

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK BİRİMLİ BİR BİNANIN DOĞAL HAVALANDIRMA DAVRANIŞININ
SAYISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman AVCI

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

OCAK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK BİRİMLİ BİR BİNANIN DOĞAL HAVALANDIRMA DAVRANIŞININ
SAYISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Osman AVCI
(503101120)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Y. Erhan BÖKE

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503101120 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Osman AVCI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÇOK BİRİMLİ BİR BİNANIN DOĞAL HAVALANDIRMA DAVRANIŞININ SAYISAL ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Erhan BÖKE**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. İ. Necmi KAPTAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Ş. Özgür ATAYILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **24 Ocak 2014**

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezi aşamasında, 4 katlı çok birimli bir bina sayısal olarak modellenmiştir. Modelleme çalışmaları kapsamında, analizlere etki eden parametreler belirlenmiştir ve sonuç olarak ilgili parametreler irdelenmiştir.

Bu yüksek lisans çalışmalarını yöneten, yönlendiren, değerli görüş ve eleştirileri ile tez çalışmalarımı destekleyen çok değerli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Y. Erhan Böke'ye teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Lisansüstü eğitimim boyunca çalışmalarımın her aşamasında dayanışma ve birlik içinde olduğum değerli arkadaşlarım Koray Bedir, Hülya Demir, Onur Temel, Yalçın Topaçoğlu, Yeşim Boylu'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca manevi desteğini esirgemeyen, kritik aşamalarda beni yönlendiren ve karar vermemi sağlayan Furkan Kamacı'ya teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca maddi-manevi desteğini, bilgi birikimini hiç esirgememiş olan arkadaşım İlkay Meşeli'ye ayrıca teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini esirgemeyen annem Habibe Ertuğral, ağabeyim İbrahim Avcı ve kardeşim Fatma Nur Avcı'ya teşekkür ederim.

Ocak 2014

Osman AVCI
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1.GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	1
1.3 Doğal Havalandırma.....	3
1.3.1 Doğal havalandırma ile ilgili temel prensipler.....	4
1.3.2 Yapının konumu, biçimi, planı, boşlukları ve doğal havalandırma	6
1.3.3 Doğal havalandırmanın avantajları ve dezavantajları	9
1.3.4 Doğal ve mekanik havalandırma arasındaki farklılıklar	10
1.4 Tasarıma Genel Bakış	12
1.4.1 Ayrıntılı tasarım aşaması.....	13
1.4.2 Fizibilite değerlendirmesi	14
1.4.3 Havalandırma stratejisi belirleme ve kullanma	14
1.4.4 Dahili hava akımı ve ilgili fenomenler.....	16
1.4.5 İşletmeye alma	17
2. SAYISAL YÖNTEM ÇÖZÜMLERİ	19
2.1 Korunum Denklemleri.....	19
2.2 Doğal Taşınım Çözümü.....	20
2.2.1 Boussinesq modeli	20
2.2.2 Doğal taşınım akış rejimi	21
2.3 Türbülansın Modellenmesi.....	22
2.3.1 Standart k-ε modeli	23
2.3.2 RNG k-ε modeli	24
2.3.3 Realizable k-ε modeli.....	24
2.3.4 Standart k-w modeli	25

2.3.5	Shear-Stress transport (SST) k-w modeli.....	25
2.3.6	Reynolds averaged yaklaşımı ve LES	25
3.	MÜHENDİSLİK HESAPLARI VE ANALİZLER.....	27
3.1	Doğal Havalandırmaya Ait Hesaplar.....	27
3.1.1	Isıl etkisi ile doğal havalandırma	27
3.1.2	Rüzgarın etkisi ile doğal havalandırma	28
3.1.3	Tek yönlü etki ile doğal havalandırma	31
4.	BİNA MODELLENMESİ VE ANALİZLERİ	33
4.1	Giriş	33
4.2	Binanın Sayısal Modellenmesi	33
4.2.1	İstanbul Göztepe bölgesi iklim koşullarının incelenmesi	34
4.2.2	Model oluşturulması.....	39
4.2.3	Çözüm ağı oluşturulması.....	40
4.2.4	Yüzeylerin tanımlanması ve sınır koşullarının belirlenmesi.....	43
4.2.5	Çözüm yönteminin geliştirilmesi	44
4.2.6	Bina model HM1 için analiz sonuçları.....	49
4.2.7	Bina model HM2 için analiz sonuçları.....	74
4.2.8	Bina model HM3 için analiz sonuçları.....	99
4.2.9	Bina model HM4 için analiz sonuçları.....	124
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	149
	KAYNAKLAR.....	151
	ÖZGEÇMİŞ.....	155

KISALTMALAR

ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BSI	: British Standards Institution
CFD	: Computational Fluid Dynamics
CIBSE	: Chartered Institution of Building Services Engineers.
C(0)	: Centered (Rüzgar hızının olmadığı durum)
E	: East (Doğu)
ENE	: East-Northeast (Doğu-Kuzeydoğu)
ESE	: East-Southeast (Doğu-Güneydoğu)
HM1	: Havalandırma Model 1
HM2	: Havalandırma Model 2
HM3	: Havalandırma Model 3
HM4	: Havalandırma Model 4
N	: North (Kuzey)
NE	: Northeast (Kuzeydoğu)
NNE	: North-Northeast (Kuzey-Kuzeydoğu)
NNW	: North-Northwest (Kuzey-Kuzeybatı)
NW	: Northwest (Kuzeybatı)
S	: South (Güney)
SE	: Southeast (Güneydoğu)
SSE	: South-Southeast (Güney-Güneydoğu)
SSW	: South-Southwest (Güney-Güneybatı)
SW	: Southwest (Güneybatı)
W	: West (Batı)
WNW	: West-Northwest (Batı-Kuzeybatı)
WSW	: West-Southwest (Batı-Kuzeybatı)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Bina analiz durumlarında belirtilen kodlamalar.....	34
Çizelge 4.2 : İstanbul Göztepe bölgesi için 2011 yılı aylara göre ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık ve hız değerleri.	36
Çizelge 4.3 : İstanbul Göztepe bölgesi 2011 yılı aylara göre hakim olan rüzgar yönlerinin sayısal verileri.....	37
Çizelge 4.4 : İstanbul Göztepe bölgesi için hakim rüzgar koşuluna göre (kuzey) 2011 yılı aylara göre ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık ve hız değerleri.	38
Çizelge 4.5 : İlgili kısımlar için belirlenen ağ yapıları, tipleri.....	42
Çizelge 4.6: Yüzey tanımlamaları.	43
Çizelge 4.7: Sınır koşulları ve değerleri.	44
Çizelge 4.8 : Düzlemlerin isimlendirilmesi.	49
Çizelge 4.9 : Bina model HM1 için baca açıklıklarından giren ve çıkan havanın hız değerleri.	57
Çizelge 4.10 : Bina model HM1 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.	58
Çizelge 4.11 : Bina model HM1 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.	58
Çizelge 4. 12 : Bina model HM1 için baca açıklıklarındaki basınç değerleri.	65
Çizelge 4.13 : Bina model HM1 için kuzey cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.	66
Çizelge 4.14 : Bina model HM1 için güney cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.	66
Çizelge 4.15 : Bina model HM1 için baca açıklıklarından giren ve çıkan hava miktarları.	67
Çizelge 4.16 : Bina model HM1 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.	68
Çizelge 4.17 : Bina model HM1 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.	69
Çizelge 4. 18: Bina model HM2 için baca açıklıklarından giren ve çıkan havanın hız değerleri.	82
Çizelge 4.19: Bina model HM2 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.	82
Çizelge 4.20 : Bina model HM2 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.	83
Çizelge 4. 21 : Bina model HM2 için baca açıklıklarındaki basınç değerleri.	90

Çizelge 4.22 : Bina model HM2 için kuzey cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.	91
Çizelge 4.23 : Bina model HM2 için güney cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.	91
Çizelge 4.24 : Bina model HM2 için bacadan giren ve çıkan hava miktarları.	92
Çizelge 4.25 : Bina model HM2 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.	93
Çizelge 4.26 : Bina model HM2 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.	94
Çizelge 4. 27: Bina model HM3 için baca açıklıklarından giren ve çıkan havanın hız değerleri.	107
Çizelge 4.28: Bina model HM3 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.	107
Çizelge 4. 29 : Bina model HM3 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.	108
Çizelge 4. 30 : Bina model HM3 için baca açıklıklarındaki basınç değerleri.	115
Çizelge 4.31 : Bina model HM3 için kuzey cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.	116
Çizelge 4.32 : Bina model HM3 için güney cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.	116
Çizelge 4.33 : Bina model HM3 için bacadan giren ve çıkan hava miktarları.	117
Çizelge 4.34 : Bina model HM3 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.	118
Çizelge 4. 35 : Bina model HM3 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.	119
Çizelge 4. 36: Bina model HM4 için baca açıklıklarından giren ve çıkan havanın hız değerleri.	131
Çizelge 4.37: Bina model HM4 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.	131
Çizelge 4. 38 : Bina model HM4 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.	132
Çizelge 4. 39 : Bina model HM4 için baca açıklıklarındaki basınç değerleri.	139
Çizelge 4.40 : Bina model HM4 için kuzey cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.	140
Çizelge 4.41 : Bina model HM4 için güney cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.	140
Çizelge 4.42 : Bina model HM4 için bacadan giren ve çıkan hava miktarları.	141
Çizelge 4.43 : Bina model HM4 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.	142
Çizelge 4. 44: Bina model HM4 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.	143

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Uygun dış hava devinimi ile yapı içindeki havanın akışı.....	5
Şekil 1.2 : Yapı çevresinde/içinde ısı etkisi ile hava devinimi oluşması.....	6
Şekil 1.3 : Devinim doğrultusu ile dik ve 45° açı yapan konumlanış ve basınç dağılımı.....	6
Şekil 1.4 : Dış hava devinimi - yapı konumlanışı ilişkisi.....	7
Şekil 1.5 : Çatı eğimine göre yapı çevresinde oluşan basınç bölgeleri.....	7
Şekil 1.6 : Doğal havalandırmaya uygun pencere açılışları.....	8
Şekil 1.7 : Havanın pencere boşluğu içinde dolaştırılması.....	9
Şekil 1.8 : Havanın denetimli ızgaralar ve boşluklarla yapı içine alınması.....	9
Şekil 1.9 : Havalandırma durumlarına örnekler (akış modeli).....	11
Şekil 1.10 : Dahili hava bölgeleri ve ilişkili olaylar.....	12
Şekil 1.11 : Ayrıntılı tasarım süreçlerinin basitleştirilmiş görünüşü.....	13
Şekil 3.1 : Isıl etki ile havanın baca etkisi ile dışarı atımı.....	28
Şekil 3.2 : Küçük veya geniş açıklarda havalandırma. (i) ve (iii) kaldırma kuvveti etkisi, (ii) ve (iv) rüzgar etkisi (çarpaz akışlı havalandırma).....	28
Şekil 4.1 : 2011 yılı İstanbul Göztepe bölgesine ait aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri.....	35
Şekil 4.2: 2011 yılı İstanbul Göztepe bölgesine ait aylık ortalama, maksimum ve minimum rüzgar hız değerleri.....	35
Şekil 4.3 : Bina geometri görünüşleri.....	39
Şekil 4.4 : Odanın örnek görünüşü.....	40
Şekil 4.5 : Bina geometrisine ait çözüm ağları görünüşü.....	40
Şekil 4.6 : Bina ve iklim koşullarının oluşturulduğu hacmin çözüm ağları görünüşü.....	41
Şekil 4.7 : Çözüm ağı kalitesi.....	41
Şekil 4.8 : Çözüm için Fluent programında genel ayarların yapılması.....	45
Şekil 4.9 : Çözüm modellerinin belirlenmesi.....	46
Şekil 4.10 : Belirlenen modeller için havanın özelliklerinin girilmesi.....	46
Şekil 4.11 : Ayrıklaştırma yönteminin belirlenmesi.....	47
Şekil 4.12 : Analiz için radyatör sınır şartının tanımlanması.....	48
Şekil 4.13 : Hava sıcaklık sınır şartının tanımlanması.....	48
Şekil 4.14 : Hava hızı sınır şartının tanımlanması.....	48
Şekil 4.15 : Düzlemlerin konumlandırılması.....	49
Şekil 4.16 : Model HM1 için Y1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.....	51
Şekil 4.17 : Model HM1 için Y2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.....	51
Şekil 4.18 : Model HM1 için Y3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.....	52

Şekil 4.19 : Model HM1 için Y4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	52
Şekil 4.20 : Model HM1, Y2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	53
Şekil 4.21 : Model HM1, Y4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	53
Şekil 4.22 : Model HM1 için D1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	54
Şekil 4.23 : Model HM1 için D2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	54
Şekil 4.24 : Model HM1 için D3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	55
Şekil 4.25 : Model HM1 için D4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	55
Şekil 4.26 : Model HM1, D2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	56
Şekil 4.27 : Model HM1, D4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	56
Şekil 4.28 : Model HM1 için Y1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	59
Şekil 4.29 : Model HM1 için Y2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	60
Şekil 4.30 : Model HM1 için Y3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	60
Şekil 4.31 : Model HM1 için Y4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	61
Şekil 4.32 : Model HM1, Y2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	61
Şekil 4.33 : Model HM1, Y4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	62
Şekil 4.34 : Model HM1 için D1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	62
Şekil 4.35 : Model HM1 için D2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	63
Şekil 4.36 : Model HM1 için D3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	63
Şekil 4.37 : Model HM1 için D4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	64
Şekil 4.38 : Model HM1, D2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	64
Şekil 4.39 : Model HM1, D4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	65
Şekil 4.40 : Model HM1, Y1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	70
Şekil 4.41 : Model HM1, Y2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	71
Şekil 4.42 : Model HM1, Y3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	71
Şekil 4.43 : Model HM1, Y4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	72
Şekil 4.44 : Model HM1, D1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	72
Şekil 4.45 : Model HM1, D2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	73
Şekil 4.46 : Model HM1, D3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	73

Şekil 4.47 : Model HM1, D4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.....	74
Şekil 4.48 : Model HM2 için Y1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	76
Şekil 4.49 : Model HM2 için Y2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	76
Şekil 4.50 : Model HM2 için Y3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	77
Şekil 4.51 : Model HM2 için Y4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	77
Şekil 4.52 : Model HM2, Y2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	78
Şekil 4.53 : Model HM2, Y4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	78
Şekil 4.54 : Model HM2 için D1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	79
Şekil 4.55 : Model HM2 için D2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	79
Şekil 4.56 : Model HM2 için D3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	80
Şekil 4.57 : Model HM2 için D4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	80
Şekil 4.58 : Model HM2, D2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	81
Şekil 4.59 : Model HM2, D4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	81
Şekil 4.60 : Model HM2 için Y1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.....	84
Şekil 4.61 : Model HM2 için Y2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.....	85
Şekil 4.62 : Model HM2 için Y3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.....	85
Şekil 4.63 : Model HM2 için Y4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.....	86
Şekil 4.64 : Model HM2, Y2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.....	86
Şekil 4.65 : Model HM2, Y4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.....	87
Şekil 4.66 : Model HM2 için D1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.....	87
Şekil 4.67 : Model HM2 için D2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.....	88
Şekil 4.68 : Model HM2 için D3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.....	88
Şekil 4.69 : Model HM2 için D4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.....	89
Şekil 4.70 : Model HM2, D2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.....	89
Şekil 4.71 : Model HM2, D4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.....	90
Şekil 4.72 : Model HM2, Y1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.....	95
Şekil 4.73 : Model HM2, Y2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.....	96
Şekil 4.74 : Model HM2, Y3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.....	96
Şekil 4.75 : Model HM2, Y4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.....	97
Şekil 4.76 : Model HM2, D1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.....	97

Şekil 4.77 : Model HM2, D2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	98
Şekil 4.78 : Model HM2, D3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	98
Şekil 4.79 : Model HM2, D4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	99
Şekil 4.80 : Model HM3 ve HM4 için Pressure Jump katsayı değeri.	99
Şekil 4.81 : Model HM3 için Y1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	101
Şekil 4.82 : Model HM3 için Y2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	101
Şekil 4.83 : Model HM3 için Y3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	102
Şekil 4.84 : Model HM3 için Y4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	102
Şekil 4.85 : Model HM3, Y2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	103
Şekil 4.86 : Model HM3, Y4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi... ..	103
Şekil 4.87 : Model HM3 için D1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	104
Şekil 4.88 : Model HM3 için D2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	104
Şekil 4.89 : Model HM3 için D3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	105
Şekil 4.90 : Model HM3 için D4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	105
Şekil 4.91 : Model HM3, D2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	106
Şekil 4.92 : Model HM3, D4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	106
Şekil 4.93 : Model HM3 için Y1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	109
Şekil 4.94 : Model HM3 için Y2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	110
Şekil 4.95 : Model HM3 için Y3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	110
Şekil 4.96 : Model HM3 için Y4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	111
Şekil 4.97 : Model HM3, Y2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	111
Şekil 4.98 : Model HM3, Y4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	112
Şekil 4.99 : Model HM3 için D1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	112
Şekil 4.100 : Model HM3 için D2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	113
Şekil 4.101 : Model HM3 için D3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	113
Şekil 4.102 : Model HM3 için D4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	114
Şekil 4.103 : Model HM3, D2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	114
Şekil 4.104 : Model HM3, D4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	115
Şekil 4.105 : Model HM3, Y1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	120
Şekil 4.106 : Model HM3, Y2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	121

Şekil 4.107 : Model HM3, Y3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	121
Şekil 4.108 : Model HM3, Y4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	122
Şekil 4.109 : Model HM3, D1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	122
Şekil 4.110 : Model HM3, D2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	123
Şekil 4.111 : Model HM3, D3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	123
Şekil 4.112: Model HM3, D4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	124
Şekil 4.113 : Model HM4 için Y1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	125
Şekil 4.114 : Model HM4 için Y2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	125
Şekil 4.115 : Model HM4 için Y3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	126
Şekil 4.116 : Model HM4 için Y4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	126
Şekil 4.117 : Model HM4, Y2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	127
Şekil 4.118 : Model HM4, Y4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	127
Şekil 4.119 : Model HM4 için D1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	128
Şekil 4.120 : Model HM4 için D2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	128
Şekil 4.121 : Model HM4 için D3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	129
Şekil 4.122 : Model HM4 için D4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.	129
Şekil 4.123 : Model HM4, D2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	130
Şekil 4.124 : Model HM4, D4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.	130
Şekil 4.125 : Model HM4 için Y1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	133
Şekil 4.126 : Model HM4 için Y2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	134
Şekil 4.127 : Model HM4 için Y3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	134
Şekil 4.128 : Model HM4 için Y4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	135
Şekil 4.129 : Model HM4, Y2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	135
Şekil 4.130 : Model HM4, Y4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	136
Şekil 4.131 : Model HM4 için D1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	136
Şekil 4.132 : Model HM4 için D2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	137
Şekil 4.133 : Model HM4 için D3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	137
Şekil 4.134 : Model HM4 için D4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.	138
Şekil 4.135 : Model HM4, D2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	138
Şekil 4.136 : Model HM4, D4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.	139

Şekil 4.137 : Model HM4, Y1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	144
Şekil 4.138 : Model HM4, Y2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	145
Şekil 4.139 : Model HM4, Y3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	145
Şekil 4.140 : Model HM4, Y4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	146
Şekil 4.141 : Model HM4, D1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	146
Şekil 4.142 : Model HM4, D2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	147
Şekil 4.143 : Model HM4, D3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	147
Şekil 4.144 : Model HM4, D4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.	148

SEMBOL LİSTESİ

A	: Açıklık alanı
C	: Doğal taşınım korelasyon sabiti
C_{1ε}, C_{2ε}, C_{3ε}	: k-ε türbülans modeli sabitleri
C_μ	: k-ε türbülans modeli dinamik viskozite sabiti
Gr	: Grashof sayısı
G_b	: Kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans kinetik enerjinin üretimi
G_k	: Ortalama hız gradyanından dolayı türbülans kinetik enerjinin üretimi
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Taşınım katsayısı, saat açısı
k	: Türbülans kinetik enerjisi, ısı iletim katsayısı
L	: Karakteristik uzunluk
l	: Duvar kalınlığı
Nu	: Nusselt sayısı
P	: Nokta
Pr	: Prandtl sayısı
p	: Basınç
q_c	: Doğal taşınım ile olan ısı transferi
q_{in}	: Duvar yüzeyine gelen radyasyon enerjisi
q_{rad}	: Radyasyon ile olan ısı transferi
Ra	: Rayleigh sayısı
R_t	: Isıl direnç
$\vec{r}$	: Konum vektörü
T	: Sıcaklık
T_a	: Hava sıcaklığı
T_{al}	: Yerel hava sıcaklığı
T_{max}	: Maksimum yüzey sıcaklığı
T_{min}	: Minimum yüzey sıcaklığı
T₀	: Çalışma sıcaklığı
Tu	: Türbülans yoğunluğu

U	: Toplam ısı geçiş katsayısı Rüzgar hızı
u, v, w	: Akışkanın ortalama hız bileşenleri
u_i	: Anlık hız
x, y, z	: Kartezyen koordinatlar
Y_M	: Sıkışabilirliğin türbülans üzerindeki etkisi

Yunan Harfleri

α	: Isı yayılma katsayısı
β	: Hacimsel ısı genleşme katsayısı
Ω'	: Katı açısı
δ	: Deklinasyon açısı
ε	: Türbülans sönümlleme hızı, yayma oranı
μ	: Dinamik viskozite
μ_t	: Türbülans dinamik viskozitesi
ν	: Kinematik viskozite
ρ	: Yoğunluk, yansıtma oranı
ρ_0	: T_0 sıcaklığına karşılık gelen sabit yoğunluk değeri
σ	: Stefan-Boltzmann sabiti
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$	: k - ε için prandtl sayıları
θ	: Rüzgar yönü
Σ	: Toplam
Δ	: Fark
λ	: Isı geçişinde özdeğer

ÇOK BİRİMLİ BİR BİNANIN DOĞAL HAVALANDIRMA DAVRANIŞININ SAYISAL ANALİZİ

ÖZET

Doğal havalandırma, basit bir şekilde yapı, bina veya belli bir hacim içinde uzun süredir bulunan yaşlanmış/kirli havanın taze hava ile yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Rüzgar ve sıcaklık farklılıkları gibi doğal kuvvetlerin kullanılarak ortama taze havanın sağlanması doğal havalandırmanın temel prensiplerindendir. Doğal havalandırma, sürdürülebilirlik ve yeşil enerji kavramları konseptlerini içerdiğinden günümüzde yaygın olarak bilinmektedir. Diğer bir yandan, doğal havalandırma, diğer havalandırma sistemlerine göre daha az enerji ve yapısal donanım ihtiyacı duyarak daha ucuz bir şekilde havalandırma sağlamaktadır. Kentsel alanlarda kurulan yüksek katlı binaların sayılarının günden güne artması bölgeye bulunan hakim rüzgarların doğal havalandırma davranışlarının önemli ölçüde değişmesine sebebiyet vermektedir.

Yapılan tez çalışması kapsamında etrafı açıklık olan ve yaklaşık 345 m² alan üzerine kurulu 4 katlı ve birçok birimden oluşan binanın hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile doğal havalandırma analizi yapılmıştır.

Oluşturulan çok birimli bina toplamda 4 kattan oluşmaktadır ve her katta karşılıklı olarak 4'er oda bulunmaktadır. Toplamda bina tasarımı için 32 ofis oluşturulmuştur. Kaldırma kuvveti ve rüzgar kuvvetlerinin etkisi yapılan analizlerde incelenmiştir. Tasarımı yapılan bina üzerinde belirli alanlarda açıklıklar ve baca oluşturulmuştur. Açıklıklar ofis olarak adlandırdığımız birimlerde pencere ve kapı üzerine karşılıklı gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Rüzgar hızı, yönü ve sıcaklığının belirlenmesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 2011 yılına ait saatlik veriler alınmıştır ve bu veriler irdelenerek sınır koşulları belirlenmiştir. Hakim yön olan kuzey, ortalama sıcaklık 15 °C ve ortalama hız 1,5 m/s verilerin incelenmesi sonucu analizlerde kullanılmıştır. Bacanın ve açıklıkların açıklık durumuna göre toplamda 4 adet sayısal analiz gerçekleştirilmiştir.

Sayısal analiz çalışmalarından önce binanın üç boyutlu geometrisi GAMBİT 2.4.6 programında oluşturulmuştur. Geometrisi oluşturulan modelin sonlu hacimler metodu kullanılarak ayrıklaştırma işlemi ve sınır koşul ve süreklilik türlerinin atanması yine GAMBİT programında yapılmıştır. Sayısal çözümler genel olarak yaygın kullanılan ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan FLUENT programında yapılmıştır. Bina içerisindeki sayısal çözümlerde hava akışı özelliğinden dolayı viskoz çözüm yöntemi olarak türbülans çözüm yöntemi ve türbülanslı akışın modellenmesinde RNG k-ε modeli kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ile baca ve açıklıklardaki sıcaklık, basınç değişimleri ve kütleli debi değerleri hesaplanmıştır.

NUMARICAL ANALYSIS OF NATURAL VENTILATION IN MULTI-UNIT BUILDING

SUMMARY

There is an increasing demand for higher quality office buildings. Occupants and developers of office buildings ask for a healthy and stimulating working environment. They also demand buildings that create less environmental damage. In the 1990's, concern about global warming has resulted in a resurgence of interest in naturally ventilated offices.

Natural ventilation is a promising strategy for improving the indoor air quality while reducing environmental damages. It is also a method to eliminate or reduce the energy consumption of air conditioning systems, especially for buildings that are located in temperate weather areas.

Some research results have shown good agreement between prediction and measurement of natural ventilation in small simple buildings, however in large scale complex buildings, such as commercial buildings, natural ventilation is much more difficult to predict. These large naturally ventilated buildings can have a much more significant impact on energy usage than small buildings.

In this study, the natural ventilation efficiency of a multi-unit building is investigated by computational fluid dynamics. Building area is 345 m² and it has four floors. Each floor has 8 office rooms which are located mutually. The office building comprises 32 office modules in total, distributed over four floors and two orientations: 4 office modules/floor at each of the two orientations.

The dimensions of room are 4.1 m wide, 3.5 m high, 4.65 m long. There is an internal wall between office modules and corridor has an openable window above the door to facilitate the air flow between northern and southern spaces. Each office has two windows (one is located to top of the bigger window and other one is located to top of the door) to allow natural day or night ventilation.

Window which is located to top of bigger window has height and length of 2,75 m, 0,5 m, respectively. In addition to this, other window is located to top of the door has height and length of 2 m, 0,5 m, respectively. In two cases, windows and openings of the chimney are let to be full opened and in other two cases windows and openings of the chimney are half opened.

During the analysis, a radiator is placed onto each room for heating purpose. Dimensions of the radiator are 1 meter height and 0,6 meter length. In total, 32 radiators were used for analysis. Capacity of the each radiator is 1400 W/m².

Furthermore, there is a chimney which is located to top of the whole building is used for analysis and examined its effects on natural ventilation of the building. Chimney has an openable window on itself to facilitate the air flow between northern and southern spaces. The window on chimney has length and height of 19 meter and 0,5 meter respectively.

The simulations were performed with climatic data of Goztepe (region of Istanbul, Turkey). The weather data were recorded by The Turkish State Meteorological Service and consist of 12 actual months, representative of the average climate at Goztepe. The meteorological data was presented hourly from January to December. On the other hand, the meteorological data gives information about wind direction, magnitude of velocity and temperature of air hourly. Furthermore, the data was researched extensively.

Dominant wind direction is understood from the meteorological data that the direction of north for the year 2011 in Goztepe, Istanbul. In 2011, according to data from Turkish State Meteorological Service, wind had blown 3484 hours towards the north. For this study, the results which are obtained from data are showed that average temperature is 15,79 °C and average magnitude of velocity is 1,52 m/s for the north. So, for this study, we chose constant temperature value (15 °C) and constant wind speed (1,5 m/s) . We did not also change the wind direction during the study.

There is one building model is modelled within the scope of this study. According to opening condition of the chimney and windows openings 4 numerical analysis were determined and obtained totally. First case is, whole windows and openings of the chimney are open. Second case, whole windows are open but southern opening of the chimney is closed. Third case is, all of the southern and northern windows are half open and openings of the chimney are also half open. Last case is, southern and northern windows are half open and southern opening of the chimney is closed but northern opening of the chimney is half open.

The most CFD is based on the finite-volume method and the following comments relate to that. . Subsequently the process of generating unstructured grids, was done for this design. The choice of calculation domain and the associated grid (or mesh) has long been recognised as being very important to the results of the calculations. It is not just a matter of the size of the individual cells that comprise the grid, but also their shape and orientation. Generally speaking, the density of the grid needs to be larger in regions of high spatial gradients and in regions of particular interest.

A geometrical representation of the whole building including rooms and control volume was produced in Gambit program. The method which is held in this study is first to create a room with a dimension as the same as other room in Gambit program. And openings are located onto rooms. After create the room, corridor, chimney and control volumes are generated. The next step to gain a successful conclusion was the use of the “wall” and “interior” boundary conditions.

In Gambit program, Submap and TGrid were used as element type. In addition to this, Hex and Tet/Hybrid element construction were used to generate to nodes. 0,1 – 0,3 – 1 – 2 interval sizes were used for constitute the whole volume. In total 5.657.754 elements were generated by volume for analysis of natural ventilation in multi-unit building.

Boundary conditions have to be specified at the surfaces of the model and at solid surfaces within the control volume. In this way the openings models could be easily produced when two or more “walls” were substituted for two or more “interiors”. To make this process simple, again the “interior” and “wall” boundary conditions play important roles. For the external part of the control volume, boundary conditions for velocity and temperature have to be specified at the inlet, outlet and remaining surfaces.

The numerical methodology is based on the finite volume numerical solution of the Navier–Stokes equations, using the CFD commercial code FLUENT. Currently, computational fluid dynamics (CFD) model is used extensively in the analysis of airflow, temperature and contaminant distributions. CFD simulation can provide detailed thermal environment and contaminant information. In recent years, CFD has become a more reliable tool for the evaluation of indoor thermal comfort and air quality.

In contrast, CFD uses turbulence models to solve the Navier–Stokes equations to predict detailed information on the indoor environment. Turbulence is simulated by the standard k - ϵ model which is reported to be a good approximation especially for near-wall flows.

The k - ϵ RNG model was used in the CFD simulation because this model has steady and easily convergent advantages. In this study a commercial CFD package FLUENT, was used to simulate the air flow in and around building and rooms. The analysis was conducted at steady state and with 3-dimensional models. Natural convection has been modeled by employing Boussinesq method which yields good results provided with small difference in extremum values of temperature within the space in question.

In this work, buoyancy ventilation was initially considered without any wind over the building exterior. Buoyancy ventilation is a widely used strategy for natural ventilation design. Under real conditions, the outside wind is very difficult to describe and simulate because of its fluctuation. To simplify this problem, in this model experiment, the outside (ambient) air was controlled at a constant temperature of 15 °C and constant wind speed of 1,5 m/s. Also, heat flux of the each radiator is 1400 W/m² designated for each numerical analysis.

The mass flow rate is calculated from results of the numerical solutions at the inside, all of northern and southern windows of the building and chimney openings. Also, CFD simulation provides detailed spatial distributions of air velocity, air pressure, temperature, contaminant concentration and turbulence by numerically solving the governing conservation equations of fluid flows. It is a reliable tool for the evaluation of thermal environment and contaminant distributions. So, velocity field, pressure distribution and temperature distribution throughout the building are examined in detail.

1.GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmadaki amaç, İstanbul Göztepe bölgesinde bulunan 4 katlı ve çok birimden oluşan bir binanın etkin rüzgar yönünde ve ortalama rüzgar sıcaklığı ve hızında, birim içerisinde bulunan radyatörlerde ısıtma yapıldığında birim içerisinde uygun pozisyonarda konumlandırılmış açıklık ve baca açıklık pozisyonlarına göre ortamdaki havanın kütleli debi, basınç dağılımı, sıcaklık ve hız değişimlerinin araştırılmasıdır. Çok kat ve birimden oluşan yapılarda rüzgar hızı ve sıcaklığa bağlı olarak ortamdaki değişimlerin gösterilmesi ve analiz sonuçlarının incelenmesi de amaçlar arasındadır.

1.2 Literatür Araştırması

Bu çalışmada doğal havalandırma konularında mevcut çalışmaları incelemek adına kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatür araştırması yapılırken üniversite kütüphanelerinin sunduğu kitaplardan yararlanılmasının yanı sıra İTÜ kütüphanesinin digital veritabanlarında (ASHRAE Standartları, Science Direct, Science Online vb.) doğal havalandırma anahtar kelimesi taratılarak elde edilen sonuçlar da incelenmiştir. Ayrıca konu ile ilgili olarak birçok makale ve tez de incelenmiştir. Yapılan araştırmalarda ortaya çıkan sonuçlar irdelendiğinde son yıllarda konu ile ilgili bilimsel çalışmaların gitgide arttığı gözlenmektedir. Bu da doğal havalandırma ile ilgili çalışmaların arttığına işaret etmektedir.

Doğal havalandırmanın kendisi yeni bir yöntem olmadığı yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır. 150 yıl öncesine ait doğal havalandırma yönteminin hatta mekanik havalandırmanın kullanıldığı örneklere rastlamak mümkündür [1]. Bu süre zarfında öncesinde de insanlar tarafından kullanılan kapalı mekanlar doğal olarak havalandırılıyordu. Genel olarak kapalı alanların belirli bir amaç (depo, yaşam alanı vb) olarak kullandığı zamanları doğal havalandırmanın başlangıcı kabul edilebilir. Buna örnek olarak Neolitik döneme ait Çin yapıları [2], 100 yıl öncesine ait Japon

pirinç odaları [3] ve Anadolu’da bulunan tarihi evler gösterilebilir [4] . 1940’lı yıllarda doğal havalandırma ile yapılan araştırmaların çoğu orta-katlı binalar, hastaneler, hayvan çiftlikleri vb. üzerine olmuştur [5-8] ve bu yapılar on yıllar boyunca faaliyet göstermişlerdir. Az katlı binalarda doğal havalandırma bina cepheleri arasında oluşan basınç farklılıklarından elde edilir [9]. Yapılan ilk tasarımlar öncelikle deneyseldi ve tecrübeler sonucu geliştirilmiştir.

Birçok ülkede doğal havalandırmanın yanı sıra geleneksel pasif soğutma teknikleri de geliştirilmiştir. Yüzyıllar boyunca kazanılan deneyim günümüz modern doğal havalandırma binalara baktığımızda anlaşılmaktadır. Rüzgar destekli cihazların kullanılması buna örnek olabilir. Ancak bir binaya gelen rüzgarın ortalama hızı, yerden yukarıya doğru yüksekliğin artması ile artar. Gelen rüzgarın hız profili ve türbülans şiddetinin her ikisi de akış modeline ve yüzey basınçlarına etti ettiğinden binanın yüksekliğinin artması ile ters orantılı olarak doğal havalandırma yöntemi verimli olmaz. Bu gibi durumlarda doğal havalandırma yerini mekanik havalandırma sistemleri ile beraber çalışabilecek sistemlere veya tamamen mekanik havalandırma sistemlerine bırakmıştır.

Diğer bir yandan geçmişte yaşanan enerji krizleri enerji tasarrufunun önemini ve bunun sonucunda doğal havalandırma konusuna olan ilgiyi arttırmıştır. Konu ile alakalı olarak yapılan çalışmalar genellikle Avrupa’da yürütülmüştür. Bunlardan bazıları NatVent (1994-1998), IEA Annex 23, CIBSE (1998), URBVENT (2002-2003) vb. örnek olarak verilebilir ve bu çalışmaların raporları birçok bilimsel makaleye kaynak olmuştur [10-11]. Günümüzde yüksek kaliteli binalarda talep artışı mevcuttur. Bina sakinleri ve yatırımcılar çevresel hasara daha az sebep olacak binalara eğilim göstermektedirler. Avrupadaki toplam tüketilen enerji miktarının yaklaşık %40’ının yapı sektörüne harcandığını hesaplanmıştır ve bu sonuç fosil yakıtların meydana getirdiği çevresel etkileri azaltmada anahtar faktör olarak rol oynamaktadır [12-13].

Temel olarak binaları insanların yaşadığı veya çalıştığı yerler olarak iki ana gruba ayırabiliriz. Temel olarak bakıldığında insanların çalıştığı binalar, konutlara oranla daha fazla aydınlatma ihtiyacı gerektirir. İş merkezleri tükettikleri enerjinin %50’si aydınlatmaya harcanırken, ısıtma için harcanan oran %25’tir. Bunun yanı sıra, insanların yaşadığı binalarda ise, harcanan enerjinin yaklaşık %80’i sıcaklık ve aydınlatma değerlerinin korunumu için kullanılır [14].

Soğuk iklimlerde, binalarda aydınlatma ihtiyacı elektrik kullanılarak giderme eğilimindedir ve ısıtma için kullanılan enerji daha düşük önceliklidir fakat binaların aşırı ısınmasını önlemek yüksek önceliğe sahiptir. Havalandırma ile ilgili temel problem binaların derin tutulmasıdır fakat bunun yanı sıra ele alınması gereken başka problemler de mevcuttur. İngiltere’de Chartered Institution of Building Services Engineers (C.I.B.S.E., 1997) [15] ve British Standards Institution (B.S.I., 1991) [16] tarafından yayınlanan doğal havalandırma tasarımı için iki kaynak mevcuttur.

Doğal havalandırılmalı sistemler kullanılarak enerji tasarrufu dışında avantajlar da sağlamaktadır. Araştırmalar göstermiştir ki doğal havalandırılmalı sistemlerde termal konfor aralığı standart mekanik iklimlendirme sistemlerine göre önemli ölçüde daha geniştir. Bu gelişmenin sonucu olarak ASHRAE Standart 55 2004 yılında revize edilerek doğal havalandırılmalı binalar için termal konfor koşulları adapte edilmiştir [17-18].

ASHRAE tarafından yapılan araştırma projesi RP-884, 4 farklı kıtada ve farklı ilkim koşullarındaki 160 ofis binasından alınan veriler incelemesi sonucunda doğal havalandırılmalı sistemlerin daha yüksek kullanıcı tatmini sağladığı görülmüştür [19].

1.3 Doğal Havalandırma

Günümüzde fosil kaynakların kullanımının minimize edilmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklardan mümkün olduğu ölçüde yararlanılmaya çalışılmaktadır.

Bu kapsamda yapılarda havalandırma ve soğutma amacıyla enerji tüketimini azaltmanın en uygun yollarından biri doğal havalandırma olarak görülmektedir. Doğal havalandırmada mekanik fan sistemlerindeki fan gücüne karşılık rüzgar gücü ve ısı gücü gibi doğal güçlerden yararlanılmaktadır. Bu bakımdan yapıların havalandırması doğal havalandırma ile kontrol edilebilir olmalıdır. Uygun şartların seçilmesi ile doğal havalandırma değerleri yüksek oranda iç ve dış ortam arasındaki ısı transfer koşullarını sağlamaktadır. Havalandırma oranları sıcaklık, kirlilik ve hava hareketini kontrol etmek için seçilir. Binanın ısı kapasitesi ve ısı kazanımı ile havalandırma göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bakımdan binalar enerji ihtiyacını karşılamak ve fosil yakıt kullanımını en aza indirmek için doğal havalandırma ile tasarlanmış olması gerekmektedir [14].

Kapalı bir mekândaki kullanılmış, kirli ve ısınmış havanın, temiz, kirletici içermeyen hava ile yer değiştirmesi havalandırma olarak tanımlanır. Havanın yer değiştirmesi, başka bir anlatımla hava devinimleri, hava sıcaklığı ile ilişkili olan basınç farklarından kaynaklanır. Çeşitli etkenlerle (ısıtma, üretim, ulaşım ya da güneş) ısınan hava genleşir, basıncı azalır ve yükselir. Yükselen havanın yerini soğuk olan yüksek basınçlı hava alır. Yapıda istenen düzeyde havalandırmanın doğal yöntemlerle sağlanmasında hava devininin oluşumu, hızı, davranışı, biçimlenişi, yapı çevresinde ve içinde ortaya çıkardığı basınç bölgelerinin dağılımı ve basınç düzeyleri önemlidir.

Devinim her durumda havanın yüksek basınçlı (pozitif) bölgesinden alçak basınçlı (negatif) bölgesine doğru akmasıyla gerçekleşir; akarken karşılaştığı engellere göre farklı davranışlar gösterir ve engelin çevresinde farklı hava basınç bölgeleri oluşturur [20].

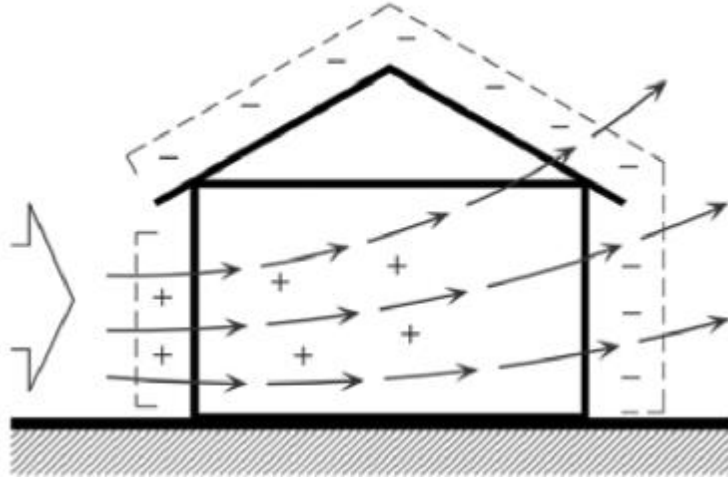
1.3.1 Doğal havalandırma ile ilgili temel prensipler

Binalar etrafındaki hava akışları; binalarda çalışanların emniyetine, içeride üretilen mallerın kalitesine, binalardaki makina ve cihazların çalışmasına, havalandırma kanalının emme ağzından havanın ve kirleticilerin giriş şartları ile sıcaklık, nem, hava hareketi ve kirleticilerin kontrolüne etki ederler. Rüzgarların binaların etrafında oluşturduğu değişken yüzeysel basınçlar, havanın giriş ve çıkış ağızlarında hava debisinin değişimine, doğal havalandırmanın, havanın bina içine sızmasına veya dışına kaçmasına ve bina içindeki basıncın değişmesine neden olur. Bir binanın etrafından akan rüzgarın ortalama hızı, türbülans şiddeti, çıkış gazlarının hava giriş ağzından içeri girmesine sebep olabilir.

Söz konusu basınç değişimi üç şekilde sağlanır: rüzgar hareketi, sıcaklık ve nem farkı. Doğal havalandırma sistemlerini girişin ve çıkışın aynı önemde olduğu bir devre olarak görebiliriz. Binanın içinde bu devre panjurlar, kapı üstü pencereler, ızgaralar ve açık planlarla sağlanabilir. Rüzgar binaya ana yönünden girebilir ve ters yönden çıkabilir. Binanın içinde, dış duvarın uygun görülen bir kısmından giren soğuk hava, içeride ısınarak yükselir ve tavandan, bacadan veya uygun bir açıklıktan çıkabilir. Nemdeki farklılık da benzer bir akım sağlar. Yaz aylarında hava sıcaklığının yüksek olması dolayısıyla rüzgar oldukça fazla kullanılabilirken, kışları fazla nem ve kirli havayı boşaltmak için kullanılabilir. Tasarımda rüzgar giriş ve

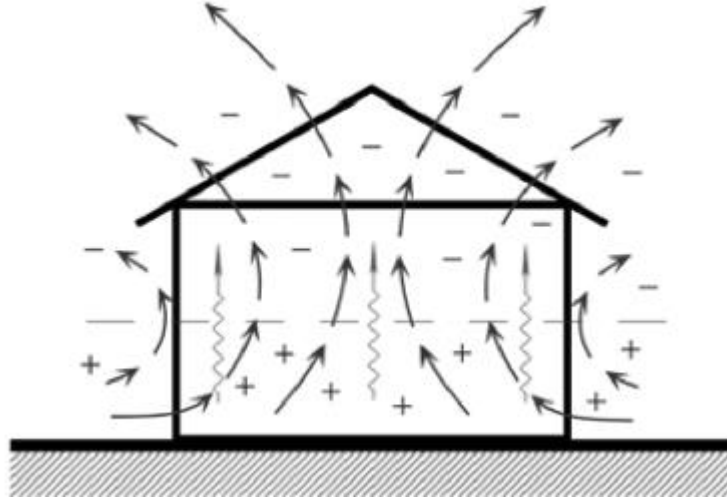
ıkış doğrultudaki hava hareketlerinin sağlanması, veya engellenmesi önemlidir. Bu bakımdan hava akımına dik bölmeler ve kapalı kapıların olmaması önemlidir. Diğer bir yandan, giriş ve çıkış pencereleri birbirinin aynısı gibi direkt konumlandırılmamalı, havalandırmanın etkin olup, içeride dolaşması gerekliliği de unutulmamalıdır.

Yapıda etkin doğal havalandırma, temiz havanın yapı içine alınması, yapıda dolaştırılması ve kirlenen havanın yapıdan uzaklaştırılması ile sağlanır. Bu durum, dış vrede yapıyı etkileyen uygun nitelikteki hava deviniminden yararlanılarak ya da yapı vresinde/içinde ısı etkisi ile hava devinimi oluşturularak gerçekleşebilir (şekil 1.1).



şekil 1.1 : Uygun dış hava devinimi ile yapı içindeki havanın akışı.

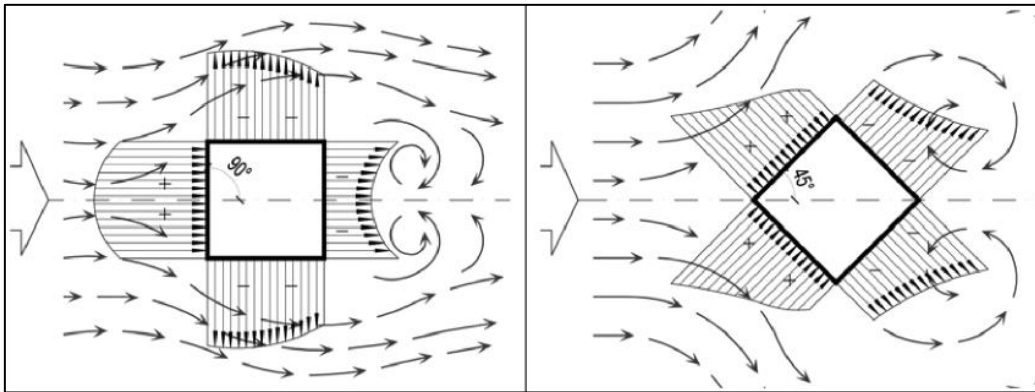
Doğal havalandırmanın niteliğinde ve yeterliliğinde yapının konumunun, biçiminin, planının (yapı birimlerinin yerleşimi) ve boşluklarının bu devinime uygun düzenlenmesi etkilidir [20-21]. şekil 1.2’de yapı vresinde/içinde ısı etkisi ile meydana gelen hava hareketleri gözükmektedir.



Şekil 1.2 : Yapı çevresinde/içinde ısı etkisi ile hava devinimi oluşması.

1.3.2 Yapının konumu, biçimi, planı, boşlukları ve doğal havalandırma

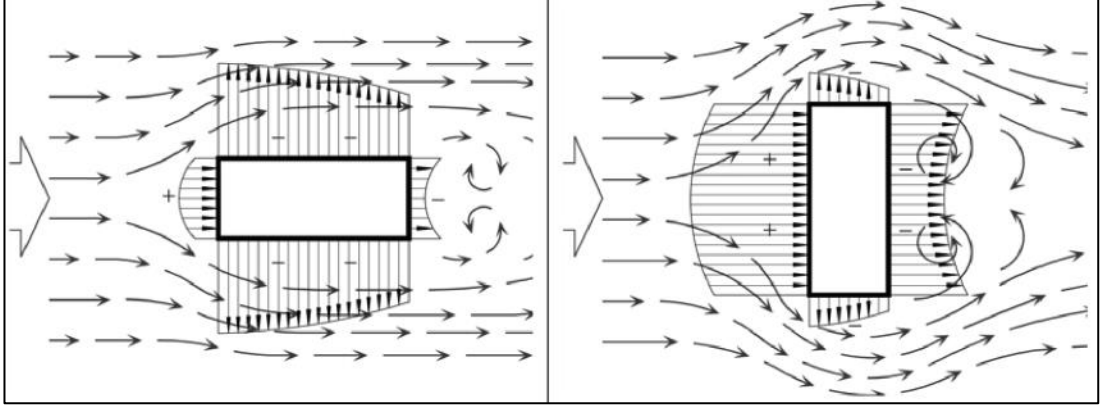
Yapının konumu, etkin doğal havalandırma için uygun dış hava deviniminden ve güneşin ısıtıcı etkisinden yararlanma açısından önemlidir. Devinen hava bir yapı ile karşılaştığında yapının çevresinde farklı düzeylerde basınç bölgeleri oluşturur. Devinimi karşılayan yapı cephesinde pozitif basınç ile itme etkisi, diğer cephelerde negatif basınç ile emme etkisi ortaya çıkar [22] . Yapının konumu ve devinim doğrultusu ile yaptığı açıya göre değişen hava basınç bölgeleri ve düzeyleri Şekil 1.3'te görülmektedir [23] .



