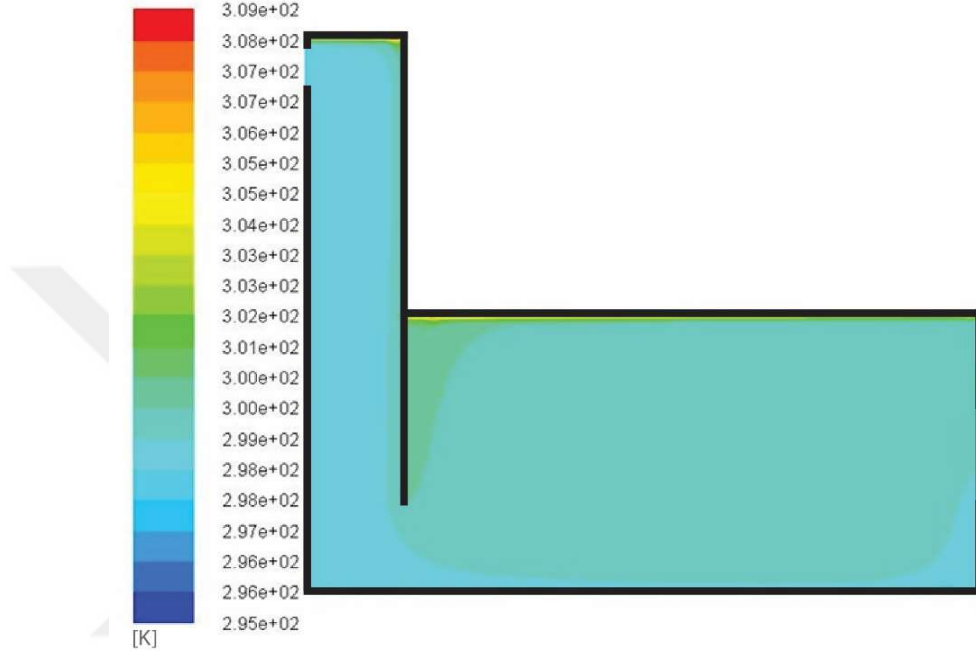


Şekil 3.51. İç mekan bölümlerinde termal konfor değerlendirmesi

#### 3.4.1. Optimize Edilmiş Model İçin Sıcaklık Analizi

Termal simülasyon gerçekleştirildikten sonra Şekil 3.52’deki model elde edilmektedir. Bu model rüzgar kulesindeki ve mekandaki sıcaklık dağılımını göstermektedir. Sıcaklık 295 K ile 309 K arasında değişmektedir. En yüksek sıcaklık mekanın tavan ve rüzgar kulesinin üst başlık seviyesinde oluşmaktadır. Diğer taraftan, zeminin düşük sıcaklığı nedeniyle, zemin seviyesindeki sıcaklık en düşük olmaktadır. Şekil

3.52'ye göre, modeldeki sıcaklık değerleri genellikle dış ortam sıcaklık değerlerine yakın düzeydedir. Bir başka ifadeyle, rüzgar kulesinden konveksiyon ile dış ortam sıcaklığı mekana girmektedir.



Şekil 3.52. Optimize edilmiş model içindeki sıcaklık dağılımı (K)

### 3.5. Termal Konfor Koşulları ve İç Mekan Termal Kaliteleri

Optimize edilmiş rüzgar kulesi yer alan mekanın termal kalitesi, mekanın farklı bölümlerinin termal koşulları dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, mekan on iki bölgeye ayrılmıştır. On iki termal bölge Şekil 3.51'de gösterilmektedir. Her bölge için CBE aracı kullanıcıların termal algısını belirlemek amacıyla sürece dahil edilmektedir. Bu süreçte PMV ve PPD de hesaplanmaktadır. Termal algıları ve bu değerleri belirlemek için, Tablo 2.10'deki sayısal değerler CBE aracına veri olarak girilmiştir. Ayrıca, simülasyondan elde edilen hava hızı ve sıcaklık değerleri de CBE aracına veri olarak girilmiştir. Bu veriler Tablo 3.21'da yer almaktadır.

Tablo 3.21. Termal bölgede simülasyonlar aracılığıyla hesaplanan hava hızı ve ortam sıcaklığı değerleri

| Bölge    | Sıcaklık (K) | Hız (m/s) |
|----------|--------------|-----------|
| Bölge 1  | 299.22       | 2.29      |
| Bölge 2  | 299.21       | 2.44      |
| Bölge 3  | 299.08       | 1.79      |
| Bölge 4  | 299.62       | 0.42      |
| Bölge 5  | 299.43       | 0.66      |
| Bölge 6  | 299.29       | 1.43      |
| Bölge 7  | 299.61       | 0.38      |
| Bölge 8  | 299.4        | 0.31      |
| Bölge 9  | 299.33       | 0.78      |
| Bölge 10 | 299.8        | 0.48      |
| Bölge 11 | 299.46       | 1.02      |
| Bölge 12 | 299.35       | 1.01      |

Termal koşul parametreleri CBE aracına girildiğinde, araç her bölge için PMV ve PPD'yi hesaplamaktadır. Termal algı, ayrıca PMV değerine göre belirlenmektedir. Belirlenen PMV ile PPD ve termal algı sonuçları Tablo 3.22'de yer almaktadır. Ayrıca mekandaki ergonomik bölgeleri göstermek amacıyla Şekil 3.53 hazırlanmıştır.

Şekil 3.53'e göre, pencereye yakın veya mekanın orta bölgesinde oturma pozisyonundaki kullanıcılar kendilerini biraz serin hissetmektedirler. Diğer taraftan, odanın sol tarafında oturma pozisyonundaki kullanıcılar kendilerini daha rahat hissetmektedirler. Bölge 4'te PMV değeri 0 ve PPD değeri %5'tir (Tablo 3.22). Ayakta durma pozisyonundaki kullanıcılar kendilerini daha rahat hissetmektedirler (bölge 7,8 ve 9'da). Bölge 7,8 ve 9'daki PPD değerleri sırasıyla %5, %6 ve %6'dır. Bundan dolayı bu bölgelerdeki termal algı nötr etki oluşturmaktadır.