Şekil 1.3 : Devinim doğrultusu ile dik ve 45° açı yapan konumlanış ve basınç dağılımı.

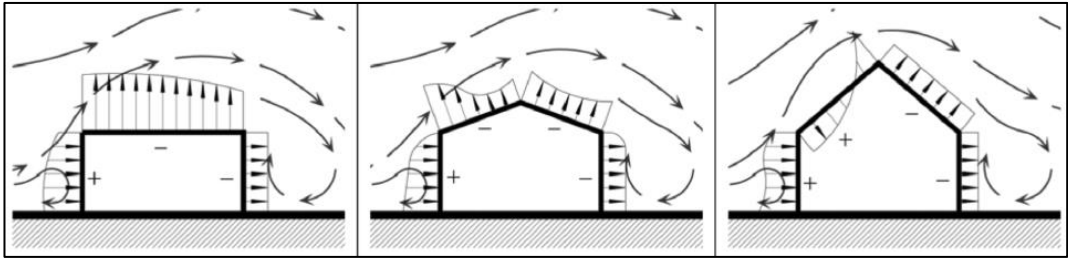
Yapının biçimi dış hava deviniminin yapı çevresinde oluşturduğu basınç bölgelerini ve düzeylerini etkilemektedir. Dar cephesi dış hava devinimi doğrultusunda biçimlenen yapıların geniş cephelerinde negatif basınç sonucu güçlü emme etkisi ortaya çıkar. Yapının geniş cephesi hava devinimi doğrultusunda biçimlendirilirse,

bu cephede pozitif basınç ile güçlü itme etkisi, karşı cephede ise negatif basınç ile güçlü emme etkisi oluşur [24] (bkz Şekil 1.4).



Şekil 1.4 : Dış hava devinimi - yapı konumlanışı ilişkisi.

Yapı kabuğunun biçimlenişi ve üst örtünün eğimi hava deviniminin yapı çevresinde oluşturduğu basınç bölgelerini ve düzeylerini etkiler [25] (Bkz Şekil 1.5).



Şekil 1.5 : Çatı eğimine göre yapı çevresinde oluşan basınç bölgeleri.

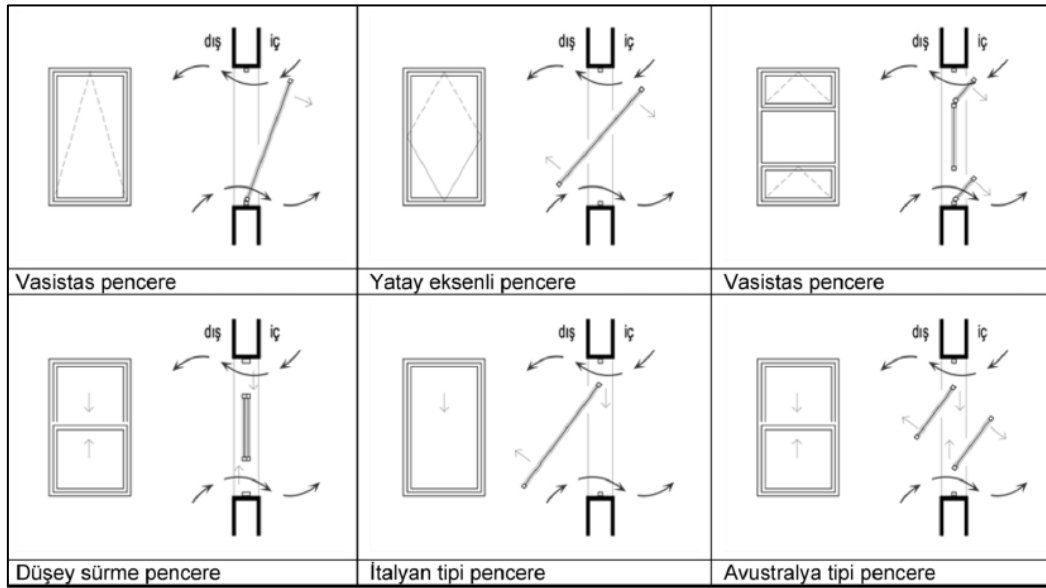
Yapı içindeki birimlerin, her birim etkin bir doğal havalandırmadan yararlanacak şekilde, dış çevre hava devinimleri ve güneş ışıınımı göz önüne alınarak düzenlenmesi önemli görülmektedir. Havanın yapı içindeki devinimi göz önüne alınarak, hava kirliliği üreten birimler ile diğer birimlerin yerleşimi, kirlilik yayılmayacak biçimde düzenlenebilir. Planlamada iç bölmelerin ve donanımların hava devinimini engellememesini ve yönlendirmesini sağlamak havalandırma açısından olumludur.

Yapıda duvar boşluklarının (pencere ve kapı), bacaların ve kulelerin düzenlenmesi, iç ortamda oluşturulacak doğal hava devinimini etkiler. Yeterli doğal havalandırma, tüm yapı birimlerinde temiz havanın mekâna gireceği ve kirli havanın uzaklaştırılacağı uygun boşluk/boşluklar tasarlanması ile sağlanabilir.

Duvar boşluklarının düzenlenmesinde yararlanılmak istenen dış hava deviniminin doğrultusu ve boşlukların birbirine göre konumu havalandırma açısından etkilidir. Havanın uygun hızda, yön değiştirerek mekânın tümünde sürekli devindiği örnekler havalandırma açısından olumludur. Mekân içindeki bölücülerin uygun yerleşimi olumsuz havalandırma örnekleri etkin havalandırmaya dönüştürülebilir. Buna karşın iç mekândaki hava devinimi göz önüne alınmadan konumlandırılan bölücüler havalandırma etkinliğinin azalmasına neden olabilir.

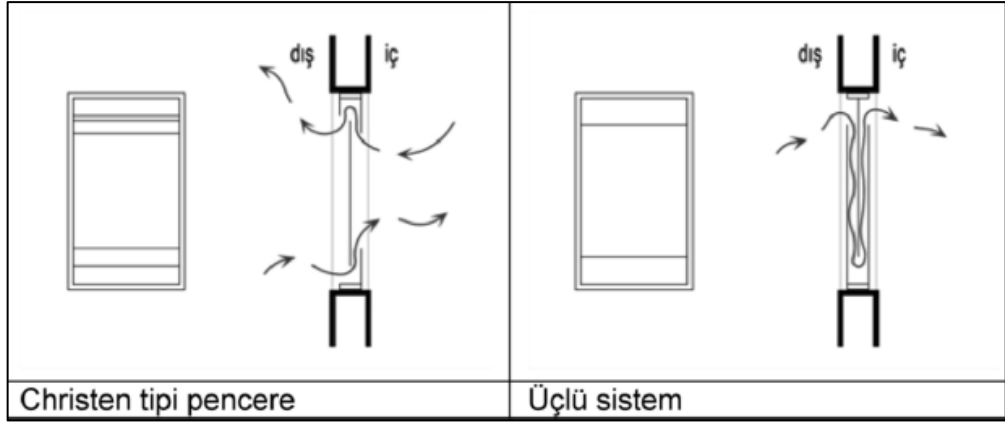
Havalandırmanın etkinliği açısından temiz havanın mekâna girdiği duvar boşluğu, kirli havanın mekândan uzaklaştırıldığı boşluktan küçük olmalıdır [26]. Duvar boşluğunun üst bölümünde kirli ve sıcak hava, alt bölümünde daha soğuk olan temiz hava, ortasında ise devinimin olmadığı tarafsız bir bölge bulunur. Bu nedenle doğrama açılışının ve kanat düzenlemesinin bu ilkeye uygun olması önemlidir.

Şekil 1.6’da ise havalandırma açısından uygun pencere açılışları örneklenmektedir. Şekil 1.6’da görülen pencere açılışlarından farklı olarak havanın dolaştırılması özellikle soğuk bölgelerde ısı korunumu açısından yarar sağlar [27].



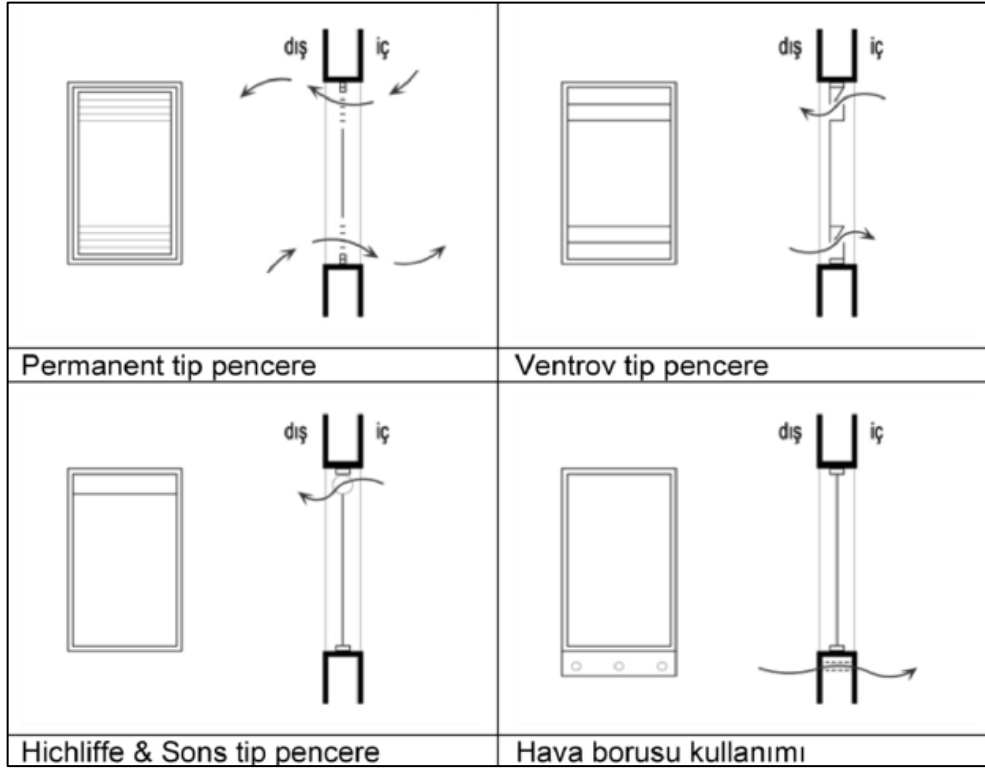
Şekil 1.6 : Doğal havalandırmaya uygun pencere açılışları.

Çoğunlukla açılmayan bu doğramalar iki ya da daha çok saydam yüzeyden oluşur (bkz. Şekil 1.7).



Şekil 1.7 : Havanın pencere boşluğu içinde dolaştırılması.

Duvar ya da doğrama üzerinde düzenlenen denetimli ızgara ve boşluklar (bkz Şekil 1.8) havanın giriş - çıkış hızını ve sürekliliğini belirlemeye olanak sağlar.



Şekil 1.8 : Havanın denetimli ızgaralar ve boşluklarla yapı içine alınması.

1.3.3 Doğal havalandırmanın avantajları ve dezavantajları

Doğal havalandırma, mekanik havalandırma ve klima sistemleri ile karşılaştırıldığında avantaj ve dezavantajından bahsetmek ve kesin bir tanımlama yapmak zordur. Çünkü bunlar binaların kullanım amacına ve ortamda yer alan iklim koşullarına bağlıdır. Diğer bir yandan, doğal havalandırmanın avantajları ve dezavantajları ile ilgili bazı genel yorumlar yapılabilir.

Doğal havalandırmanın en önemli avantajlarından biri sürdürülebilir olmasıdır. Doğal havalandırma yüzyıllardır varlığını sürdürmektedir. Ayrıca, doğal havalandırma fanların çalışması için elektrik enerjisi tüketmediğinden, mekanik olarak havalandırılan bir binanın tükettiği elektrik enerjisinden yaklaşık %25 oranında daha az bir elektrik tüketir. Isının geri kazanımı ile dengeli bir mekanik sistem bir dereceye kadar telafi edilebilir [28].

Diğer bir yandan, bina sakinleri yaşadıkları çevre üzerinde kontrol sahibi olmak isterler ve dış ortamdaki tamamen izole olmamak isterler. Bu bakımdan doğal havalandırma bu ihtiyaçları karşılar durumdadır fakat klimalı sistemler bunu tam olarak bina sakinlerinin bu ihtiyacını karşılayamamaktadır.

Bir dezavantaj olarak doğal havalandırma sıcak iklimlerde ve özellikle nemli ortamlarda imkanı belirli ölçülerde sınırlıdır. Bu bakımdan doğal havalandırma bazı iklim koşullarında kabul edilebilirdir ve sürdürülebilir (düşük enerjili) soğutma sistemleri ile entegre etmek gereklidir.

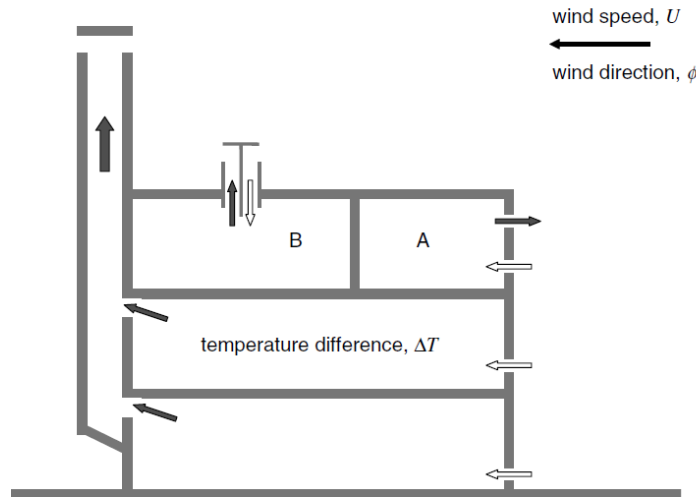
Ticari bir açıdan bakıldığında genellikle doğal havalandırma mekanik sistemlere göre daha az yatırım maliyeti ve daha düşük işletme maliyeti (enerji, bakım vb.) sunar. Ev gibi küçük yapılarda doğal havalandırma makul olmakla birlikte havalandırmaya bağlı harcanan enerji miktarı mekanik sistemler kullanılarak harcanan enerjiden daha azdır. Ticari amaçla kullanılan yapılarda, ekipmanları kaparak, ısıtma ve soğutma ile havalandırmayı entegre ederek ve kullanılan kat alanını maksimize ederek doğal havalandırma ile kar elde edilebilir.

Ayrıca doğal havalandırmanın tesis odası alanı veya kanal ağları için alana ihtiyacı yoktur, fakat genellikle baca ve atriumlar için alan gereklidir. Doğal havalandırmanın diğer bir dezavantajı, doğal havalandırma sistemindeki hataları düzeltmek düşünüldüğünden zor olabilir. Karma biçimdeki sistemler bu problemlerin çözümüne olanak sağlar. Doğal havalandırmanın karşısına çıkan engeller ve bu engelleri aşmanın yolları, Avrupa araştırma projesi (NatVent, 1997) konusu olmuştur [11].

1.3.4 Doğal ve mekanik havalandırma arasındaki farklılıklar

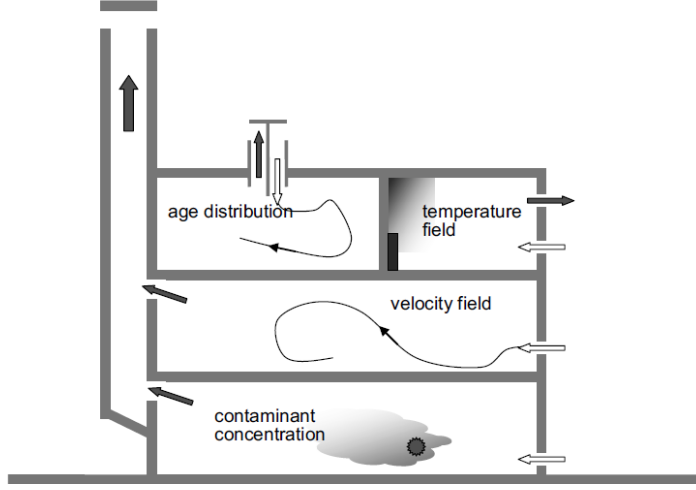
Tamamen doğal havalandırma sistemi ve tamamen mekanik havalandırma sistemi arasında önemli farklılıklar vardır. Temel fark, zarf akış hızı ve doğal havalandırma sisteminin yönlerinin farklılığı öngörülememektedir. İlk olarak zarf akışlarını daha sonra iç hava hareketini dikkate alarak bu farklılıklar tanımlanabilir.

Şekil 1.9 birçok açıklıklı çok hücreli zarftadi doğal havalandırmayı göstermektedir. Herhangi bir anda, debi, q ; şu faktörler tarafından belirlenir; rüzgar hızı (U), rüzgar yönü (ϕ), iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı (ΔT), ve açıklık alanı (A). Bu faktörlerin her biri zamana bağımlıdır ve bu debi miktarının değişiminin yanı sıra istenmeyen yön değişikliklerine (içe veya dışa doğru) de yol açar. Ayrıca, debinin değerleri birbirlerine bağlıdır. Örneğin, bir odada bulunan pencerenin açılması, diğer açıklıklardan geçen debi miktarını etkilemektedir. Buna karşılık olarak, dengeli bir mekanik sistem büyüklük, yön ve bağımsızlık bakımından sabit bir debi sağlayacaktır.



Şekil 1.9 : Havalandırma durumlarına örnekler (akış modeli).

Şekil 1.10 iç hava hareketini ve ilgili doğa olaylarını göstermektedir. Bir odadaki hava hareketi ivme ve kaldırma kaynakları (sıcaklık farkı) tarafından oluşturulur. Açıklıklar boyunca geçen akış momentum (ve kaldırma kuvveti) kaynağıdır ve bu az önce bahsedilen nedenlerden dolayı zamanlar değişir. Mekanik sistemlerde havanın çıktığı ve sağlandığı yer debi gibi sabittir. Katı yüzeylerdeki ısı transferi kaldırma kuvvetinin önemli bir kaynağıdır. Bunlara örnek olarak, ısıtma-soğutma yüzeyleri, aydınlatma cihazları, duvarlar ve pencereler, elektronik ekipmanların yüzeyleri ve insanın kendisi verilebilir. Bu etkiler doğal ve mekanik sistemlerin hepsi için değişkendir. Fakat önemli bir fark vardır. Doğal sistem ile, iç sıcaklık değişimleri debiyi etkileyebilir.



Şekil 1.10 : Dahili hava bölgeleri ve ilişkili olaylar.

Doğal bir sistemde, debide ve hava akışında meydana gelen öngörülemeyen değişiklik belirlenerek ele alınmalıdır. Tasarımın bir amacı da akışkanların istenen yönde tutulmasını sağlamaktır, yani zarf (havalandırma stratejisi) boyunca hava giriş ve çıkış yapısı değişmez. Tasarımda diğer bir amaç da, debi miktarının kontrolünü yeterince izin verecek şekilde açıklıkların konumlarını ve boyutlarını sağlamaktır. Bu amaç sağlansa bile, mekanik sistemler ile ilişkili hava hareketinin ve debinin kontrolünün elde edilemeyeceğinin farkına varılması gerekir. Ancak, bu bina sakinleri için bir sorun olduğu anlamına gelmez hatta aslında olumlu bir fayda olarak kabul edilebilir [29].

1.4 Tasarıma Genel Bakış

Doğal havalandırma sisteminin tasarımı doğası gereği kusurlu bir iştir. Hava ve kullanıcıların davranışları gibi öngörülemeyen değişkenleri içerir. Öncelikle rüzgar ve kaldırma kuvvetleri gibi hakim rüzgarların hakim olduğu fiziksel süreçler durumu karmaşıktır. Rüzgar basınçları iç sıcaklıklar ve bina aralıkları gibi önemli parametreler tasarımda belirsizlik yaratabilir.

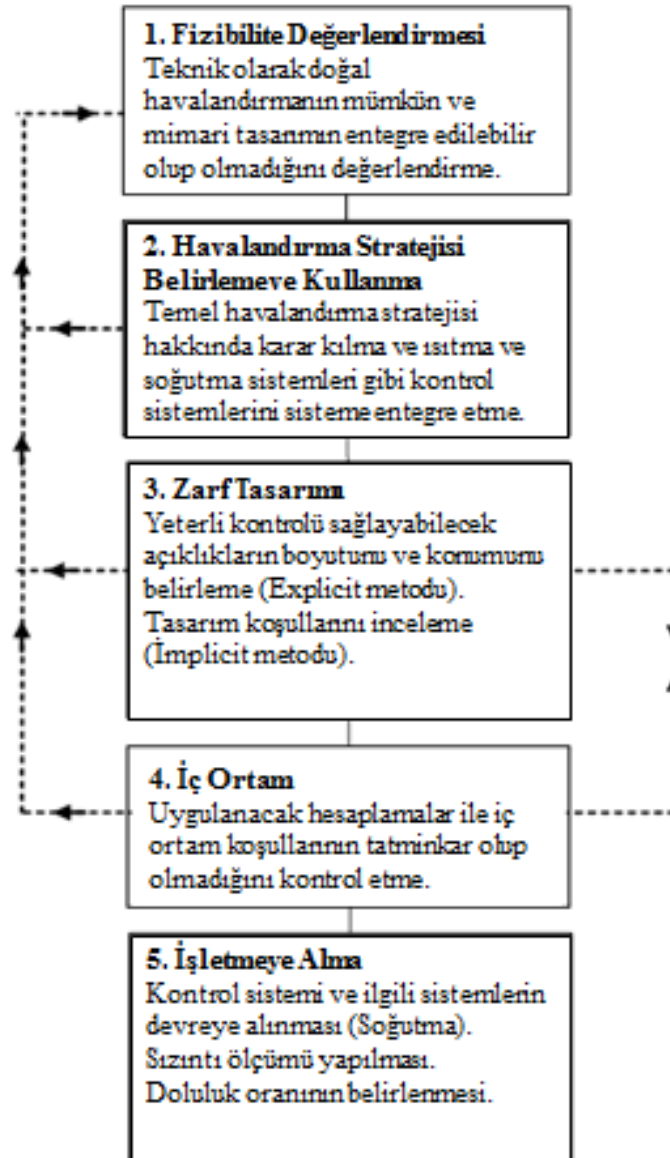
Diğer bir yandan, havalandırma sistemi bina tasarımının sadece bir parçasını oluşturmaktadır. Ayrıca, bina tasarımı için tatmin edici bir havalandırma gerekli bir önkoşuldur. Ancak, bina tasarımı bütün bina tasarımı ile uyumlu olmalıdır ve ihtiyaçları gidermelidir.

Teorik çalışmalar ve yapılan ölçümler doğal havalandırma ile ilgili fiziksel süreçlerin anlaşılmasını sağlamaktadır ve bunlar aynı zamanda hesaplama ve ölçüm yollarını da

içermektedir. Fakat, çoğu araştırma tasarımı direk kullanılabilir şekilde kullanışlı değildir. Örneğin ölçek modelleme teknikleri teorik modellerin doğrulanması için kullanılabilir fakat bu tasarımcıları bazı konularda sınırlandırmaktadır. Uygun matematiksel ve teknik modellerin tanımlanması tasarım aşamasında kullanılabilir. Uygun tasarım aşamalarını beş aşamada toplayabiliriz.

1.4.1 Ayrıntılı tasarım aşaması

Doğal havalandırma sisteminin tasarım prosesi aşamaları Şekil 1.11’de belirtilmiştir. Basitleştirilmiş olarak bu akış şeması, büyük ölçüde bina tasarımının diğer tasarımlarla olan etkileşimlerini gözardı etmektedir.



Şekil 1.11 : Ayrıntılı tasarım süreçlerinin basitleştirilmiş görünüşü.

Şemada geri besleme döngüsünde gösterildiği gibi benzer bir şekilde çeşitli aşamalar arasında da etkileşimler olacaktır. Bununla birlikte, belirtilen beş aşama tasarım sürecinin herhangi bir anında kullanılabilir ve bu aşamalar bina tasarımlarında kullanılan çeşitli teorik ve deneysel prosedürlerin nasıl kullanıldığını da göstermektedir. İlk aşama, doğal havalandırmanın yapı için uygun olup olmadığını değerlendirmektedir. Eğer doğal havalandırma fizibil ise, ikinci aşamada havalandırma (ventilasyon) stratejisi belirlenir. Çeşitli durumlar altında tasarımdaki açıklıklardan (ve herhangi bir kontrol sisteminin) istenilen değerleri veren üçüncü aşama belkide tasarımın en önemli aşamasından biridir. Dördüncü aşamada, iç ortam hesaplamalarının sonuçları gerçekleştirilmektedir. Üçüncü ve dördüncü aşama sonuçlarının tatmin edici olması ile son aşama olan işletmeye (devreye) alma aşaması devreye girer.

1.4.2 Fizibilite değerlendirmesi

Doğal havalandırma sisteminin uygulanabilir olup olmadığına karar verirken pek çok durum dikkate alınmalıdır. Belkide en zor teknik konu ilkim (ve hava) ile ilgilidir. En zor durumlardan bir tanesi soğutma ihtiyacının baskın olduğu iklimlerdir (özellikle aynı zamanda yüksek nem oranının olduğu durumlar).

Diğer bir yandan bina sakinleri aktif ve pasif anlamda önemlidir. Sıcak iklimlerde iç ve dış koşullara uyumun bina sakinlerinin isteklerine daptasyonu bakımından çok önemli bir faktördür. Bu adaptasyon olmadan, işyerlerinde doğal havalandırma kabul edilebilir değildir. Ayrıca, uygulanacak sistemin sakinler tarafından kontrol edilebilir olması gerekmektedir. Ticari binalarda, bina kullanıcılarının tatmin edilmesi de önemlidir. Ayrıca işletme ve yatırım maliyetlerinin azaltılmasından doğan birikimler maliyetlerin azaltılması bakımından da önemlidir.

Yapının planı ve düzeni, dış şekli ve çevresinde bulunan etkenler sistemin fizibilitesi için etkili bir faktördür.

1.4.3 Havalandırma stratejisi belirleme ve kullanma

İç ve dış aralıklardaki açıklıklar boyunda hareket eden havanın akış modeli aynı zamanda stratejik terim anlamına da gelmektedir. Geniş bir aralıkta gerekli olan akış oranını (debi) ile akış modelini elde etmek mühendis veya mimarların görevlerinden biridir.

Şekil 1.9’da enine kesilmiş bir binanın akış stratejisi gösterilmişti. Genel olarak amaç, havanın uygun alanlardan içeriye girmesidir yani hava dış ortamdan direkt olarak içeriye girmektedir. Alttan iki kat için bu baca vasıtasıyla elde edilmektedir. Üst katta A odasında havalandırma aynı duvarda bulunan iki açıklık tarafından sağlanmaktadır. B odasında havalandırma çatıya monte edilmiş olan açıklığı ayarlanabilir bir vantilatör tarafından olmaktadır. Tüm durumlarda açık renkli olan oklar temiz hava girişini, koyu renkli oklar ise odalardan dışarıya çıkan havayı göstermektedir.

Şekil 1.9’da belirtilen alt ilk iki odada hava yukarı doğru hareket stratejisi uygulayarak havanın girişi alt taraftan olmaktadır ve üst taraftan odayı terk etmektedir. Bu havalandırma modelinde rüzgar ve kaldırma kuvvetleri uyum içinde hareket etmektedir. Yüksek yerlerde rüzgar basıncı daha düşük olduğundan zarf boyunca yukarıya doğru akış olmaktadır. Benzer bir şekilde, insan ile dolu olan bir binada iç sıcaklık genellikle dış ortam sıcaklığından daha yüksektir ve bu durum yukarıya doğru akışı oluşturmaktadır.

Yukarıdan aşağıya doğru akış stratejisinde aşağı doğru akışın en az bir elemanı vardır. A odası bu duruma bir örnektir. Bacalardaki ters oklar ve alt iki katlar daha önemli bir örnek sağlamaktadır. Yüksek seviyelerdeki soğutucu hava genellikle yukarı-aşağı hava stratejisine sebep olmaktadır. Sıcaklık farklılığının az olduğu yaz aylarında soğutmada rüzgar etkileri hakim olmaktadır. Şekil 1.9’da belirtilen diğer önemli tasarım konusu tek taraflı havalandırmadır (Oda A). Rüzgarın türbülanslı olduğu durumlarda tek taraflı havalandırma hesaplamaları zordur. Soğutma amacıyla kullanılan havalandırmada kullanılan ve çok geniş alana sahip açıklıklardaki akışlarda rüzgar türbülansı ayrıca önemlidir.

Kullanıcıların belirli koşullarda rahat etmesini sağlaması için açıklıkların pozisyonlarını ve maksimum minimum boyutlarını belirlemek de mühendis veya mimarların görevlerindendir. Bu durumda açıklıkların karakteristik yapısının bilinmesi gereklidir. Örneğin, açıklığın şekli ve boyutu arasındaki ilişkinin ve basınç tarafından oluşturulan debinin açıklık üzerine etkisi bilinmelidir. Kış tasarım koşulları için iç sıcaklığın termostat tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Soğutma sezonunda yani yaz aylarında bina serbest modda çalışmaktadır.

Havalandırma modeli için gereken açıklıkların pozisyonlarını ve boyutlarını belirleme aşaması, tasarım aşamasında önemli rol oynamaktadır ve genellikle belirli bir akış modeli kullanılmaktadır. Zarf akış modeli ile explicit çözüm metodunu kullanmak mümkündür. Bu metod tasarımcılara belirli bir akış modeli elde etmek için gereken açıklıkların boyutlarını belirlemeyi mümkün kılmasının yanı sıra hangi koşullarda havalandırma stratejisinin mümkün olduğunu da belirtir. Zarf akış modelinin kullanımı basit görülebilir fakat iki nedenden dolayı değildir. İlk olarak kapsamlı verinin elde edilmiş olması sonuç elde etme açısından önemlidir. İkinci olarak elde edilen sonuçların kaynaklarının belirsiz olmasıdır.

Genel olarak ana veri gereksinimleri rüzgar basınç dağılımına ve açıklıklardaki akışın karakteristik özellikleri ile ilgilidir. Belirli bilgileri elde etmek için rüzgar tünel modelinden veya CFD programından yararlanmak gereklidir. Hava delikleri, pencereler ve bacalar gibi açıklıkların akış karakteristikleri laboratuvar ölçümlerinden elde edilebilir. Üreticilerin kaynak bilgilerinde bu verileri görmek mümkündür ve tasarımcı uygun açıklıkları seçebilir.

1.4.4 Dahili hava akımı ve ilgili fenomenler

Şekil 1.10'da belirtilmiş olan model tasarımcıların dikkatini çekebilecek olayları göstermektedir. İç hava hareketi (hız alanı) konforun önemli olduğu durumlarda direkt önem taşımaktadır. Isıtmanın gerekli olduğu zamanlarda soğuk hava rahatsızlığa sebep olabilir, bununla birlikte soğutma sezonunda, soğutmayı sağlamak için yüksek hızlı hava akışları arz edilir. Hava sıcaklığı (kuru termometre sıcaklığı) konfor için büyük önem taşımaktadır (ortalama radyant sıcaklığı ve yaşı termometre sıcaklığı da önemlidir). Hava sıcaklık alanı büyük ölçüde boşluklar arasındaki sıcaklık kaynakları ve bunların hız alanı ile etkileşiminden hesaplanır. Hız alanı diğer bir yandan kirletici kaynaklardan meydana gelen hava kirliliğini azaltmasından ve iç hava kalitesinin sağlanmasından da sorumludur. Diğer bir önemli faktör ise kaynakların doğası ve konumudur. Genel olarak hava kalitesi alanlar/boşluklar arasında bulunan havanın durma süresidir yani alana yeni bir havanın girmesi için geçen süredir. Bu sadece hız alanı tarafından belirlenir. Ayrıca iç sıcaklık ve hız alanları sağlıklı ve rahat bir iç ortamın sağlanması bakımından da önemlidir. Doğal havalandırma sistemlerinde açıklıkların pozisyonları sınırlıdır. Diğer bir yandan, akış debilerinin büyüklükleri mekanik sistemler ile kontrol edilebilir.

Doğal sistemlerde, havanın kontrolü açıklıkların boyutlarının değişkenliğine bağlıdır. Akış debileri birbirleri ile etkileşim içindedirler. Bunun sonucu olarak, doğal havalandırma sistemlerinin tasarımında iç hava hareketini hesaba katmak oldukça zordur. Doğal havalandırmada dahili hava hareketi termal etkilere (duvarlar ve diğer yüzeylerdeki hava transferi) duyarlıdır. Presnsip olarak, CFD belirli koşullar için hız ve sıcaklık alanlarının hesaplanmasını sağlar. Tasarım için bu tür detayların elde edilmesinin (ölçekli modellemenin haricinde) tek yoludur. Bu anlamda, CFD tasarım için eşsiz ve çok güçlü bir araçtır. Fakat, CFD’de bazı sınırlamalar mevcuttur. Bu sınırlamaların bazıları sistem donanımları üzerindeki limitlerdir fakat bunlar günden güne azalmaktadır. Temel sınırlar hesaplamalar için kullanılan şartların özellikleri ile ilişkilidir. Akış debisinin doğal çeşitliliği iç ortam hesaplamaları için tasarım şartlarının seçiminde zorluklar oluşturmaktadır. Ayrıca, CFD tarafından sağlanan ayrıntılar benzer seviyelerdeki belirlenen sınır koşullarını belirtmektedir. Termal koşulların kesinliği çok zordur. Bu ayrıca belirlenmiş balangıç koşullarında kararsız (unsteady) hesaplamaların mı yapılması gerektiği yoksa sabit durum (steady state) hesapmaların güvenilir olduğu sorusunu gündeme getirmektedir. Kısaca, belirlenen sınır koşulları için ayrıntılı CFD hesaplamaların duyarlılığı önemli bir konudur.

Yukarıda belirtilen konular doğal havalandırma tasarımı için daha basit integral tekniklerinin yeterli olup olmadığı konusunda soruları gündeme getirmektedir. İntegral teknikleri, iç ortam hakkında temek yaklaşımlar ile zarf akış modeli temeline dayanmaktadır. CFD’ye göre bölgesel modeller daha basit yaklaşım sağlarken saf zarf akış modellerinden daha fazla detay da sağlamaktadır. Ancak bölgesel modeller karar verilmiş yaklaşımlara ihtiyaç duymaktadır.

1.4.5 İşletmeye alma

Doğal havalandırma sistemlerinin işletmeye alınması mekanik sistemlerin işletmeye alınmasından muhtemelen daha zordur. Çünkü; genel olarak belirli aralıktaki hava koşulları kontrol edilmelidir. Zarf kaçak ölçümünün işletmeye alma sürecinin bir parçası olarak düşünülebilir ve bu ölçüm genel olarak basittir ve çok geniş olmayan binalar için kabul edilebilir [29].

2. SAYISAL YÖNTEM ÇÖZÜMLERİ

2.1 Korunum Denklemleri

Akışkanlar mekaniğinde ve ısı transferinde, akışkanın davranışını matematiksel olarak ifade eden korunum denklemlerinin temeli şu üç yasaya dayanır.

- Akışkan içerisinde ele alınan çok küçük bir kontrol hacminin yüzeylerinden geçen toplam kütle akısı, o hacim içerisindeki kütlenin zamana göre değişimine eşittir. Bu yasa kütlenin korunumu yasası olarak bilinir.
- Aynı hacim elemanı için; yüzeylerden geçen toplam momentum akısı, hacim içerisindeki momentumun zamanla değişimine eşittir. Bu aynı zamanda söz konusu hacme uygulanan net kuvvete eşittir. Bu, momentumun korunumu yasasıdır.
- Hacim elemanının toplam enerjisindeki değişim, ısı transferi miktarındaki ve hacim elemanı üzerinde yapılan işteki değişimin toplamına eşittir. Bu da enerjinin korunumu yasasıdır.

Bu çalışmada akışın üç boyutlu, kararlı ve akışın yoğunluk, viskozite ve ısı iletim katsayısı gibi fiziksel değerlerinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak korunum denklemleri şu şekilde elde edilir [30]:

Süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

x, y, z yönündeki momentum denklemleri sırasıyla şu şekilde ifade edilir:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.2a)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - g \quad (2.2b)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2.2c)$$

Enerji denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.3)$$

2.2 Doğal Taşınım Çözümü

Odada panel ile hava arasında doğal taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Doğal taşınım yoğunluk farkından kaynaklanan akışkanın yerçekimi etkisiyle hareket etmesi sonucu gerçekleşir ve bu yoğunluk farkı sıcaklık değişiminden kaynaklanır. Panel üzerinde doğal taşınımdan dolayı gerçekleşen sınır tabaka içindeki herhangi bir noktadaki y-basınç gradyanı, sınır tabaka dışındaki durgun bölge içindeki basınç gradyanına eşit olmalıdır. Ancak bu bölgede $v = 0$ 'dır, bu nedenle 2.2b denklemi şu şekilde olur [31]:

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -\rho_0 g \quad (2.4)$$

2.4 denklemi 2.2b denkleminde yerine konursa, doğal taşınım sınır tabakası içindeki her noktada geçerli olan aşağıdaki bağıntı elde edilir [31]:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{g}{\rho} (\rho_0 - \rho) + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2.5)$$

2.5 denkleminin sağ tarafındaki ilk terim kaldırma kuvveti terimidir.

2.2.1 Boussinesq modeli

Yukarıdaki 2.5 denkleminde kaldırma kuvveti terimindeki yoğunluk değişimi ile sıcaklık değişimi arasında bir ilişki kurulabilirse yoğunluk sabit alınarak doğal taşınım modellenenir. Boussinesq modeli, bu ilişkiyi hacimsel ısı genleşme katsayısının (β) sıcaklık ve yoğunluğa bağlı ifadesinden faydalanarak kurar [31]:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (2.6)$$

Bu denklemde kısmi türev ifadesi referans bir yoğunluk ve sıcaklık noktasından hareketle fark ifadesine dönüştürülür:

$$\beta \approx -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\Delta p}{\Delta T} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\rho_0 - \rho}{T_0 - T}$$

Buradan 2.5 denklemindeki yoğunluk farkı sıcaklık farkına dönüştürülmüş olur:

$$\rho_0 - \rho \approx \rho \beta (T_0 - T)$$

Boussinesq yaklaşımına göre düzenlenmiş 2.5 denklemi aşağıdaki şekle gelir [31]:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = g \beta (T - T_0) + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2.7)$$

Yoğunluk sabit alındığından Boussinesq modeli kullanılarak sayısal çözümde daha hızlı yakınsama sağlanabilir. Havanın yoğunluğundaki ve sıcaklığındaki değişimler küçük olduğu, yani $\beta(T - T_0) < 1$ sürece bu yaklaşım kullanılabilir.

Boussinesq modeli için sayısal çözüm aşamasında tanımlanması gereken parametreler şunlardır:

- T_0 çalışma sıcaklığı
- T_0 sıcaklığına karşılık gelen sabit yoğunluk değeri, ρ_0
- Hacimsel ısı genleşme katsayısı, β

Isıl genleşme katsayısı ideal gaz kabulü yapılarak aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{\rho} \frac{p}{RT^2} = \frac{1}{T} \quad (2.8)$$

2.2.2 Doğal taşınım akış rejimi

Doğal taşınım akış rejimi Grashof sayısı tarafından belirlenir. Grashof sayısı, Reynold sayısının zorlanmış taşınım üstlendiği rolün aynısını doğal taşınım üstlenir. Reynold sayısı, bir akışkan parçacığı üzerine etkiyen atalet kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerine oranını belirtir. Buna karşılık Grashof sayısı, akışkan üzerine etkiyen kaldırma kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerine oranının bir göstergesidir [31]:

$$Gr_L = -\frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu^2} \quad (2.9)$$

Prandtl sayısı sürtünme kuvvetlerinin ısı kuvvetlere oranıdır [31]:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.10)$$

Bir doğal taşınım sınır tabakasında geçiş bölgesi, akışkan içindeki kaldırma ve sürtünme kuvvetlerinin göreceli büyüklüğüne bağlıdır. Bu genellikle Rayleigh sayısı ile ifade edilir. Rayleigh sayısı gerçekte Grashof ve Prandtl sayılarının çarpımına eşittir. Dikey levhalar için kritik Rayleigh sayısı 109 olup bu değerin altında ve üstünde akış sırasıyla laminar veya türbülanslıdır [31]:

$$Ra_{x,c}=Gr_{x,c}Pr = -\frac{g\beta(T_s - T_\infty)x^3}{\nu\alpha} \approx 10^9 \quad (2.11)$$

2.3 Türbülansın Modellenmesi

Türbülanslı akışın karakteristik özelliği hız alanının çalkantılı olmasıdır. Bu çalkantı momentum ve enerji gibi büyüklüklerin taşınım yoluyla etkin bir şekilde transport edilmesinde önemli rol oynar. Bu çalkantılar küçük ölçekli ve yüksek frekanslı olabileceğinden bu özellikteki akışların sayısal olarak doğrudan modellenmesi oldukça yüksek işlem kapasitesi gerektirmektedir.

Bu yüzden anlık değişkenler cinsinden yazılmış korunum denklemleri zaman ortalamalı olarak yazılabilir veya küçük ölçekli yapılar modellenirken sadece büyük ölçekteki türbülans yapıları doğrudan çözülebilir ve böylece türbülanslı akışta korunum denklemleri daha az işlem kapasitesi gerektirecek bir hale getirilebilir.

Fakat türbülanslı akış için modifiye edilen bu denklemler kapalı bir denklem sistemi oluşturmaz, yani türbülanslı akışın hesaba katılması bazı ek değişkenlerin denklemlere girmesine neden olur ve böylece bilinmeyen değişkenlerin sayısı denklem sayısından fazla olur. Bu nedenle bu denklem sisteminin kapalı hale getirilmesi için türbülans modelleri geliştirilmiştir.

Çeşitli türbülans modelleri şu şekildedir [32]:

- Spalart-Allmaras model
- k-ε modelleri
 - Standart k-ε model
 - Renormalization-group (RNG) k-ε model
 - Realizable k-ε model
- k-ω modelleri
 - Standart k-ω model
 - Shear-stress transport (SST) k-ω model

- Reynolds stress model (RSM)
 - Linear pressure-strain RSM model
 - Quadratic pressure-strain RSM model
 - Low-Re stress-omega RSM model
- Detached eddy simulation (DES) model
- Large eddy simulation (LES) model

Bu çalışmada Standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

2.3.1 Standart k-ε modeli

Bu model türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans sönümleme hızı (ε) için yazılan iki adet transport denkleminde dayanmakta olup karışım uzunluğu modelinin iyileştirilmesi için geliştirilmiştir. Standart k-ε modelinin duvar yakınındaki akışlarda iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir [33].

Standart k-ε model'in elde edilmesi akışın tamamen türbülanslı olması yaklaşımına dayanmaktadır. Bu yüzden bu model sadece tam türbülanslı akışta doğru sonuç vermektedir.

Bu model için transport denklemleri şu şekildedir [32]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.13)$$

Burada G_k ortalama hız gradyanından dolayı türbülans kinetik enerjinin üretimi, G_b kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans kinetik enerjinin üretimi, Y_M sıkışabilirliğin türbülans üzerindeki etkisi; C_{1ε}, C_{2ε}, C_{3ε} sabitler; σ_k ve σ_ε, k ve ε için prandtl sayılarıdır.

Türbülans dinamik viskozitesi türbülans kinetik enerjisi ve türbülans sönümleme katsayısının bir fonksiyonu olarak ifade edilir:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.14)$$

Boyutsuz model katsayıları $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$ değerlerini alırlar. Bu varsayılan değerler, türbülanslı kayma akışları gibi temel akışlar için hava ve su ile yapılan deneysel çalışmalardan elde edilmiştir.

2.3.2 RNG k-ε modeli

RNG k-ε modeli renormalization grup teori olarak adlandırılan istatistiksel bir teknikle elde edilmiştir. Form olarak k-ε modeliyle benzerdir. Bununla birlikte bazı düzeltmeler içerir.

- RNG modeli ε denkleminde ilave terimler içerir. Rapidly strained flow için önemli biçimde netlik sağlar.
- Türbülans üzerindeki girdapın etkisini ise RNG modeli kapsar. Girdaplı akışlar için doğruluğu artırır.
- RNG teori türbülans prandatl numaraları için analitik formül sağlar. (k-ε modeli kullanıcının sağladığı sabit değerler kullanıyorken).
- Standart k-ε modeli yüksek Reynolds sayılı bir modeldir. RNG teori düşük Reynolds sayı etkileri için hesaplanan efektif viskozite için analitik türetilmiş diferansiyel formül sağlar. Bu özelliği kullanmak etkilidir. Bununla birlikte duvara yakın bölgelerde davranışın uygunluğuna dayanır.

Bu özellikler RNG k-ε modeli geniş bir akış sınıfı için k-ε modelden daha net ve gerçekçi kılar.

2.3.3 Realizable k-ε modeli

Realizable k-ε modeli yakın zamanlardaki geliştirmelerden biridir. Standart k-ε modelinden iki önemli şekilde ayrılır;

- Realizable k-ε modeli türbülans viskozite için yeni bir formülasyon içerir.
- Dissipation oranı'ε' için yeni bir transport denklemi, “transport of the mean square vorticity fluctuation” denkleminde elde edilmiştir.

‘Realizable’, modelin türbülans akış fiziğiyle uyumlu olarak reynolds gerilmeleri üzerinde kesin matematiksel koşulları sağlaması anlamına gelir. Ne standart k-ε modeli ne de RNG k-ε modeli realizable değildir.

Realizable k- ϵ modelin anlık faydası hem yüzeysel hem de dairesel jetin yayılma oranı için daha kesin tahminlerde bulunmasıdır. Ayrıca rotasyon içeren akışlar, güçlü basınç gradyenleri altındaki sınır tabakaları, ayrılma ve resirkülasyon içeren akışlar için üstün performans sağlar.

Hem realizable hem de RNG k- ϵ modelleri standart k- ϵ modeli üzerinde önemli gelişimler gösterir (Güçlü akış çizgisi eğrileri, girdap ve rotasyonların olduğu özellikleri içeren akışta). Bu model henüz yeni olduğu için RNG modelinden hangi durumlarda daha üstün olduğu açık değildir.

Realizable k- ϵ modelin bir sınırlaması ise hesaplanan bölgenin hem rotasyon hem de sabit akış bölgesi içerdiği zamanki durumlarda modelin non-physical türbülans viskoziteler üretmesidir.

2.3.4 Standart k-w modeli

Fluentte standart k-w modeli Wilcox k- ϵ modeline dayanır. Düşük Reynolds sayıları ve kayan akış yayılmaları için modifikasyonlar içerir. Wilcox modeli serbest kayan akış yayılım oranları için öngörülerde bulunur. Uzak girdaplar, karışık tabakalar ve yüzeyler ve radial jetlerde ölçümler için uygundur.

Sonuçta duvar-sınır akışları ve serbest kayma akışlarına uygulanabilir. Standart k-w modelinin varyasyonu SST k-w olarak adlandırılır ve fluentte kullanılmak için uygundur.

2.3.5 Shear-Stress transport (SST) k-w modeli

Shear-Stress Transport (SST) k-w modeli Menter tarafından geliştirilmiştir. Bunu başarmak için k- ϵ modeli k-w formülasyonu içinde dönüştürülmüştür. SST k-w modeli standart k-w modeli ile benzerdir yalnız aşağıdaki düzeltmeleri içerir.

Standart k-w modeli ve dönüştürülmüş k- ϵ modellerinin ikisi de karıştırılmış fonksiyonlarla çarpılmış ve iki model birlikte eklenmiştir.

2.3.6 Reynolds averaged yaklaşımı ve LES

Navier-Stokes denklemlerinin transformu için iki alternatif method uygulanabilir; direkt simule edilemeyen küçük ölçekli türbülans dalgalanmaları şeklindedir. Bunlar: Reynolds averaging ve filtering metodlarıdır. İki methodda gelişmiş denklemlerde ilave terimler içerir. Bu kapalılığın sağlanması için modellemede gereklidir.

Reynolds-averaged Navier Stokes (RANS) denklemleri sadece gerçek akış nitelikleri için transport denklemleri sunar. Eğer gerçek akış durgun ise, gelişmiş denklemler zaman türevlerini içermeyecektir ve steady-state çözüm ekonomik olarak elde edilebilecektir. Sayısal avantajı ise geçici durumlarda görülür. Reynolds-averaged yaklaşımı genel olarak pratik mühendislik hesaplamaları için kullanılır ve Spalart Allmallas, $k-\epsilon$ ve onun türlerini, $k-\omega$ ve onun türlerini, ve RSM modellerini kullanır.

LES alternatif bir yaklaşım sağlar. Burada büyük girdaplar “filtered” denklemler kullanılarak zamana bağlı benzetmelerle hesaplanır.

3. MÜHENDİSLİK HESAPLARI VE ANALİZLER

Analizde uygulanacak doğal havalandırma sistem tasarımında kullanılacak hesap yöntemleri yazılım ve formüller bu bölümde ele alınacaktır.

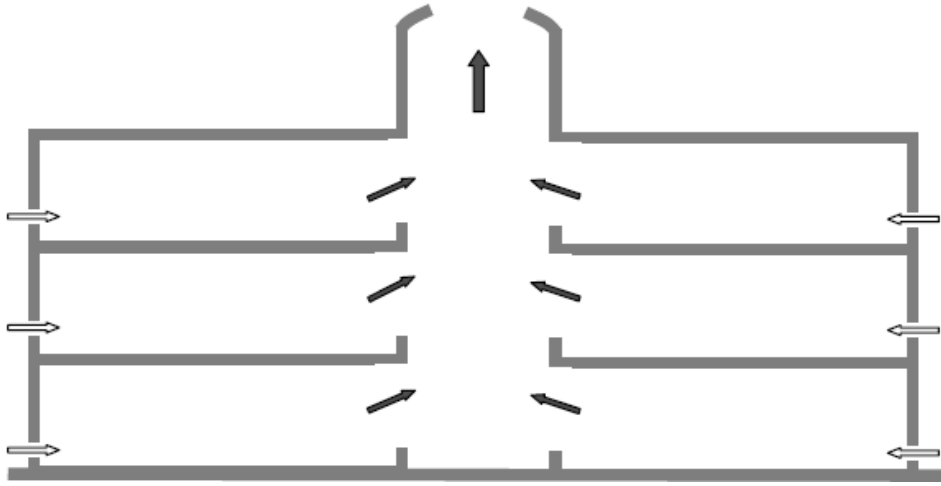
3.1 Doğal Havalandırmaya Ait Hesaplar

Dış ortamdan iç ortama taze hava girişi günümüzde ofis binaları hastaneler gibi kalabalık ortamlarda mekanik yolla yapılmaktadır. Tarih öncesinden günümüze kadar kullanılan en etkili havalandırma yöntemi doğal havalandırma olarak bilinmektedir. Doğal havalandırma ihtiyaç duyulan taze havayı sağlamasına ek olarak, iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığından daha fazla olduğu sıcak bölgelerde, soğutma görevini de yapmaktadır. Bir yapının doğal yolla havalandırmasının yapılabilmesi için, basınç farkına ihtiyaç vardır. Basınç farkı, rüzgarın etkisi ile ya da ısıl kuvvet ile sağlanır. Bu bakımdan üç farklı faktörle doğal havalandırma uygulanabilir.

- Isıl etkisi ile doğal havalandırma
- Rüzgar etkisi ile doğal havalandırma
- Tek yönlü etki ile doğal havalandırma

3.1.1 Isıl etkisi ile doğal havalandırma

Isıl etkisi ile, içeriye göre sıcaklığı düşük olan hava, açıklıklardan içeri girer ve iç ortamdaki sıcak havayı derişiklik farkı sebebiyle iterek üst bölgelerde yer alan açıklıklardan (baca vb.) dışarı atar (Şekil 3.1). Bu durum baca etkisi olarak adlandırılır. Sıcak hava, genleşme nedeniyle bina içerisinde daha az hava akışı meydana getirdiğinden dış ortama çıkar. Bu bakımdan, hava hareketinin hızı; hava giriş-çıkış yükselti farkları ve basınç farkıyla doğrudan orantılıdır. Fakat, genel olarak baca etkisi için binalarda yeterli alan olmaması dolayısıyla, cephe boşluklarından baca çıkışına kadar olan yerlerde basınç kaybı fazlaştığından bu sistem çok verimli değildir.

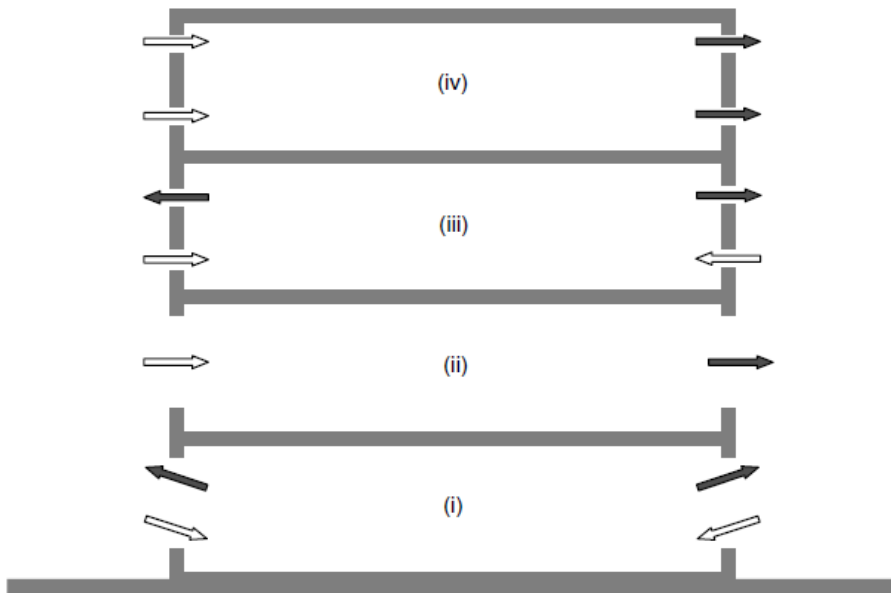


Şekil 3.1 : Isıl etki ile havanın baca etkisi ile dışarı atımı.

3.1.2 Rüzgarın etkisi ile doğal havalandırma

Bu prensip havanın binanın rüzgar gören tarafından içeri alınarak, diğer cephesinden dışarıya çıkmasına dayanır. Bu bakımdan, aynı zamanda içeriye taze havanın girişinin yanında ısınan havanın da dışarıya atılması sağlanır. Tasarım yapılırken, cephelerdeki açıklıkların rüzgar yönüne doğru konumlandırılması ve ortamda bulunan rüzgar yönüne doğru olan kayıpların en aza indirgenmesi amacı ile tasarımın yapılması önemlidir.

Şekil 3.2’de Rüzgar etkisi ile doğal havalandırma durumları belirtilmektedir.



Şekil 3.2 : Küçük veya geniş açıklıklarda havalandırma. (i) ve (iii) kaldırma kuvveti etkisi, (ii) ve (iv) rüzgar etkisi (çarpraz akışlı havalandırma).

Genel olarak doğal havalandırma rüzgarın etkisi ile yapılmaktadır. Yapılan projede de mimari şartlar ve çevre koşulları göz önünde bulundurularak bu yöntem kullanılmıştır. Genel olarak katların her birinde tavana yakın yüksekliklerde binanın karşılıklı iki yönünde olan açıklıklar sayesinde binada hava akımı meydana getirilir.

Yapı üzerine etki eden rüzgar yapının etrafında basınç alanı yaratır. Çevrenin coğrafik yapısına, rüzgarın şiddet ve yönüne ve yapının tasarımına göre bu basınç alanı değişiklik göstermektedir.

Diğer bir yandan ise rüzgar türbülansı, akışın düzensizliği yapının cephe yüzey basıncında salınımlara sebep olur. Bu bakımdan, meteorojide hesaplanan rüzgarın hızı, yapının yüzeyinde gerçekleşen rüzgar hızı olarak tanımlanmaktadır.

Hakim olan rüzgarın hızı ile Bernoulli denklemi yardımıyla yapının farklı yüksekliğindeki rüzgarın dinamik basıncı hesaplanır.

Cephede oluşan rüzgar basıncının hesaplanmasında dinamik basıncın yerel basınç düzeltme katsayısı ile katlandırılması gerekmektedir.

Belirli yükseklikteki rüzgarın hızı denklem 3.1 ile hesaplanmaktadır.

$$V_H = V_{met} \left(\frac{\delta_{met}}{H_{met}} \right)^{\alpha_{met}} \left(\frac{H}{\delta} \right)^{\alpha} \quad (3.1)$$

Burada:

V : H yüksekliğindeki rüzgar hızı

V_{met} : Meteoroloji istasyonunda ölçülen rüzgar hızı

H_{met} : Meteoroloji istasyonunda bulunan anemometrenin yerden yüksekliği (10 m)

δ : Binanın konumundaki arazi şartları katsayısı

α : Binanın konumundaki arazi şartları katsayısı

δ_{met} : ASHRAE Standart 7’de tanımlanan meteoroloji istasyonundaki sınır tabaka kalınlığı (275 m)

α_{met} : ASHRAE Standart 7’de tanımlanan meteoroloji istasyonunun konumundaki arazi koşulları için katsayıdır (0.14).

Rüzgarın hızı aynı zamanda yapı üzerinde bir basınç miktarı meydana getirmiştir. Bu basıncı hesaplarken Bernoulli denklemi kullanılır:

$$P_{bina} = P_{rüzgar} + \frac{1}{2} \rho V_{rüzgar}^2 \quad (3.2)$$

$P_{rüzgar}$: Esmekte olan rüzgarın basıncı

$V_{rüzgar}$: Engelle karşılaşmamış rüzgarın hızı

P_{bina} : Bina yüzeyindeki basınç

3.2 denklemi yapı üzerine etki eden basınç dağılımını tam olarak vermez. Çünkü, yapının tasarım geometrisi ve rüzgarın esme geliş açısına göre her bir noktada farklı basınç değerleri oluşmaktadır. Diğer bir yandan, yapıya çarpan rüzgar yapı etrafında dolaşarak farklı basınçların doğmasına neden olmaktadır. Bu etkileri karşılamak için, basınç katsayısı tanımlanmıştır (c_p). c_p , yapının tüm cepheleri için deneysel yollarla hesaplanmış yüzey katsayısıdır. Buna göre bina üzerinde bulunan herhangi bir noktadaki basınç 3.3 denklemi ile elde edilir.:

$$\Delta P = c_p \frac{1}{2} \rho V_H^2 \quad (3.3)$$

Rüzgar etkisiyle yapılan doğal havalandırmada, rüzgarın sağladığı basıncın meydana gelen iç kayıpları karşılaması gerekmektedir. Bu durumda toplam basınç farkı 3.4 denklemi ile hesaplanır:

$$\Delta P = \rho * R \frac{V^2}{2} \quad (3.4)$$

Denklemde R katsayısı iç dirençleri göstermektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R = \sum \left(\lambda_{sürt} \frac{L}{D_h} \right) + \sum \zeta \quad (3.5)$$

R : İç dirençler toplamı

$\lambda_{sürt}$: Sürtünme kayıp katsayısı

L : Kanal uzunluğu

D_h : Hidrolik çap

ζ : Yerel kayıp katsayısını ifade etmektedir.

Havalandırma havasının akış debisi ise 3.3, 3.4, 3.5 denklemleri vasıtasıyla elde edilir ve 3.6 ile gösterilir.

$$Q_h = A * \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_h \left(\sum \left(\lambda_{sürt} \frac{L}{D_h} \right) + \sum \zeta \right)}} \quad (3.6)$$

Q_h : Havalandırma havası akış debisi

A : Kesit alanı

ΔP :Dinamik basıncı belirtmektedir.

Denklem 3.7 doğal havalandırma ile iç ortamdan çekilen ısı miktarını vermektedir.

$$q_{1,2} = U_{t_i}^{t_f} m_{hava} c_{p,hava} (T_{d,hava} - T_{oda}) dt \quad (3.7)$$

3.1.3 Tek yönlü etki ile doğal havalandırma

Bu yöntem ile her açıklık kendisine ait bağımsız hava akışına maruz kalmaktadır. Taze hava girişi ve iç ortamdan sıcak havanın ayrılışı aynı ortamdan sağlandığından havalandırma miktarı değişken ve düşüktür. Bu sebepten dolayı, yalnızca binanın dış yüzeyindeki mahallerin havalandırılabiliyor olması tek yönlü etki ile doğal havalandırma sisteminin az kullanılmasına sebep olmaktadır.

4. BİNA MODELLENMESİ VE ANALİZLERİ

4.1 Giriş

Sürekli ve sağlıklı iç hava şartlarının gelişimi için doğal havalandırma önemli bir faktördür. Rüzgar, sıcaklık ve yerçekimi veya üçünün kombinasyonu şeklinde yürütülebilir. Yüzyıllar boyunca yürütülen çalışmalar, bina üzerinde doğal havalandırma performans değerlendirmesinde katkılar sağlamıştır.

Sayısal çözümler için yaygın olarak kullanılan ve bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan Fluent programından yararlanılmıştır. Son olarak, sıcaklık ve hız alanlarının görsel olarak incelenmesi için tekrar Fluent programından faydalanılmıştır. Çalışma kapsamında hakim rüzgar yönündeki ortalama rüzgar hızı ve sıcaklığı parametrik olarak çözülmüştür.

Çalışma kapsamında bina akış hacmi modellenmiştir. Dış iklim modellenmesi için bina hacminin dışına yeterli büyüklüğe sahip akış hacmi Gambit programında çizilmiştir. Akış hacmine rüzgar hızı, rüzgar yönü ve hava sıcaklığı sınır koşulları Fluent programında atanmıştır.

4.2 Binanın Sayısal Modellenmesi

Sayısal analizden önce üç boyutlu bina geometrisi Gambit 2.4.6 programında tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan bina ve kontrol hacminin sonlu elemanlar ayrıklaştırma işlemi için yine Gambit 2.4.6 programı kullanılmıştır. Gambit programında sonlu elemanlar element yapısı tasarımın bölümlerine göre Hex ve Tet/Hybrid seçilmiş ve element tipi olarak Submap ve TGrid kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de bölümler için atanan ağ element yapısı, tipi, aralığı ve oluşturulan elementlerin toplam sayısı mevcuttur. Toplamda 6.714.474 adet element, hacimsel olarak analiz için oluşturulmuştur. Tasarımı yapılan bina geometrisinin, ilgili alanları için sınır koşul tipleri ve hacimler için süreklilik türleri Gambit 2.4.6 programında atanmıştır.

Tez kapsamında tasarlanan bina modelinin sene boyunca hakim olan rüzgar yönü, ortalama rüzgar hızı ve sıcaklığı etkisi altında, baca ve pencerelerin açıklık pozisyonuna göre doğal havalandırma etkinliği belirlenmiştir. Toplamda 4 adet sayısal model ile hava değişim oranı belirlenmiştir.

Tez kapsamında incelenecek olan bina İstanbul Göztepe bölgesinde olup çevresi açıklık alandadır. İstanbul Göztepe bölgesine ait 2011 yılına ait saatlik sıcaklık, rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri göz önüne alınmıştır. Veriler Meteoroloji veri ve arşiv yönetim sisteminden talep edilerek elde edilmiştir. Sayısal çalışmalarda sınır koşulu olarak elde edilen ölçüm verileri kullanılacaktır. Farklı sınır koşulları durumları olduğundan Çizelge 4.1’de her bir durum için kodlamalar tanımlanmıştır.

Çizelge 4.1 : Bina analiz durumlarında belirtilen kodlamalar.

Model	Yön	Baca Durumu	Pencere Durumu	Havalandırma
1	Kuzey	Giriş - Çıkış Açık	Tam Açık	HM1
		Giriş Açık - Çıkış Kapalı		HM2
1	Kuzey	Giriş - Çıkış Kısmi Açık	Kısmi Açık	HM3
		Giriş Kısmi Açık - Çıkış Kapalı		HM4

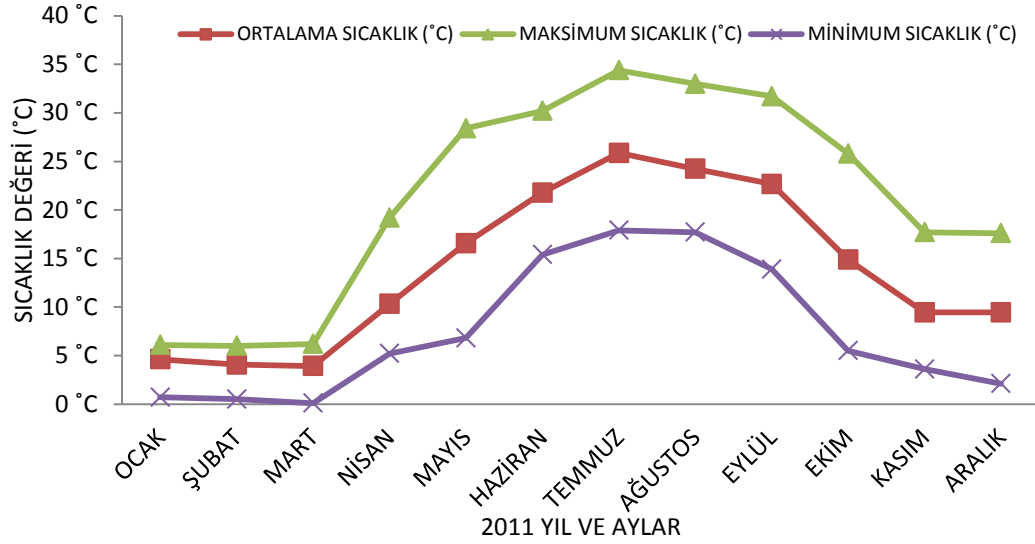
4.2.1 İstanbul Göztepe bölgesi iklim koşullarının incelenmesi

İstanbul Göztepe bölgesinin iklim koşulları Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ölçüler kullanılarak incelenmiştir. İstanbul Göztepe’ye ait 2011 yılı aylık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınmıştır.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de binanın bulunduğu bölgenin iklim grafiği elde edilmiştir. İklim koşullarının incelenmesi sonucu doğal havalandırma etkinliğinin sayısal modellemesi için kritik aylar en yüksek sıcaklığın olduğu ay Temmuz ve en düşük sıcaklığın olduğu ay Mart olarak görülmektedir. Sayısal çalışmalarda sınır koşulu olarak hakim rüzgar yönündeki ortalama ölçüm verilerinden yararlanılacaktır. Verilere göre sıcaklığın en yüksek olduğu ay olan Temmuzda sıcaklık 34.40 °C, hızı 3,5 m/sn ve hakim olan rüzgar yönü kuzey olarak saptanmıştır.

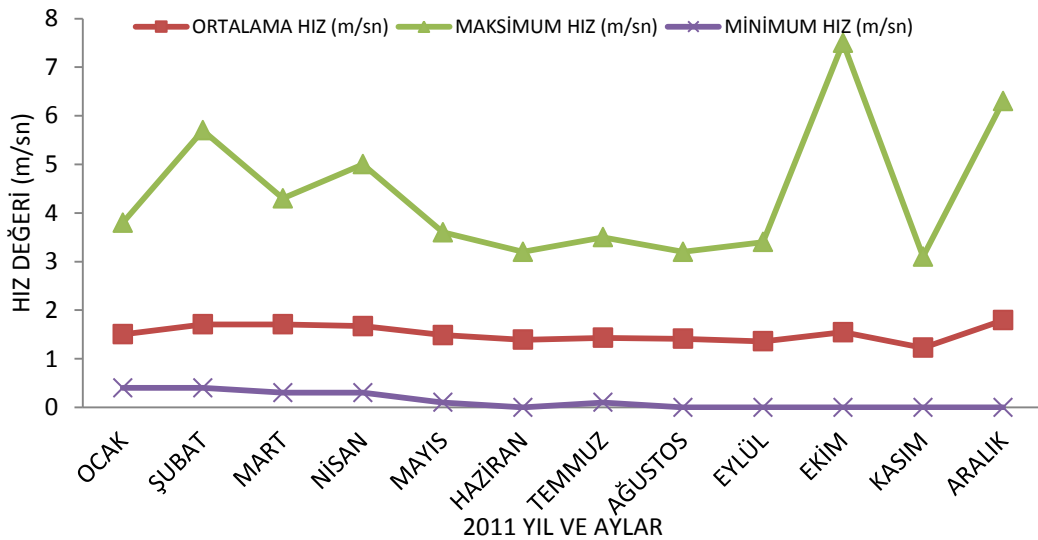
Ekim ayında ise rüzgar hızı maksimumdur ve 7,50 m/sn olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın en düşük olduğu Mart ayında ise sıcaklık 0,10 °C, hızı 0,30 m/sn ve hakim olan yönü kuzey olarak saptanmıştır. Ayrıca Aralık ayında hız 0,00 m/sn, sıcaklığı 2,10 °C ve hakim olan rüzgar yönü kuzey olarak ölçülmüştür.

Hakim olan rüzgar yönü Çizelge 4.3 incelendiğinde 2011 yılı İstanbul Göztepe bölgesi için kuzey yönü olduğu anlaşılmaktadır. 2011 yılında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre 3484 saat rüzgar kuzey yönünden esmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda kuzey yönünde esen rüzgarın ortalama olarak değerler incelendiğinde 2011 yılı Göztepe bölgesinde ortalama sıcaklık 15,79 °C ve ortalama hız 1,52 m/sn olduğu Çizelge 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.1 : 2011 yılı İstanbul Göztepe bölgesine ait aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri.

Şekil 4.2'de Göztepe bölgesi için Meteoroloji'den elde edilen hız verilerinin grafiksel olarak gösterimi verilmektedir.



Şekil 4.2: 2011 yılı İstanbul Göztepe bölgesine ait aylık ortalama, maksimum ve minimum rüzgar hız değerleri.

İstanbul Göztepe bölgesi için 2011 yılı için saatlik veriler Meteoroloji’den temin edilmip irdelenmiştir ve ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık ve hız sayısal değerleri çizelge 4.2’te belirtilmiştir.

Çizelge 4.2 : İstanbul Göztepe bölgesi için 2011 yılı aylara göre ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık ve hız değerleri.

YIL ve AYLAR	ORTALAMA		MAKSİMUM		MİNİMUM	
2011	SICAKLIK (°C)	HIZ (m/sn)	SICAKLIK (°C)	HIZ (m/sn)	SICAKLIK (°C)	HIZ (m/sn)
	15,79	1,52	34,40	7,50	0,10	0,00
OCAK	4,61	1,50	6,10	3,80	0,70	0,40
ŞUBAT	4,07	1,71	6,00	5,70	0,50	0,40
MART	3,91	1,71	6,20	4,30	0,10	0,30
NİSAN	10,32	1,67	19,20	5,00	5,20	0,30
MAYIS	16,57	1,49	28,40	3,60	6,80	0,10
HAZİRAN	21,78	1,39	30,20	3,20	15,40	0,00
TEMMUZ	25,87	1,43	34,40	3,50	17,90	0,10
AĞUSTOS	24,23	1,41	33,00	3,20	17,70	0,00
EYLÜL	22,67	1,36	31,70	3,40	13,90	0,00
EKİM	14,89	1,55	25,80	7,50	5,50	0,00
KASIM	9,45	1,23	17,70	3,10	3,60	0,00
ARALIK	9,44	1,79	17,60	6,30	2,10	0,00

Çizelge 4.3'te Meteoroloji'den alınan yön değerleri irdelenmiştir. Verilere göre 2011 yılında kuzeyden esen rüzgar, ikinci olarak kuzeykuzeydoğu rüzgarları İstanbul Göztepe bölgesinde hakim rüzgarlardır.

Çizelge 4.3 : İstanbul Göztepe bölgesi 2011 yılı aylara göre hakim olan rüzgar yönlerinin sayısal verileri.

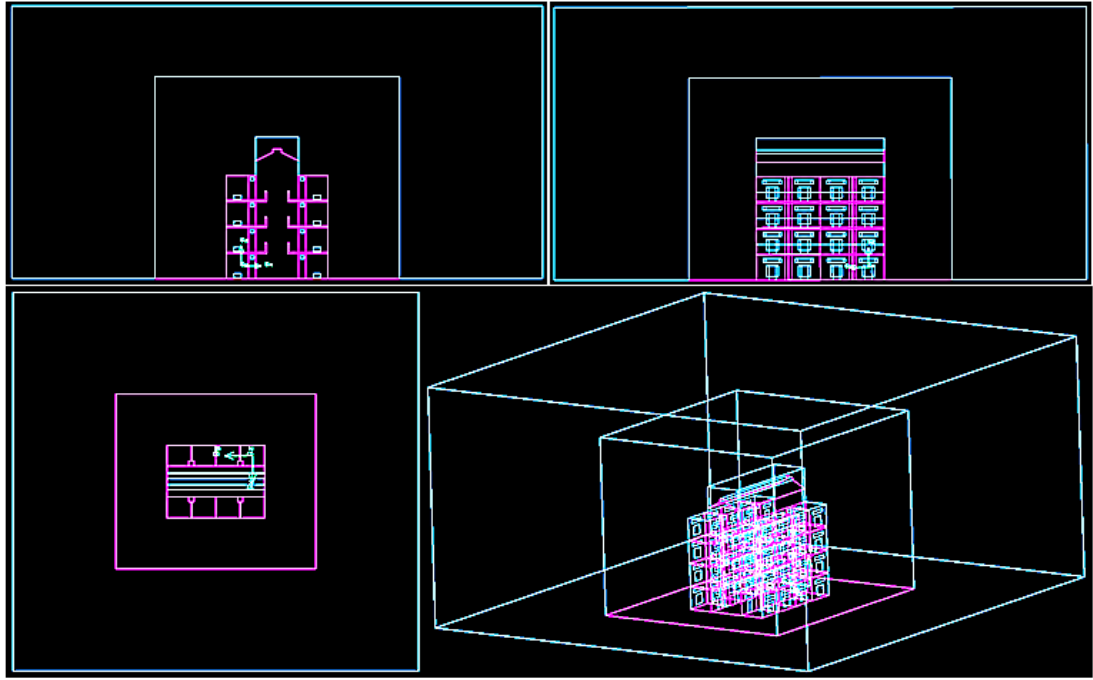
YIL ve AYLAR	YÖN VE ESME ADETLERİ																	TOPLAM
	C (0)	E	ENE	ESE	N	NE	NNE	NNW	NW	S	SE	SSE	SSW	SW	W	WNW	WSW	
2011	30	156	101	289	3484	237	1331	900	199	912	246	409	146	65	69	106	58	8738
OCAK		32	21	57	252	20	53	106	15	68	38	34	20	6	5	13	4	744
ŞUBAT		9	9	11	328	17	92	68	16	66	14	23	11	2	2	3	1	672
MART		16	5	51	271	5	73	27	19	98	47	53	32	11	14	13	9	744
NİSAN		4	5	24	212	11	115	93	30	85	21	48	21	10	9	24	8	720
MAYIS		7	6	22	309	19	85	74	35	88	25	37	8	9	1	12	7	744
HAZİRAN	7	17	9	23	280	15	95	80	10	105	14	36	8	6	7	2	5	719
TEMMUZ		11	8	11	304	29	116	98	16	72	15	44	6	4	2	5	1	742
AĞUSTOS	11		7	2	335	19	210	71	17	30	2	11	3	2	5	11	2	738
EYLÜL	7	7	4	5	370	24	180	59	5	31	5	12	1	1	1			712
EKİM	2	12	5	13	280	22	117	85	18	90	16	33	10	6	13	8	12	742
KASIM	1	5	6	3	374	38	158	76	5	34	8	5	4		2		1	720
ARALIK	2	36	16	67	169	18	37	63	13	145	41	73	22	8	8	15	8	741
TOPLAM	30	156	101	289	3484	237	1331	900	199	912	246	409	146	65	69	106	58	8738

Çizelge 4.4 : İstanbul Göztepe bölgesi için hakim rüzgar koşuluna göre (kuzey) 2011 yılı aylara göre ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık ve hız değerleri.

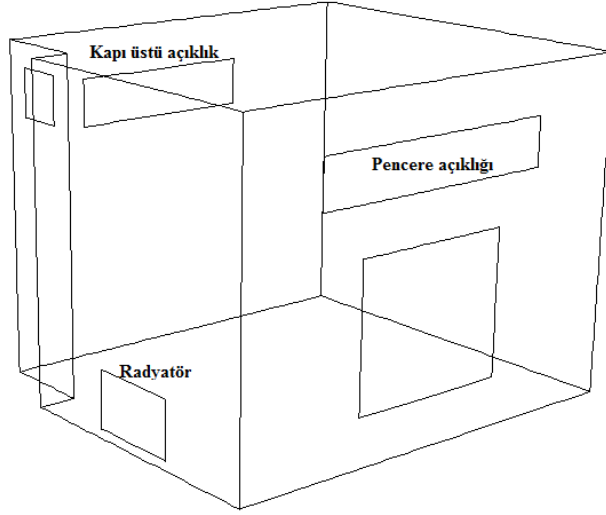
YIL ve AYLAR	ORTALAMA		MAKSİMUM		MİNİMUM	
2011 (KUZEY)	SICAKLIK (°C)	HIZ (m/sn)	SICAKLIK (°C)	HIZ (m/sn)	SICAKLIK (°C)	HIZ (m/sn)
	15,66	1,52	33,90	4,70	0,30	0,10
OCAK	4,78	1,80	6,10	3,80	2,10	0,40
ŞUBAT	3,99	1,83	6,00	3,50	0,50	0,40
MART	3,86	2,06	6,20	4,30	0,30	0,50
NİSAN	9,64	1,73	16,80	3,60	6,90	0,70
MAYIS	16,37	1,63	27,80	3,60	7,20	0,10
HAZİRAN	21,67	1,32	29,00	3,00	16,00	0,10
TEMMUZ	25,43	1,41	33,90	3,30	18,70	0,10
AĞUSTOS	24,22	1,33	32,40	3,20	17,70	0,10
EYLÜL	22,31	1,33	31,70	3,40	13,90	0,10
EKİM	14,42	1,27	25,30	4,50	8,80	0,10
KASIM	9,10	1,21	17,20	2,90	3,60	0,10
ARALIK	7,34	1,66	15,00	4,70	2,30	0,10

4.2.2 Model oluşturulması

Yapılan alışma kapsamında sayısal modellemesi yapılan bina 14,2 m genişliğe, 19 m uzunluğa, 18,6 m ykseklikliğe ve 269,8 m²'lik alana sahiptir. Bina 4 katlı olarak tasarlanmıştır ve her katta karşılıklı 4'er ofis bulunmaktadır. Toplamda bina 32 ofisten oluşmaktadır (şekil 4.3). Ofislerin boyutları 4,1 m genişlik, 4,65 m uzunluk ve 3,5 m yüksekliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Odaların her birinde 4,65 m x 3,5 m boyutlarındaki dış duvarlarındaki 2,75 m x 0,5 m boyutlarında pencere bulunmaktadır. Diğer bir yandan, 4,25 m x 3,5 m boyutlarındaki koridor tarafında bulunan duvarlarında 2,00 m x 0,5 m boyutlarında pencere bulunmaktadır. Dış ve i duvardaki pencereler karşılıklı olarak konumlandırılmıştır. Isıtma amacıyla odalara 0,6 m x 1,00 m boyutlarında radyatörler konulmuştur (şekil 4.4) . Isınarak yükselen havanın dış ortama atılması için tasarlanan bacanın açıklık boyuları 0,5 m yüksekliğe ve 1,9 m uzunluğa sahiptir.



şekil 4.3 : Bina geometri görünüşleri.

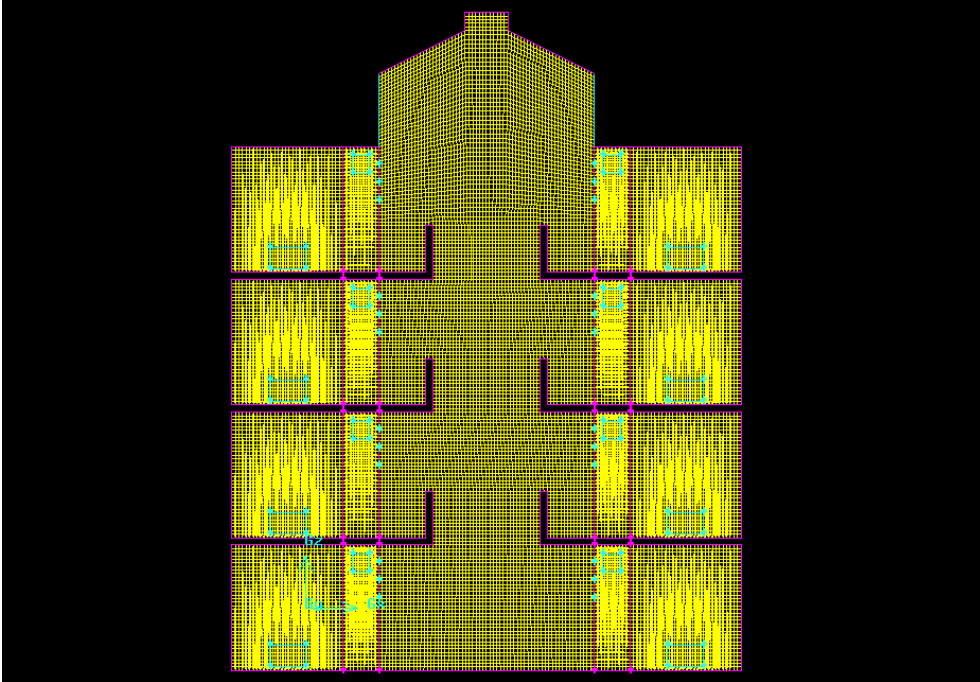


Şekil 4.4 : Odanın örnek görünüşü.

4.2.3 Çözüm ağı oluşturulması

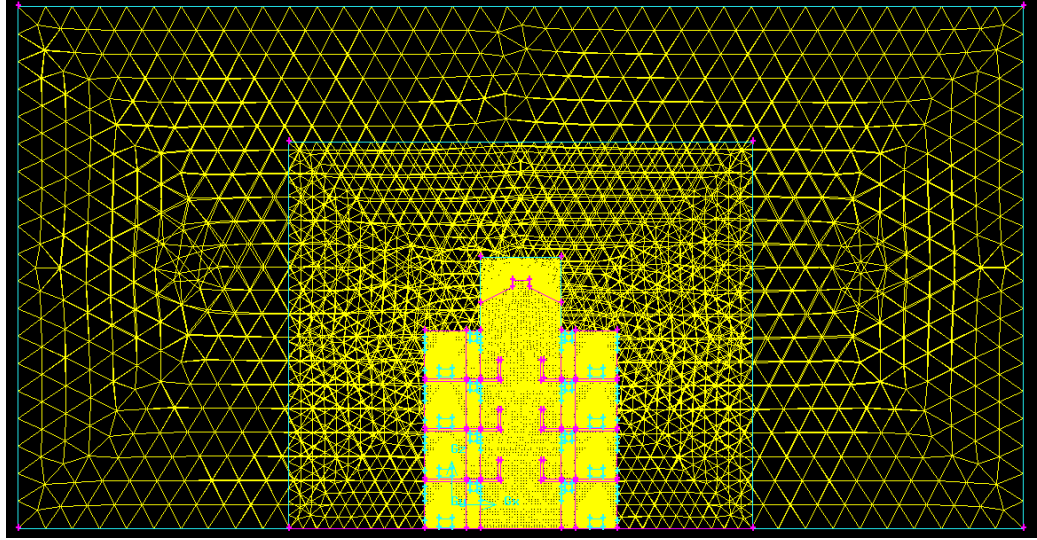
Üç boyutlu oda model geometrisinin çözüm ağı Gambit 2.4.6 programında yapılmış olup model için oluşturulan ağlar toplamda 6.714.474 hücre sayısına sahiptir. Uygulanan metot için çözüm ağındaki elemanların orthogonal quality değeri 0.1 değerinde olması gerekmektedir [32]. Çalışma kapsamında oluşturulan elemanlar için bu değer sağlanmıştır.

Şekil 4.5'te bina geometrisi için çözüm ağları görülmektedir.



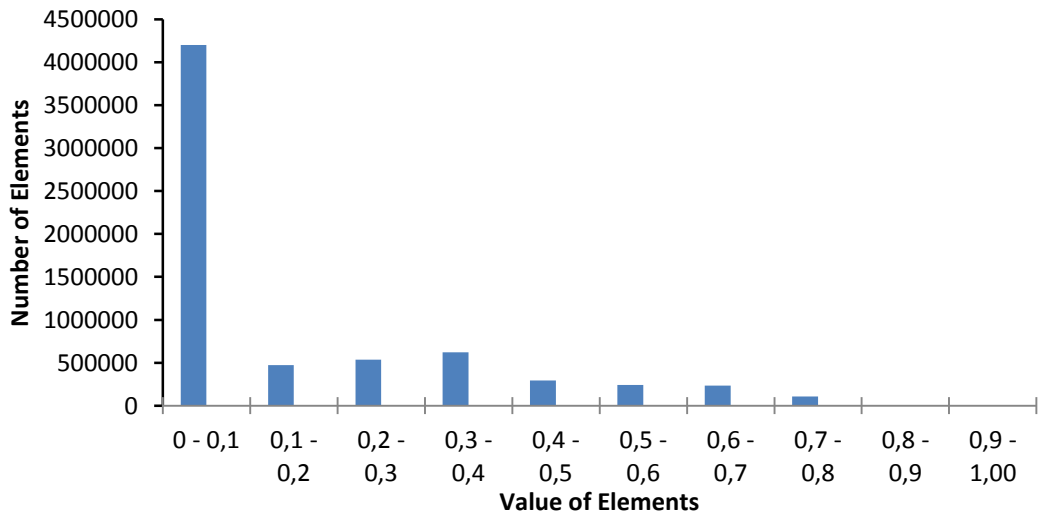
Şekil 4.5 : Bina geometrisine ait çözüm ağları görünüşü.

Sayısal modelde hava giriş ve çıkışlarının olduğu bölgeler ve hava akımının yol aldığı bölgelerde daha küçük çözüm ağı elemanları oluşturulmuştur. Binanın içinde kaldığı dikdörtgenler prizmasındaki çözüm ağları bina hacmindekilere oranla daha büyüktür. Şekil 4.6’da bu durum detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 4.6 : Bina ve iklim koşullarının oluşturulduğu hacmin çözüm ağları görünüşü.

Elde edilen çözüm ağının kalitesi Şekil 4.7’de programdan alınan orthogonal quality değerleri gösterilmektedir. Elde edilen çözüm ağının büyük bir kısmı Hex ve Tet/Hybrid elemanlarından oluşmaktadır.



Şekil 4.7 : Çözüm ağı kalitesi.

Modellemesi yapılan binanın hacmi yaklaşık 5.020 m³ gibi büyük bir hacme sahiptir. Model ve dış iklim hacim modelinde çözüm ağı oluşturulurken birkaç tür element yapısı ve tipi seçilmiştir. Model ve dış iklim hacim modeli için kullanılan element yapı, tip ve toplamda elde edilen element sayısı Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : İlgili kısımlar için belirlenen ağ yapıları, tipleri.

BÖLÜM	Adet	Mesh			Nokta sayısı	Element sayısı	Toplam element sayısı
		Aralık (m)	Element yapısı	Element tipi			
Oda	32	0,1	Hex	Submap	71.136	66.045	2.113.440
Orta Alan ve Baca Kısım	1	0,1	Hex	Submap	2.095.015	2.005.632	2.005.632
Baca Hariç Üst Kısım	1	0,3	Tet/Hybrid	TGrid	59.169	265.195	265.195
Ufak Küp (Model Hariç)	1	1	Tet/Hybrid	TGrid	462.499	2.120.626	2.120.626
Büyük Küp (Model Hariç)	1	2	Tet/Hybrid	TGrid	42.080	209.581	209.581
Toplam							6.714.474

4.2.4 Yüzeylerin tanımlanması ve sınır koşullarının belirlenmesi

Sınır koşullarını tanımlamadan önce geometrilerdeki yüzeylerin tanımlanması gerekmektedir. Tez kapsamında tek model oluşturulmuş olup, analizler bu model kullanılarak yapılmıştır. Bu bağlamda tanımlanan model için yapılan tanımlamalar Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6: Yüzey tanımlamaları.

Yapı Bölgesi	Yüzey Kodu	Sınır Koşulu				Tanımı
		HM1	HM2	HM3	HM4	
1. kat (F1)	R1,R2,R3, R4	Interior		Porous Jump		Sağ tarafta bulunan havalandırma pencereleri
2. kat (F2)	R1,R2,R3, R4	Interior		Porous Jump		
3. kat (F3)	R1,R2,R3, R4	Interior		Porous Jump		
4. kat (F4)	R1,R2,R3, R4	Interior		Porous Jump		
1. kat (F1)	L1, L2,L3, L4	Interior		Porous Jump		Sol tarafta bulunan havalandırma pencereleri
2. kat (F2)	L1, L2,L3, L4	Interior		Porous Jump		
3. kat (F3)	L1, L2,L3, L4	Interior		Porous Jump		
4. kat (F4)	L1, L2,L3, L4	Interior		Porous Jump		
Baca	Sağ baca	Interior		Porous Jump		Baca tarafında bulunan açıklıklar
	Sol baca	Interior	Wall	P.J	Wall	
Radyatörler	Rad		Wall			Odalarda bulunan radyatörler
Ufak Dikdörtgenler Prizması	INTFL		Interior			Binanın içinde bulunduğu ufak dikdörtgenler prizması yüzeyleri
	INTFR		Interior			
	INTFB		Interior			
	INTFF		Interior			
	INTFT		Interior			
Dış İklim Hacim Modeli	PINLEFT		Pressure Outlet			Binanın içinde bulunduğu dış iklim hacim modelinin yüzeyleri
	PINRIGHT		Velocity Inlet			
	PINFRONT		Pressure Outlet			
	PINBACK		Pressure Outlet			
	PINTOP		Pressure Outlet			
Zemin	GROUND		Wall			Bina ve dış hacme ait alt duvar

Tanımlanan yüzeylerin her birine sınır koşullar girilmiştir. Analiz kapsamında uygulanan sınır koşulların çeşitleri ve değerleri Çizelge 4.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7: Sınır koşulları ve değerleri.

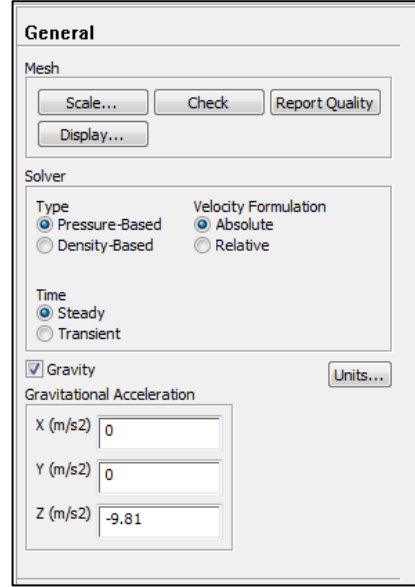
Yapı Bölgesi	Yüzey Kodu	Sınır Koşulu				Uygulanan Değer			
		HM1	HM2	HM3	HM4	HM1	HM2	HM3	HM4
1. kat (F1)	R1, R2, R3, R4	Interior		Porous Jump		-	5000 1/m		
2. kat (F2)	R1, R2, R3, R4	Interior		Porous Jump		-	5000 1/m		
3. kat (F3)	R1, R2, R3, R4	Interior		Porous Jump		-	5000 1/m		
4. kat (F4)	R1, R2, R3, R4	Interior		Porous Jump		-	5000 1/m		
1. kat (F1)	L1, L2, L3, L4	Interior		Porous Jump		-	5000 1/m		
2. kat (F2)	L1, L2, L3, L4	Interior		Porous Jump		-	5000 1/m		
3. kat (F3)	L1, L2, L3, L4	Interior		Porous Jump		-	5000 1/m		
4. kat (F4)	L1, L2, L3, L4	Interior		Porous Jump		-	5000 1/m		
Baca	Sağ baca	Interior		Porous Jump		-			
	Sol baca	Interior	Wall	P.J	Wall	-			
Radyatörler	Rad	Wall				1400 W/m ²			
Ufak Dikdörtgenler Prizması	INTFL	Interior				-			
	INTFR	Interior				-			
	INTFB	Interior				-			
	INTFF	Interior				-			
	INTFT	Interior				-			
	PINLEFT	Pressure Outlet				15 °C			
Dış İklim Hacim Modeli	PINRIGHT	Velocity Inlet				1,5 m/sn (15 °C)			
	PINFRONT	Pressure Outlet				15 °C			
	PINBACK	Pressure Outlet				15 °C			
	PINTOP	Pressure Outlet				15 °C			
Zemin	GROUND	Wall				15 °C			

4.2.5 Çözüm yönteminin geliştirilmesi

Tasarlanan ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hacimlerine ayrılan modelin, Fluent programı ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Çözümler ve analizler için belirlenen çözüm aşamaları detaylı olarak anlatılmıştır.

4.2.5.1 Genel

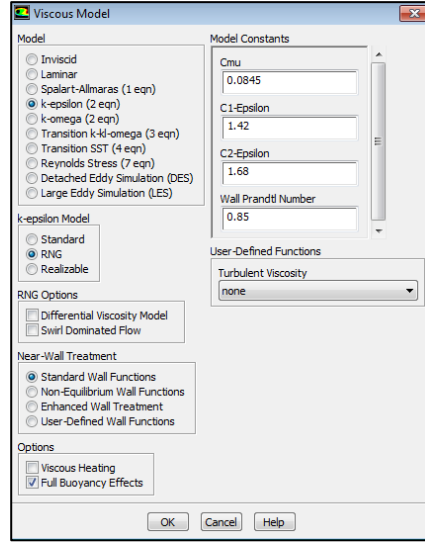
Çözücü tipi olarak Fluent programında Pressure-Based modeli seçilmiş ve uygulanmıştır. Çözümler sürekli hal (steady-state) için yapılmıştır. Bina modelinde analizlerde doğal taşınım da hesaba katılacağından gravity bölümünden yer çekimi ivmesi tanımlanmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : Çözüm için Fluent programında genel ayarların yapılması.

4.2.5.2 Model

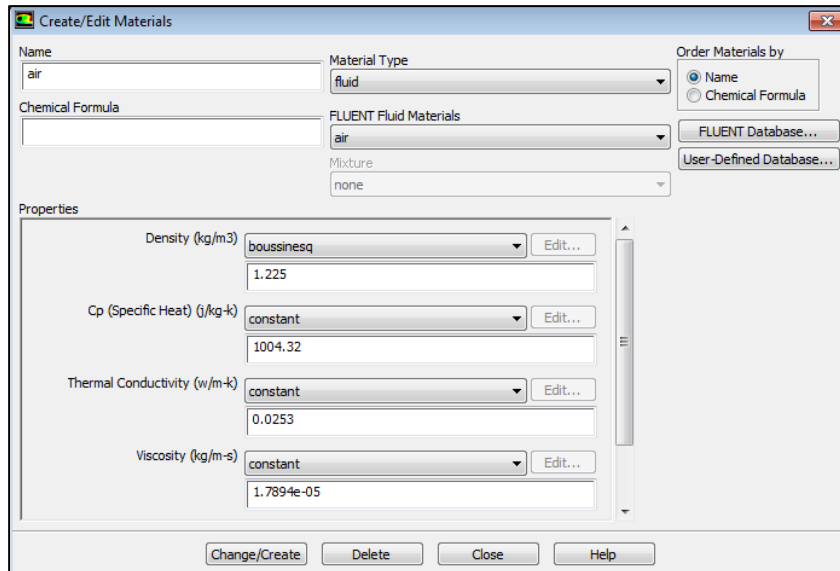
İlk olarak sadece hız etkisini görüntülemek istediğimizden enerji denklemini deaktif olarak seçilmiştir. Bina içerisindeki hava akışı düzgün olmadığından dolayı viskoz çözüm yöntemi olarak türbülans, türbülans modellerinin içerisinde doğal taşınımı çözebilecek olan RNG k- ϵ türbülans modeli seçilmiştir (Şekil 4.9). Ayrıca literatür taraması sonuçlarına göre bina sayısal modellemesi çalışmalarında k- ϵ / RNG türbülans modeli önerilmektedir. Doğal taşınım etkilerinin de gözlenebilmesi için “Full Bouyancy Effect” seçeneği aktif hale getirilmiştir.



Şekil 4.9 : Çözüm modellerinin belirlenmesi.