Tablo 3.22. Termal bölgelerde PMV, PPD ve termal algı

| Bölge    | PMV   | PPD (%) | Termal algı |
|----------|-------|---------|-------------|
| Bölge 1  | -1,14 | 32      | Biraz serin |
| Bölge 2  | -1,18 | 34      | Biraz serin |
| Bölge 3  | -1,06 | 29      | Biraz serin |
| Bölge 4  | 0     | 5       | Nötr        |
| Bölge 5  | -0,5  | 10      | Biraz serin |
| Bölge 6  | -0,91 | 23      | Biraz serin |
| Bölge 7  | 0,13  | 5       | Nötr        |
| Bölge 8  | 0.21  | 6       | Nötr        |
| Bölge 9  | 0.25  | 6       | Nötr        |
| Bölge 10 | 0.04  | 5       | Nötr        |
| Bölge 11 | -0.35 | 8       | Nötr        |
| Bölge 12 | -0.36 | 8       | Nötr        |

|                                      |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Bölge 10<br>T=299.80 K<br>V=0.48 m/s | Bölge 11<br>T=299.46 K<br>V=1.02 m/s | Bölge 12<br>T=299.35 K<br>V=1.01 m/s |
| Bölge 7<br>T=299.61 K<br>V=0.38 m/s  | Bölge 8<br>T=299.4 K<br>V=0.31 m/s   | Bölge 9<br>T=299.33 K<br>V=0.78 m/s  |
| Bölge 4<br>T=299.62 K<br>V=0.42 m/s  | Bölge 5<br>T=299.43 K<br>V=0.66 m/s  | Bölge 6<br>T=299.29 K<br>V=1.43 m/s  |
| Bölge 1<br>T=299.22 K<br>V=2.29 m/s  | Bölge 2<br>T=299.21 K<br>V=2.44 m/s  | Bölge 3<br>T=299.08 K<br>V=1.79 m/s  |

|  |             |
|--|-------------|
|  | Biraz serin |
|  | Nötr        |

Şekil 3.53. On iki termal bölgede kullanıcılar için termal algı çizelgesi

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İçerisinde faaliyet gerçekleştirilen tüm binalarda olduğu gibi eğitim binalarında da kullanıcıların termal konforu büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, farklı boyutsal özelliklere sahip rüzgar kuleleri ile çapraz havalandırmanın pasif olarak gerçekleştirildiği bir iç mekandaki (sınıf) termal kalite araştırılmıştır. Bu sınıfta on bir rüzgar kulesi modelinde basınç ve hava hızı “Bilgisayar Destekli Simülasyon Yöntemi” (ANSYS) kullanılarak elde edilmiştir. Simüle edilen on bir modelin tasarımına rüzgar kulesinin: açıklık sayısının değiştirilmesi, yükseklik, genişlik, açıklık boyutunun değiştirilmesi, bölme duvarının eklenmesi ve iç açıklık konumunun değiştirilmesi durumları göz önünde bulundurulmuştur. Simülasyonlar Ağustos ayı Trabzon kenti termal koşulları için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen akış hızı ve basınç değerleri, hava akışı davranışını ve rüzgar kulesi performansını tanımlamak için değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, mekandaki ilgili bölgelerde hesaplanan hava hızları ve diğer termal parametrelerle termal konfor seviyesi CBE aracıyla belirlenmiştir. Daha sonra, farklı rüzgar kulelerinin performansları ve kullanıcılar üzerindeki havalandırma etkileri karşılaştırılmıştır. Sonra daha etkili termal algı sağlayan model önerilmiştir. Bu modelde sıcaklık ve akış hızı Fluent kullanılarak elde edilmiştir. Sonraki adımda mekanın termal kalitesi, mekanın on iki bölümündeki konfor seviyeleri değerlendirilerek belirlenmiştir.

Sonuçlar, tüm durumlar için hava akışının rüzgar kulesi girişindeki pozitif basınç ile modelin içine itildiğini göstermiştir. Diğer taraftan, hava akışı pencere veya ikinci açıklıktaki negatif basınç nedeniyle iç mekandan çıkmıştır. Sonuç olarak, rüzgar iç mekanlara verimli bir şekilde iletilmiş ve iç mekanlarda havalandırma sağlanmıştır. Ek olarak, iç mekandaki düşük basınç hava akışının içeride devirdaim yapmasına neden olmuştur.

Rüzgar kulesinin boyutsal özelliklerindeki değişiklik rüzgar kulesi performansı üzerinde etkili olmuştur. Bu kapsamda oluşturulan model farklılıkları, basınç ve hava hızını etkilemiştir. Bazı değişiklikler diğerlerinden daha etkili olmuştur. Rüzgar kulesi açıklık boyutunun değiştirilmesi rüzgar kulesinin performansı üzerinde en büyük etkiye sahip olmuştur. Rüzgar kulesindeki temel modelde açıklık sayısının birden ikiye yükseltilmesi model içindeki basınç farkının % 218,96 oranında artmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra mekandaki ortalama hava hızının % 31,96 artırmasına, oturma pozisyonundaki



kullanıcıların baş ve göğüs bölgesindeki ortalama hava hızının ise sadece % 12,27 artmasına neden olmuştur.

Rüzgar kulesinin yüksekliğinin arttırılması rüzgar kulesi performansı üzerinde daha az etkiye sahip olmuştur. Rüzgar kulesinin yüksekliğinin arttırılması hem basınç farkının hem de hava hızının azalmasına neden olmuştur. Rüzgar kulesinin yüksekliğinin 1m'den 3m'ye yükseltilmesi, basınç farkının % 5,66 azalmasına neden olmuştur. Rüzgar kulesinin yüksekliğinin 3m'den 5m'ye yükseltilmesi ise basınç farkının % 24,76 azalmasına neden olmuştur.