4.2.5.3 Malzemelerin belirlenmesi ve atanması

Kaldırma kuvvetlerinden meydana gelebilecek akış için boussinesq modeli kullanılmıştır. Havanın çalışma sıcaklığı 15 °C olarak belirlendiğinden bu sıcaklıktaki havanın yoğunluk değeri 1.225 kg/m³, özgül ısı değeri 1004,32 J/kgK, dinamik viskozitesi 1.7894*10⁻⁵ kg/ms, ısı iletim katsayısı 0.0253 W/mK ve hacimsel ısıl genleşme katsayısı değeri 0.003257 1/K olarak ilgili alanlara girilmiştir. (Şekil 4.10) .



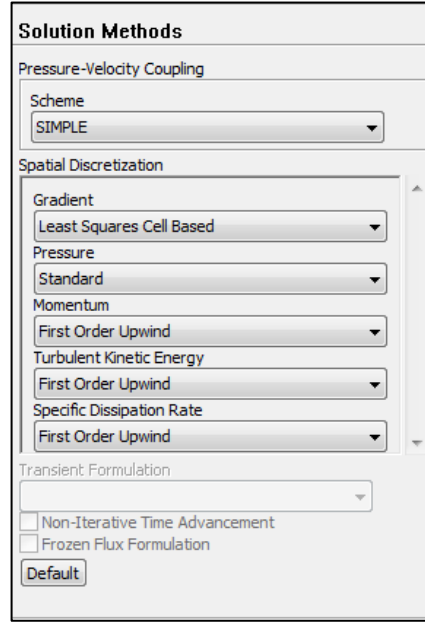
Şekil 4.10 : Belirlenen modeller için havanın özelliklerinin girilmesi.

4.2.5.4 Ayırıklaştırma yönteminin belirlenmesi ve sınır koşulların tanımlanması

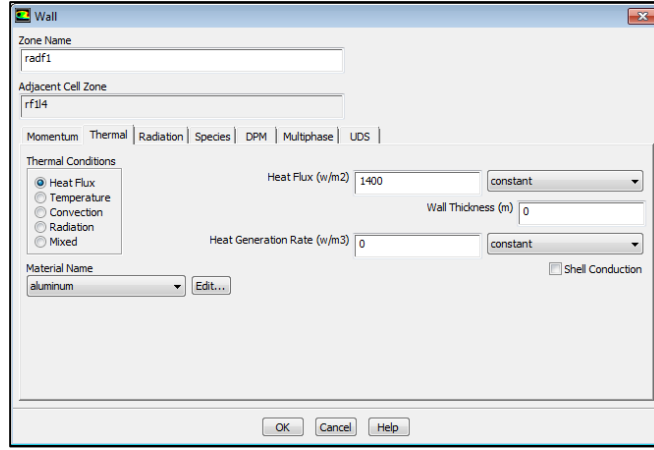
Çözüm yöntemi olarak SIMPLE modeli seçilmiştir. Kısmi türevlerin ayırıklaştırılmasında basınç dışındaki değişkenler için birinci dereceden upwind metodu kullanılmıştır. Basınç için ayırıklaştırma yöntemi olarak varsayılan standart yöntem uygulanmıştır (Şekil 4.11).

Radyatörler için 1400 W/m^2 ısı akısı verilmiştir. Isı akısı tanımlandığından panellere kalınlık tanımlanmamıştır (Şekil 4.12).

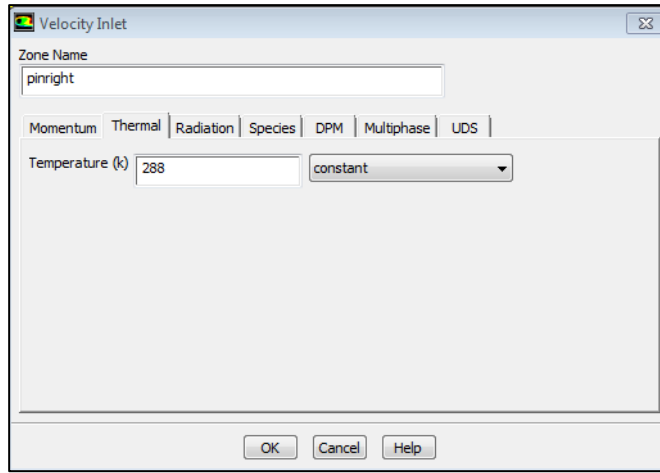
Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilerin de irdelenmesi sonucu kuzey yönünde esen rüzgarın ortalama hızı $1,5 \text{ m/sn}$ ve ortalama sıcaklığı 15°C olarak elde edilmiştir ve analizlerde bu değerler sınır koşulu olarak kullanılmıştır (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14) .



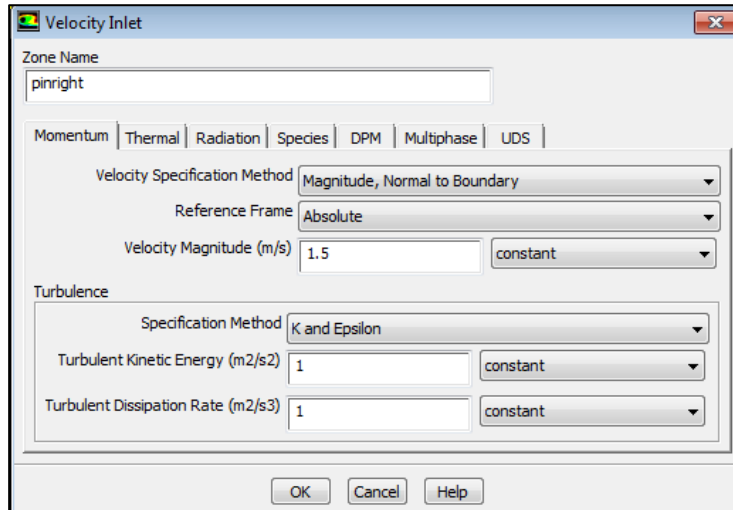
Şekil 4.11: Ayırıklaştırma yönteminin belirlenmesi.



Şekil 4.12 : Analiz için radyatör sınır şartının tanımlanması.



Şekil 4.13 : Hava sıcaklık sınır şartının tanımlanması.



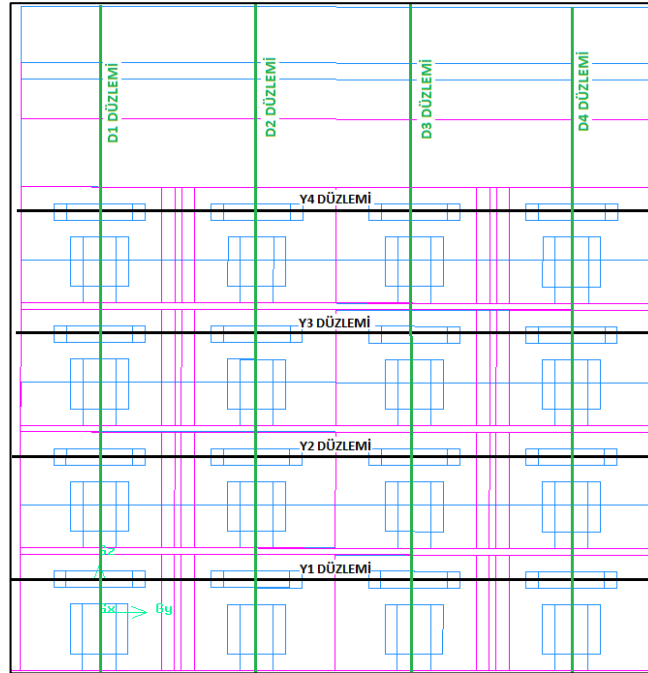
Şekil 4.14 : Hava hızı sınır şartının tanımlanması.

4.2.6 Bina model HM1 için analiz sonuçları

Analiz sonuçları rüzgarın hakim yön olan kuzey yönünde esmesi durumunda Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilerin de irdelenmesi sonucu kuzey yönünde esen rüzgarın ortalama hızı 1,5 m/sn ve ortalama sıcaklığı 15 °C olarak elde edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarının grafiksel olarak dağılımı da 1,5m/s hız ve ortalama sıcaklık 15 °C için gösterilmiştir. Bina katlarında her bir kat için açıklıkları kesecek şekilde birer yatay düzlem ve 4 katta bulunan bölgelerin durumlarını gösteren düşey düzlemler oluşturulmuştur. Toplamda 8 adet bina hacminde düzlem oluşturulmuştur. Oluşturulan düzlemlerin isimleri ve pozisyonları Çizelge 4.8 ve Şekil 4.15'de verilmiştir. Oluşturulan düzlemler ile bina içerisindeki dağılımların durumları incelenmiştir.

Çizelge 4.8 : Düzlemlerin isimlendirilmesi.

Düzlem Adı	Pozisyonu	Konumu (m)
Y1	x-y düzlemi	$z = 0,89$
Y2	x-y düzlemi	$z = 5,22$
Y3	x-y düzlemi	$z = 8,37$
Y4	x-y düzlemi	$z = 12,08$
D1	x-z düzlemi	$y = 0,05$
D2	x-z düzlemi	$y = 4,69$
D3	x-z düzlemi	$y = 9,42$
D4	x-z düzlemi	$y = 14,00$



Şekil 4.15 : Düzlemlerin konumlandırılması.

4.2.6.1 Bina modeli HM1 için hız dağılımları

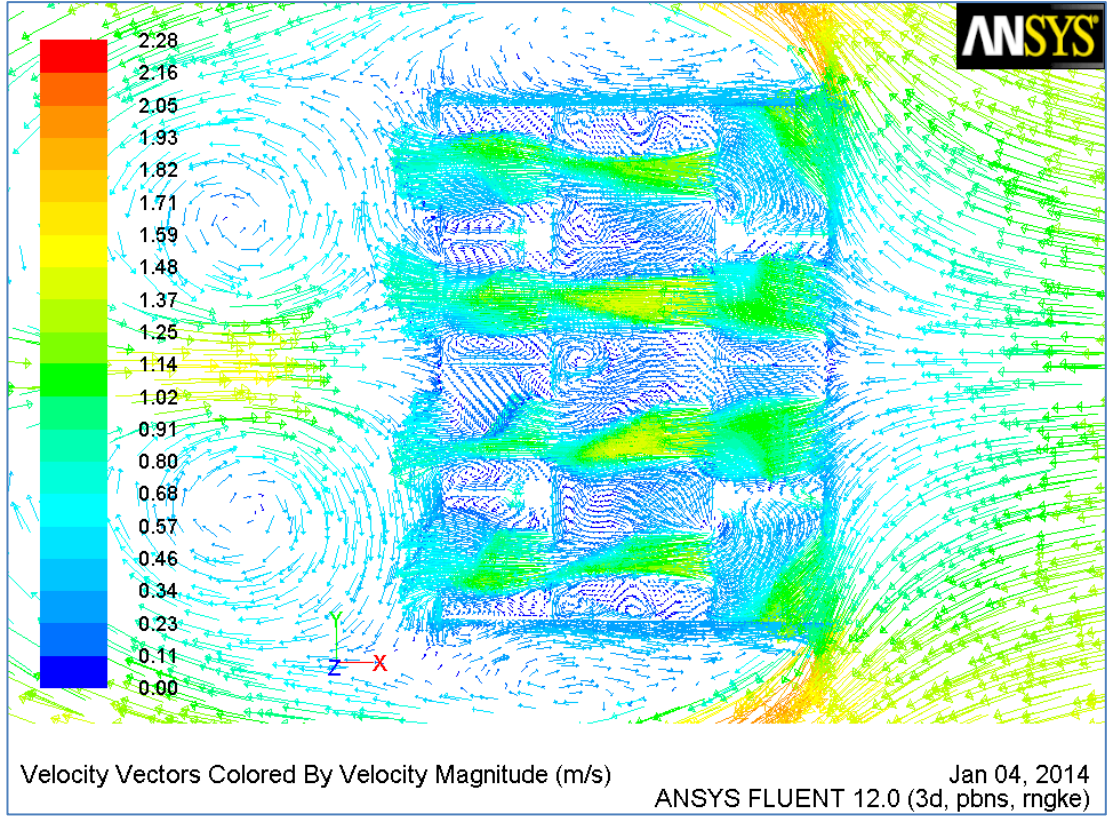
Bina içerisinde meydana gelen hız dağılımları yatay ve düşey düzlemlerde düzlemlerin bulunma pozisyonlarına kontur ve vektörel olarak elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre maksimum hız rüzgarın bina yüzeyine ilk vardığı bölgede oluşmaktadır. Bina duvarlarının akışa karşı göstermiş olduğu direnç sonuçlardan belli olmaktadır. Vektörel hız dağılımlarında hava akımının yönleri belirgin olarak görülmektedir.

Rüzgar öncelikli olarak binanın açıklıklarından ve bacadan içeri girmektedir. Daha sonra alan olarak daha ufak olan açıklıktan çıkarak karşı konumunda bulunan eş alana sahip açıklıklara girerek en son olarak rüzgarın ilk girdiği açıklıkla aynı boyutta olan açıklıktan dışarıya çıkmaktadır. Baca kısmında ise rüzgarın bacada bulunan açıklıktan girdiği görülmektedir.

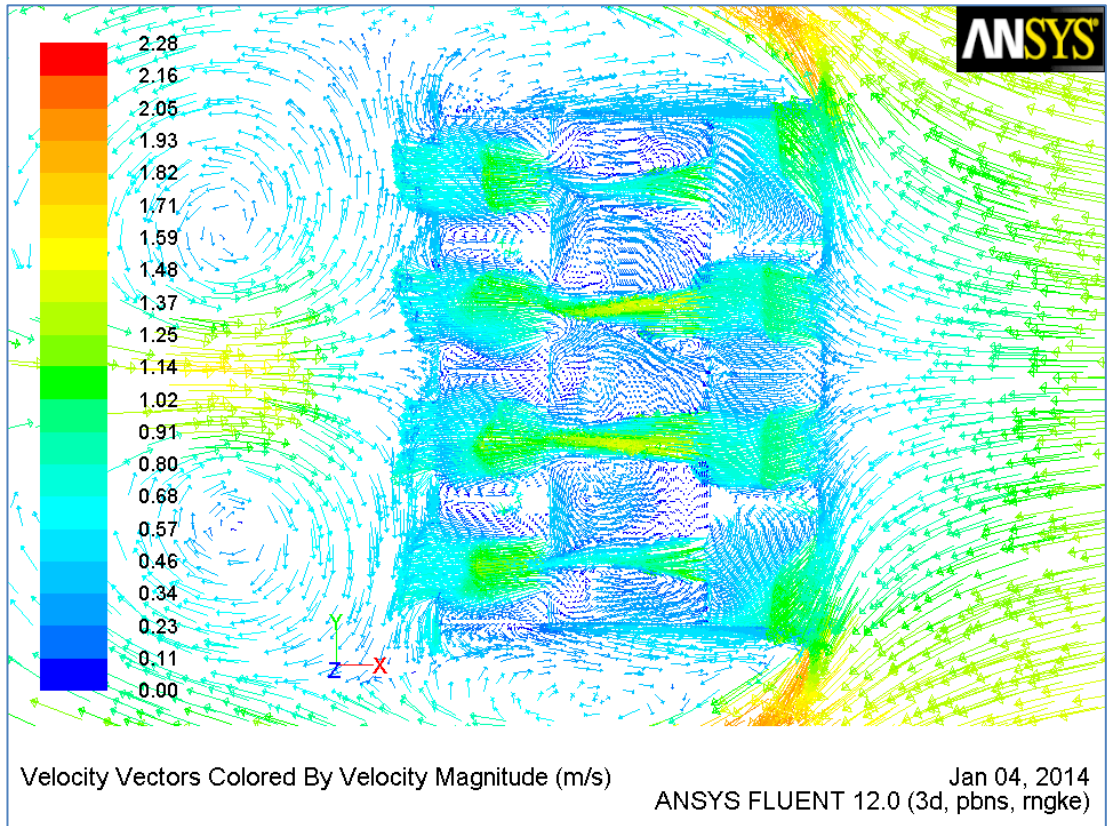
Sağ ve sol bacanın analizlerde açık olarak çözüm yapılmıştır ve bacada bulunan açıklardaki hız dağılımı Çizelge 4.9’da verilmiştir. Baca kısmındaki açıklıklardaki hava miktarlarına bakıldığında giren hava miktarından daha fazla havanın bacanın sol açıklığından geçtiği Çizelge 4.9’da anlaşılmaktadır.

Rüzgarın en etkili olduğu bölge 1. kat olarak şekillerden anlaşılmaktadır (Şekil 4.16 - Şekil 4.21, Şekil 4.22 – Şekil 4.27)). Fakat katlardaki hız ortalama değerlere baktığımızda bina kuzey cephesinde bulunan pencerelerden havanın en şiddetli 4. kattan giriş yaptığı görülmektedir (Çizelge 4.10). Diğer bir yandan, havanın binayı terk ettiği güney cephesi pencerelerindeki hava hızı 4. katta, diğer katlardaki ortalama değerlere göre daha düşüktür (Çizelge 4.11).

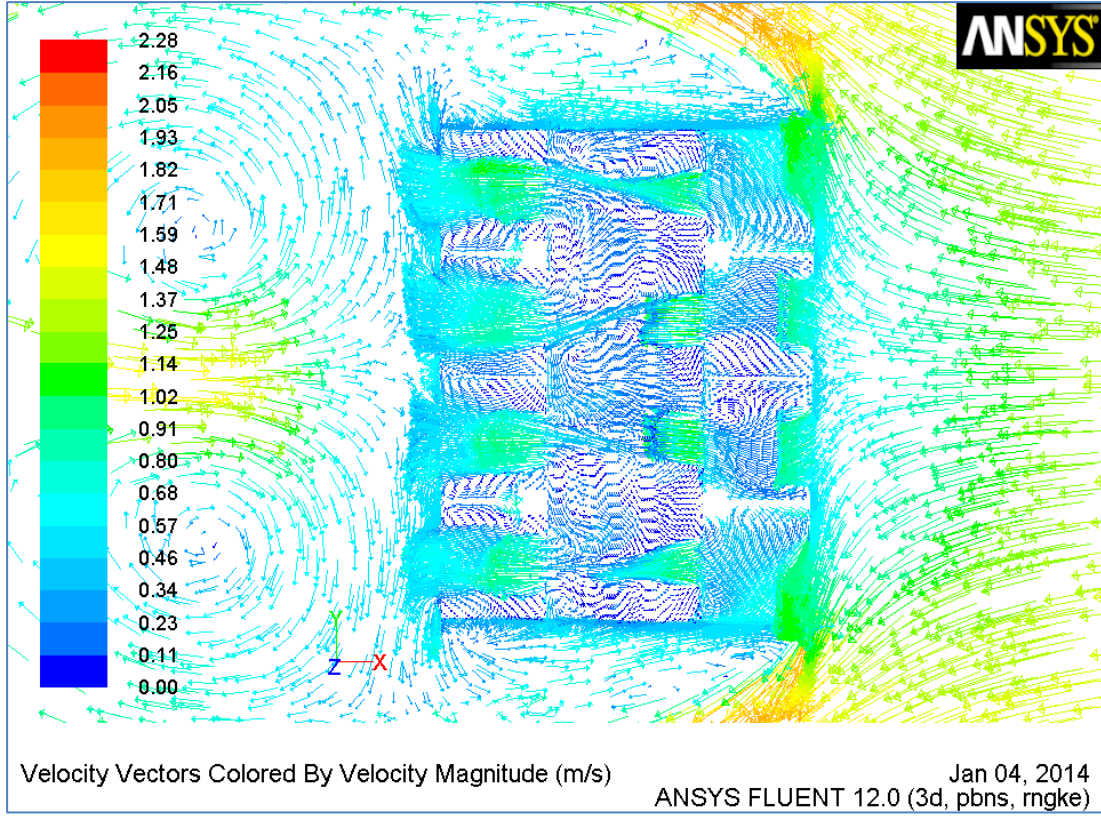
Üst katlara doğru çıkıldıkça oda içine giren havanın odada dağılma etkisinin azaldığı görülmektedir. Yatay düzlemde sonuçlar incelendiğinde sağ kısımdan çıkan havanın sol kısmında ve karşılıklı olarak konumlandırılmış bölgelere girişinde hızının azaldığı görülmektedir (Şekil 4.16 - Şekil 4.21). Aynı zamanda üst katlara çıkıldıkça bu hava aktarım hızı daha da az olmaktadır.



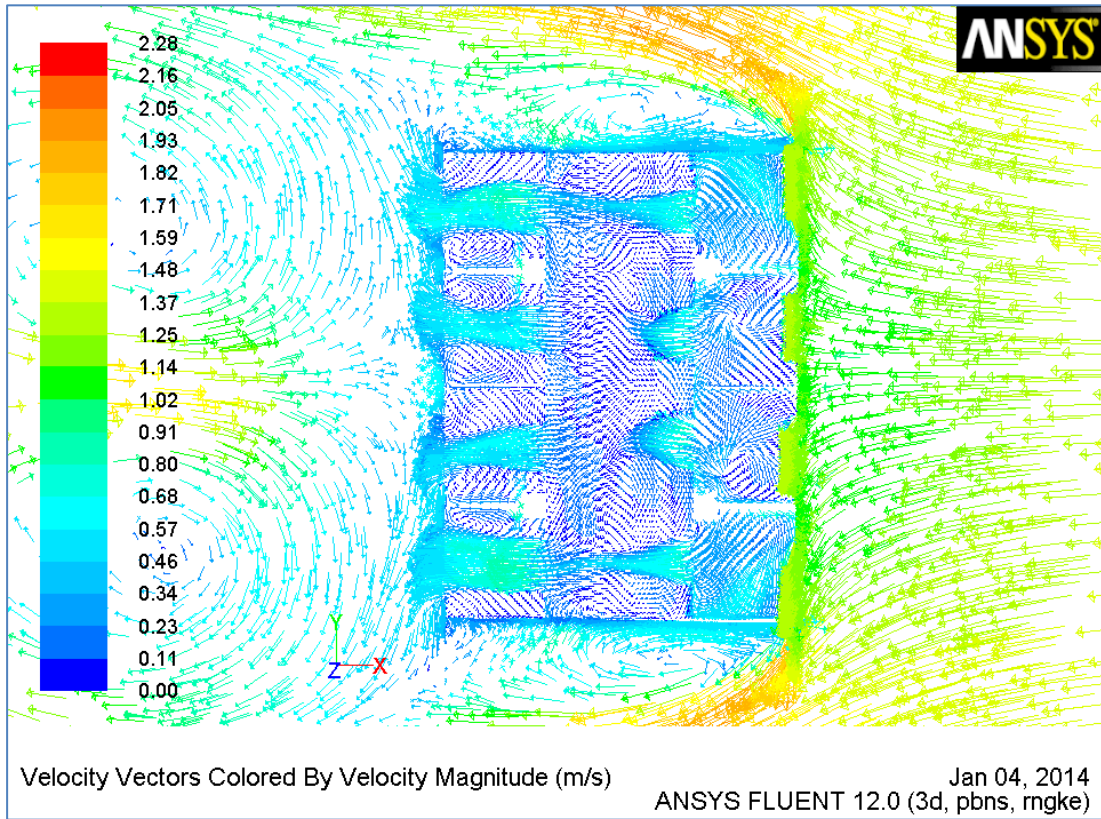
Şekil 4.16 : Model HM1 için Y1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



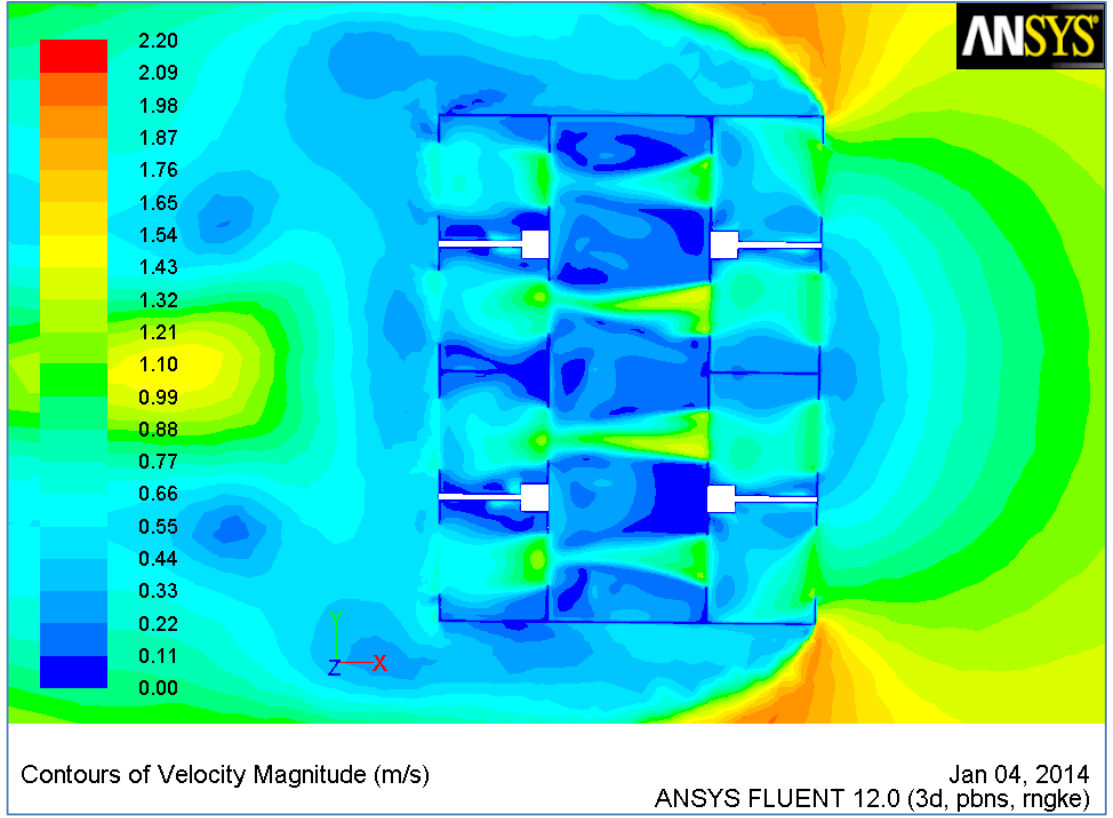
Şekil 4.17 : Model HM1 için Y2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



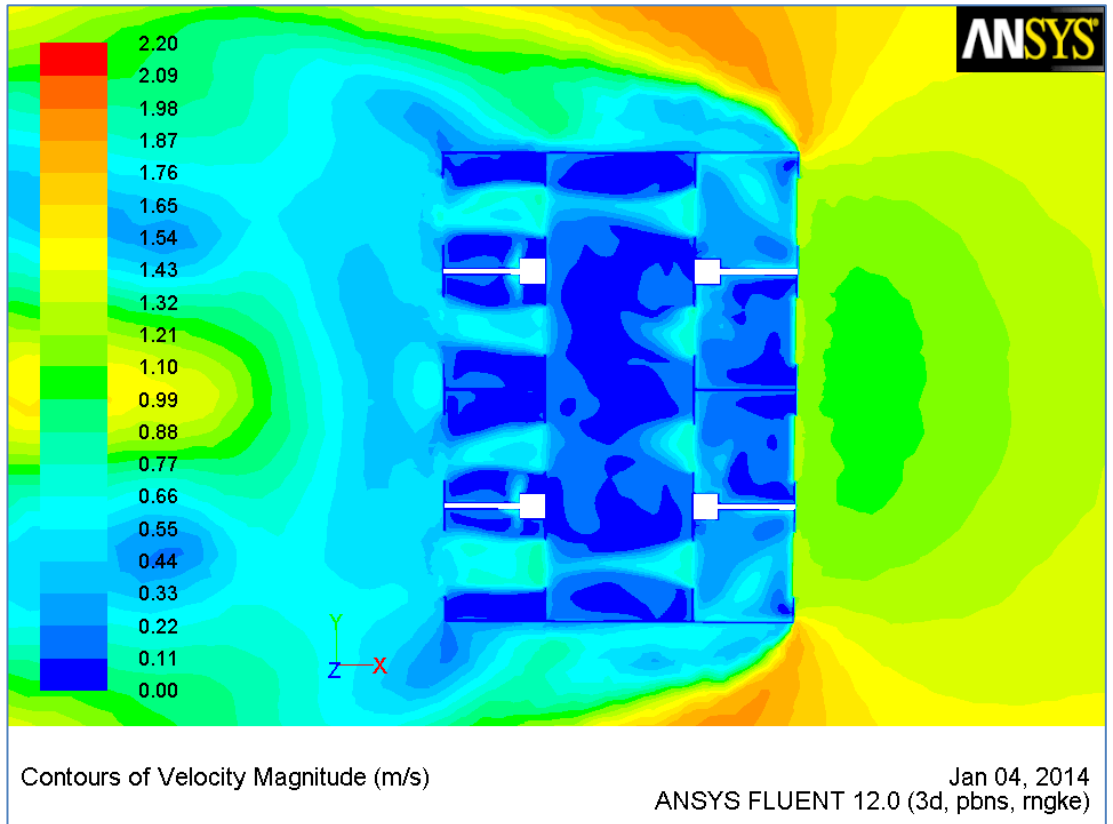
Şekil 4.18 : Model HM1 için Y3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



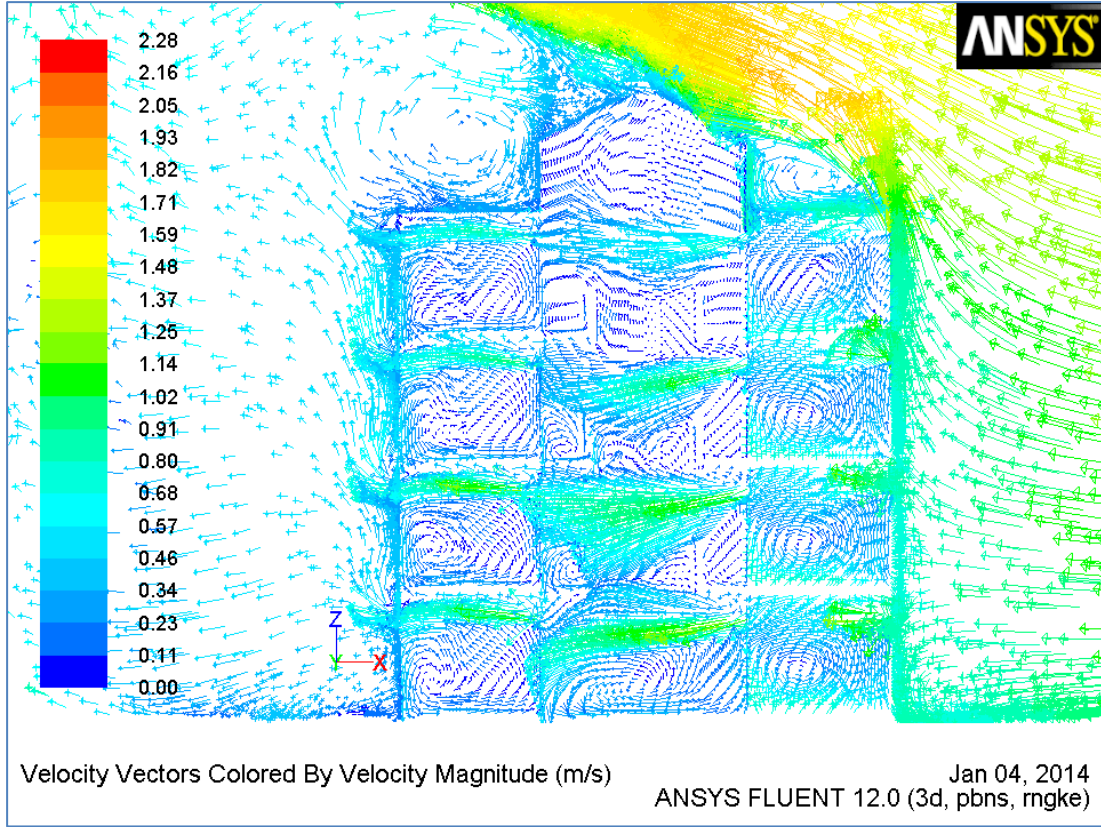
Şekil 4.19 : Model HM1 için Y4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



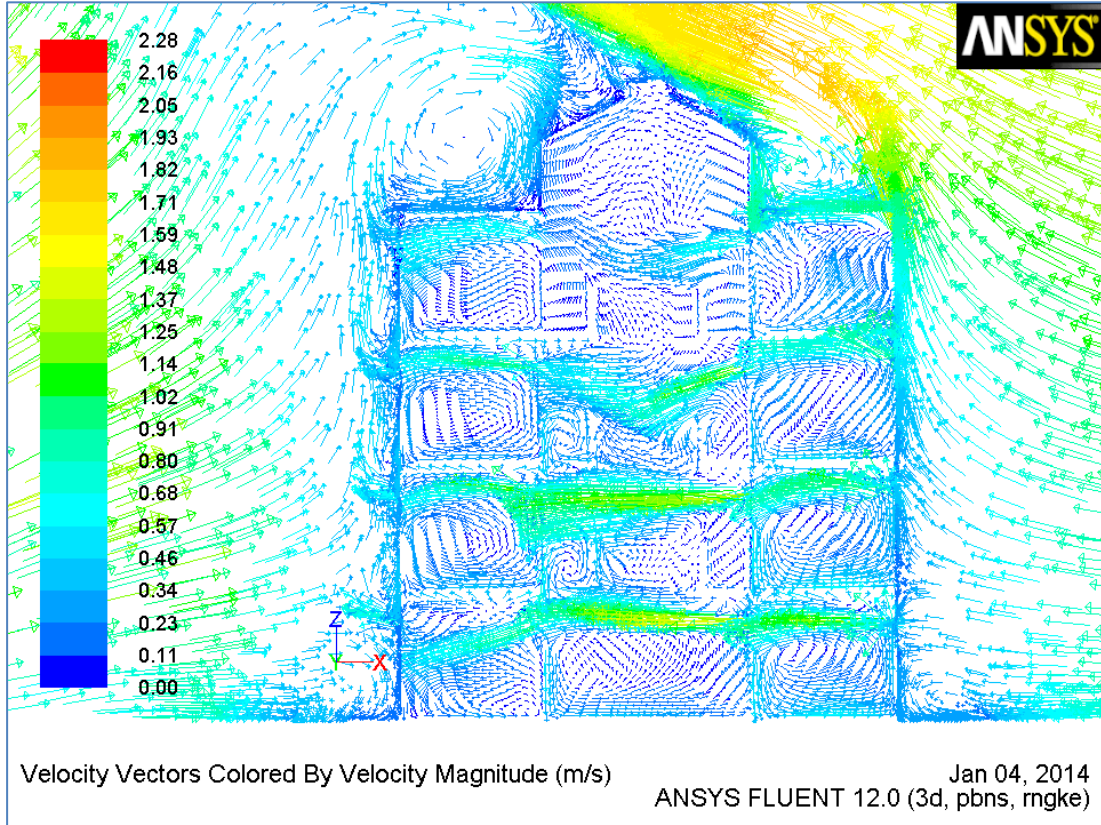
Şekil 4.20 : Model HM1, Y2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



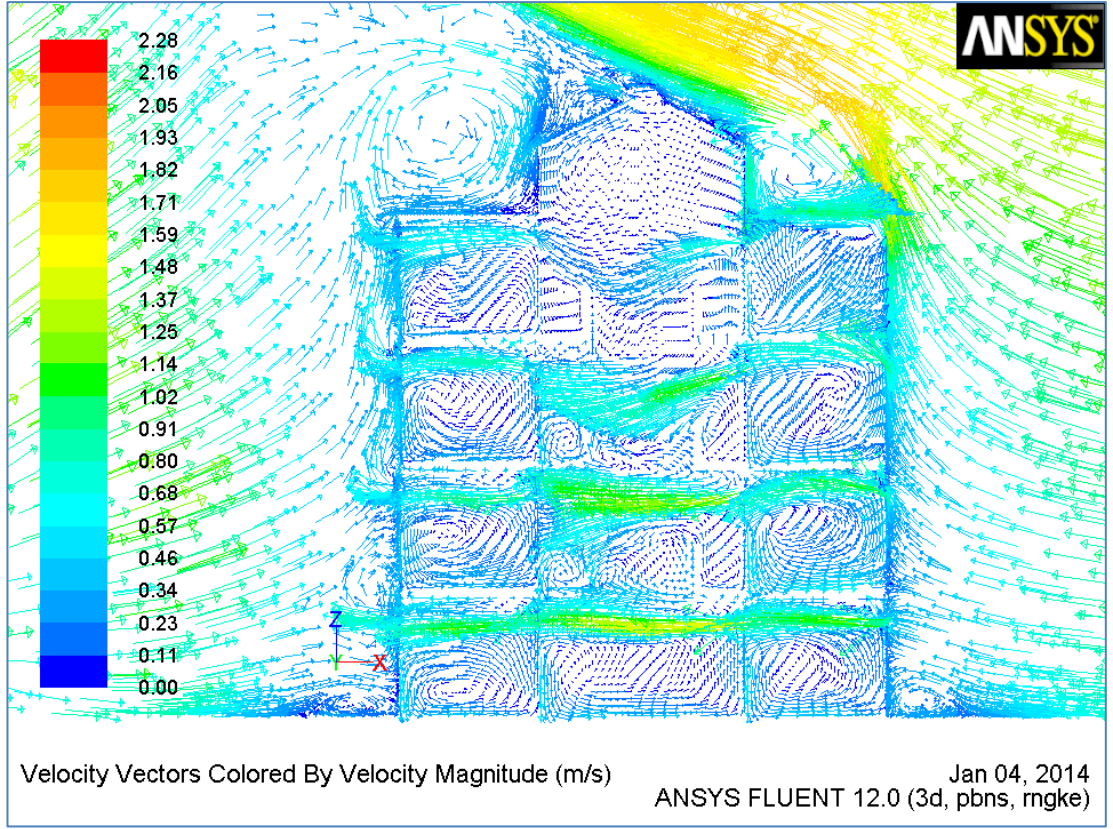
Şekil 4.21 : Model HM1, Y4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



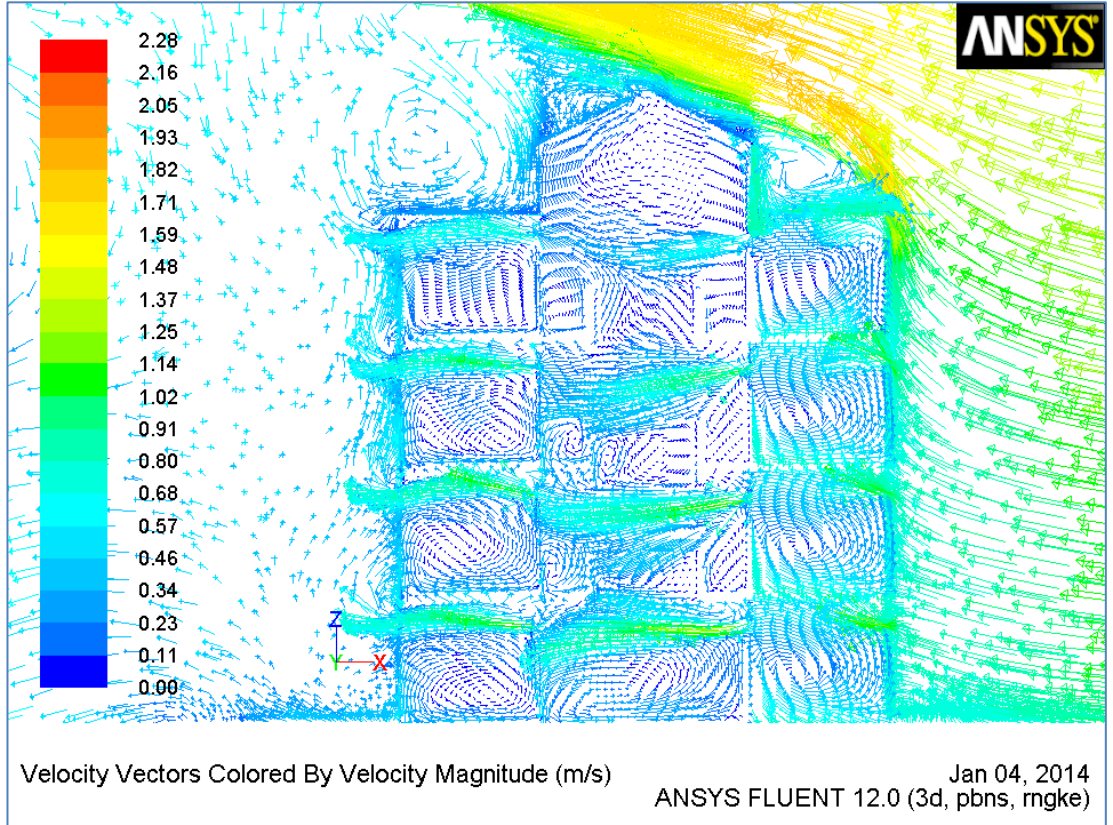
Şekil 4.22 : Model HM1 için D1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



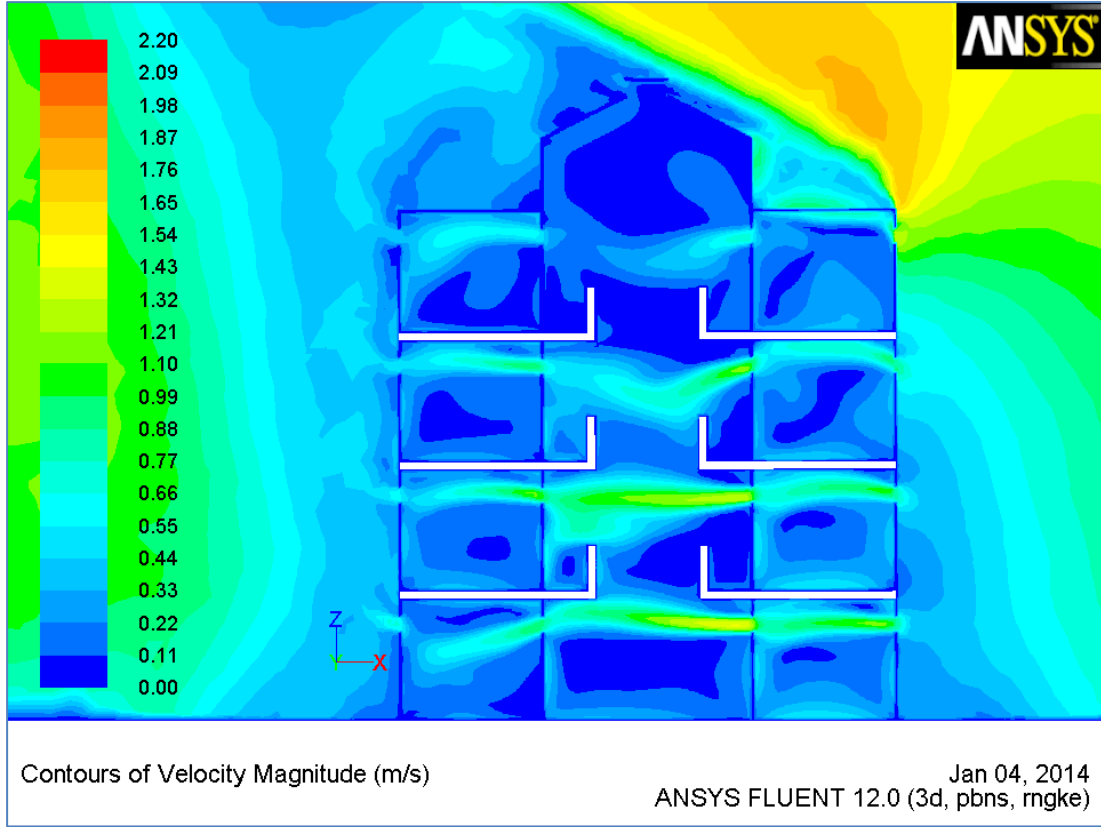
Şekil 4.23 : Model HM1 için D2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



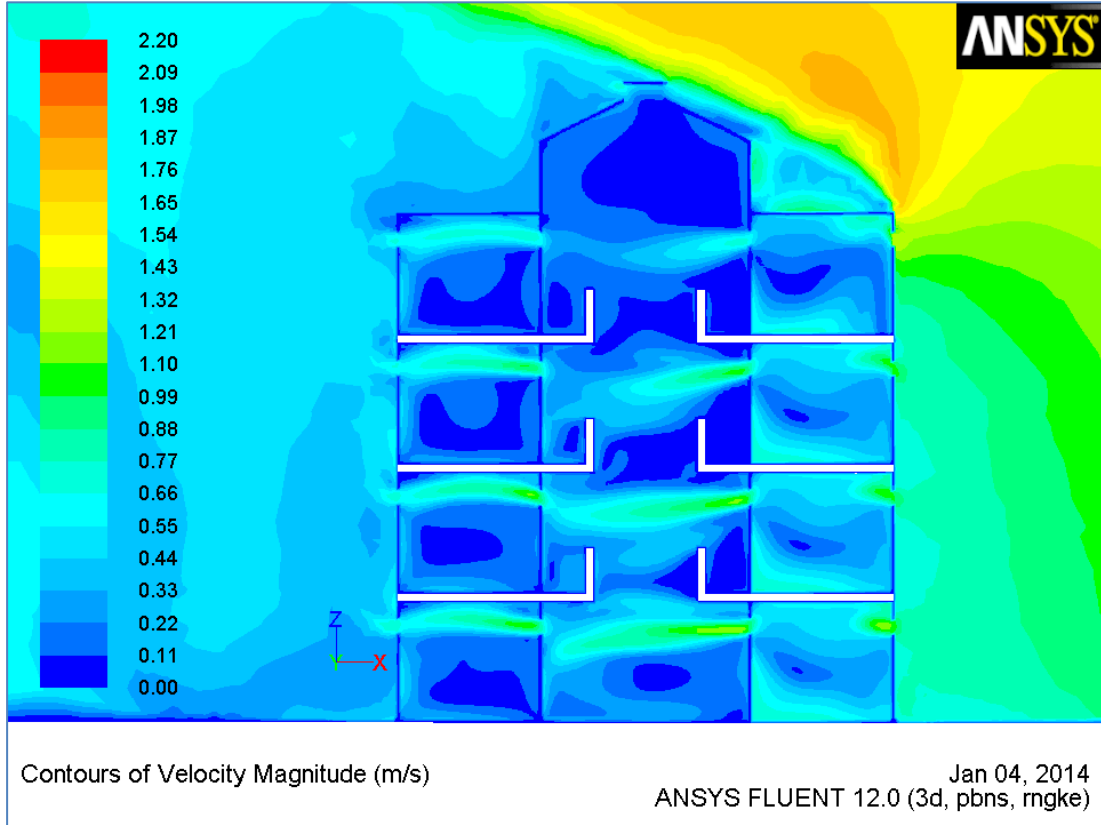
Şekil 4.24 : Model HM1 için D3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



Şekil 4.25 : Model HM1 için D4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



Şekil 4.26 : Model HM1, D2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.27 : Model HM1, D4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.

Çizelge 4.9 : Bina model HM1 için baca açıklıklarından giren ve çıkan havanın hız değerleri.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Hız Değerleri (m/sn)	
		Baca Açıklık Tarafı	Hız (m/sn)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	0,32
		Güney - Sol	0,47
Ortalama			0,39

Çizelge 4.10 : Bina model HM1 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.

Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Hız Değerleri (m/s)							
Kat 1	Hız (m/sn)	Kat 2	Hız (m/sn)	Kat 3	Hız (m/sn)	Kat 4	Hız (m/sn)
udf1r1	0,90	udf2r1	0,86	udf3r1	0,81	udf4r1	0,59
udf1r2	1,08	udf2r2	1,03	udf3r2	0,93	udf4r2	0,65
udf1r3	1,10	udf2r3	1,03	udf3r3	0,93	udf4r3	0,65
udf1r4	0,91	udf2r4	0,87	udf3r4	0,81	udf4r4	0,59
uwf1r1	1,03	uwf2r1	1,01	uwf3r1	1,00	uwf4r1	1,14
uwf1r2	0,89	uwf2r2	0,88	uwf3r2	0,88	uwf4r2	1,10
uwf1r3	0,92	uwf2r3	0,88	uwf3r3	0,89	uwf4r3	1,10
uwf1r4	1,03	uwf2r4	1,00	uwf3r4	1,00	uwf4r4	1,14
Ortalama	0,98		0,95		0,91		0,87

Çizelge 4.11 : Bina model HM1 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.