Rüzgar kulesi yüksekliğinin arttırılmasının oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgesinde oluşan hava akışı üzerindeki etkisi daha küçük düzeyde gerçekleşmiştir. Rüzgar kulesinin yüksekliğinin 1m'den 3m'ye yükseltilmesi oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgelerindeki hava hızlarının % 3,93 oranında azalmasına neden olmuştur. Rüzgar kulesinin yüksekliğinin 3m'den 5m'ye yükseltilmesi oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgesindeki hava hızının % 1,36 azalmasına neden olmuştur.

Rüzgar kulesinin genişliğinin arttırılması da rüzgar kulesi performansı üzerinde daha az etkiye sahip olmuştur. Rüzgar kulesinin genişliğinin 1 m'den 1,5 m'ye yükseltilmesi, basınç farkının % 37,23 azalmasına neden olmuştur. Rüzgar kulesinin genişliğinin 1,5 m'den 2 m'ye yükseltilmesi ise basınç farkının % 40,5 azalmasına neden olmuştur.

Rüzgar kulesi genişliğinin arttırılmasının oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgesinde oluşan hava akışı üzerindeki etkisi daha da küçük düzeyde gerçekleşmiştir. Rüzgar kulesi genişliğinin 1 m'den 1,5 m'ye yükseltilmesi oturan kullanıcıların baş ve göğüs bölgesindeki hava hızının % 2,27 azalmasına neden olmuştur. Genişliğin 1,5 m'den 2 m'ye yükseltilmesi ise baş ve göğüs bölgesindeki hava hızının % 4,19 azalmasına neden olmuştur.

Rüzgar kulesi açıklık boyutunun değiştirilmesi rüzgar kulesinin performansı üzerinde en büyük etkiye sahip olmuştur. Rüzgar kulesindeki açıklık boyutunun 0,5m'den 1m'ye yükseltilmesi basınç farkının % 815,04 artmasına neden olmuştur. Açıklık boyutunun 1m'den 2m'ye yükseltilmesi, basınç farkının % 11,9 azalmasına neden olmuştur.

Rüzgar kulesi açıklık boyutunun 0,5 m'den 1 m'ye yükseltilmesi, oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgesindeki ortalama hava hızının % 88,03 artmasına neden olmuştur. Açıklık boyutunun 1m'den 2m'ye yükseltilmesi ise ortalama hava hızının % 99,09 artmasına neden olmuştur.

Bölme duvarı eklenmesi rüzgar kulesinin performansını etkilemiştir. Modeldeki basınç farkı ve ortalama hava hızı, iç açıklık konumuna göre değişmiştir. İç açıklık konumunun zemin seviyesinden bölme duvarının merkezine taşınması, model içindeki basınç farkının % 3,12 artmasına neden olmuştur. İç açıklık konumunun merkez seviyesinden çatı seviyesine taşınması ise model içindeki basınç farkının % 8,24 artmasına neden olmuştur. Oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgelerindeki ortalama akış hızı iç açıklığın yukarı hareket etmesi ile artış sağlamıştır. İç açıklığın taban seviyesinden bölme duvarının merkezi seviyesine taşınması, oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs bölgesindeki ortalama hava hızının % 42,86 artmasına neden olmuştur. İç açıklığın merkezi seviyeden tavan seviyesine taşınması ise aynı bölgedeki ortalama hava hızının % 6,8 artmasına neden olmuştur.

Genel olarak, rüzgar kuleleri hava akışını iç mekanda oturma pozisyonundaki kullanıcı seviyelerine doğru yüksek hızda yönlendirmiştir. Ağustos ayı Trabzon termal koşullarında rüzgar kuleleri tarafından sağlanan havalandırma termal rahatsızlığa neden olmuştur. En iyi sonuç MO0.5 modeli ile elde edilmiştir. Bu modelin rüzgar kulesi tek yönlü, 3m yüksekliğinde ve 1m genişliğinde olup 0.5 m giriş yüksekliğine sahiptir. Tablo 3.23, iç açıklığı olmayan modellerde elde edilen ortalama hava hızı ile baş ve göğüs seviyesindeki hesaplanan ortalama hava hızının en düşük olduğunu göstermektedir. Bu değerler sırasıyla 1.07 ve 1.17 m / s'dir.

İç açıklıklı modellerden Konfigürasyon 3 (tavan düzeyinde iç açıklığa sahip) ile mekanda daha düşük ortalama hava hızı sağlanmıştır. Ancak oturma pozisyonundaki kullanıcılar için Konfigürasyon 1 (zemin seviyesinde iç açıklığa sahip) oturma pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs hizasında 1.75 m / s'lik ortalama hava hızı ile daha fazla konfor sağlamıştır (Tablo 3.23).

Rüzgar kulesi açıklık boyutunun azaltılması ve zemin seviyesinde iç açıklıklı bölme duvarının eklenmesi durumunda oturan kullanıcılardaki termal koşullar iyileşmiştir. Optimum sonuçlar MO 0.5 + Konfigürasyon 1 modeli ile elde edilmiştir. Oturma

pozisyonundaki kullanıcıların baş ve göğüs hizasında elde edilen ortalama hava hızı değeri 0,83 m / sn'dir (Tablo 3.23).