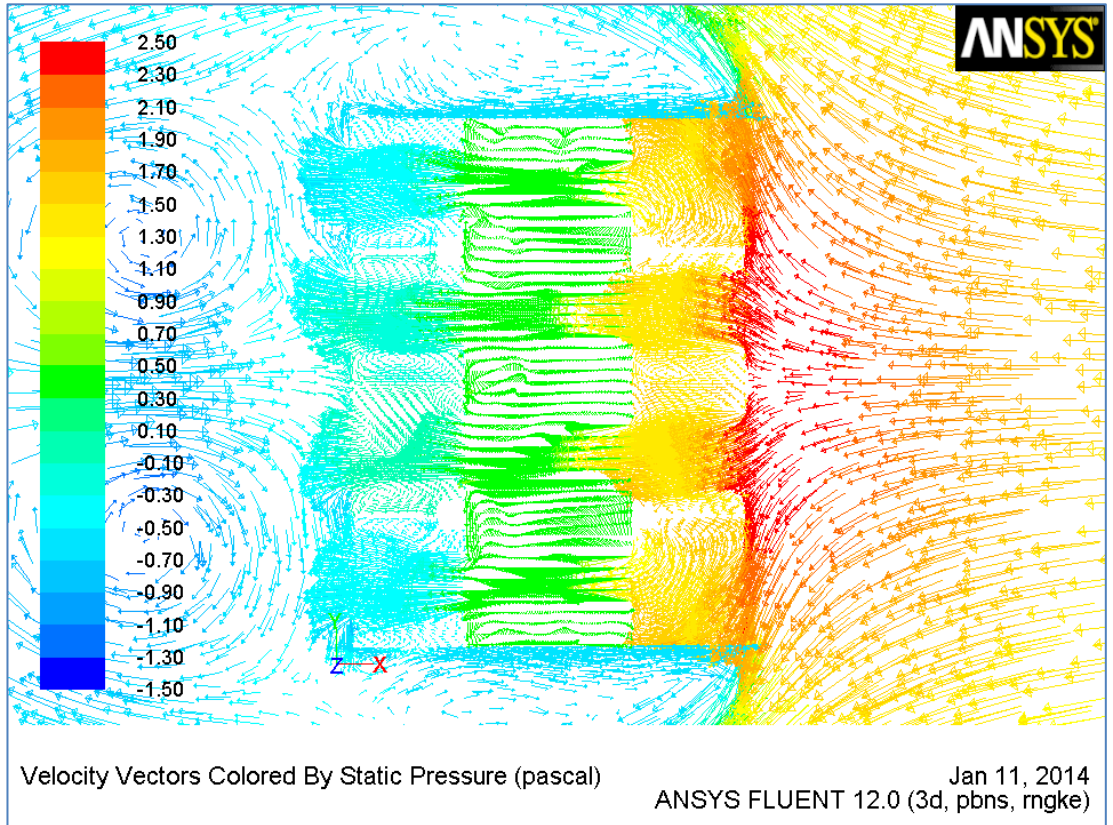
Bina Güney Cephesindeki Pencerelerindeki Hız Değerleri (m/s)							
Kat 1	Hız (m/sn)	Kat 2	Hız (m/sn)	Kat 3	Hız (m/sn)	Kat 4	Hız (m/sn)
udf1l1	0,81	udf2l1	0,82	udf3l1	0,73	udf4l1	0,63
udf1l2	0,83	udf2l2	0,80	udf3l2	0,67	udf4l2	0,46
udf1l3	0,87	udf2l3	0,78	udf3l3	0,67	udf4l3	0,47
udf1l4	0,84	udf2l4	0,84	udf3l4	0,77	udf4l4	0,59
uwf1l1	0,56	uwf2l1	0,59	uwf3l1	0,51	uwf4l1	0,46
uwf1l2	0,60	uwf2l2	0,55	uwf3l2	0,49	uwf4l2	0,35
uwf1l3	0,66	uwf2l3	0,55	uwf3l3	0,48	uwf4l3	0,39
uwf1l4	0,61	uwf2l4	0,58	uwf3l4	0,56	uwf4l4	0,45
Ortalama	0,72		0,69		0,61		0,47

4.2.6.2 Bina modeli HM1 için basınç dağılımları

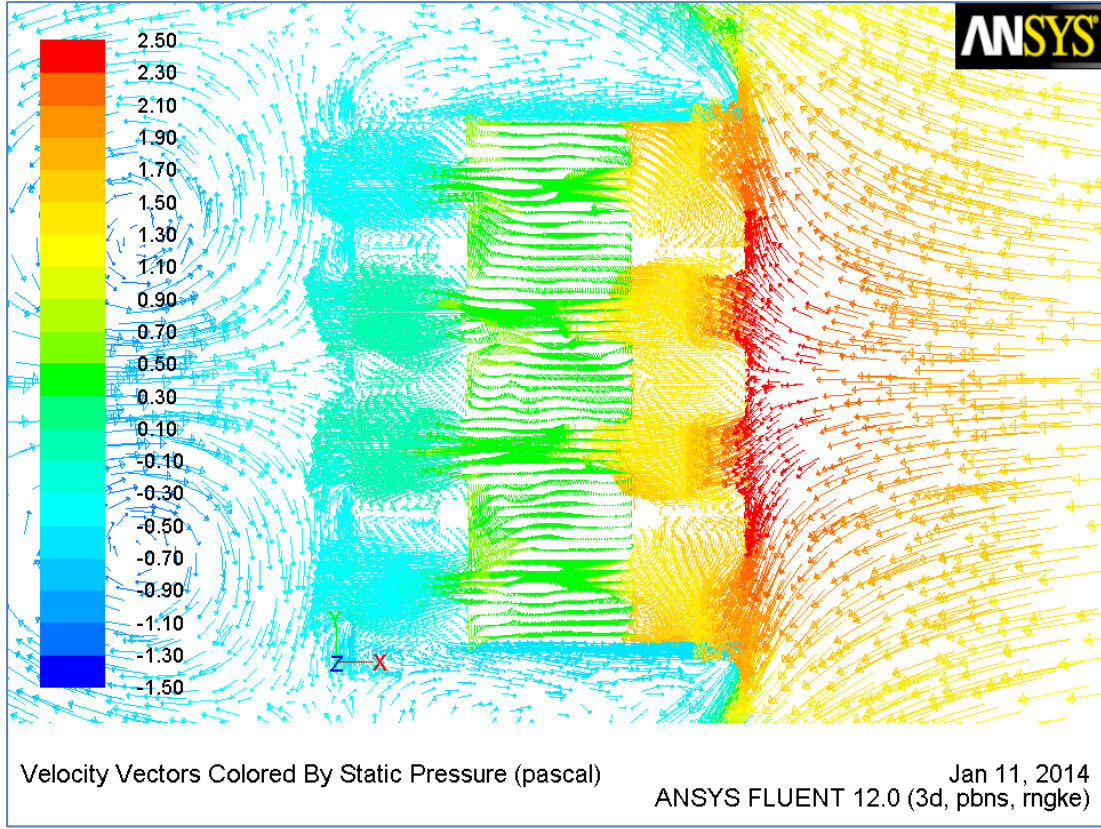
Analiz hacminde meydana gelen basınç dağılımları yatay ve düşey düzlemlerde düzlemlerin bulunma pozisyonlarına (Çizelge 4.8) kontur ve vektörel olarak elde edilmiştir.

Bacada bulunan açıklardaki basınç dağılımı Çizelge 4.12’de verilmiştir. Baca kısmındaki açıklıklarda yüzeyine gelen basınç giriş kısmında, çıkış kısmına göre daha fazladır.

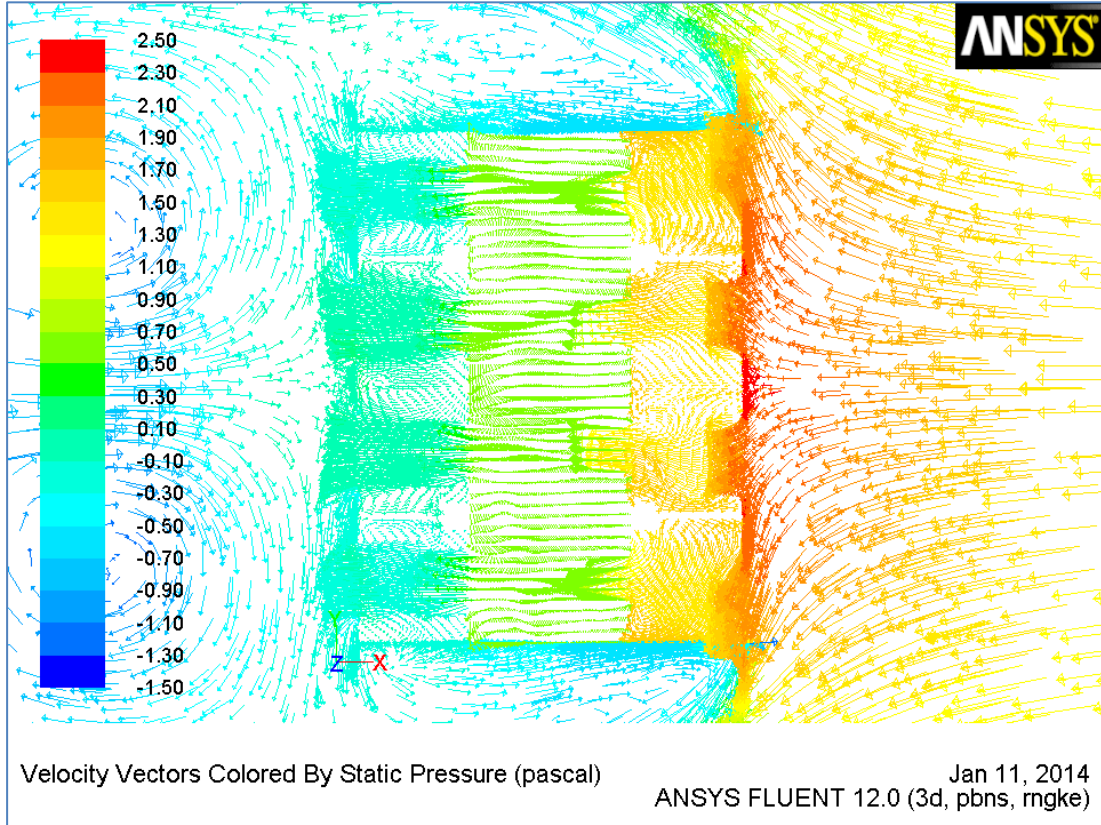
Kuzey ve güney cephelerdeki pencere açıklıklarındaki basınç dağılımlarına bakıldığında, rüzgarın bina yüzeyine ilk temas ettiği kuzey cephesinde pencerelerde ortalama basınç, güney cephesindeki pencere açıklıklarından geçen havanın basıncından oldukça büyüktür (Çizelge 4.13, Çizelge 4.14). Binanın köşelerinden akışın ayrıldığı ve binanın baca, yan yüzeyler ve güney cephesindeki duvar kısımlarında ters bir akışın olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.28 – Şekil 4.39).



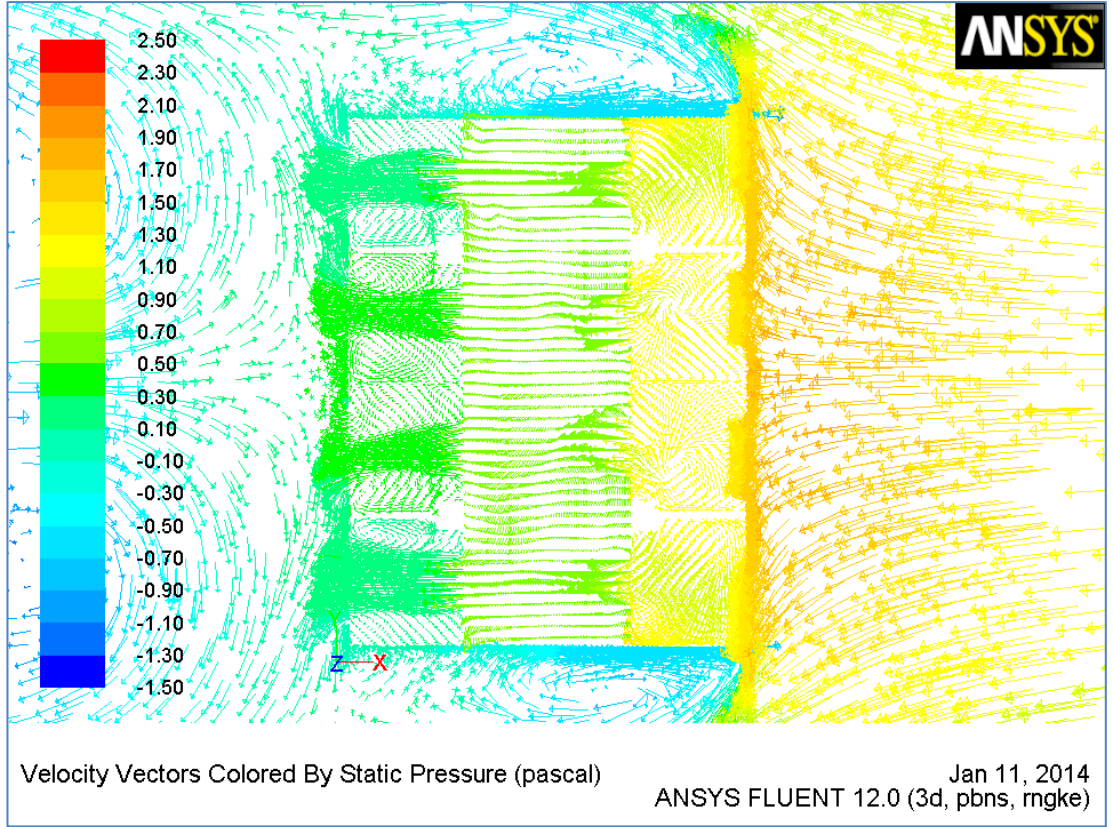
Şekil 4.28 : Model HM1 için Y1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



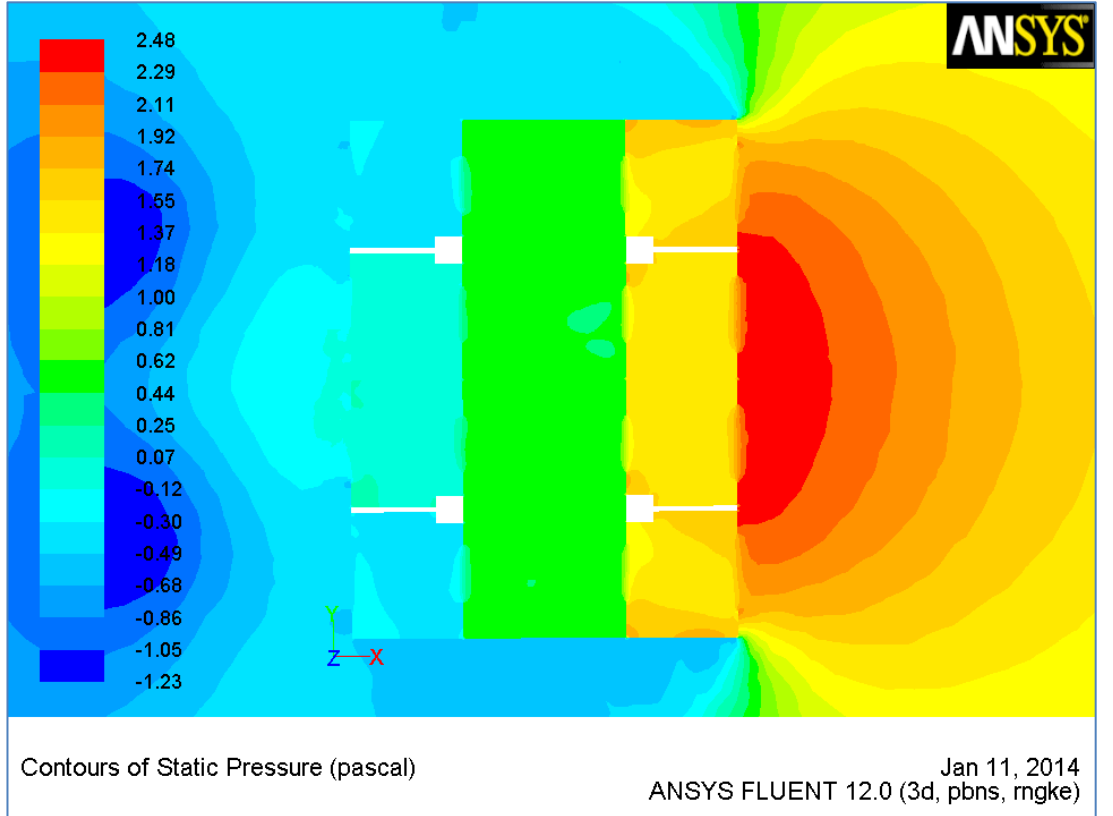
Şekil 4.29 : Model HM1 için Y2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



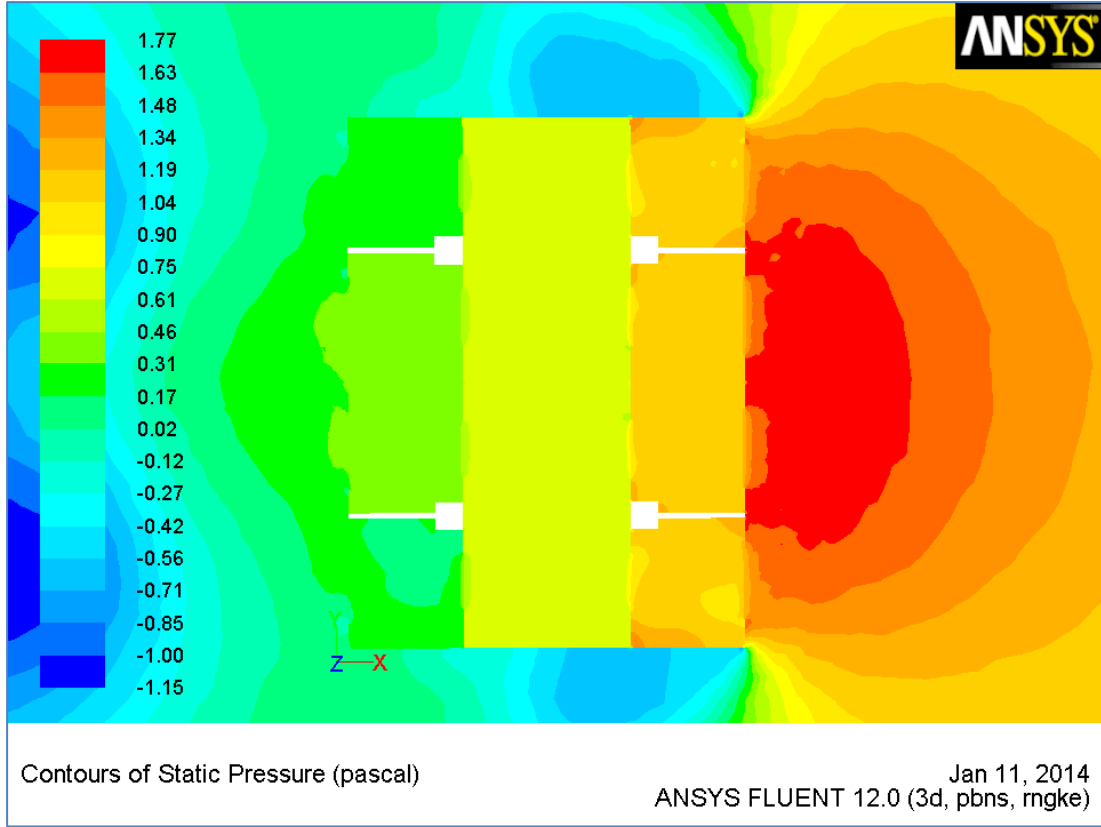
Şekil 4.30 : Model HM1 için Y3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



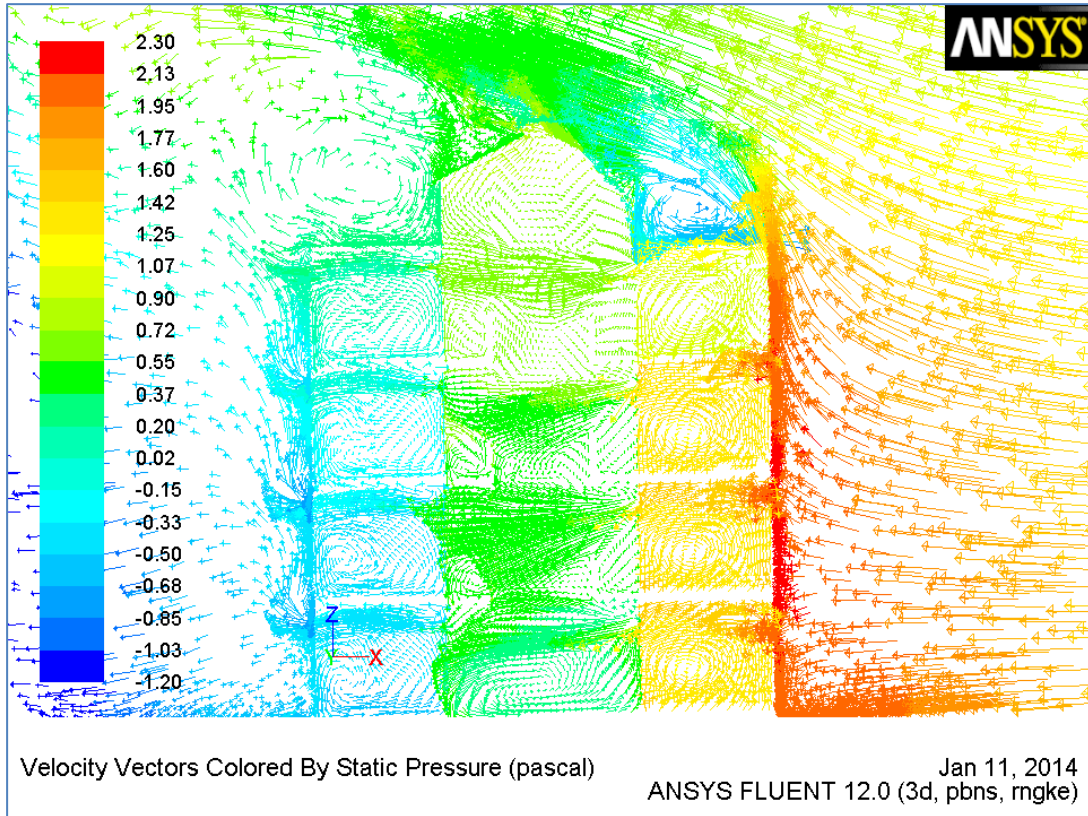
Şekil 4.31 : Model HM1 için Y4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



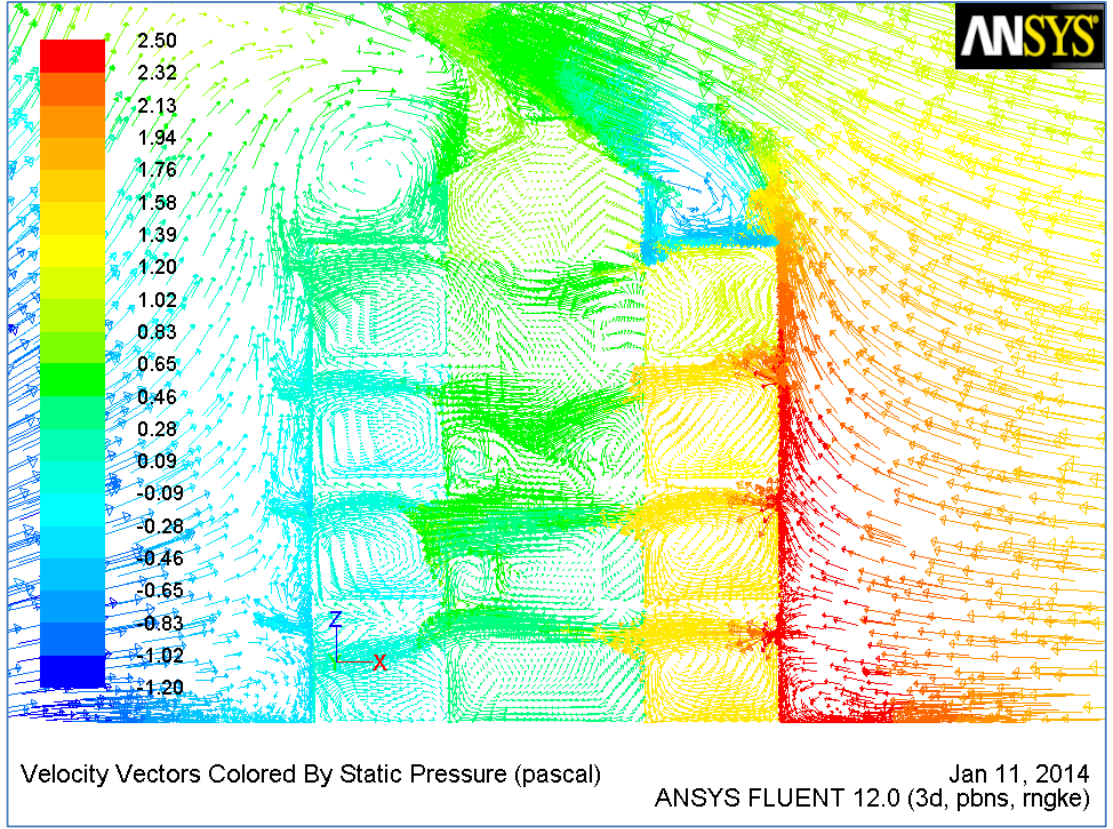
Şekil 4.32 : Model HM1, Y2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



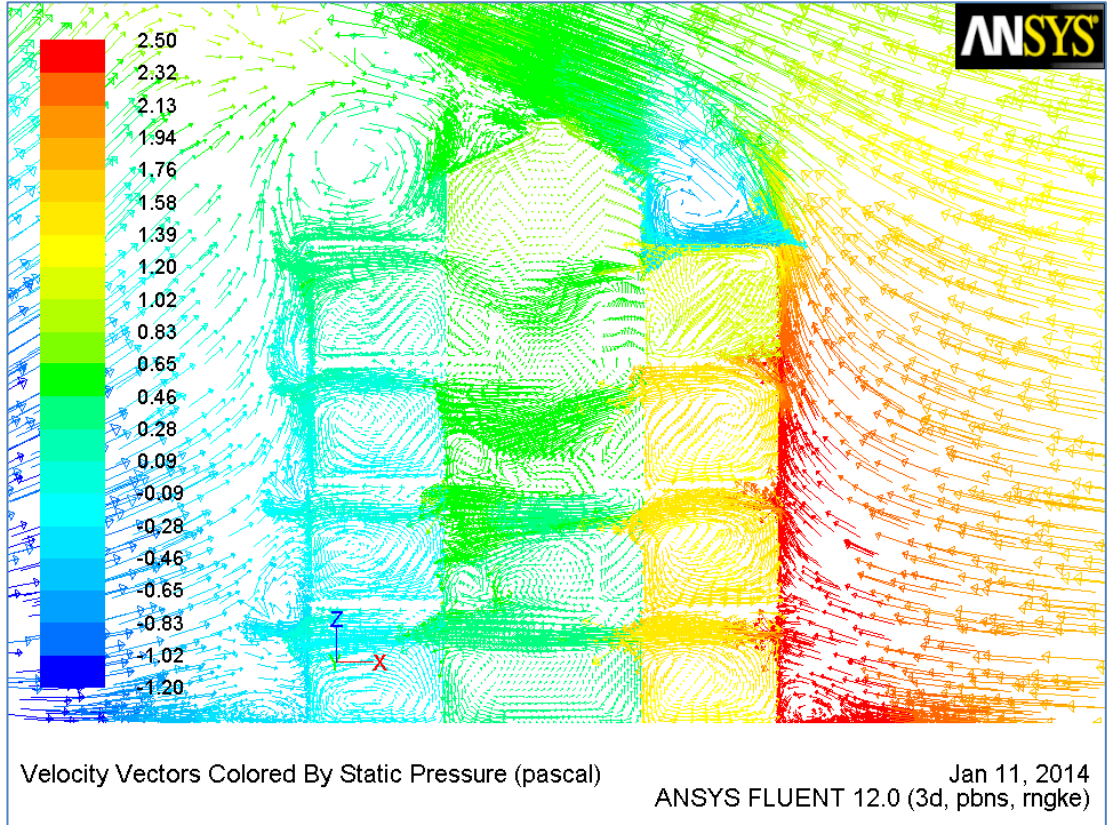
Şekil 4.33 : Model HM1, Y4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



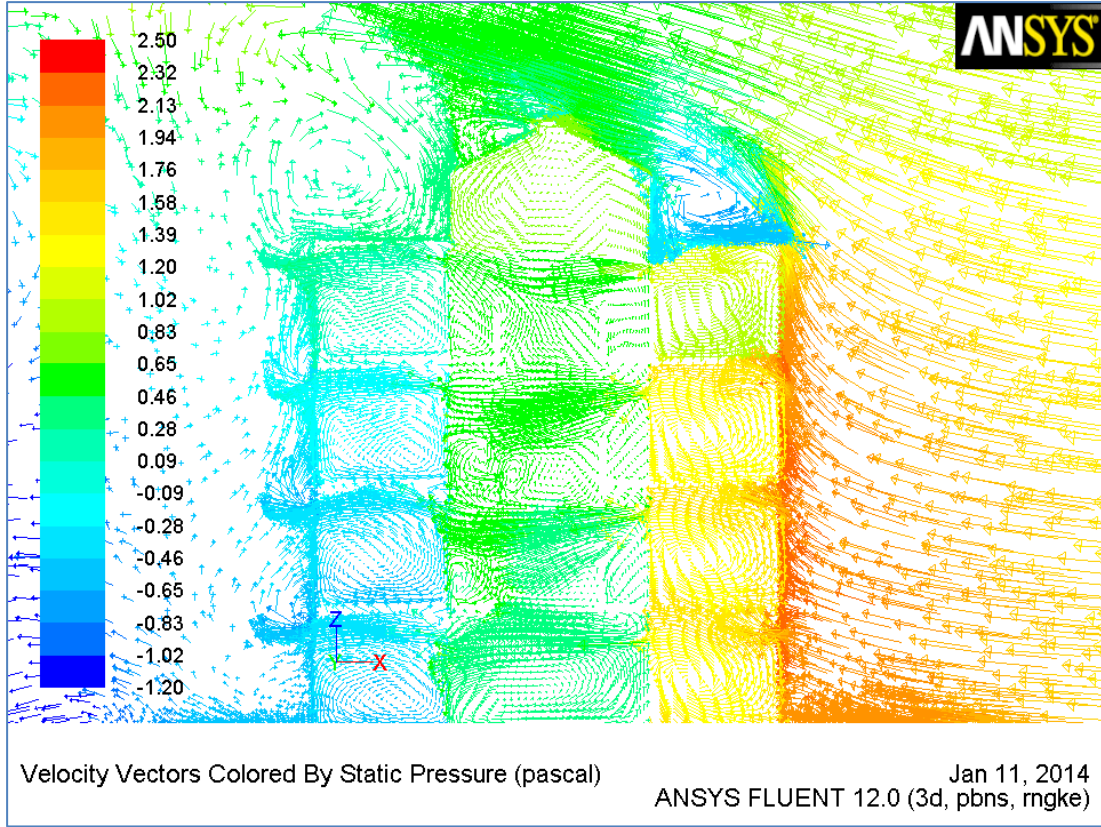
Şekil 4.34 : Model HM1 için D1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



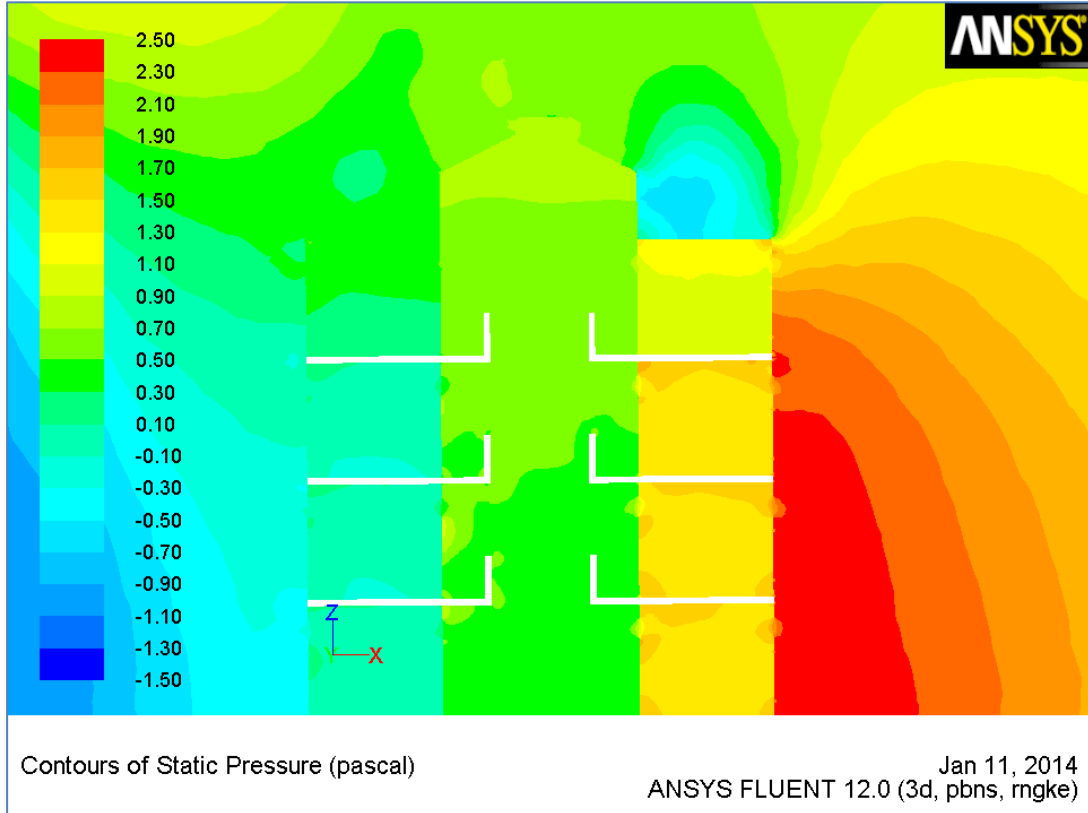
Şekil 4.35 : Model HM1 için D2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



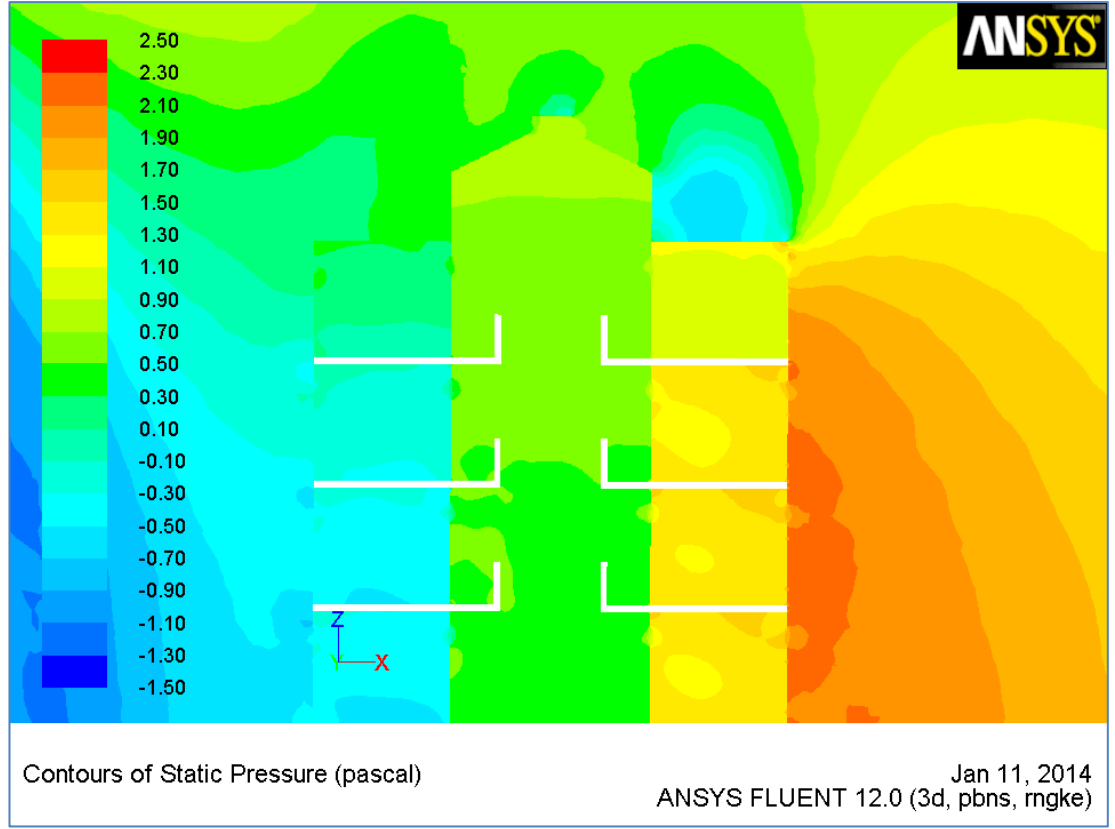
Şekil 4.36 : Model HM1 için D3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



Şekil 4.37 : Model HM1 için D4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



Şekil 4.38 : Model HM1, D2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.39 : Model HM1, D4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.

Çizelge 4. 12 : Bina model HM1 için baca açıklıklarındaki basınç değerleri.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Basınç Dağılımı (pascal)	
		Baca Açıklık Tarafı	P (pascal)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	0,79
		Güney - Sol	0,61
Ortalama			0,70

Çizelge 4.13 : Bina model HM1 için kuzey cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.

Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Basınç Dağılımı (pascal)							
Kat 1	P (pascal)	Kat 2	P (pascal)	Kat 3	P (pascal)	Kat 4	P (pascal)
udf1r1	0,87	udf2r1	0,94	udf3r1	0,94	udf4r1	0,87
udf1r2	0,93	udf2r2	0,96	udf3r2	1,03	udf4r2	0,88
udf1r3	0,95	udf2r3	0,96	udf3r3	1,01	udf4r3	0,87
udf1r4	0,86	udf2r4	0,92	udf3r4	0,95	udf4r4	0,86
uwf1r1	1,69	uwf2r1	1,70	uwf3r1	1,62	uwf4r1	1,20
uwf1r2	1,84	uwf2r2	1,84	uwf3r2	1,77	uwf4r2	1,26
uwf1r3	1,82	uwf2r3	1,84	uwf3r3	1,78	uwf4r3	1,26
uwf1r4	1,70	uwf2r4	1,70	uwf3r4	1,62	uwf4r4	1,21
Ortalama	1,33		1,36		1,34		1,05

Çizelge 4.14 : Bina model HM1 için güney cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.

Bina Güney Cephesindeki Pencerelerindeki Basınç Dağılımı (pascal)							
Kat 1	P (pascal)	Kat 2	P (pascal)	Kat 3	P (pascal)	Kat 4	P (pascal)
udf1l1	-0,01	udf2l1	0,07	udf3l1	0,19	udf4l1	0,40
udf1l2	0,26	udf2l2	0,29	udf3l2	0,27	udf4l2	0,50
udf1l3	0,20	udf2l3	0,23	udf3l3	0,31	udf4l3	0,50
udf1l4	0,01	udf2l4	0,05	udf3l4	0,20	udf4l4	0,43
uwf1l1	-0,43	uwf2l1	-0,36	uwf3l1	-0,14	uwf4l1	0,19
uwf1l2	-0,17	uwf2l2	-0,07	uwf3l2	0,01	uwf4l2	0,34
uwf1l3	-0,20	uwf2l3	-0,12	uwf3l3	0,05	uwf4l3	0,36
uwf1l4	-0,43	uwf2l4	-0,36	uwf3l4	-0,13	uwf4l4	0,21
Ortalama	-0,09		-0,03		0,09		0,37

4.2.6.3 Bina modeli HM1 için kütle dengesi

Bina modeli üzerinde bulunan açıklıklardan (pencere ve baca) daha önce bahsedilmişti. Analiz için tanımlanan açıklıklardaki havalandırma yüzeylerinden giren ve çıkan hava miktarları Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17’de verilmiştir. Eksi işaret yön durumunu belirtmektedir.

Tablolar incelendiğinde toplam olarak binaya giren ve çıkan hava miktarının dengeli olduğu görülmüştür. İnceleme öncelikle havanın ilk olarak içeriye girdiği kuzey cephesinde yapılmıştır. Çizelge 4.16 tablosunda kuzey cephesindeki her bir katta bulunan ofislerdeki pencerelerdeki debi değerleri bilgisi verilmiştir. Çizelge 4.17 tablosunda ise güney cephesine ait debi değerleri ayrıntılı olarak mevcuttur.

Güney cephesindeki pencereler en uzak bölgede olduklarından bu kısımdaki debi değerlerin kararlı hale gelmesi diğer tarafa göre uzun sürecektir.

Çizelge 4.15 : Bina model HM1 için baca açıklıklarından giren ve çıkan hava miktarları.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Debi Değerleri (kg/s)	
		Baca Açıklık Tarafı	Debi (kg/s)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	-2,21
		Güney - Sol	4,77
Toplam			2,56

Çizelge 4.16 : Bina model HM1 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bina Kuzey Cephesindeki Pencereleindeki Debi Değerleri (kg/s)							
		Kat 1	Debi (kg/s)	Kat 2	Debi (kg/s)	Kat 3	Debi (kg/s)	Kat 4	Debi (kg/s)
KUZEY	1,5	udf1r1	-1,05	udf2r1	-1,01	udf3r1	-0,93	udf4r1	-0,66
		udf1r2	-1,35	udf2r2	-1,27	udf3r2	-1,08	udf4r2	-0,70
		udf1r3	-1,39	udf2r3	-1,28	udf3r3	-1,08	udf4r3	-0,71
		udf1r4	-1,05	udf2r4	-1,00	udf3r4	-0,93	udf4r4	-0,66
		uwf1r1	1,05	uwf2r1	1,01	uwf3r1	0,93	uwf4r1	0,66
		uwf1r2	1,35	uwf2r2	1,27	uwf3r2	1,08	uwf4r2	0,70
		uwf1r3	1,39	uwf2r3	1,27	uwf3r3	1,08	uwf4r3	0,70
		uwf1r4	1,05	uwf2r4	1,00	uwf3r4	0,92	uwf4r4	0,65
Toplam		0,00		0,00		-0,01		-0,01	

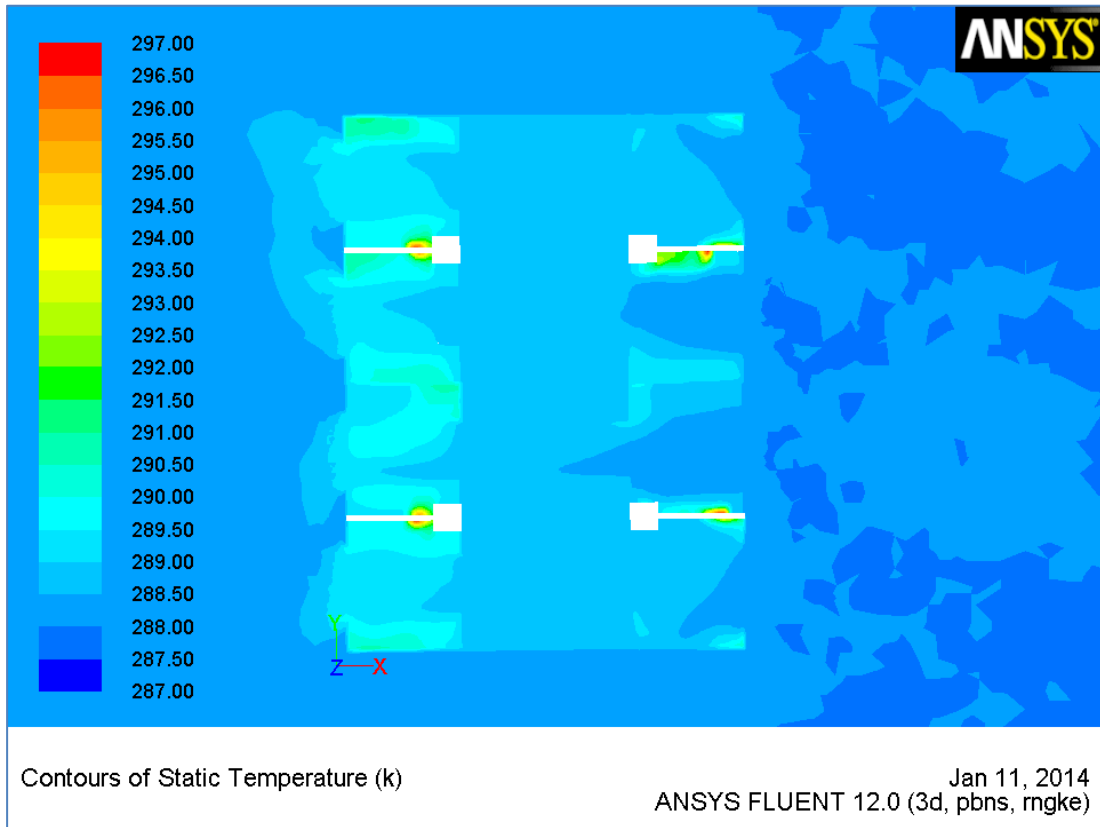
Çizelge 4.17 : Bina model HM1 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bina Güney Cephesindeki Pencereleindeki Kütlesel Debi Değerleri (kg/s)							
		Kat 1	Debi (kg/s)	Kat 2	Debi (kg/s)	Kat 3	Debi (kg/s)	Kat 4	Debi (kg/s)
KUZEY	1,5	udf1l1	0,96	udf2l1	0,98	udf3l1	0,85	udf4l1	0,76
		udf1l2	0,95	udf2l2	0,95	udf3l2	0,79	udf4l2	0,55
		udf1l3	1,07	udf2l3	0,92	udf3l3	0,81	udf4l3	0,55
		udf1l4	1,03	udf2l4	0,97	udf3l4	0,92	udf4l4	0,71
		uwf1l1	-0,95	uwf2l1	-0,97	uwf3l1	-0,85	uwf4l1	-0,77
		uwf1l2	-0,94	uwf2l2	-0,93	uwf3l2	-0,79	uwf4l2	-0,55
		uwf1l3	-1,06	uwf2l3	-0,91	uwf3l3	-0,80	uwf4l3	-0,56
		uwf1l4	-1,03	uwf2l4	-0,97	uwf3l4	-0,92	uwf4l4	-0,71
Toplam		0,03		0,03		0,01		-0,02	

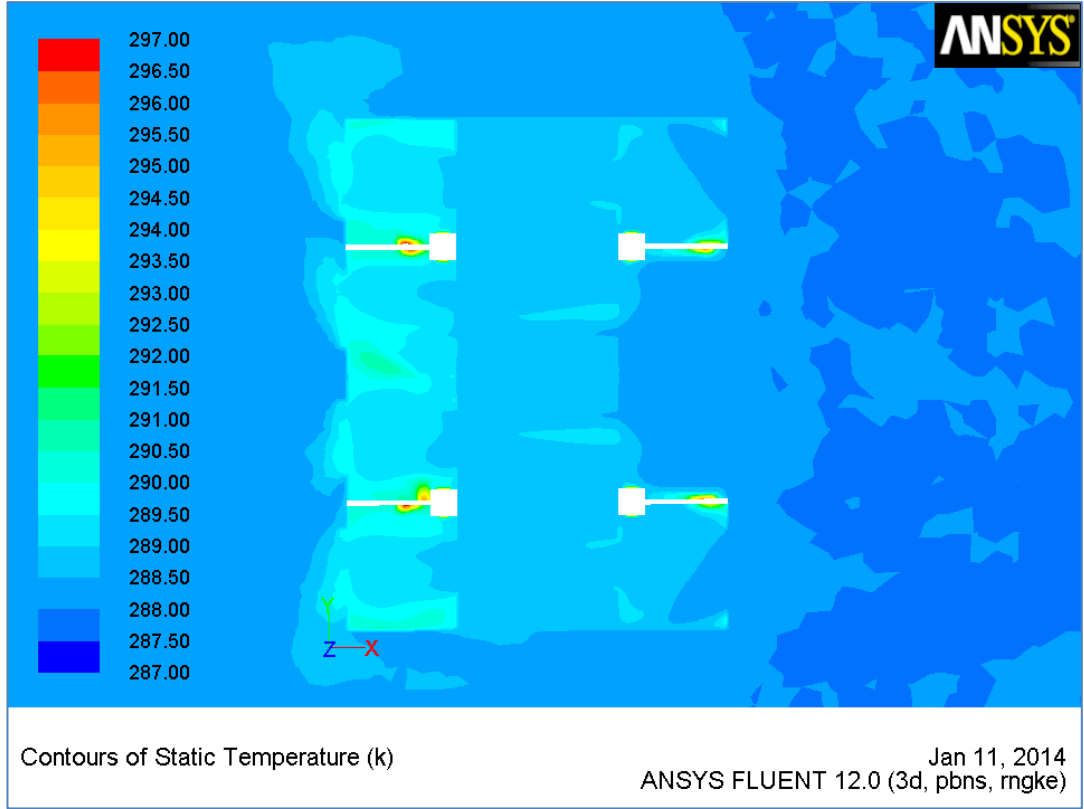
4.2.6.4 Bina model HM1 için sıcaklık dağılımları

Analiz için uygulanan rüzgarın sıcaklığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilerin irdelenmesi sonucu ortalama olarak 15°C ($\approx 288\text{ K}$) alınmıştır. Ayrıca her odada bulunan radyatörlerin ısı akı değeri 1400 W/m^2 olarak alınmıştır.