Tablo 3.23. Modellerin özellikleri ve elde edilen değerler

| Model             | Rüzgar Kulesi |         |           |                    |                                | Elde Edilen Değerler              |                                                      |                            |
|-------------------|---------------|---------|-----------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------|
|                   | Tipi          | En* boy | Yükseklik | Açıklık yüksekliği | Bölme duvardaki açıklığın yeri | İç mekanda ki ortalama hız değeri | Baş ve göğüs bölgesinde hız ortalama değerleri (m/s) | Basınç değişimi            |
| BM1 (Temel model) | Tek Yönlü     | 1*1m    | 3m        | 1m                 | -                              | 2,03                              | 2,20                                                 | 10,34                      |
| BM2               | İki Yönlü     | 1*1m    | 3m        | 1m                 | -                              | 2,65                              | 2,47                                                 | 32,98                      |
| MH1               | Tek Yönlü     | 1*1m    | 1m        | 1m                 | -                              | 1,95                              | 2,29                                                 | 10,96                      |
| MH5               | Tek Yönlü     | 1*1m    | 5m        | 1m                 | -                              | 1,79                              | 2,17                                                 | 7.78                       |
| MW1.5             | Tek Yönlü     | 1.5*1.5 | 3m        | 1m                 | -                              | 1,85                              | 2,15                                                 | 6,49                       |
| MW2               | Tek Yönlü     | 2*2m    | 3m        | 1m                 | -                              | 1,62                              | 2,06                                                 | 3,86                       |
| MO 0.5            | Tek Yönlü     | 1*1m    | 3m        | 0.5m               | -                              | 1,07                              | 1,17                                                 | 1,13                       |
| MO 2              | Tek Yönlü     | 1*1m    | 3m        | 2m                 | -                              | 3,81                              | 4,38                                                 | 9,11                       |
| K1                | Tek Yönlü     | 1*1m    | 3m        | 1m                 | Zemin seviyesinde              | 2.64                              | 1,75                                                 | 5.77                       |
| K2                | Tek Yönlü     | 1*1m    | 3m        | 1m                 | Duvarın orta bölgesinde        | 2.27                              | 2,50                                                 | 5.95                       |
| K3                | Tek Yönlü     | 1*1m    | 3m        | 1m                 | Tavan düzeyinde                | 1.84                              | 2,67                                                 | 6.44                       |
| Optimum model     | Tek Yönlü     | 1*1m    | 3m        | 0.5m               | Zemin seviyesinde              | 1.08                              | 0.83                                                 | Sadece termodinamik analiz |

Optimize edilmiş model için iç ve dış ortam sıcaklıkları birbirine yakın olarak elde edilmiştir. Bu, rüzgar kulesinin dış ortamdaki hava akışını iç mekana taşıdığı anlamına gelmektedir. Bu nedenle binaya ısı transferi esas olarak konveksiyon ile gerçekleşmiştir.

Trabzon’da, ağustos ayındaki ortalama sıcaklık koşullarında, optimize edilen rüzgar kulesi mekana genel olarak hafif esinti sağlamaktadır. Bu durumda mekanda oturan kullanıcılar kendilerini biraz serin hissetmektedirler.

Literatür araştırması sonucunda Trabzon iklim koşullarında rüzgar kulesi ile ilgili bir çalışmanın yapılmadığı belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma kapsamında ağustos ayı iklimsel koşulları dikkate alınarak yapılan araştırmanın özellikle diğer yaz ayları koşullarında da yapılması ve elde edilecek sonuçlar neticesinde rüzgar kulesi pasif havalandırma tekniğinin modern sistemlerle bütünleştirilerek Trabzon’daki yapıların mimari tasarım süreçlerine dahil edilmesi önerilmektedir. Örnek olarak, daha fazla konfor sağlanabilmesi için, gelen hava akış hızının kullanıcılar tarafından ayarlanması gerekmektedir. Bunun için iç akışa hava akış kontrol mekanizması dahil edilebilir. Örneğin, ayarlanabilir kare petek menfez ile havalandırma oranı etkili bir şekilde azaltılabilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. The New York Times, Energy Crisis: Shortages Amid Plenty, 17 Nisan 1973, 1.
2. Rutledge, K., Ramroop, T., Boudreau, D., McDaniel, M., Teng, S., Sprout, E., Costa, H., Hall, H. ve Hunt, J., Air Pollution. <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/air-pollution> 30 Ocak 2019.
3. Chan, H., Y., Riffat, S., B. ve Zhu, J., Review Of Passive Solar Heating and Cooling Technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 2 (2010) 781–789.
4. Yang, T. ve Clements-Croome, D., J., Natural Ventilation in Built Environment, Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, (2018) 1–35.
5. Montazeri, H., Experimental And Numerical Study on Natural Ventilation Performance Of Various Multi-Opening Wind Catchers, Build Environment, 46, 2 (2011) 370–378.
6. Elmualim, A., A. ve Awbi, H., B. Wind Tunnel and CFD Investigation of the Performance of “Windcatcher” Ventilation Systems, International Journal Ventilation, 1, 1 (2002) 53–64.
7. Mahdavinejad, M. ve Javanroodi, K., Natural Ventilation Performance of Ancient Wind Catchers, an Experimental and Analytical Study - Case Studies: One-Sided, Two-Sided and Four-Sided Wind Catchers, International Journal of Energy Technology and Policy, 10, 1 (2014) 36–60.
8. Ghadiri, M., H., Ibrahim N., L. N. ve Mohamed, F., M., Applying Computational Fluid Dynamic to Evaluate the Performance of Four-Sided Rectangular Wind Catcher with Different Height, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 7,3 (2014) 502–509.
9. Ghadiri, M., H., Ibrahim N., L. N. ve Dehnavi, M., The Effect of Tower Height in Square Plan Wind catcher on its Thermal Behavior, Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5,9 (2011) 381-385.
10. Hosseini, S., H., Shokry, E., Ahmadian Hosseini, A., J., Ahmadi, G. ve Calautit, J., K., Evaluation of Airflow and Thermal Comfort in Buildings Ventilated with Wind

Catchers: Simulation of Conditions in Yazd City, Iran, Energy for Sustainable Development, 35 (2016) 7–24.

11. Gharakhani, A., Sediadi, E., Roshan, M. ve Sabzevar, H., B., Experimental Study On Performance Of Wind Catcher In Tropical Climate, ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences, 12, 8 (2017) 2551-2555.
12. Zarandi, M., M., Analysis on Iranian Wind Catcher and Its Effect on Natural Ventilation as a Solution towards Sustainable Architecture (Case Study: Yazd), International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering, 3 (2009) 668-673.
13. Ghadiri, M., H., Ibrahim N., L. N ve Aayani, R. The Effect of Wind Catcher Geometry on the Indoor Thermal Behavior, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5, 9 (2010) 381-385.
14. Montazeri, H. ve Montazeri, F., CFD Simulation Of Cross-Ventilation In Buildings Using Rooftop Wind-Catchers: Impact Of Outlet Openings, Renewable Energy, 118 (2018) 502–520.
15. Reyes, V. A., Moya S., L., Morales, J. M. ve Sierra-Espinosa F. Z., A Study Of Air Flow And Heat Transfer In Building-Wind Tower Passive Cooling Systems Applied To Arid And Semi-Arid Regions Of Mexico, Energy and Buildings, 66 (2013) 211–221.
16. Hughes, B., R ve Ghani, S., A., A Numerical Investigation Into The Effect Of Windvent Louvre External Angle On Passive Stack Ventilation Performance, Building and Environment, 45, 4 (2010) 1025–1036.
17. Liu, S., Mak, C., M. ve Niu, J., Numerical Evaluation Of Louver Configuration And Ventilation Strategies For The Windcatcher System, Building and environment, 46, 8 (2011) 1600–1616.
18. Elmualim, A., A., Effect Of Damper And Heat Source On Wind Catcher Natural Ventilation Performance, Energy and Buildings, 38, 8 (2006) 939–948.
19. Montazeri, H., Montazeri, F., Azizian, R. ve Mostafavi, S., Two-Sided Wind Catcher Performance Evaluation Using Experimental, Numerical And Analytical Modeling. Renewable Energy, 35, 7 (2010) 1424–1435.

20. Li, L. ve Mak, C., M., The Assessment Of The Performance Of A Windcatcher System Using Computational Fluid Dynamics, Building and environment, 42, 3 (2007) 1135–1141.
21. Calautit, J. ,K., Hughes, B., R., Chaudhry, H., N., ve Ghani, S., A., CFD Analysis Of A Heat Transfer Device Integrated Wind Tower System For Hot And Dry Climate, Applied Energy, 112 (2013) 576–591.
22. Calautit, J., K., Hughes, B.R. ve Ghani, S. A., Integration and Application of Passive Cooling Within a Wind Tower, HVAC&R Research, 20, 7 (2014) 722-730
23. Calautit, J., K., O'Connor, D. ve Hughes, B., R., A Natural Ventilation Wind Tower With Heat Pipe Heat Recovery For Cold Climates, Renewable Energy, 87 (2016) 1088–1104.
24. Bouchahm, Y., Bourbia, F., ve Belhamri, A., Performance Analysis And Improvement Of The Use Of Wind Tower In Hot Dry Climate, Renewable Energy, 36, 3 (2011) 898–906.
25. Nejat, P., Calautit, J., K, Majid, M. Z., Hughes, B., R., Zeynali, I. ve Jomehzadeh F., Evaluation Of A Two-Sided Windcatcher Integrated With Wing Wall (As A New Design) And Comparison With A Conventional Windcatcher, Energy and Buildings, 126 (2016) 287–300.
26. Levy A. Space Complexity and Architectural Conception: Revisiting Alberti's treatise, Semiotica, 175 (2009) 253-267.
27. Cambridge Advanced Learner's Dictionary, 3rd edition, Cambridge University Press, Cambridge, 2008.
28. Daich, S., Simulation et Optimisation du Système Light Shelf sous des Conditions Climatiques Spécifiques, Cas De La Ville De Biskra, Doktora Tezi, Université Mohamed Khider, Biskra, 2011.
29. CSTB., Comfort acoustique, Référentiel technique de certification « Bâtiments Tertiaires - Démarche HQE », 2005.
30. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, Atlanta, 2004.
31. Lechner N., Heating, Cooling, Lighting. 4th edition, Wiley, New Jersey, 2015.

32. Foruzanmehr, A., Thermal Comfort in Hot Dry Climates: Traditional Dwellings in Iran. 1st edition, Routledge, London, 2017.
33. Hoyt, T., Schiavon, S., Tartarini, F., Cheung, T., Steinfeld K, Piccioli, A., ve Moon, D, CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55, <https://comfort.cbe.berkeley.edu/> 7 Ocak 2020.
34. <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Thermal%20Booklet.pdf>, Thermal Comfort Booklet, 02 Ocak 2020.
35. Parsons, K., Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, And Performance, CRC Press, London, 2014.
36. Choudhury, A., R., Majumdar, P., K. ve Datta, C., Factors Affecting Comfort: Human Physiology and the Role of Clothing, Woodhead Publishing, (2011) 3- 60
37. Roaf, S., Fuentes, M. ve Thomas S., Ecohouse: a Design Guide, Architectural Press, Oxford, Boston, 2001.
38. Fanger, P., O., Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York, 1972.
39. Baniotopoulos, C., C., Borri, C. ve Stathopoulos, T., Environmental Wind Engineering and Design of Wind Energy Structures, Springer, New York , 2011.
40. Horan, P. ve Luther, M., B., Using the Psychrometric Chart in Building Measurements, 44th Annual Conference of the Architectural Science Association, Ocak 2010, Auckland, Bildiriler Kitabı, 1-8.
41. Olgyay, V., Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, New and Expanded Edition, Princeton University Press, Princeton, 2015.
42. Givoni, B., Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines, Energy and Buildings, 18, 1 (1992) 11–23.
43. Taylor, P., Francoeur, M., d’Ortigue, O., L., Tam, C. ve Trudeau, N., Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency, International Energy Agency, 2008, 1-36.