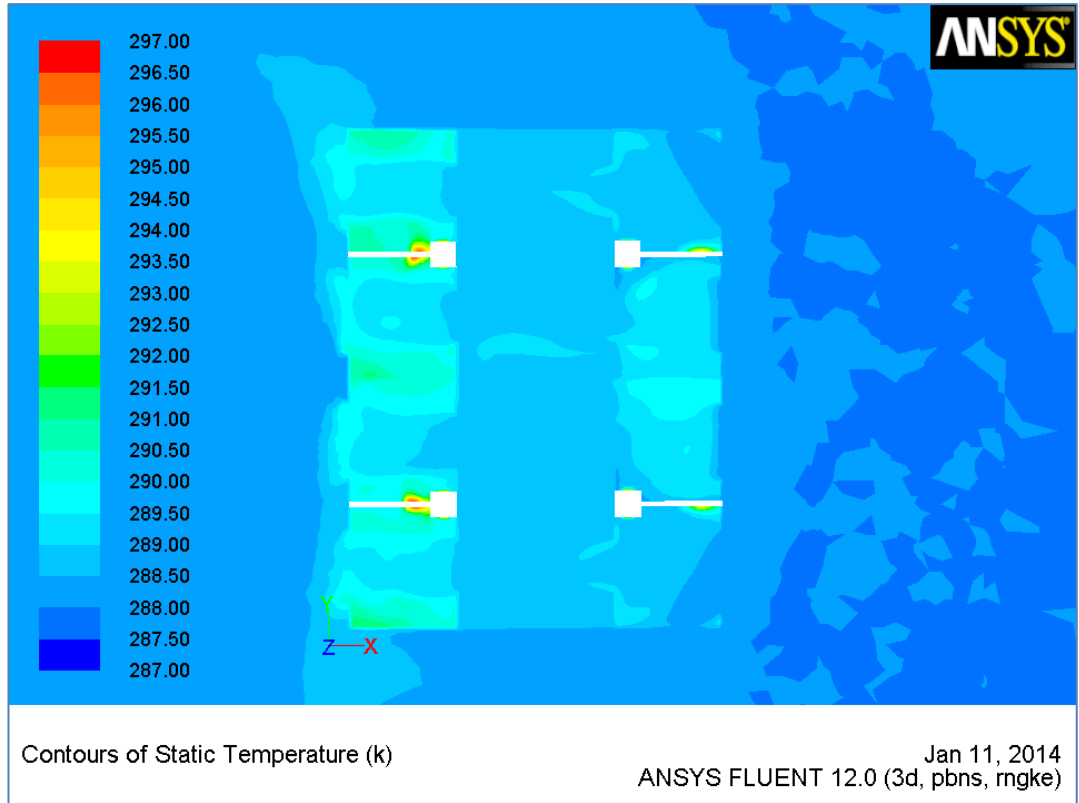
Sonuçlara göre rüzgarın ilk olarak girdiği kuzey cephesi bölgesinde odaların içerisindeki sıcaklık, güney cephesindeki oda sıcaklığından daha düşük olduğu (Şekil 4.40 – Şekil 4.43), ve alt katlardaki ortalama sıcaklığın üst katlara göre daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.44 – Şekil 4.47). Sıcak duvar yüzeyiyle temas eden hava akımı ısınarak yükselmekte, oda içeri giren rüzgarla beraber dış ortama çıkmaktadır.



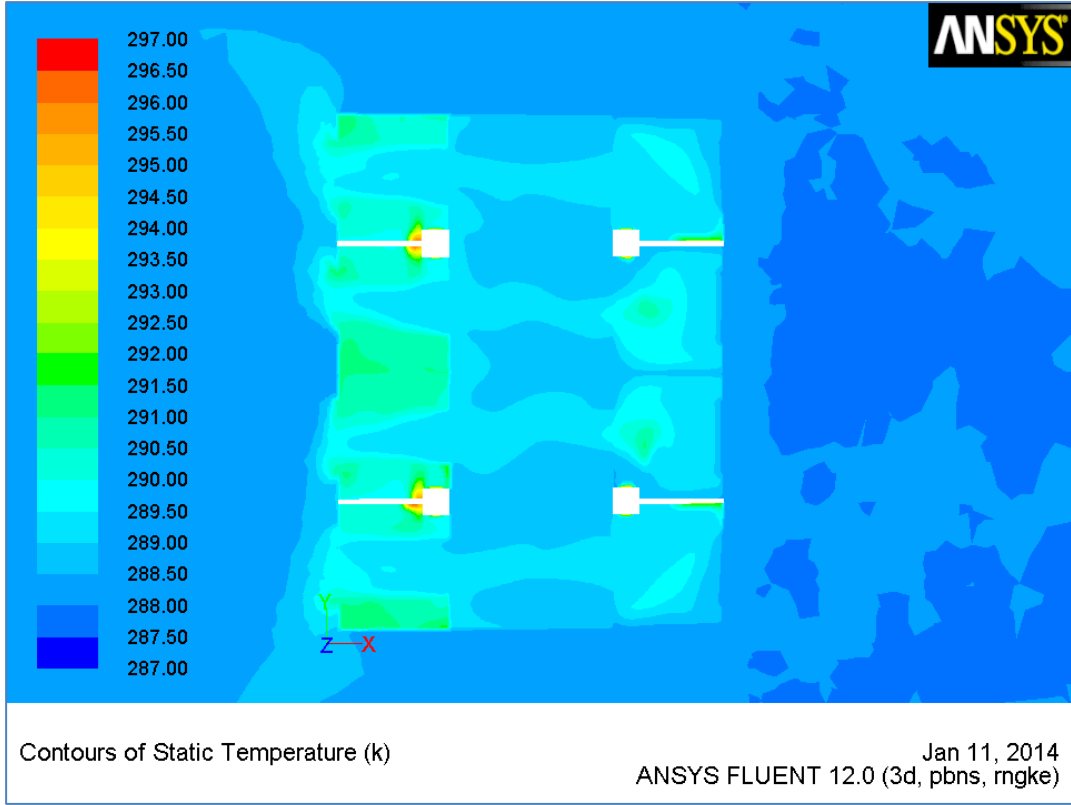
Şekil 4.40 : Model HM1, Y1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



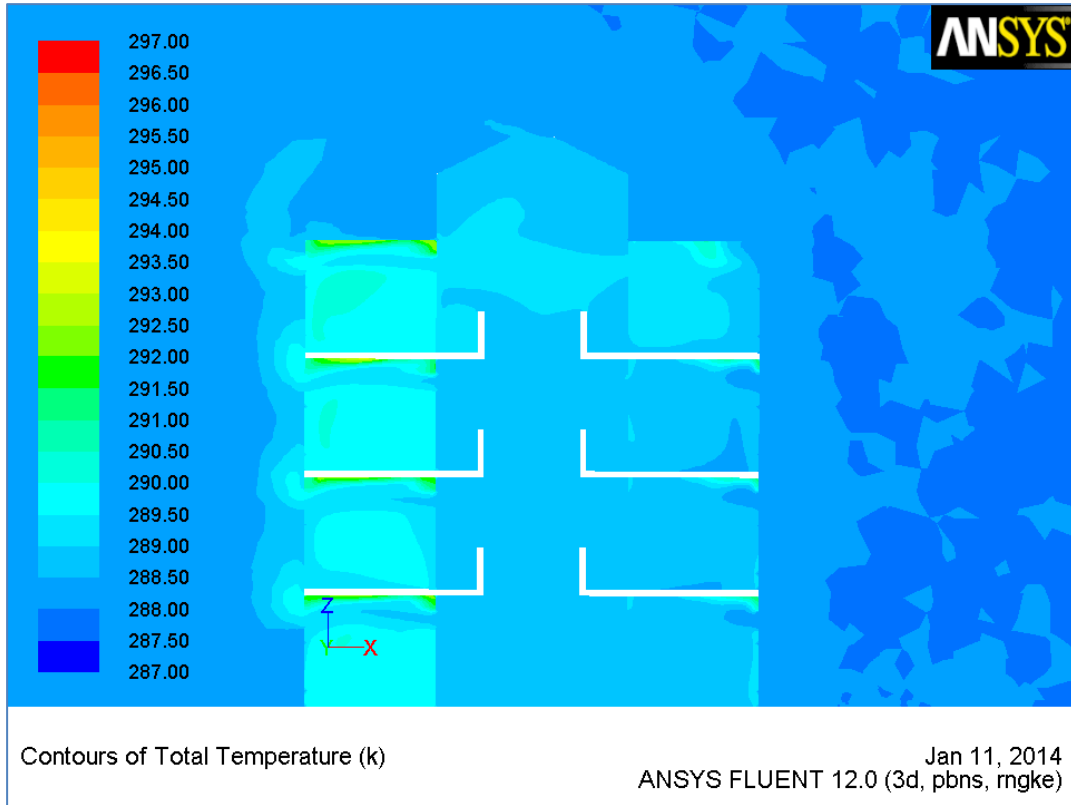
Şekil 4.41 : Model HM1, Y2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



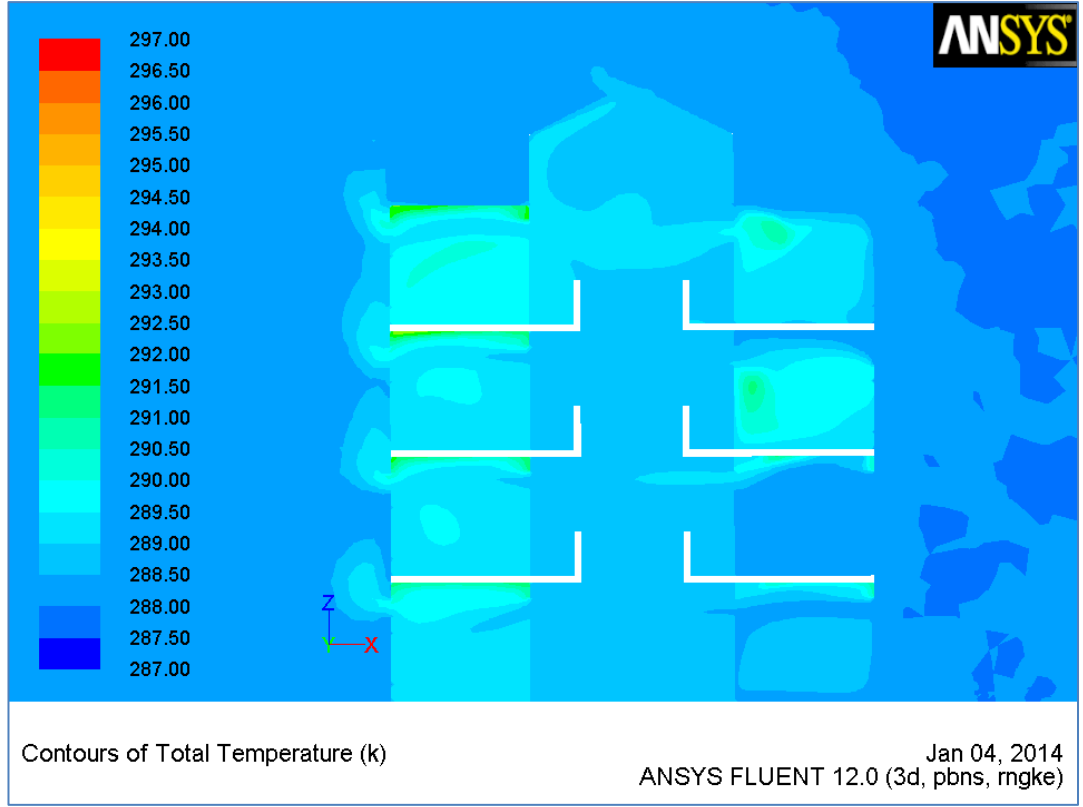
Şekil 4.42 : Model HM1, Y3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



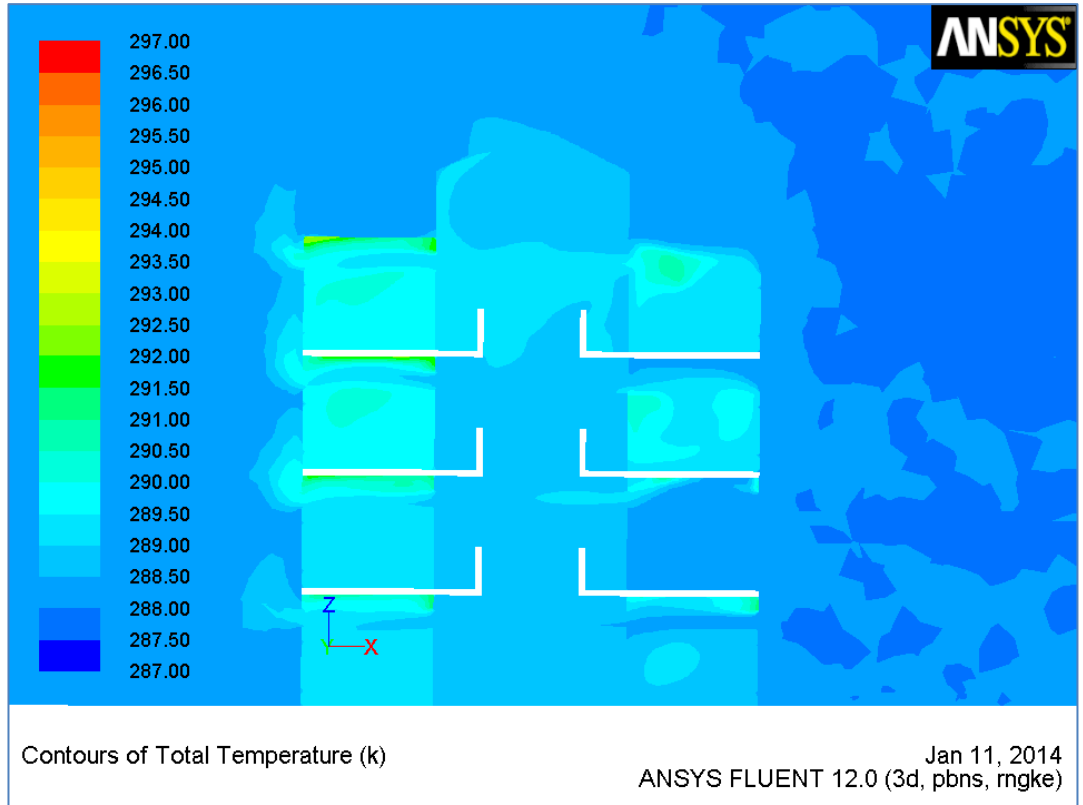
Şekil 4.43 : Model HM1, Y4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



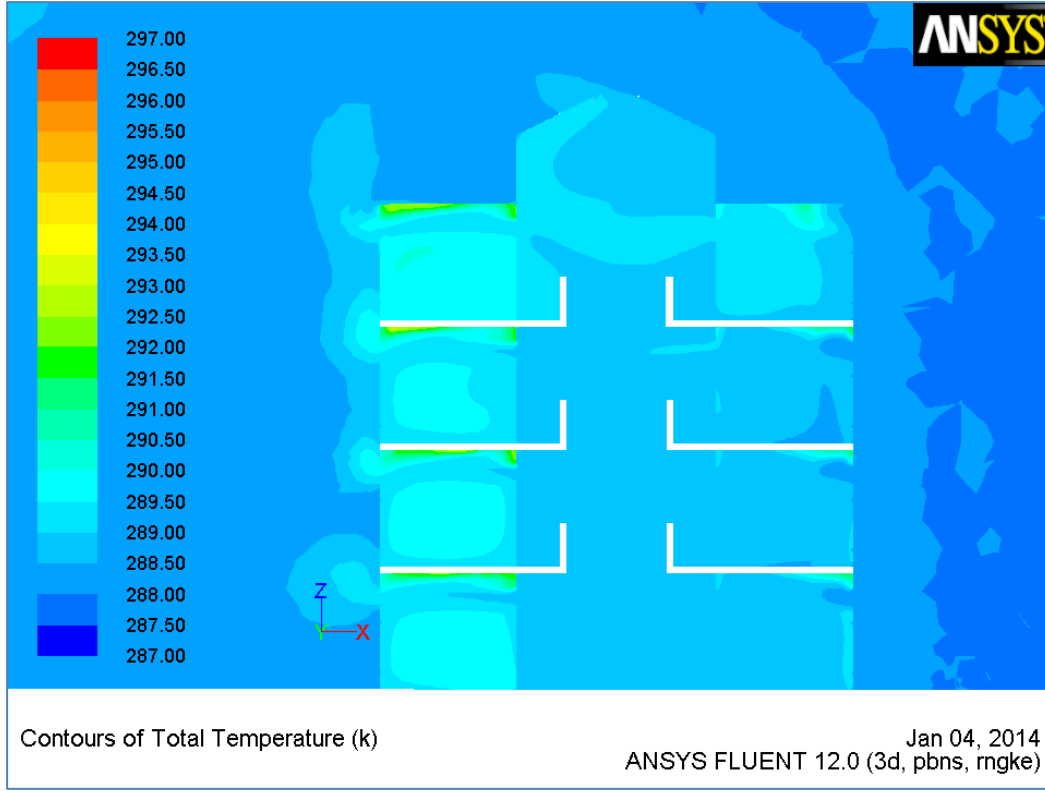
Şekil 4.44 : Model HM1, D1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.45 : Model HM1, D2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.46 : Model HM1, D3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.47 : Model HM1, D4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.

4.2.7 Bina model HM2 için analiz sonuçları

Analiz sonuçları ortalama rüzgar hızı 1,5 m/sn, ortalama rüzgar sıcaklığı 15 °C rüzgarın hakim yön olan kuzey yönünde esmesi durumunda elde edilmiştir. Oluşturulan HM2 modelinin yüzey koşullarının tanımlanması ve sınır koşullarının değerleri Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmişti. Baca durumu olarak sol taraftaki baca durumu kapalı olarak analizler yapılmıştır.

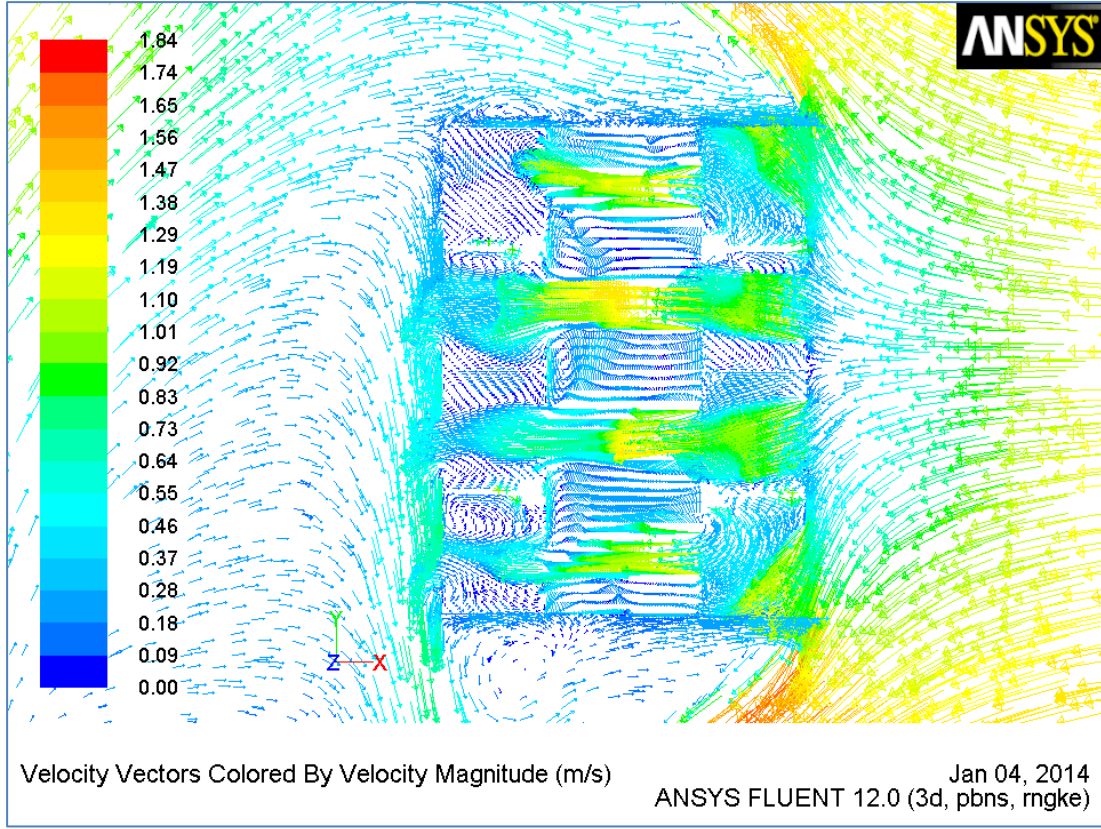
4.2.7.1 Bina modeli HM2 için hız dağılımları

HM2 modeli için bina modelinde bacada bulunan açıklıklardan sadece rüzgara karşı dik olan binanın kuzey cephesindeki açıklık açık pozisyon olarak belirlenerek analiz yapılmıştır. Elde edilen verilere göre maksimum hız rüzgarın bina yüzeyine ilk vardığı bölgede oluşmaktadır. Bina duvarlarının akışa karşı göstermiş olduğu direnç sonuçlardan belli olmaktadır.

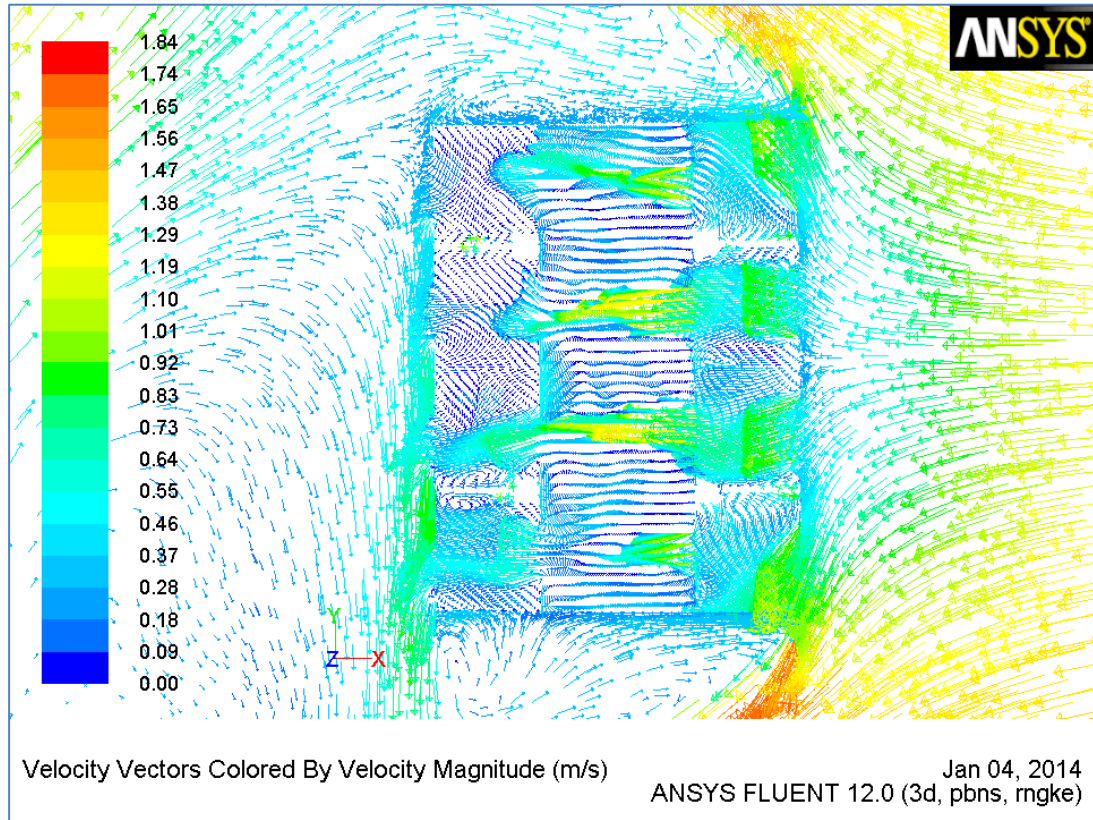
Vektörel hız dağılımlarında hava akımının yönleri belirgin olarak görülmektedir (Şekil 4.48 - Şekil 4.51, Şekil 4.54 - Şekil 4.57).

Rüzgar öncelikli olarak binanın açıklıklarından ve bacadan içeri girmektedir. Daha sonra alan olarak daha ufak olan açıklıktan çıkarak karşı konumunda bulunan eş alana sahip açıklıklara girerek en son olarak rüzgarın ilk girdiği açıklıkla aynı boyutta olan açıklıktan dışarıya çıkmaktadır. Baca kısmında ise rüzgarın bacada bulunan açıklıktan girdiği görülmektedir. Fakat bacanın diğer tarafı kapalı olduğundan rüzgar bu kısımdan dışarıya çıkamamıştır ve bina hacmine dağılmıştır (Çizelge 4.18, Şekil 4.58, Şekil 4.59).

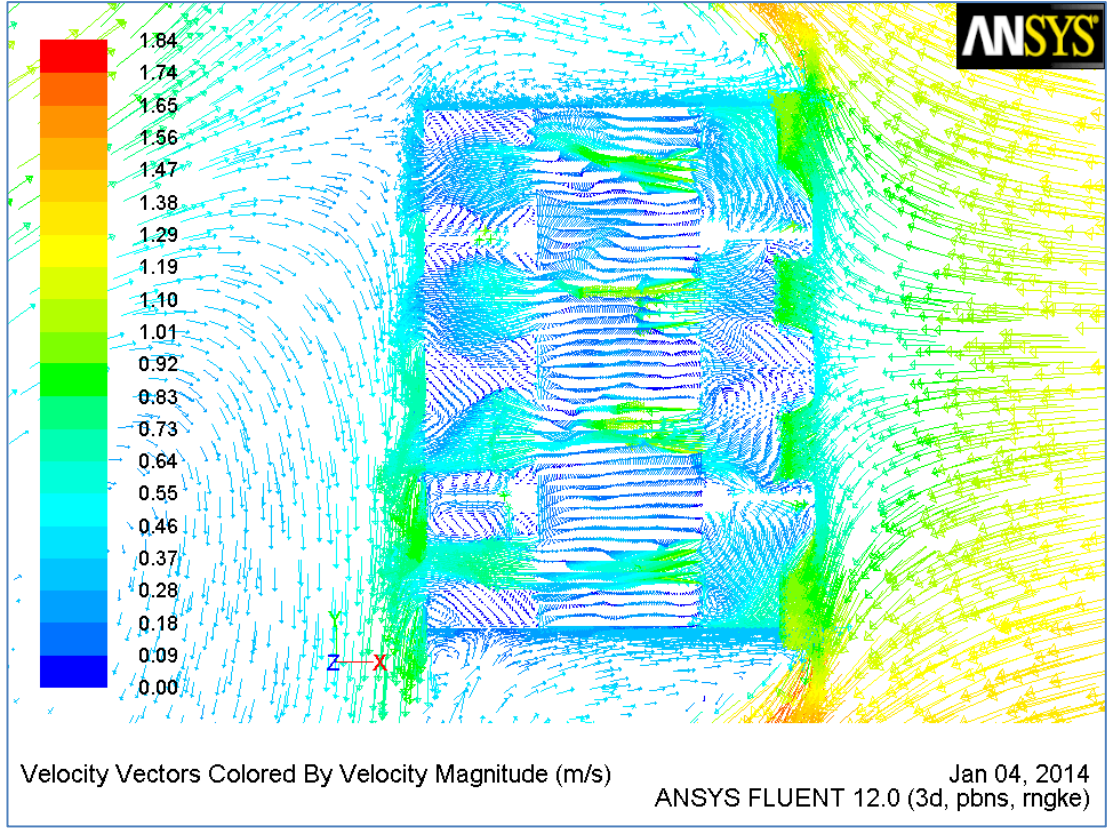
Rüzgarın en etkili olduğu bölge HM1 model sonuçlarına paralel olarak 1. kat olarak şekillerden anlaşılmaktadır (Şekil 4.48, Şekil 4.51). Fakat katlardaki hız ortalama değerlere baktığımızda bina kuzey cephesinde bulunan pencerelerden havanın en şiddetli 4. kattan giriş yaptığı görülmektedir (Çizelge 4.19). Diğer bir yandan, havanın binayı terk ettiği güney cephesi pencerelerindeki hava hızı 4. katta diğer katlardaki ortalama değerlere göre daha düşüktür (Çizelge 4.20). Üst katlara doğru çıkıldıkça oda içine giren havanın odada dağılma etkisinin azaldığı görülmektedir. Yatay düzlemde sonuçlar incelendiğinde sağ kısımdan çıkan havanın sol kısmında ve karşılıklı olarak konumlandırılmış bölgelere girişinde hızının azaldığı görülmektedir (Şekil 4.52, Şekil 4.53, Çizelge 4.19, Çizelge 4.20). Aynı zamanda üst katlara çıkıldıkça bu hava aktarım hızı daha da az olmaktadır.



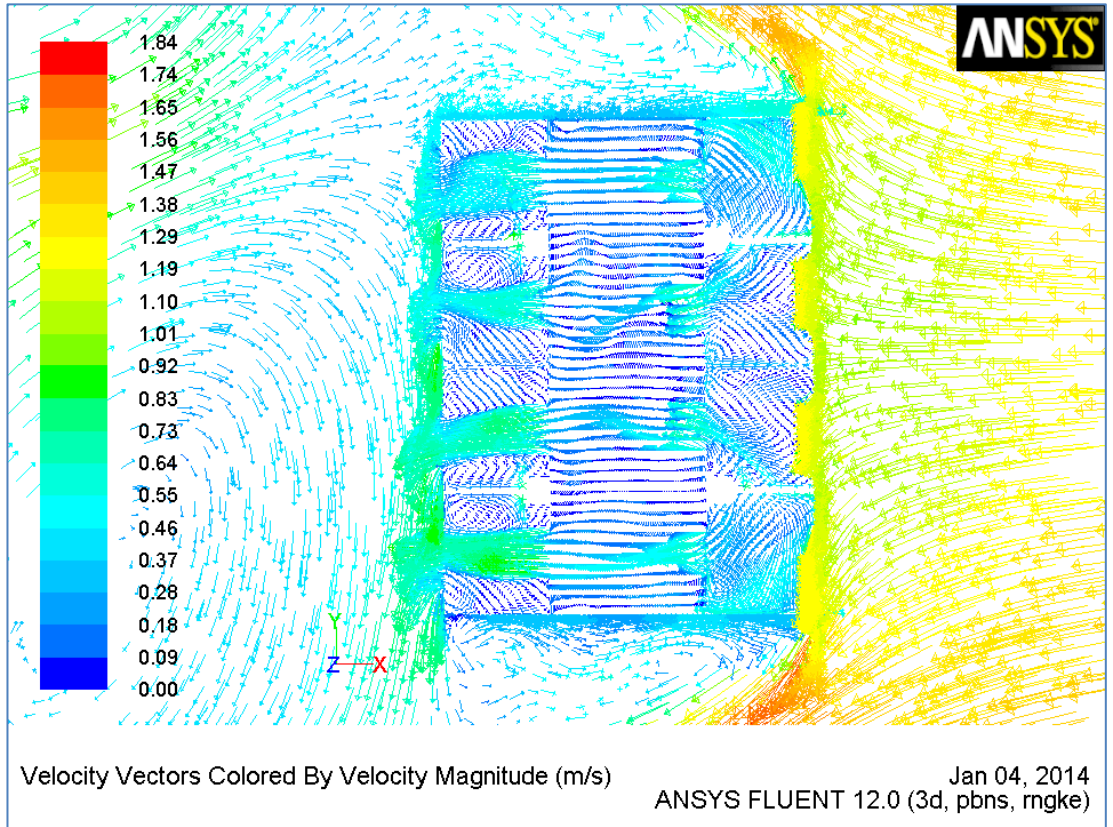
Şekil 4.48 : Model HM2 için Y1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



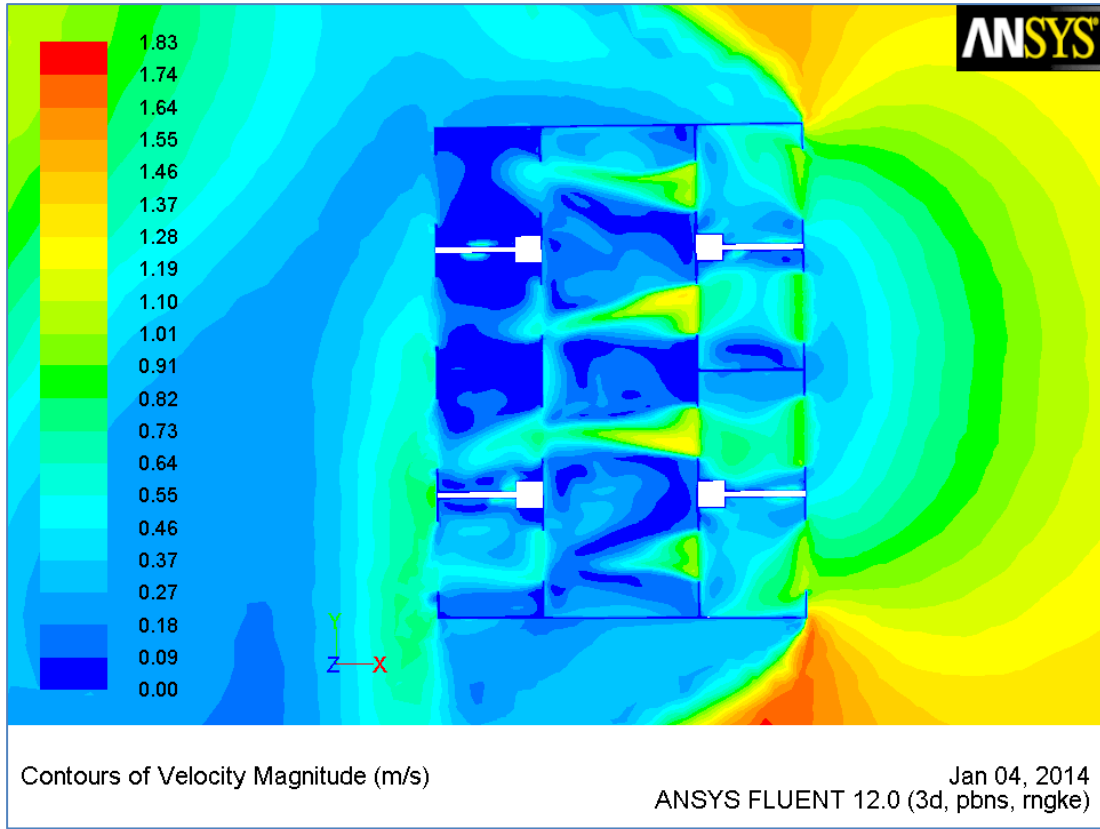
Şekil 4.49 : Model HM2 için Y2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



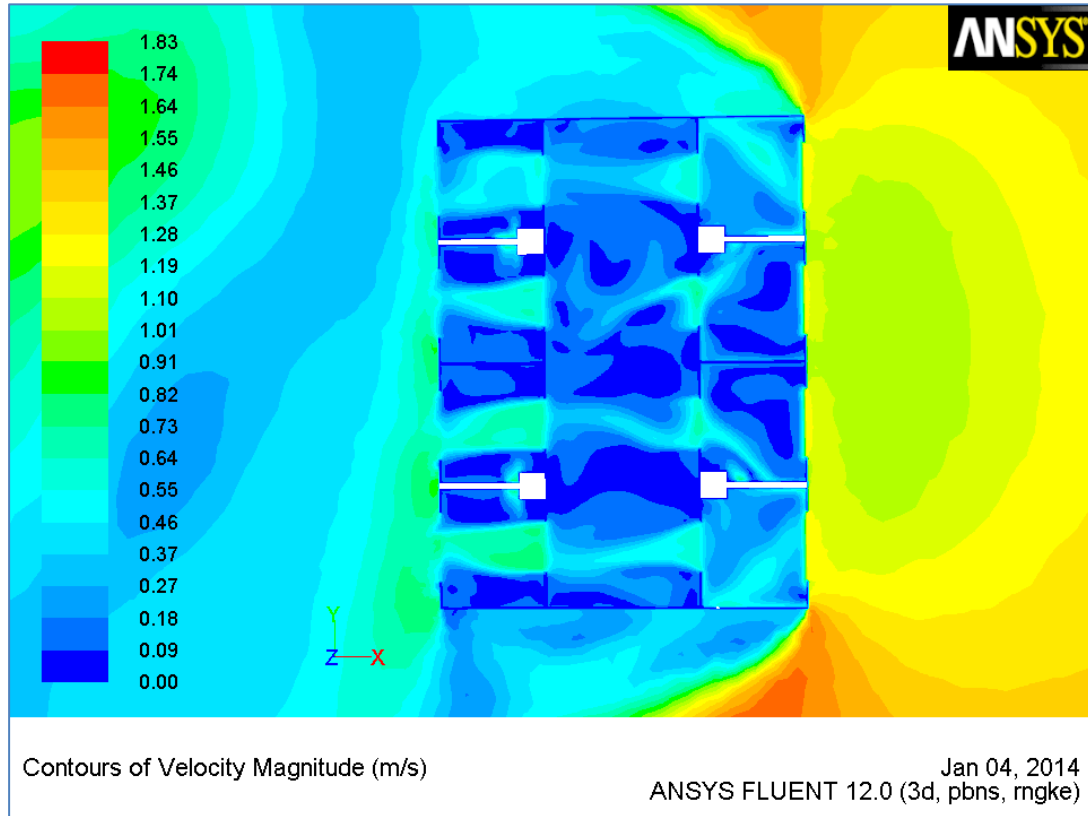
Şekil 4.50 : Model HM2 için Y3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



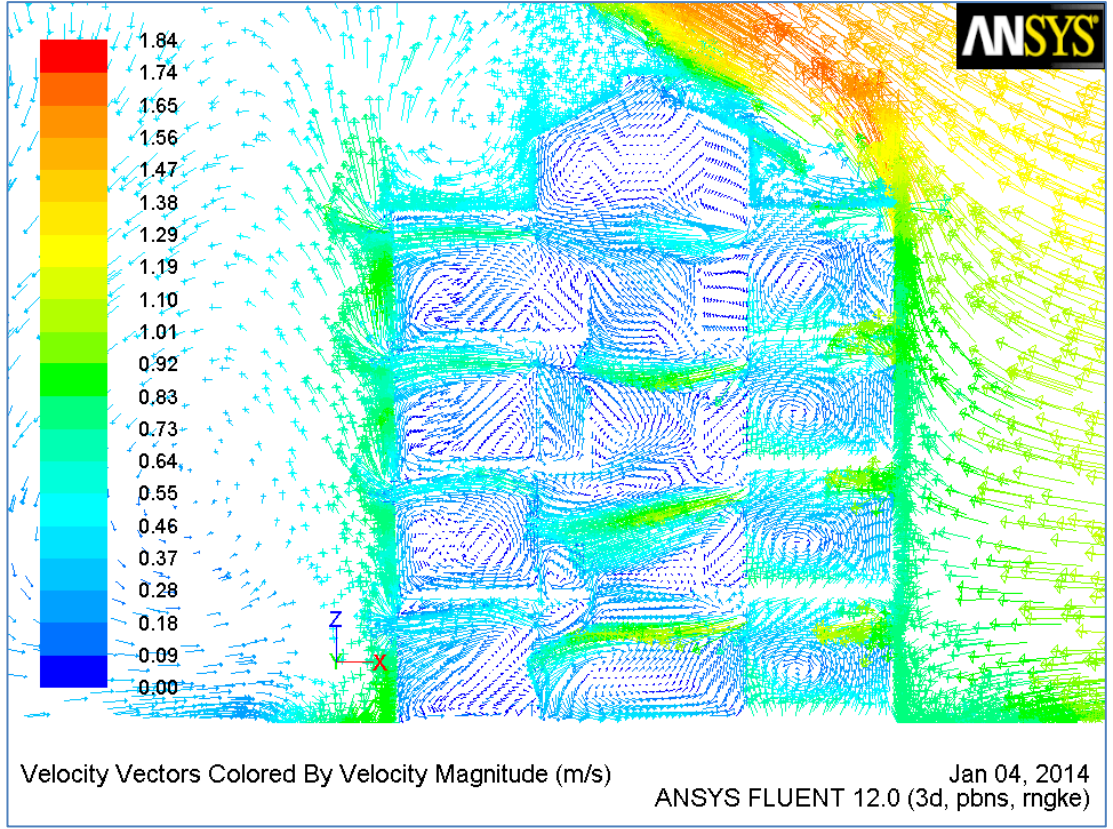
Şekil 4.51 : Model HM2 için Y4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



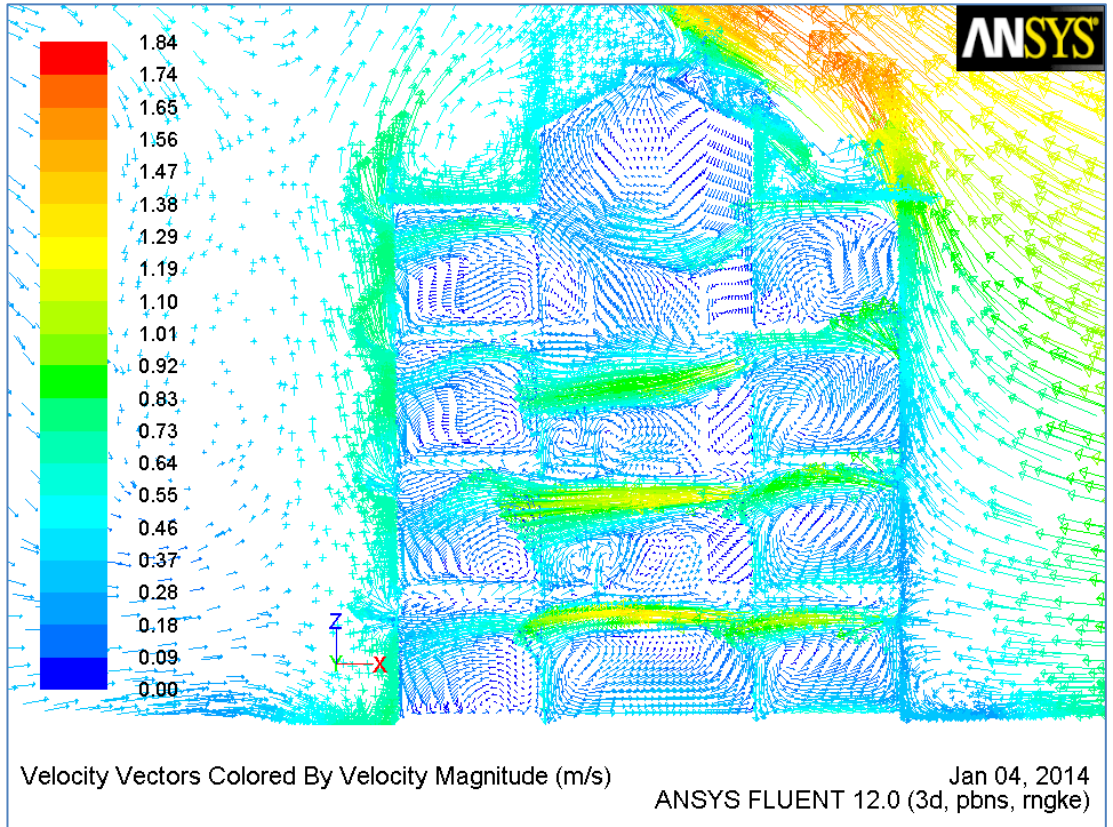
Şekil 4.52 : Model HM2, Y2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



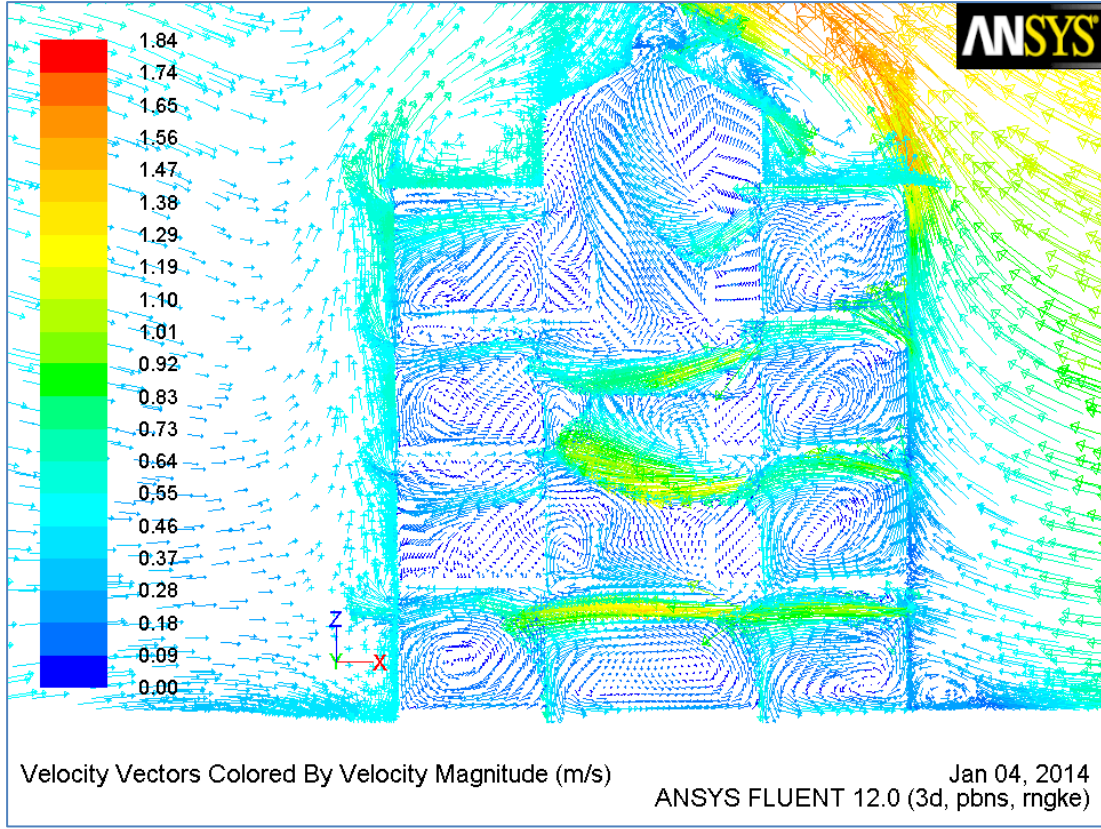
Şekil 4.53 : Model HM2, Y4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