44. Desmond, N., ve Tang, H., H., Why Singapore is heating up twice as fast as the rest of the world. <https://www.channelnewsasia.com/news/cnainsider/singapore-hot-weather-urban-heat-effect-temperature-humidity-11115384> 30 Ocak 2019.
45. Shambharkar, R., M. Role of Micro And Macro Climatic Conditions to Achieve Sustainable Architecture, International Journal of Pure and Applied Research in Engineering and Technology, 4, 8 (2016) 481-495.
46. <https://rheologic.net/de/Wind-in-der-Stadtplanung>, Wind in Stadtplanung und Architektur, 16 Mayıs 2018.
47. Mikkonen, L., Management of Energy Efficiency in Buildings, Uniprint Oulu, 2012.
48. Arena, L., B., Construction Guidelines for High R-Value Walls without Exterior Rigid Insulation, Steven Winter Associates, Inc., Consortium for Advanced Residential Buildings, Norwalk, CT (United States), 2016.
49. Bauer, M., Möhle, P., ve Schwarz, M., Green Building: Guidebook for Sustainable Architecture, Springer Science & Business Media, New York, 2009.
50. Brown, G., Z. ve DeKay M., Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies, Third edition, Wiley, Hoboken, 2013.
51. Harris, D., J. ve Helwig, N., Solar Chimney and Building Ventilation. Applied Energy, 84, 2 (2007) 135–146.
52. Hall, R., Wang, X., Ogden, R. ve Elghali, L., Transpired Solar Collectors for Ventilation Air Heating, 2011, Institution of Civil Engineers: Energy, 164, 3: 101–10.
53. Hazim, B., A., Chapter 7- Ventilation, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2 (1998) 157 -188.
54. Anselm, A., J., Passive annual heat storage principles in earth sheltered housing, a supplementary energy saving system in residential housing, Energy Building, 40, 7, (2008) 1214–1219.
55. Lee, K., H. ve Strand, R., K., The Cooling and Heating Potential of an Earth Tube System in Buildings. Energy Buildings, 40, 4 (2008) 486–94.

56. Mongkon, S. , Thepa, S., Namprakai, P. ve Pratinthong, N., Cooling Performance and Condensation Evaluation of Horizontal Earth Tube System for The Tropical Greenhouse, Energy Building, 66, (2013) 104–111.
57. Deldar, N. ve Tahsildoost, M., To Restate Traditional Sustainable Solution, Iranian Tradiditional Natural Ventilation, 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, Eylül, 2007, Crete island, Greece, Bildiler Kitabı, 1, 261- 265.
58. Kavraz, M. Rüzgâr Kulelerinin Teknik ve Estetik Açidan Değerlendirilmesi: İran’da Yezd Kenti Örneği. III. Uluslararası Sosyal Bilimler Sempozyumu, Ekim 2017, Kahramanmaraş, Bildiler Kitabı, 25 -39.
59. Pirhayati, M., Ainechi, S., Torkjazi, M. ve Ashrafi, E., Ancient Iran, the Origin Land of Wind Catcher in the World, Research Journal of Environmental and Earth Sciences ,5 , 8 (2013) 433-9.
60. Bahadori ,M. ,N., An improved design of wind towers for natural ventilation and passive cooling. Solar Energy, 35, 2 (1985) 119–29.
61. Mahmoudi, M., Wind Catcher: The Symbol of Iranian Architecture. Yazda Publications, Tehran, Iran, 2007.
62. Kiani M., Y., History of Iranian Architectural Art during the Islamic Period, Samt Publishing, Tehran, 2003.
63. Roaf, S., The windcatchers of Yazd, Doktora Tezi, Oxford Polytechnic, Oxford, 1988.
64. Khatami, N., The Wind-Catcher, A Traditional Solution For A Modern Problem, Master of Philosophy, University of Glamorgan, South Wales, 2009.
65. Ghaemmaghami, P. S. ve Mahmoudi M., Wind Tower A Natural Cooling System İn Iranian Traditional Architecture, International Conference “Passive and Low Energy Cooling 71 for the Built Environment”, Mayıs 2005, Santorini, Greece, Bildiriler Kitabı, 71-76.
66. Golnar, N., Thermal Performance Of Architectural Features In Traditional Persian Dwellings, Doktora Tezi, McGill University, School of Architecture, Montreal 2009.

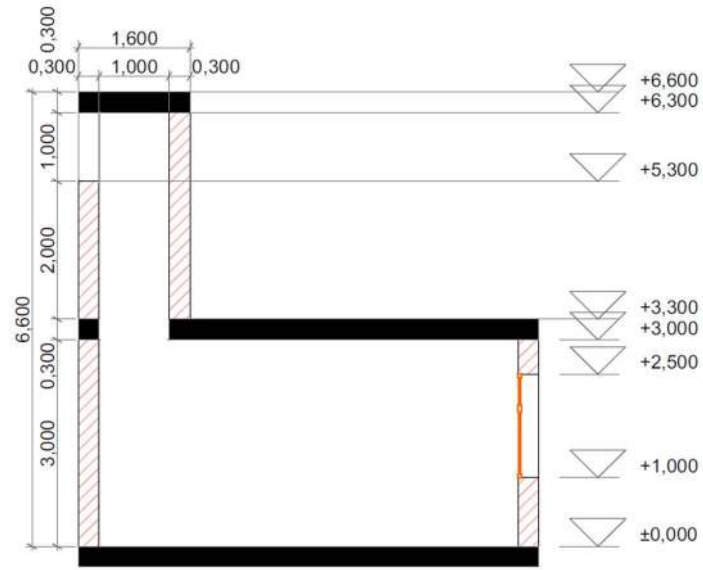
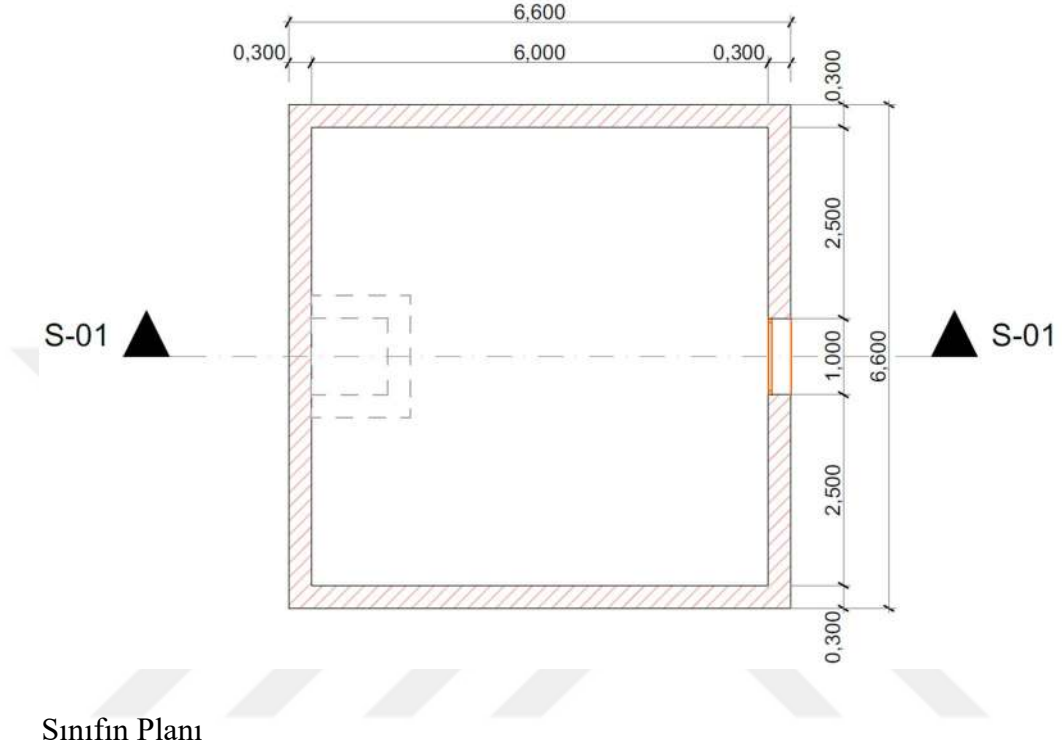
67. Maleki, B., A., Wind catcher: Passive and low energy cooling system in Iranian vernacular architecture., International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE), 8 (2011) 84-91.
68. Shabestari A.,F. ve Maleki B., A, Optimization of ‘Badgir (wind tower)’ in Iranian Hot-Arid Region Architecture, Conference On Technology & Sustainability in the Built Environment, 2010, King Saud University; bildiriler kitabı 445- 458.
69. Nejat, P., Jomehzadeh, F., Hussen, H., Calautit, J., vd Abd Majid, M., Application of Wind as a Renewable Energy Source for Passive Cooling through Windcatchers Integrated with Wing Walls, *Energie*, 11, 10 (2018) 2536-59.
70. Mahyari, A., The Wind Catcher A passive Cooling Device For Hot Arid Climate. , Doktora Tezi, The University of Sydney, Department Of Architectural And Design Science, Sydney, 1996.
71. Bahadori M., N., Wind towers: architecture, climate and sustainability. Springer, New York, 2014.
72. Al-Shaali, R., K., Maximizing Natural Ventilation By Design In Low Rise Residential Buildings Using Wind Catchers In The Hot Arid Climate Of UAE , Master of Building Science / Master in Biomedical Sciences, University of Southern California, Los Angeles, California, 2002.
73. Tolba, M., M., Wind Towers ‘Wind Catchers’ A Perfect Example of Sustainable Architecture in Egypt. International Journal of Current Engineering and Technology, 4 (2014) 430- 437.
74. Boloorch H. ve Eghtesadi N., Investigation of the Middle East Windcatchers and (Comparison between Windcatchers in Iran and Egypt in Terms of Components) , International Journal of Architecture and Urban Development, 4,1 (2014) 87-95.
75. Damlūgī S.S., The architecture of Oman, 1st edition, Garnet Publishing, Reading, 1998.
76. Esfeh, M., K, Dehghan, A., A. , Manshadi, M., D. ve Mohagheghian, S., Visualized Flow Structure Around and Inside of One-Sided Wind-Catchers, Energy and Buildings, 1, 55 (2012 ) 545–52.
77. Mahdavi, H., Fusion Of Contemporary Architecture With Historic Persian Elements , Yuksek lisans tezi, Unitec New Zealand, New Zealand, 2010.

78. Hejazi, B. ve Hejazi M., Persian wind towers: architecture, cooling performance and seismic behaviour, International Journal of Design & Nature and Ecodynamics.. 9,1 (2014)56–70.
79. Bahri H. Wind Power; Design Concerns Of Architects Of Past And Present, Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 4, S3 (2014) 1657-1663.
80. Abdaei, K. ve Azami, A., Sustainability Analyses of Passive Cooling Systems in Iranian Traditional Buildings approaching Wind-Catchers, Recent Advances in Energy, Environment and Development, (2013) 124-9.
81. Beazley, E., Harverson, M. ve Roaf, S., Living with the desert: working buildings of the Iranian Plateau, Aris & Phillips, Warminster, 1982.
82. El-Shorbagy, D., A., Design with Nature: Windcatcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings, International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, 10, 03 (2010) 26-31.
83. Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J., K., Yusof, M., B., Zaki, S., A., Hughes, B., R. ve Yazid M., N. , A Review on Windcatcher for Passive Cooling and Natural Ventilation in Buildings, Part 1: Indoor Air Quality and Thermal Comfort Assessment. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70 (2017) 736–56.
84. <https://www.terrageria.com/parks/np-image.zion45199.html> Zion Visitor Center 12 Augustos 2019.
85. Saadatian, O., Haw, L., C., Sopian, K. ve Sulaiman M., Y. Review of Windcatcher Technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16,3 (2012) 1477–95.
86. Hughes, B., R., Calautit, J.,K ve Ghani, S., A., The Development of Commercial Wind Towers for Natural Ventilation: A review, Applied Energy. 92 (2012) 606–27.
87. Çengel, Y., A. ve Cimbala, J., M., Fluid Mechanics: fundamentals and applications, Third edition, McGraw Hill, New York, 2014.
88. White, F., M., Fluid Mechanics, 6th Edition, McGraw-Hill, Boston, 2007.
89. Panton, R., L., Incompressible Flow, 4. Edition, Wiley, Hoboken, 2013.
90. Streeter, V., L ve Wylie, E., B., Fluid mechanics, 8. Edition, McGraw Hill, New York, 1985.