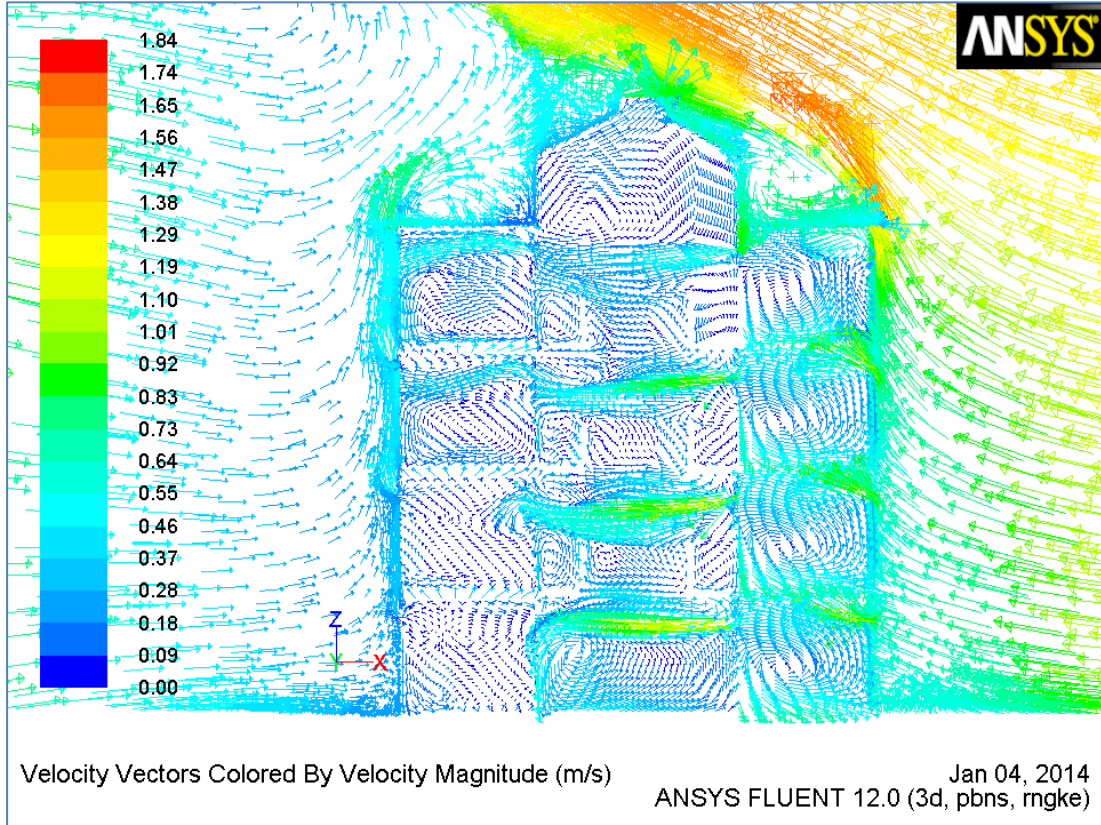
Şekil 4.54 : Model HM2 için D1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



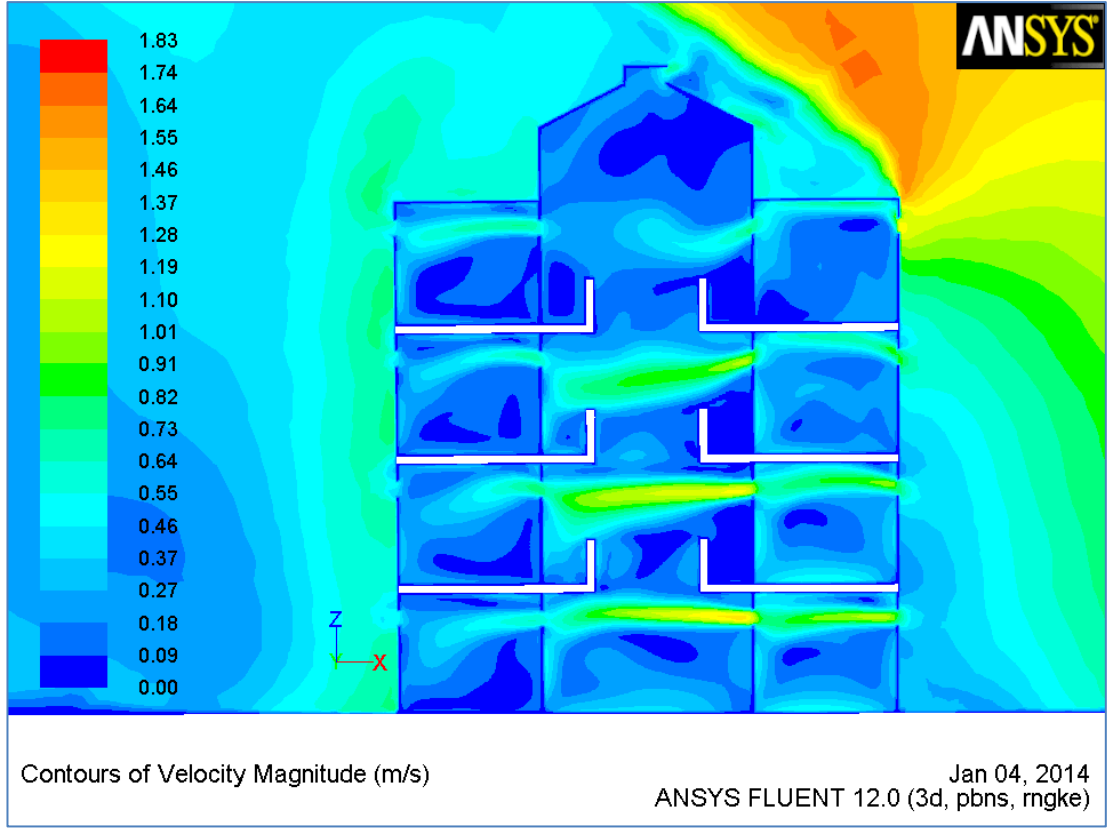
Şekil 4.55 : Model HM2 için D2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



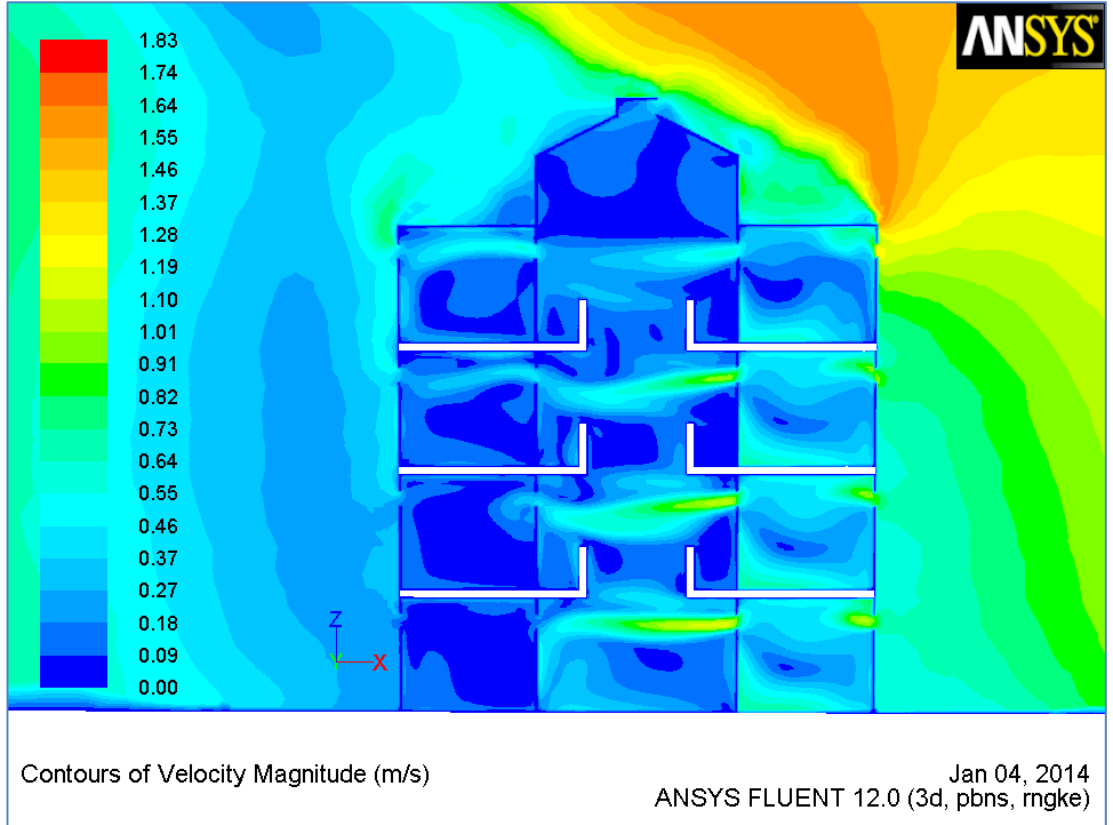
Şekil 4.56 : Model HM2 için D3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



Şekil 4.57 : Model HM2 için D4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



Şekil 4.58 : Model HM2, D2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.59 : Model HM2, D4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.

Çizelge 4. 18: Bina model HM2 için baca açıklıklarından giren ve çıkan havanın hız değerleri.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Hız Değerleri (m/sn)	
		Baca Açıklık Tarafı	Hız (m/sn)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	0,62
		Güney - Sol	0,00
Toplam			0,31

Çizelge 4.19: Bina model HM2 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.

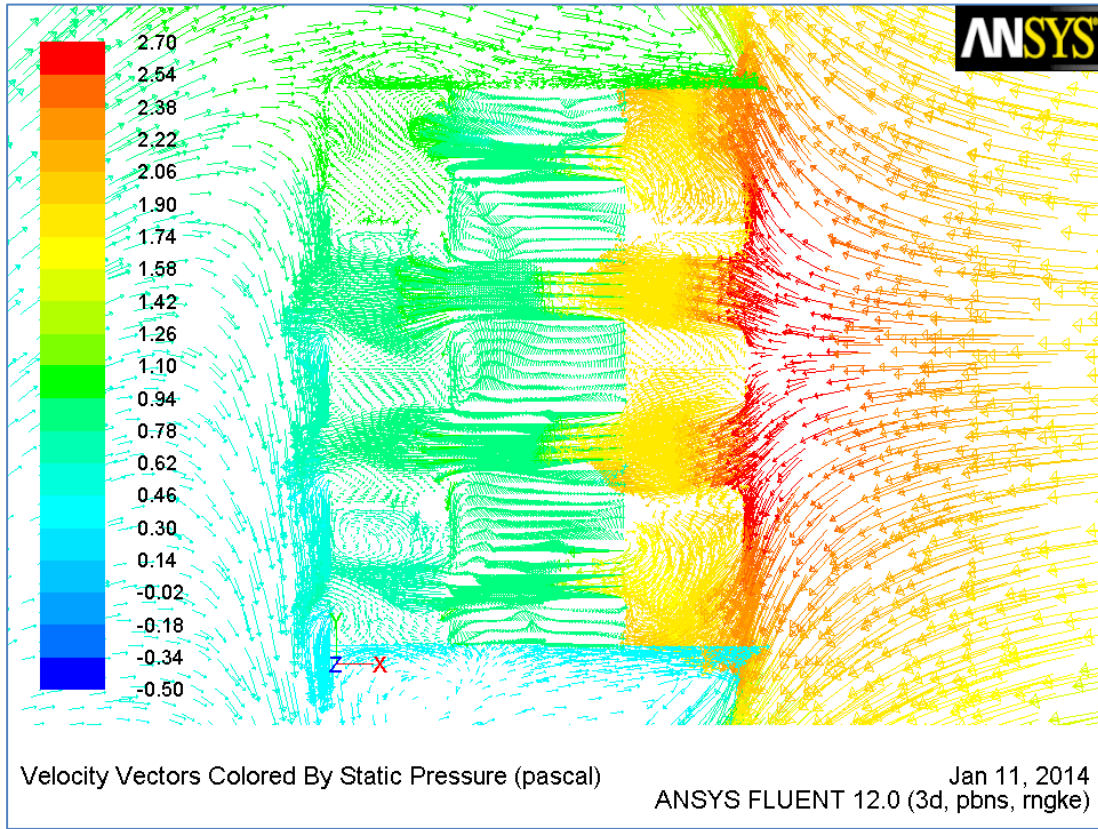
Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Hız Değerleri (m/s)							
Kat 1	Hız (m/sn)	Kat 2	Hız (m/sn)	Kat 3	Hız (m/sn)	Kat 4	Hız (m/sn)
udf1r1	0,83	udf2r1	0,79	udf3r1	0,73	udf4r1	0,49
udf1r2	1,00	udf2r2	0,95	udf3r2	0,84	udf4r2	0,60
udf1r3	1,02	udf2r3	0,96	udf3r3	0,85	udf4r3	0,60
udf1r4	0,88	udf2r4	0,83	udf3r4	0,75	udf4r4	0,51
uwf1r1	0,97	uwf2r1	0,94	uwf3r1	0,95	uwf4r1	1,07
uwf1r2	0,83	uwf2r2	0,83	uwf3r2	0,83	uwf4r2	1,03
uwf1r3	0,84	uwf2r3	0,82	uwf3r3	0,83	uwf4r3	1,02
uwf1r4	0,90	uwf2r4	0,88	uwf3r4	0,90	uwf4r4	1,05
Ortalama	0,91		0,88		0,83		0,80

Çizelge 4.20 : Bina model HM2 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.

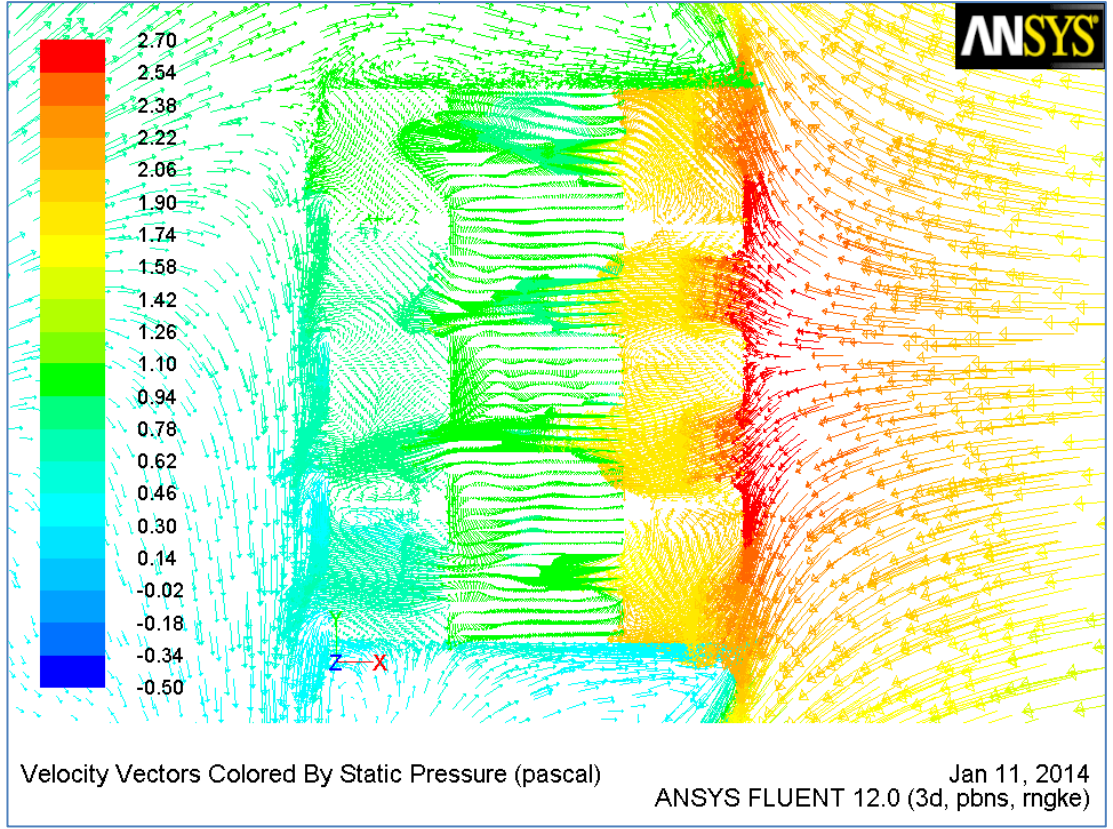
Bina Güney Cephesindeki Pencerelerindeki Hız Değerleri (m/s)							
Kat 1	Hız (m/sn)	Kat 2	Hız (m/sn)	Kat 3	Hız (m/sn)	Kat 4	Hız (m/sn)
udf1l1	0,46	udf2l1	0,55	udf3l1	0,58	udf4l1	0,59
udf1l2	0,53	udf2l2	0,56	udf3l2	0,54	udf4l2	0,54
udf1l3	0,63	udf2l3	0,44	udf3l3	0,45	udf4l3	0,46
udf1l4	0,29	udf2l4	0,35	udf3l4	0,38	udf4l4	0,46
uwf1l1	0,38	uwf2l1	0,40	uwf3l1	0,48	uwf4l1	0,49
uwf1l2	0,41	uwf2l2	0,38	uwf3l2	0,41	uwf4l2	0,44
uwf1l3	0,46	uwf2l3	0,31	uwf3l3	0,33	uwf4l3	0,39
uwf1l4	0,15	uwf2l4	0,24	uwf3l4	0,30	uwf4l4	0,37
Ortalama	0,41		0,41		0,43		0,47

4.2.7.2 Bina modeli HM2 için basınç dağılımları

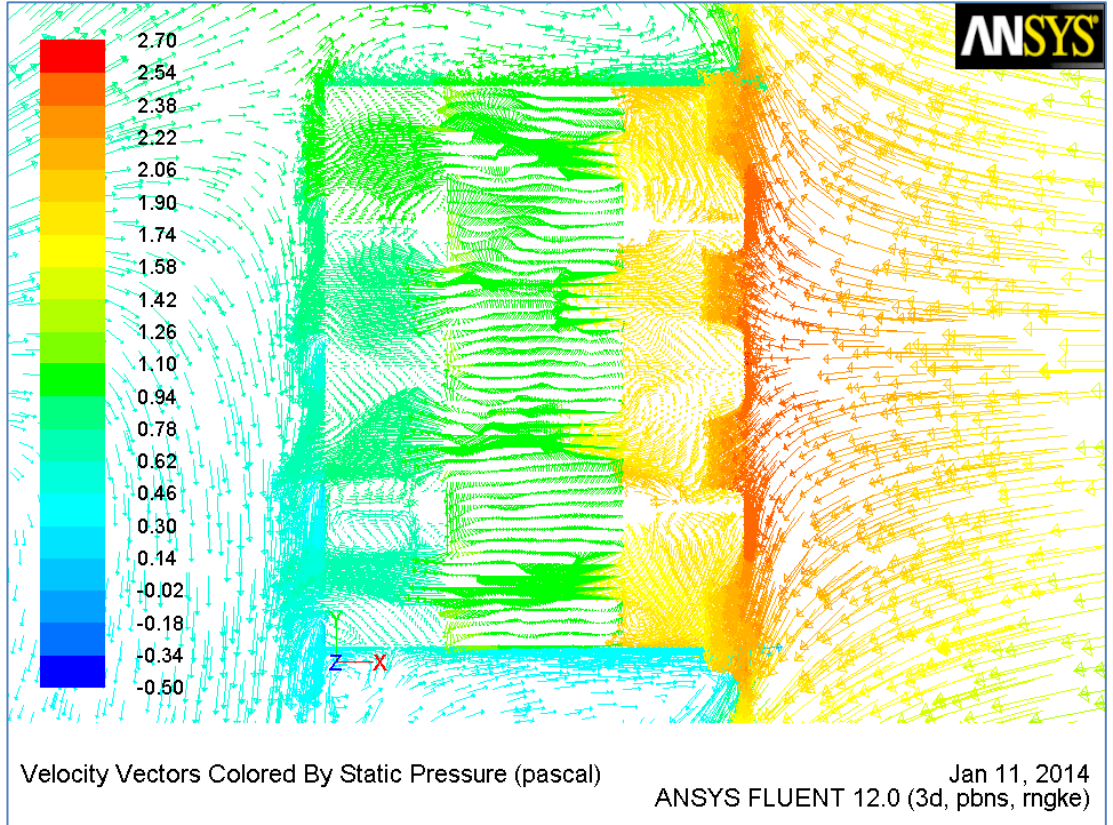
HM2 Modeli için tanımlanmış düzlemlerdeki basınç dağılımları vektörel ve kontur olarak Şekil 4.60 – Şekil 4.71’de gösterilmiştir. Ayrıca açıklıklar yüzeyindeki basınç dağılım değerleri Çizelge 4.21, Çizelge 4.22, Çizelge 4.23’te verilmiştir. Kuzey cephesindeki açıklık yüzeylerindeki ortalama basınç, güney cephesi açıklıklarındaki ortalama basınçtan yaklaşık %88,5 daha büyüktür. Havanın akış yönü doğrultusunda basınç giderek düşmektedir. Fakat ortalama olarak katlar arasındaki ortalama basınç hemen hemen aynı kalmaktadır.



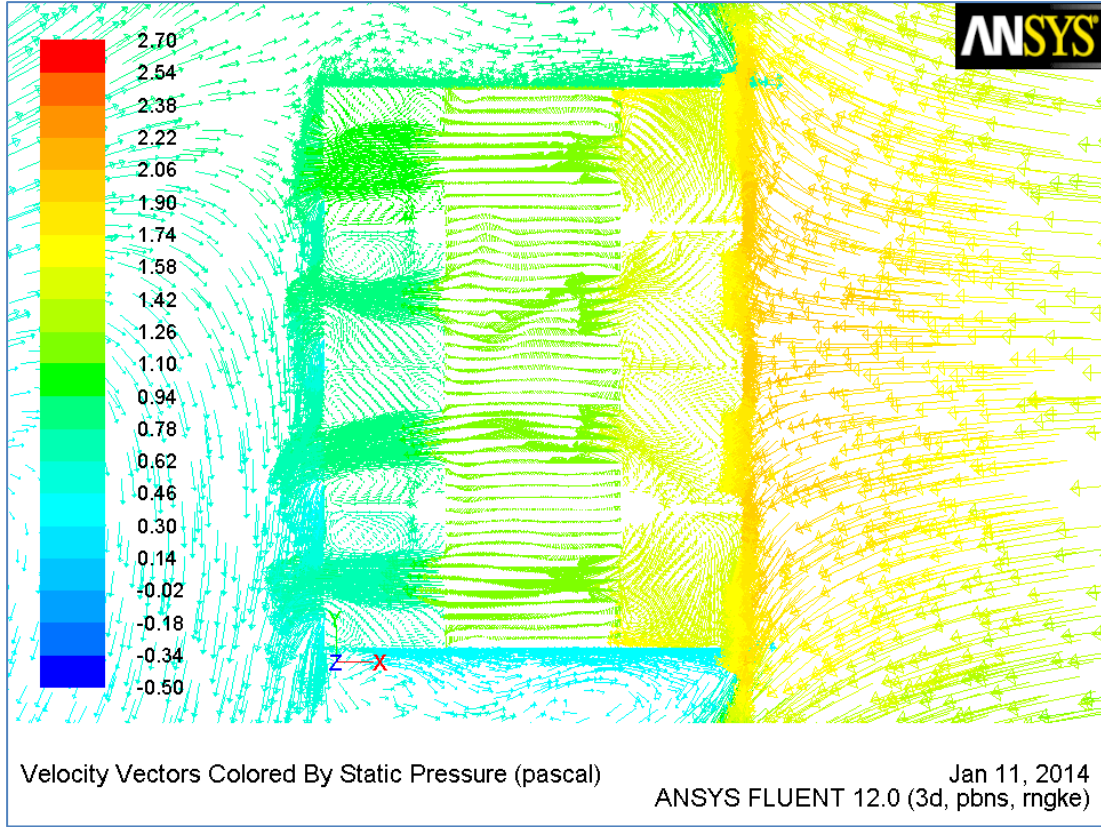
Şekil 4.60 : Model HM2 için Y1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



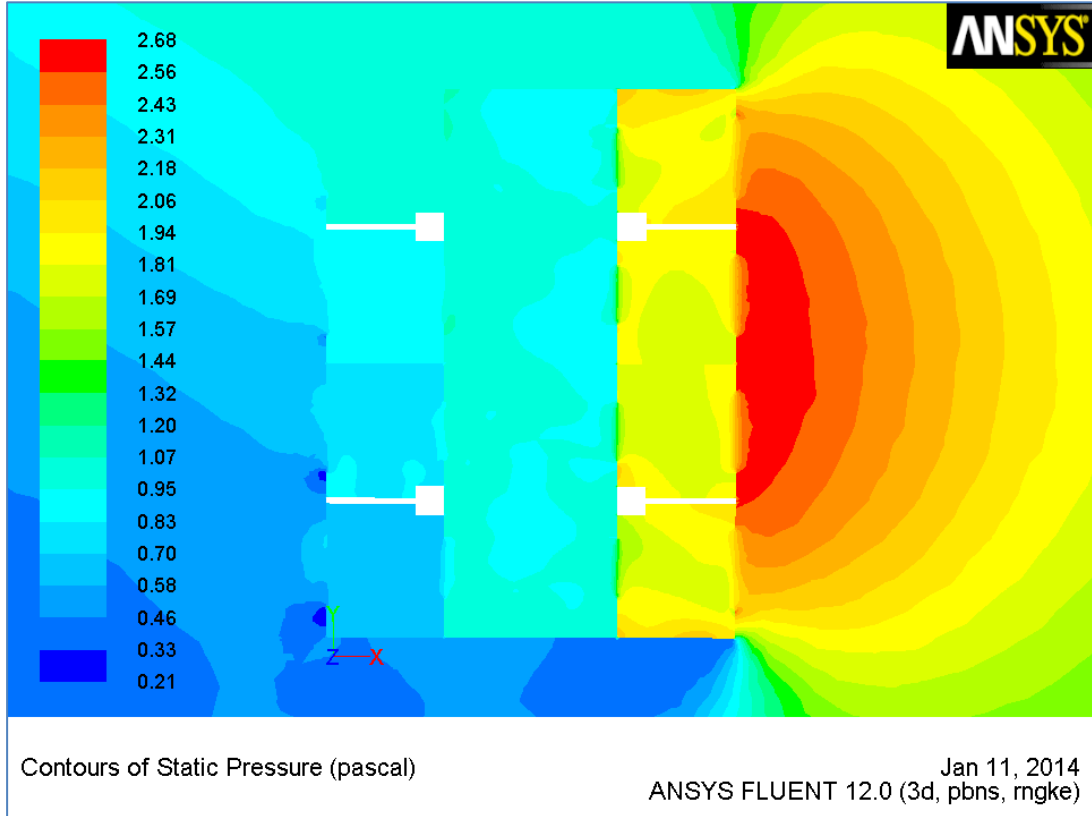
Şekil 4.61 : Model HM2 için Y2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



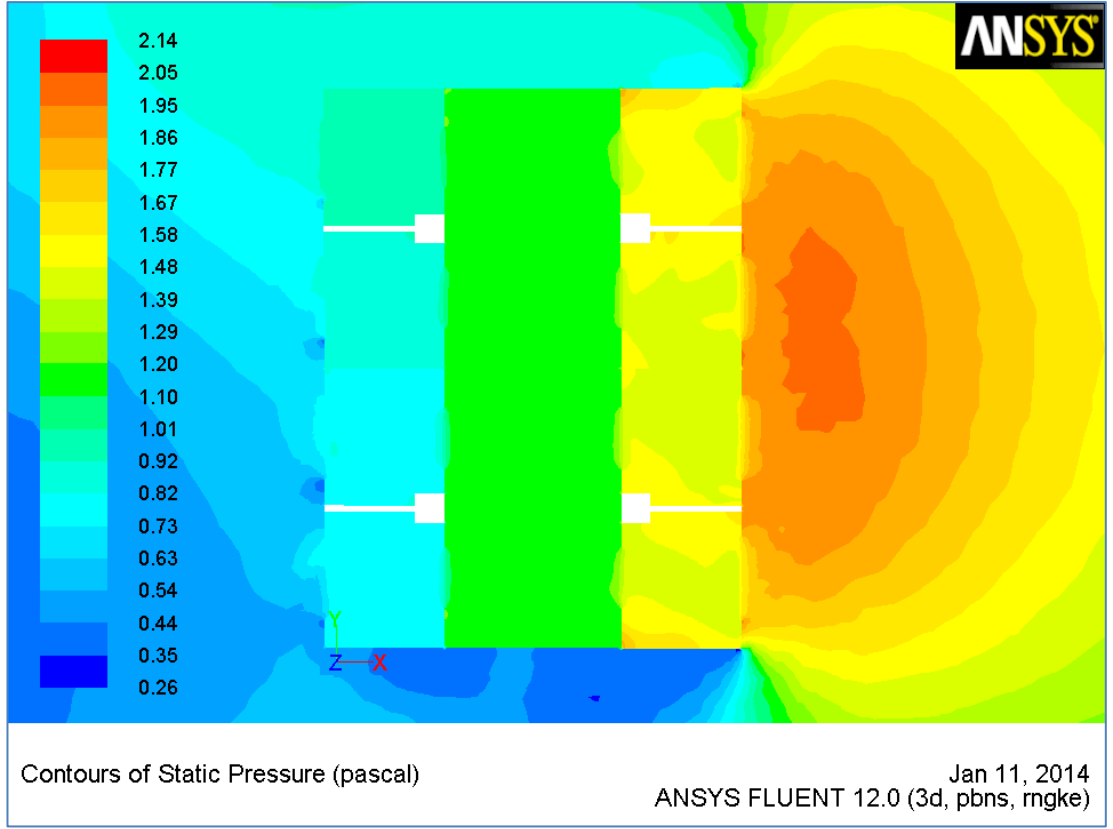
Şekil 4.62 : Model HM2 için Y3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



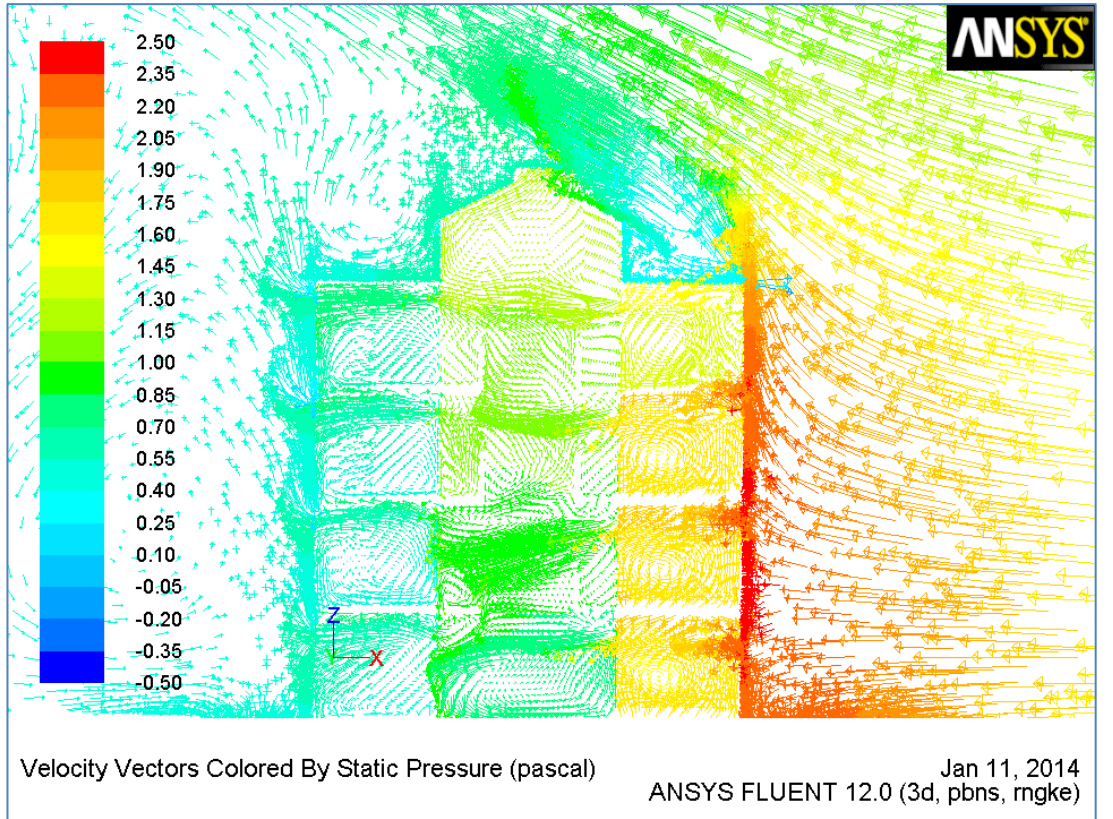
Şekil 4.63 : Model HM2 için Y4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



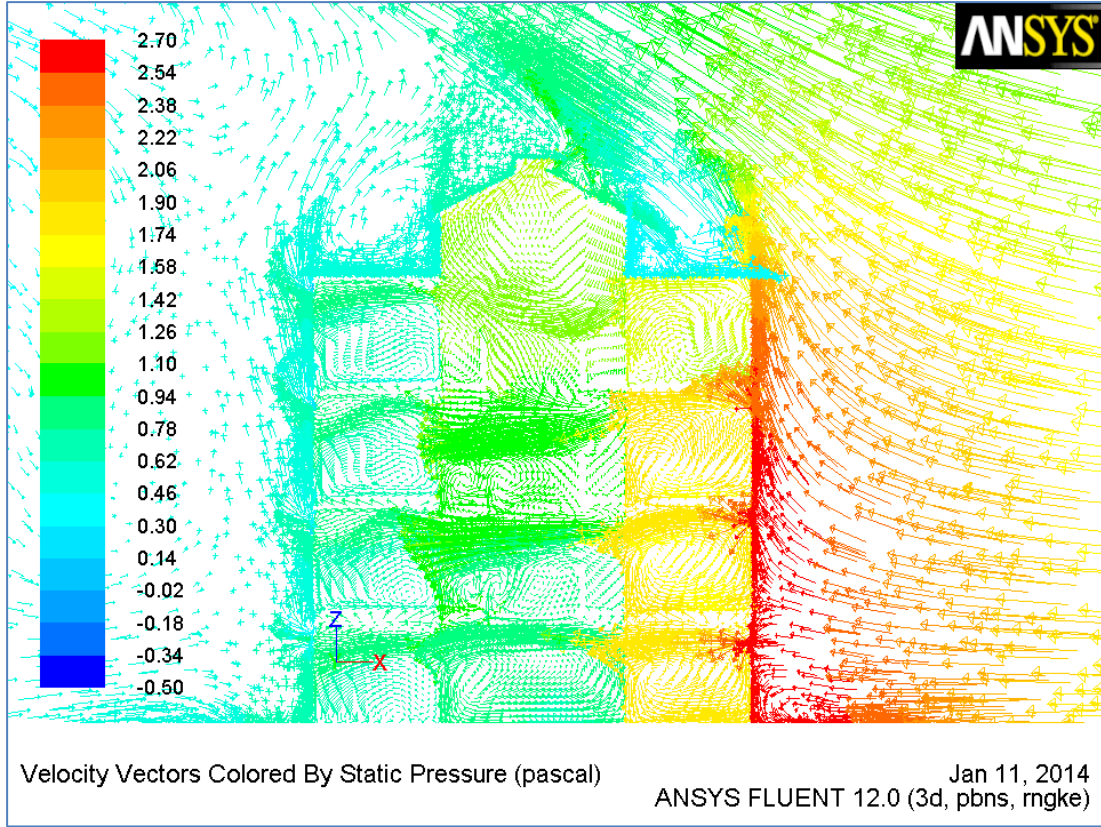
Şekil 4.64 : Model HM2, Y2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



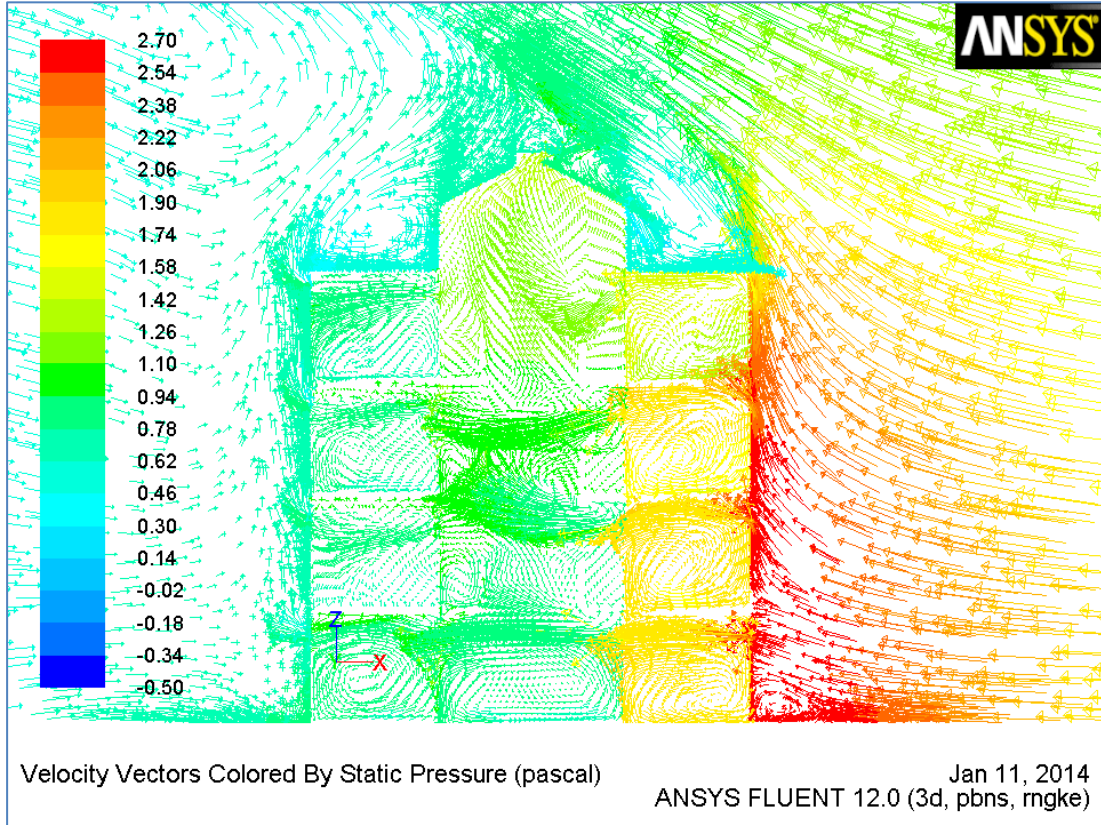
Şekil 4.65 : Model HM2, Y4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



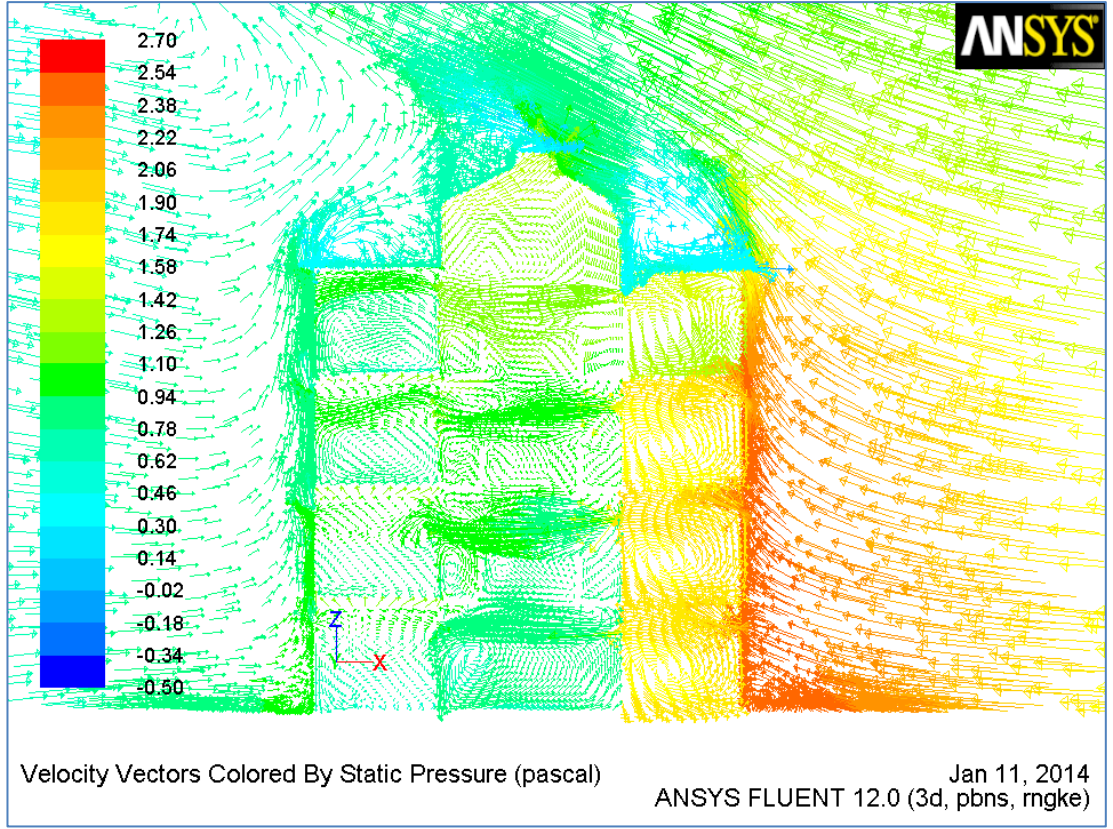
Şekil 4.66 : Model HM2 için D1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



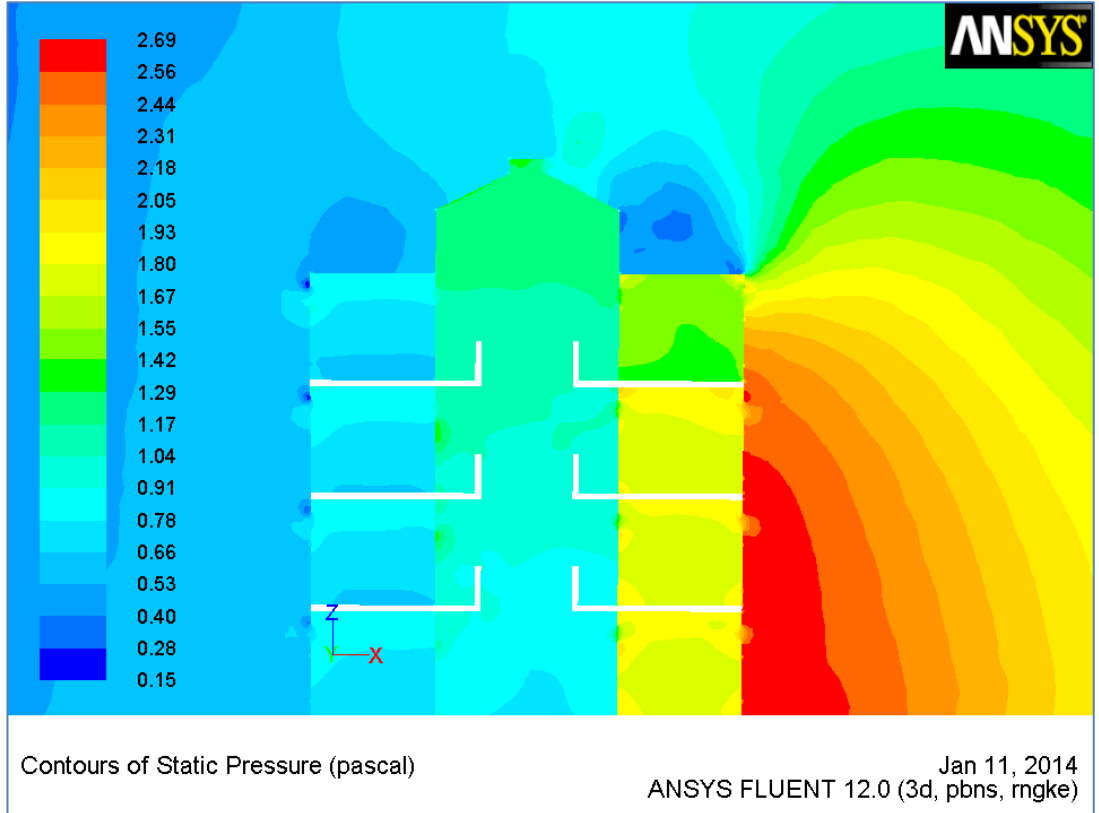
Şekil 4.67 : Model HM2 için D2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



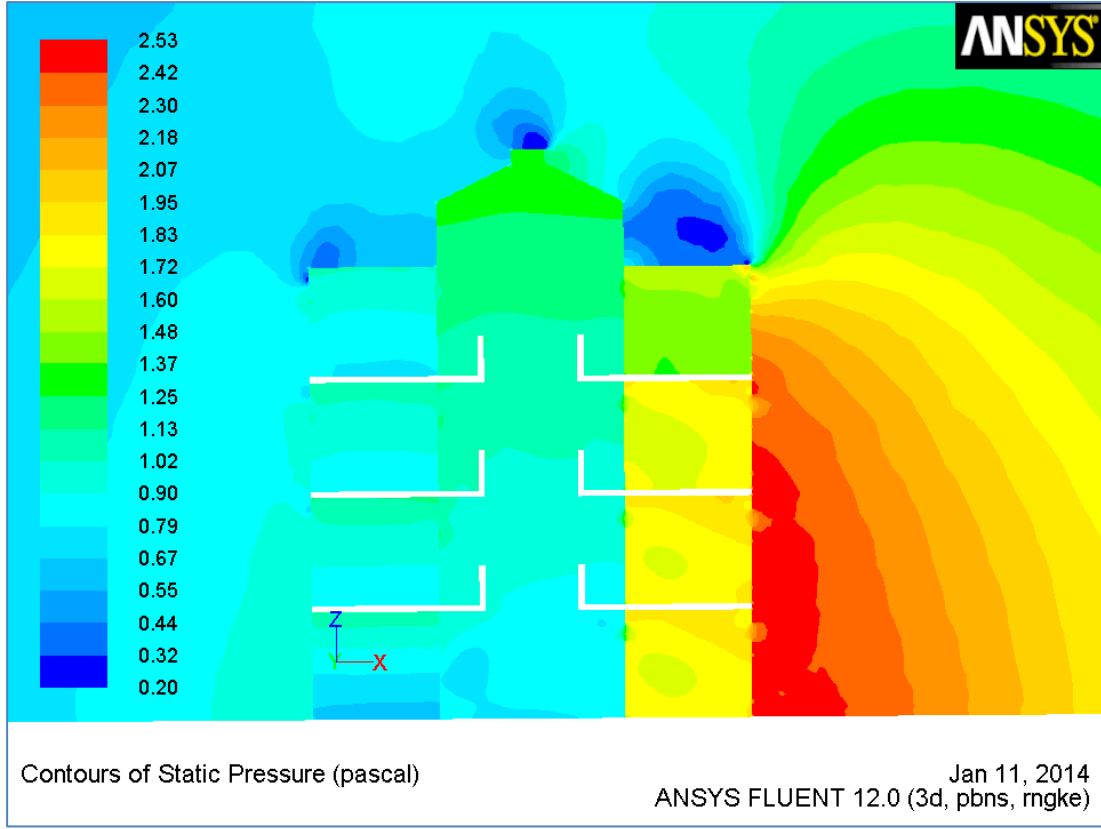
Şekil 4.68 : Model HM2 için D3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



Şekil 4.69 : Model HM2 için D4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



Şekil 4.70 : Model HM2, D2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.71 : Model HM2, D4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.

Çizelge 4. 21 : Bina model HM2 için baca açıklıklarındaki basınç değerleri.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Basınç Dağılımı (pascal)	
		Baca Açıklık Tarafı	P (pascal)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	1,02
		Güney - Sol	0,69
Ortalama			0,85

Çizelge 4.22 : Bina model HM2 için kuzey cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.

Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Basınç Dağılımı (pascal)							
Kat 1	P (pascal)	Kat 2	P (pascal)	Kat 3	P (pascal)	Kat 4	P (pascal)
udf1r1	1,24	udf2r1	1,34	udf3r1	1,37	udf4r1	1,32
udf1r2	1,32	udf2r2	1,36	udf3r2	1,43	udf4r2	1,32
udf1r3	1,35	udf2r3	1,38	udf3r3	1,44	udf4r3	1,33
udf1r4	1,29	udf2r4	1,36	udf3r4	1,39	udf4r4	1,34
uwf1r1	1,99	uwf2r1	2,00	uwf3r1	1,92	uwf4r1	1,56
uwf1r2	2,13	uwf2r2	2,12	uwf3r2	2,05	uwf4r2	1,58
uwf1r3	2,12	uwf2r3	2,11	uwf3r3	2,06	uwf4r3	1,60
uwf1r4	2,07	uwf2r4	2,06	uwf3r4	1,97	uwf4r4	1,59
Ortalama	1,69		1,72		1,70		1,46

Çizelge 4.23 : Bina model HM2 için güney cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.