91. Batchelor, G., K., An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
92. Kolditz, O., Computational Methods in Environmental Fluid Mechanics, Springer, Tübingen, 2012.
93. Wallingford, M., P. ve Keith. A., Big Ideas: Fluid Dynamics  
<https://confluence.cornell.edu/display/SIMULATION/Big+Ideas%3A+Fluid+Dynamics> 9 Ocak 2020.
94. Beiser, A., Concepts of Modern Physics, 6th edition, Boston, McGraw-Hill, 2003.
95. Young, D., F., A Brief Introduction to Fluid Mechanics. 4th edition, Wiley, Hoboken, 2007.
96. Sert, C., Governing Equations of Fluid Flow and Heat Transfer  
<http://users.metu.edu.tr/csert/me582/ME582%20Ch%2001.pdf> 9 Ocak 2020
97. Tu, J., Yeoh, G., H. ve Liu, C., Computational Fluid Dynamics: a Practical Approach. 1st ed. Butterworth-Heinemann, Amsterdam, 2008.
98. Neufert, E. ve Neufert P., Architects' data, 3rd edition, Blackwell Science, Oxford, Malden, 2000.
99. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 11. Bölge Müdürlüğü , Aylık Ortalama Nispi Nem, Rüzgar Hızı ve Sıcaklık, Trabzon, 2018.

## 6. EKLER

### 6.1. EK Şekil 1. Sınıfın plan ve kesiti



### 6.2. EK Tablo 1. Meteoroloji verileri [99]

| Aylık Ortalama Nispi Nem (%)      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Yıl/Ay                            | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 2013                              | 61.9 | 71.4 | 68.4 | 78.8 | 78.4 | 72.5 | 66.8 | 66.3 | 68.4 | 71.2 | 69   | 62.8 |
| 2014                              | 68.4 | 69.2 | 74.6 | 81.3 | 80.6 | 74.7 | 75.7 | 74.8 | 73   | 76   | 70.5 | 71.6 |
| 2015                              | 70   | 69.7 | 81.7 | 76.2 | 85.5 | 82.3 | 73.8 | 74.3 | 77.2 | 78.7 | 63.3 | 66.4 |
| 2016                              | 66.2 | 68.5 | 70.9 | 73.3 | 83.4 | 77.8 | 72.4 | 74.2 | 66.6 | 76.4 | 65.3 | 69.1 |
| 2017                              | 67.6 | 66.3 | 75.1 | 77.4 | 83.4 | 78.6 | 72.9 | 76.9 | 74.5 | 70.6 | 67.8 | 65.2 |
| 2018                              | 70.6 | 76.4 | 76.5 | 75.5 | 83   | 75   | 73.2 | 70.3 | 73.7 | 76.6 | 72.3 | 71.8 |
| Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2013                              | 4    | 2.9  | 3.9  | 2.3  | 2.2  | 2.9  | 3.2  | 3    | 3.7  | 3    | 2.9  | 3.2  |
| 2014                              | 2.4  | 3    | 3    | 2.8  | 2.5  | 2.9  | 2.6  | 2.7  | 3.1  | 2.4  | 2.6  | 2.7  |
| 2015                              | 2.8  | 3.3  | 2.6  | 3.2  | 2.3  | 2.2  | 2.6  | 2.7  | 2.7  | 3.2  | 3.4  | 3.2  |
| 2016                              | 3.8  | 2.9  | 3.3  | 3.3  | 3    | 2.7  | 3.2  | 2.7  | 3.8  | 3.3  | 3.3  | 3.7  |
| 2017                              | 3.6  | 3.4  | 2.7  | 3.1  | 2.8  | 2.6  | 3    | 2.9  | 2.9  | 3.3  | 3    | 3    |
| 2018                              | 3.3  | 3    | 3.7  | 2.7  | 2.7  | 2.8  | 3    | 2.9  | 3.1  | 2.6  | 3.3  | 3.2  |
| Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2013                              | 9.7  | 10.1 | 11   | 12.5 | 18.9 | 21.9 | 24.1 | 25.1 | 20.9 | 15.7 | 15.1 | 7.6  |
| 2014                              | 10.2 | 9.7  | 10.7 | 12.8 | 17.6 | 21.5 | 24.7 | 26.2 | 22.4 | 17.8 | 12.8 | 12.3 |
| 2015                              | 8.1  | 9.4  | 8.9  | 10.7 | 15.9 | 21.2 | 23.8 | 26.3 | 24.1 | 18   | 14.6 | 9.3  |
| 2016                              | 7    | 10.7 | 11.1 | 14.2 | 16.6 | 22.2 | 24.5 | 26.2 | 21.7 | 17   | 13.5 | 6.8  |
| 2017                              | 6.9  | 6.6  | 9.6  | 11   | 15.4 | 20.8 | 24.5 | 26   | 23.1 | 17.3 | 13.7 | 11.9 |
| 2018                              | 9.5  | 10.1 | 12.3 | 13.3 | 19.1 | 23.5 | 25.6 | 25.7 | 22.5 | 19.2 | 14.5 | 10.6 |

## ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Antananarivo’da (Madagaskar) doğdu. İlköğrenimini Ecole Mialy’da, ortaöğretimini Mahasoazaza’da, lise eğitimini de Collège Saint Michel Amparibe’de tamamladı. 2011 yılında Ecole des Métiers et Art plastique’de başladığı Mimarlık eğitimini 2016 yılında tamamladı. Türkiye Bursları’ndan kazandığı burstan sonra 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. İyi derecede Fransızca, İngilizce ve Türkçe bilmektedir.