Bina Güney Cephesindeki Pencerelerindeki Basınç Dağılımı (pascal)							
Kat 1	P (pascal)	Kat 2	P (pascal)	Kat 3	P (pascal)	Kat 4	P (pascal)
udf1l1	0,77	udf2l1	0,79	udf3l1	0,87	udf4l1	0,95
udf1l2	0,91	udf2l2	0,93	udf3l2	0,96	udf4l2	0,97
udf1l3	0,98	udf2l3	0,96	udf3l3	1,01	udf4l3	1,01
udf1l4	0,97	udf2l4	1,05	udf3l4	1,07	udf4l4	1,06
uwf1l1	0,61	uwf2l1	0,62	uwf3l1	0,63	uwf4l1	0,70
uwf1l2	0,70	uwf2l2	0,72	uwf3l2	0,76	uwf4l2	0,75
uwf1l3	0,82	uwf2l3	0,83	uwf3l3	0,85	uwf4l3	0,82
uwf1l4	0,96	uwf2l4	0,98	uwf3l4	0,98	uwf4l4	0,92
Ortalama	0,84		0,86		0,89		0,90

4.2.7.3 Bina modeli HM2 için kütle dengesi

Bina modeli üzerinde bulunan açıklıklardan (pencere ve baca) daha önce bahsedilmişti. Analiz için tanımlanan açıklıklardaki havalandırma yüzeylerinden giren ve çıkan hava miktarları Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çözümlerin kararlı hale geldiğini görebilmek için odalardaki toplam debi dengesine bakılmıştır. Baca kısmındaki açıklıklardaki hava miktarlarına bakıldığında ise bacanın sol tarafındaki havalandırma açıklığının kapalı olması dolayısıyla giren hava miktarından daha fazla havanın bacadan binayı terkettiği Çizelge 4.24'de anlaşılmaktadır. İnceleme öncelikle havanın ilk olarak içeriye girdiği kuzey cephesinde yapılmıştır. Çizelge 4.25 verilerinde kuzey cephesindeki her bir katta bulunan ofislerdeki pencerelerdeki debi değerleri bilgisi verilmiştir. Çizelge 4.26 verilerinde ise güney cephesine ait debi değerleri ayrıntılı olarak mevcuttur. Güney cephesindeki pencereler en uzak bölgede olduklarından bu kısımdaki debi değerlerin kararlı hale gelmesi diğer tarafa göre uzun sürecektir.

Çizelge 4.24 : Bina model HM2 için bacadan giren ve çıkan hava miktarları.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Debi Değerleri (kg/s)	
		Baca Açıklık Taraflı	Debi (kg/s)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	6,07
		Güney - Sol	0,00
Toplam			6,07

Çizelge 4.25 : Bina model HM2 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.

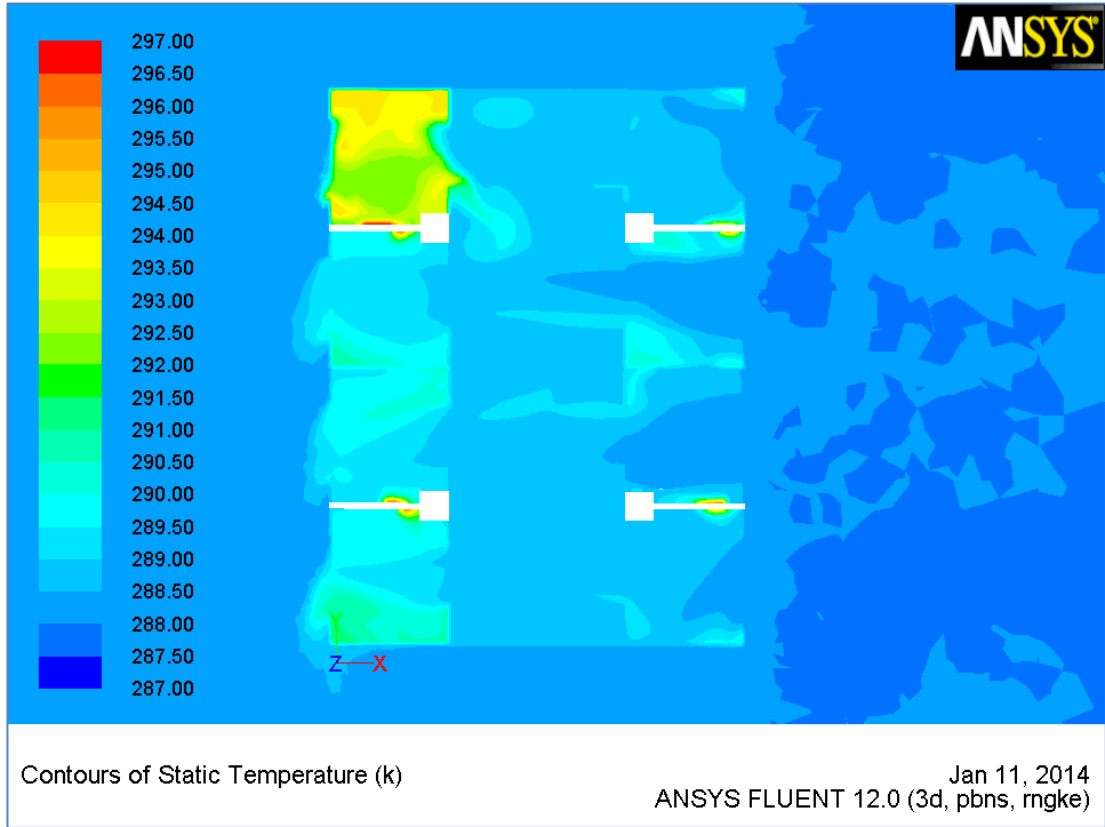
Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Debi Değerleri (kg/s)							
		Kat 1	Debi (kg/s)	Kat 2	Debi (kg/s)	Kat 3	Debi (kg/s)	Kat 4	Debi (kg/s)
KUZEY	1,5	udf1r1	-0,85	udf2r1	-0,86	udf3r1	-0,86	udf4r1	-0,79
		udf1r2	-1,01	udf2r2	-0,98	udf3r2	-0,93	udf4r2	-0,76
		udf1r3	-1,01	udf2r3	-0,98	udf3r3	-0,92	udf4r3	-0,77
		udf1r4	-0,84	udf2r4	-0,86	udf3r4	-0,86	udf4r4	-0,78
		uwf1r1	0,85	uwf2r1	0,86	uwf3r1	0,86	uwf4r1	0,79
		uwf1r2	1,01	uwf2r2	0,98	uwf3r2	0,93	uwf4r2	0,76
		uwf1r3	1,01	uwf2r3	0,98	uwf3r3	0,92	uwf4r3	0,77
		uwf1r4	0,84	uwf2r4	0,86	uwf3r4	0,86	uwf4r4	0,78
Toplam		0,00		0,00		0,00		0,00	

Çizelge 4.26 : Bina model HM2 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.

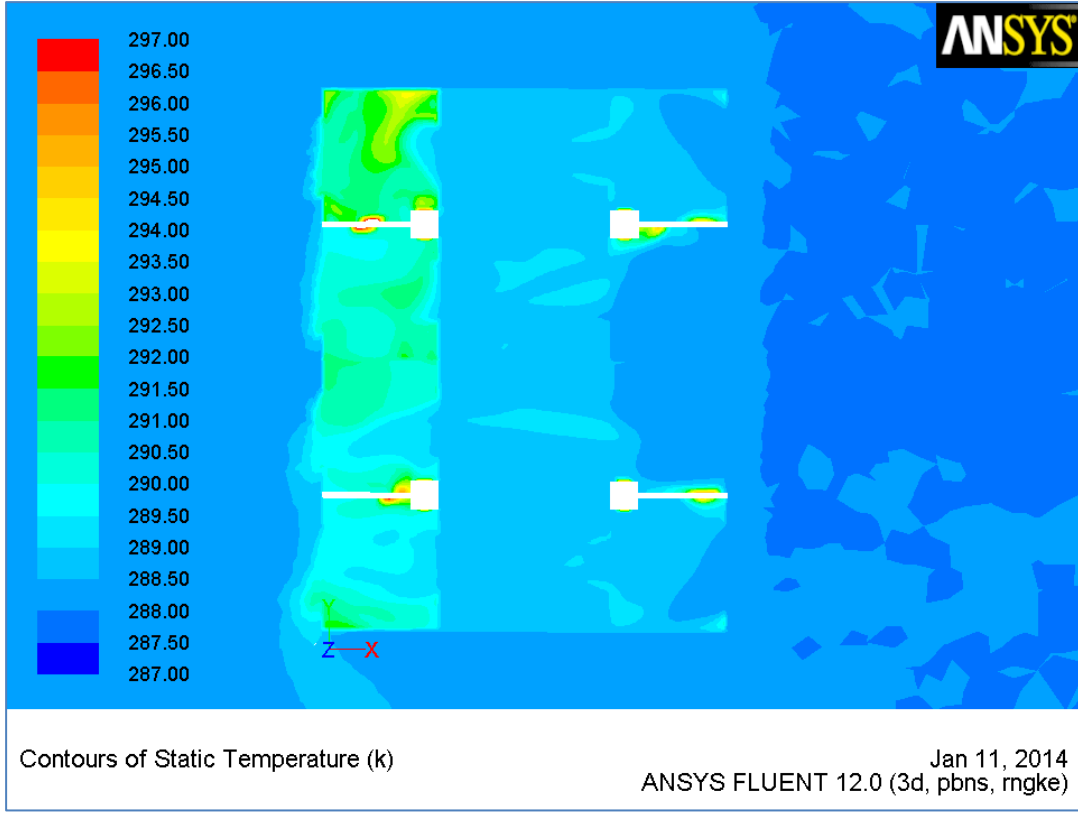
Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bina Güney Cephesindeki Pencereleindeki Debi Değerleri (kg/s)							
		Kat 1	Debi (kg/s)	Kat 2	Debi (kg/s)	Kat 3	Debi (kg/s)	Kat 4	Debi (kg/s)
KUZEY	1,5	udf1l1	0,68	udf2l1	0,61	udf3l1	0,63	udf4l1	0,55
		udf1l2	0,71	udf2l2	0,59	udf3l2	0,54	udf4l2	0,56
		udf1l3	0,72	udf2l3	0,59	udf3l3	0,52	udf4l3	0,56
		udf1l4	0,68	udf2l4	0,59	udf3l4	0,63	udf4l4	0,55
		uwf1l1	-0,68	uwf2l1	-0,61	uwf3l1	-0,63	uwf4l1	-0,55
		uwf1l2	-0,71	uwf2l2	-0,59	uwf3l2	-0,54	uwf4l2	-0,56
		uwf1l3	-0,72	uwf2l3	-0,59	uwf3l3	-0,52	uwf4l3	-0,56
		uwf1l4	-0,68	uwf2l4	-0,59	uwf3l4	-0,63	uwf4l4	-0,55
Toplam		0,00		0,00		0,00		0,00	

4.2.7.4 Bina model HM2 için sıcaklık dağılımları

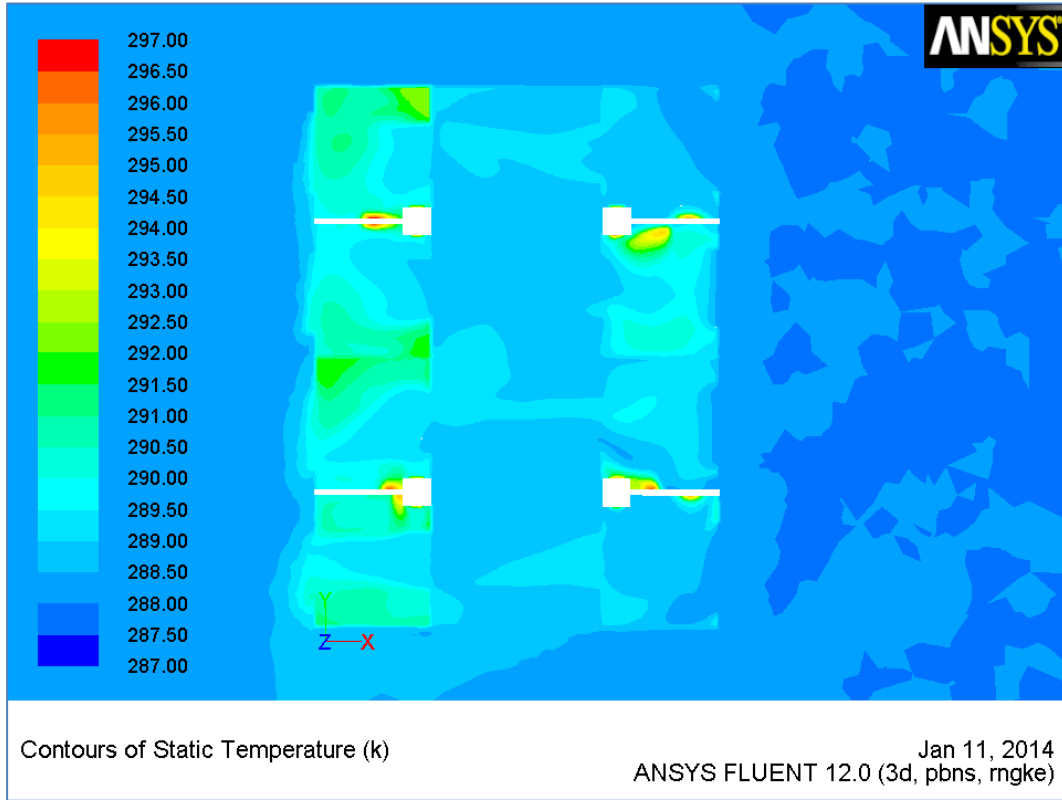
Bina kuzey ve güney cephesinde kalan odalar içerisindeki sıcaklık dağılımı yatay düzlem şekilleri (Şekil 4.72 – Şekil 4.75) ve düşey düzlem şekillerinde (Şekil 4.76 – Şekil 4.79) görülmektedir. Sonuçlara göre rüzgarın ilk olarak girdiği kuzey cephesi bölgesinde odaların içerisindeki sıcaklık, güney cephesindeki oda sıcaklığından daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca üst kısımlarda alt kısımlara göre, orta kısımlarda kalan odaların binanın köşe yan kısımlarında kalan odalara göre sıcaklıklarının daha iyi yayıldığı gözlenmektedir. Hava sıcaklığı pencere etkisiyle pencereye yakın bölgelerde yükselmektedir ve pencereden uzaklaştıkça hava sıcaklığında azalma görülmektedir. Radyatörün bulunduğu yüzeylerde ortalama sıcaklık 297 K ve odalardaki ortalama sıcaklık 290 K'dir.



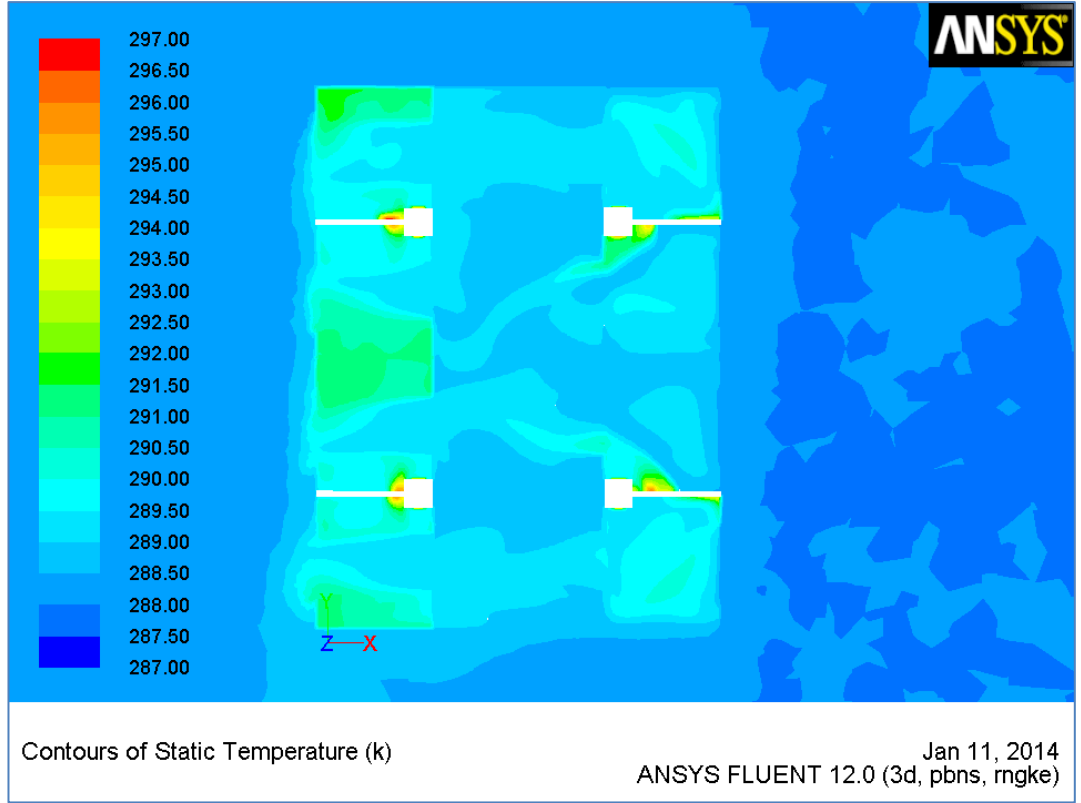
Şekil 4.72 : Model HM2, Y1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



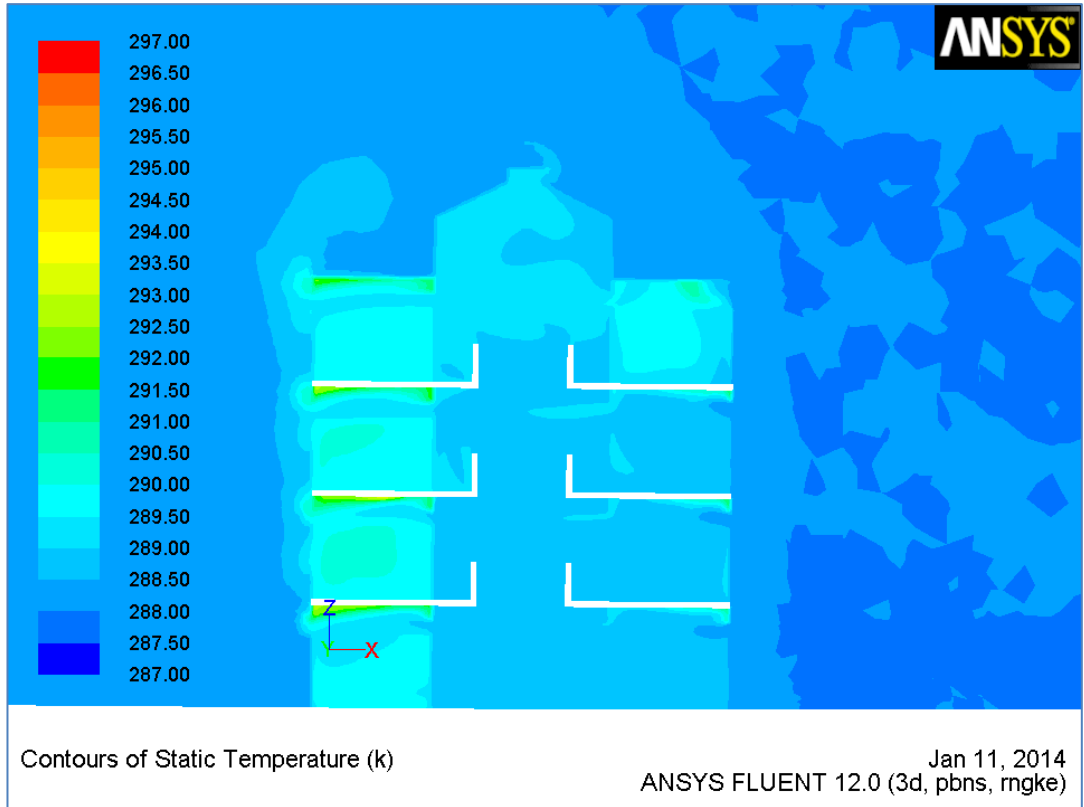
Şekil 4.73 : Model HM2, Y2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



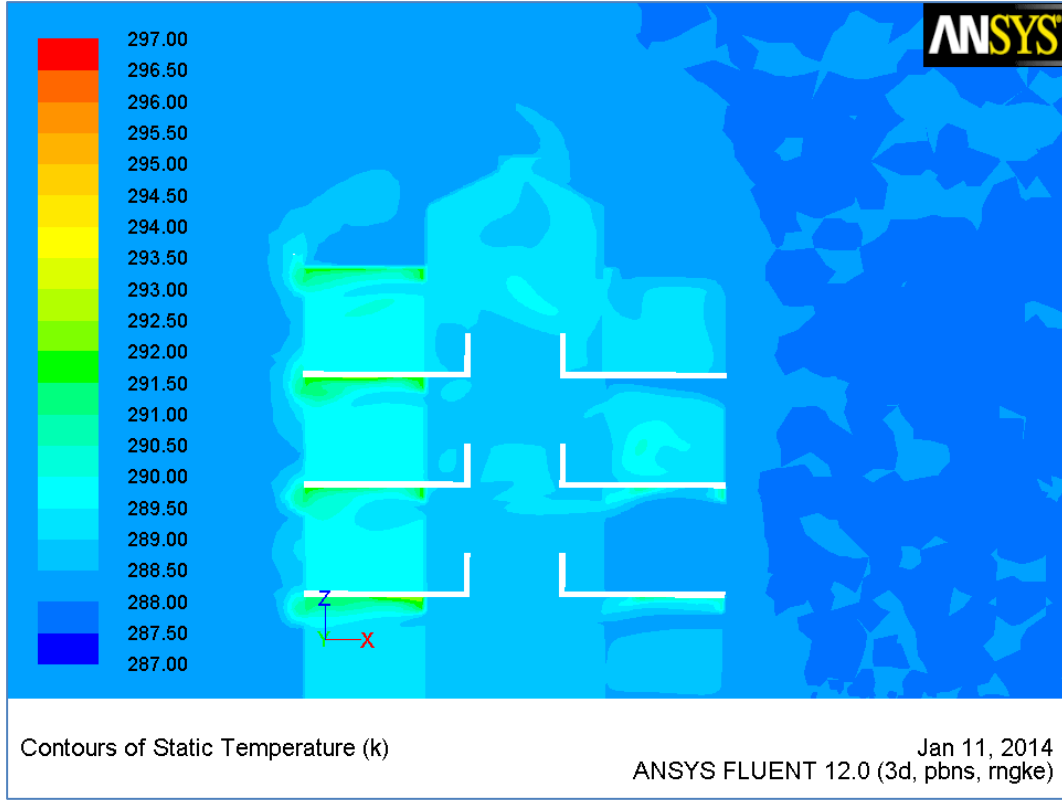
Şekil 4.74 : Model HM2, Y3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



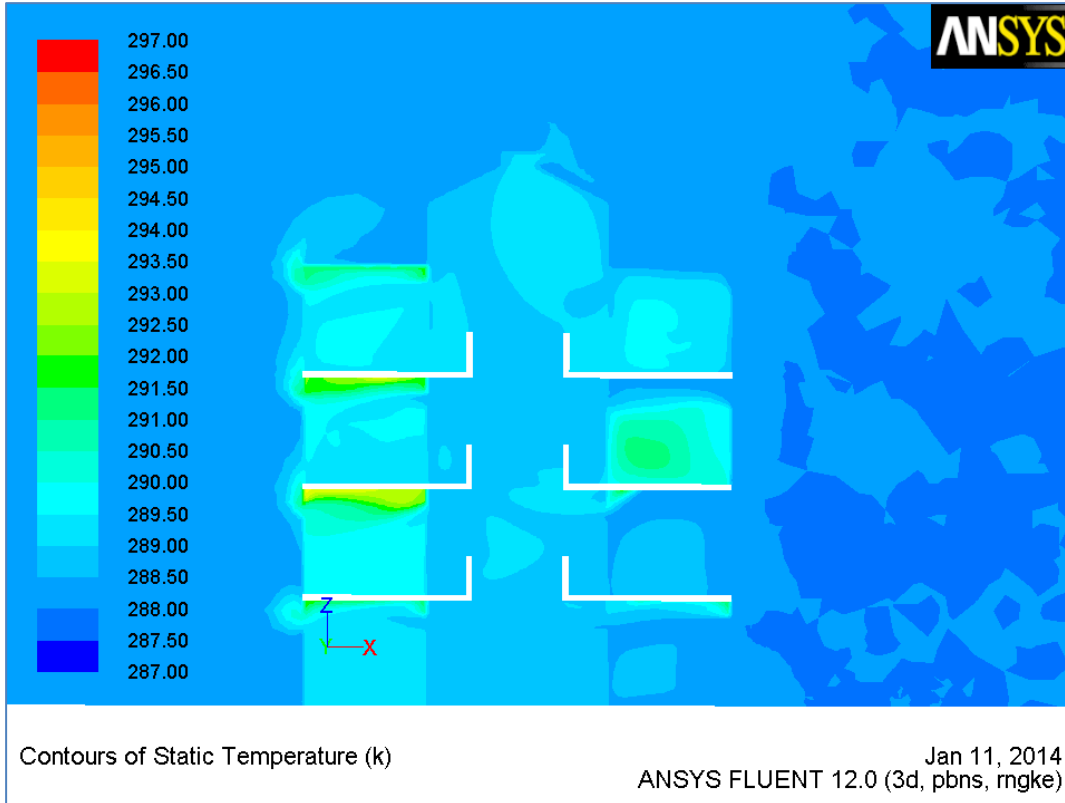
Şekil 4.75 : Model HM2, Y4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



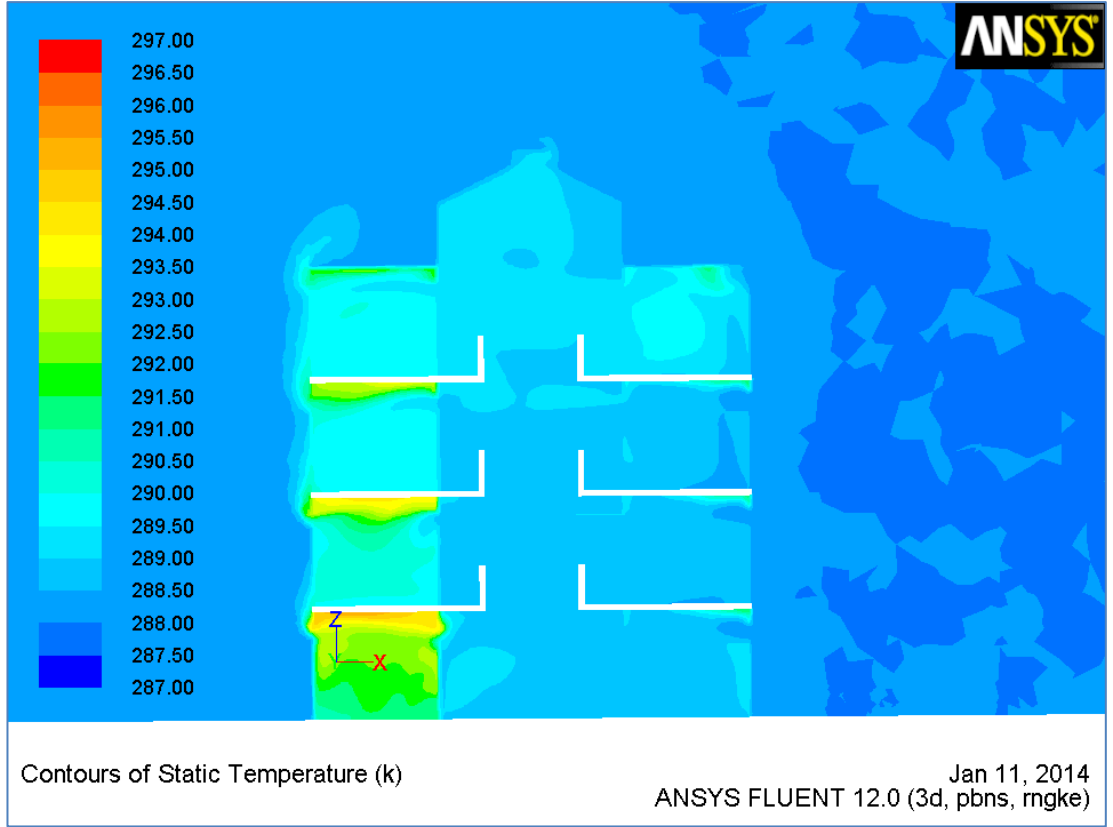
Şekil 4.76 : Model HM2, D1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.77 : Model HM2, D2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.78 : Model HM2, D3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.79 : Model HM2, D4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.

4.2.8 Bina model HM3 için analiz sonuçları

Bina modeli HM3 ile bina çatısındaki rüzgara dik olan açıklıkların ikisi de açık pozisyonudadır. Odalarda bina dış cephelerinde bulunan (baca ve pencere açıklıkları) ve rüzgara karşı dik olan kapı üstü açıklıklar HM3 modelinde biraz kısılmıştır ve analiz sonuçları bu duruma göre incelenmiştir. Belirtilen açıklıklar için belirlenen Pressure-Jump katsayı ve kalınlık değeri Şekil 4.80’de belirtilmiştir.

Porous Jump

Zone Name
solbaca

Face Permeability (m2) 1e+10

Porous Medium Thickness (m) 0.001

Pressure-Jump Coefficient (C2) (1/m) 5000

OK Cancel Help

Şekil 4.80 : Model HM3 ve HM4 için Pressure Jump katsayı değeri.

Oluşturulan HM3 modelinin yüzey koşullarının tanımlanması ve sınır koşullarının değerleri Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmiştir.

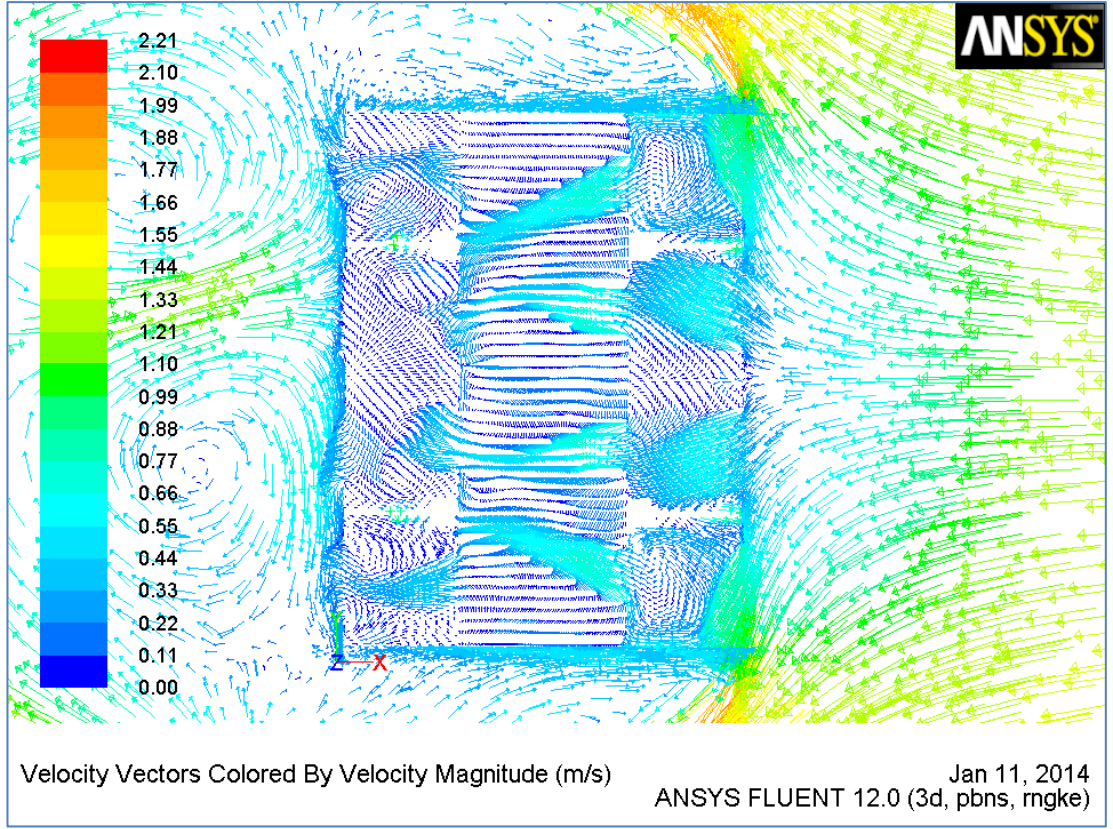
4.2.8.1 Bina modeli HM3 için hız dağılımları

HM3 modeli için bina modelinde bacada bulunan açıklıkların her ikisi de açık olarak analiz yapılmıştır. Bina içerisinde meydana gelen hız dağılımları belirlenmiş olan yatay ve düşey düzlemlerde, düzlemlerin bulunma pozisyonlarına göre incelenmiştir. Kontur ve vektörel olarak düzlem sonuçları elde edilmiştir. Bina duvarlarının akışa karşı göstermiş olduğu direnç sonuçlardan belli olmaktadır. Vektörel hız dağılımlarında hava akımının yönleri Şekil 4.81 – Şekil 4.84, Şekil 4.87 – Şekil 4.90’da belirgin olarak görülmektedir.

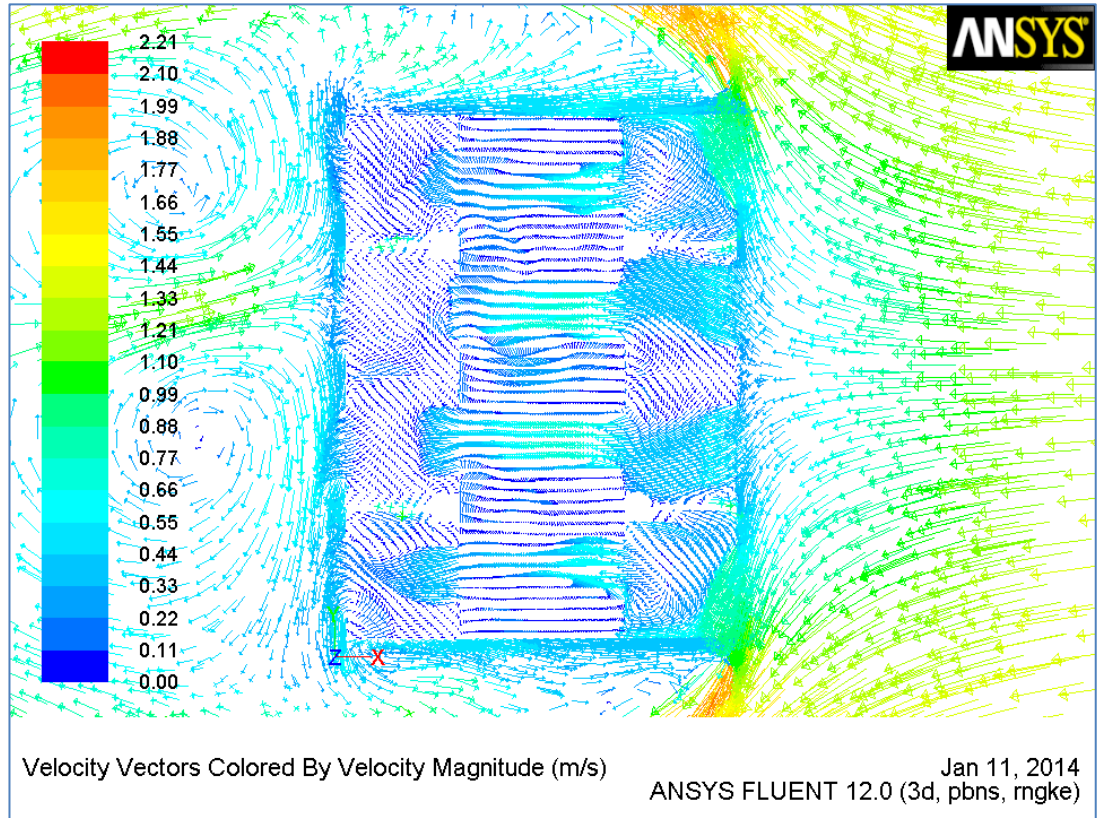
Açıklıkların kısmen kapalı olarak yapılan bu durumda açıklıkların akışa göstermiş olduğu direnç belirgin bir şekilde sonuçlardan görülmektedir (Çizelge 4.27 – Çizelge 4.29).

HM1 modelinde kuzey cephesindeki açıklıklardan giren havanın ortalama hızı 0,93 m/sn iken, pencerelerin kısılması ile bu değer HM3 modelinde %28 azalarak 0,67 m/sn olmuştur (Çizelge 4.28). Aynı şekilde, bina güney cephesindeki açıklıklardan giren havanın ortalama hızı 0,60 m/sn iken, pencerelerin kısılması ile bu değer %59 azalarak 0,25 m/sn olmuştur (Çizelge 4.29). Baca kısmındaki açıklıklarda ise ortalama rüzgar hızı değeri %16 azalarak 0,39 m/sn’den 0,32 m/sn hıza düşmüştür (Çizelge 4.27).

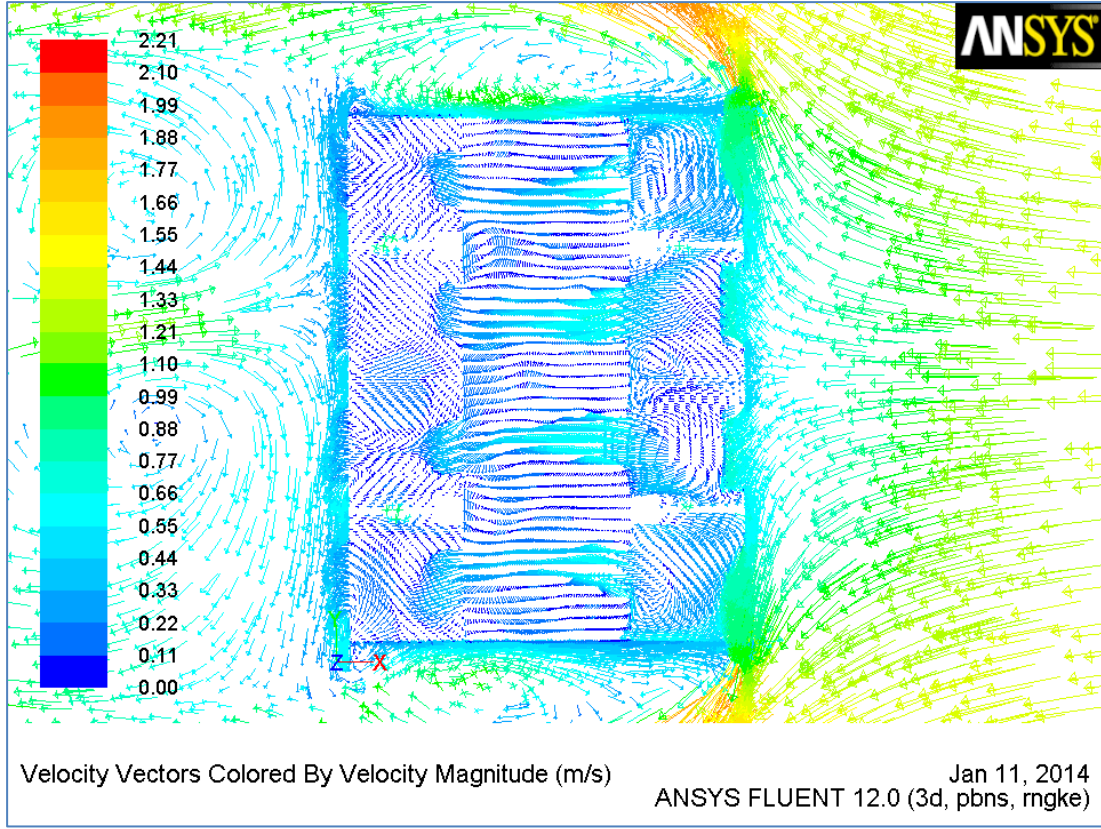
Rüzgarın en etkili olduğu bölge HM1 model sonuçlarına paralel olarak 1. kat olarak şekillerden anlaşılmaktadır (Şekil 4.85, Şekil 4.86). Üst katlara doğru çıkıldıkça oda içine giren havanın odada dağılma etkisinin azaldığı görülmektedir. Yatay ve düşey düzlemde sonuçlar incelendiğinde sağ kısımdan çıkan havanın sol kısmında ve karşılıklı olarak konumlandırılmış bölgelere girişinde hızının azaldığı görülmektedir (Şekil 4.85, Şekil 4.86, Şekil 4.91, Şekil 4.92, Çizelge 4.28, Çizelge 4.29). Aynı zamanda üst katlara çıkıldıkça bu hava aktarım hızı daha da az olmaktadır.



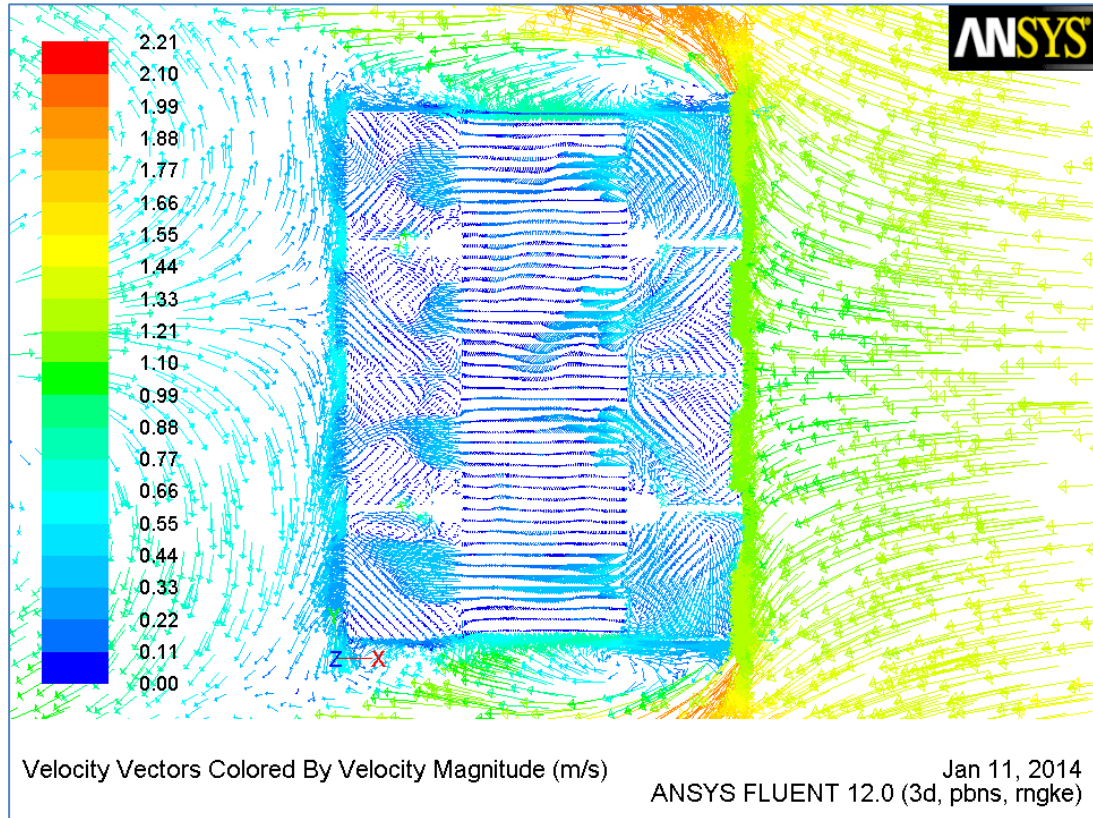
Şekil 4.81 : Model HM3 için Y1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



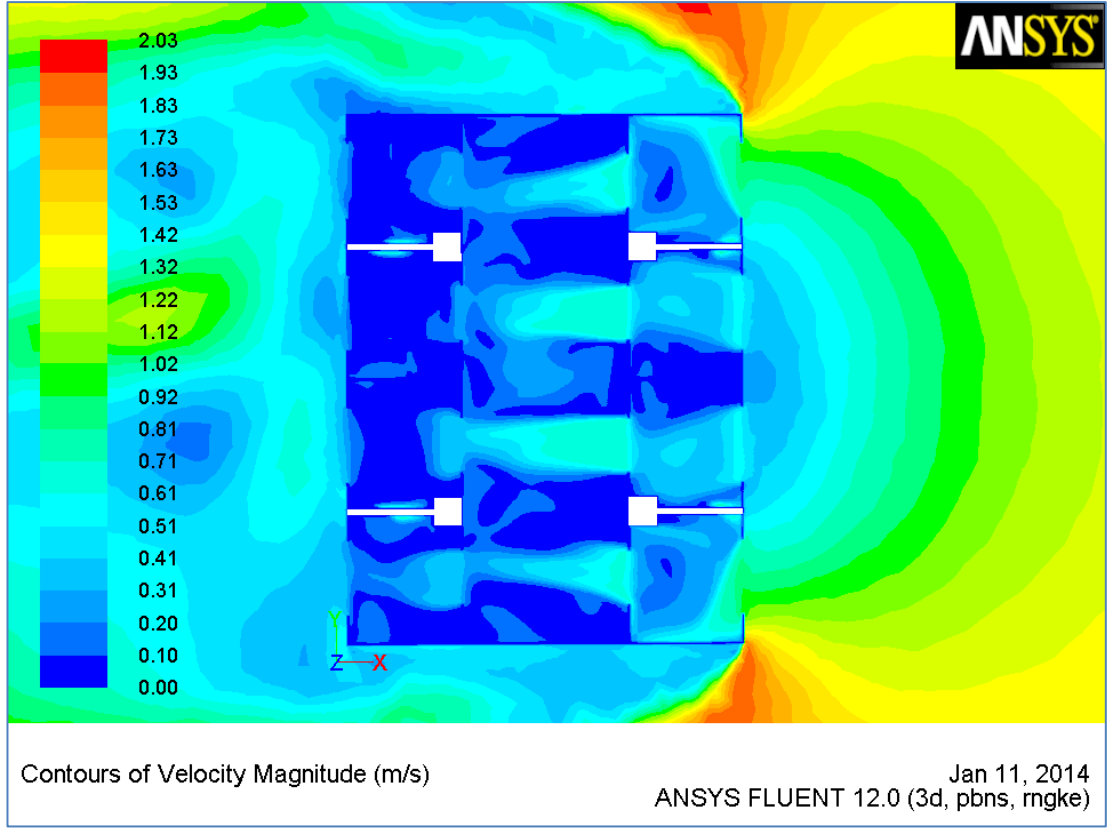
Şekil 4.82 : Model HM3 için Y2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



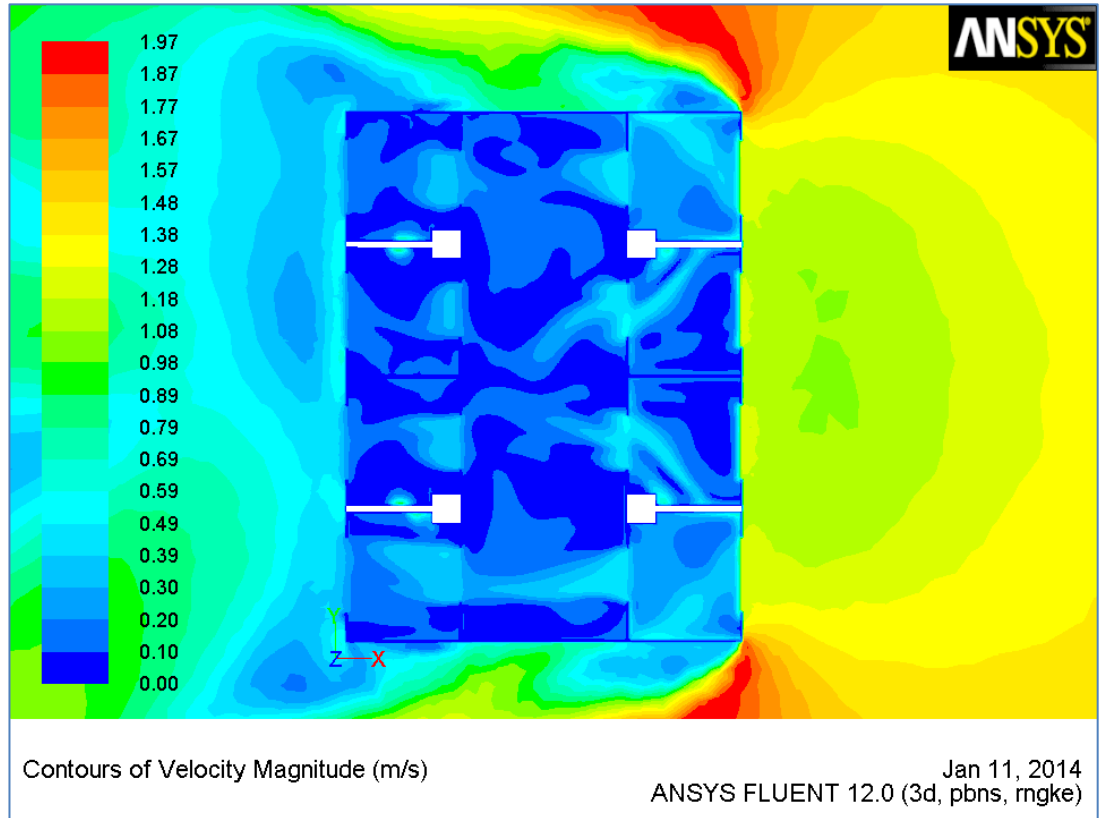
Şekil 4.83 : Model HM3 için Y3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



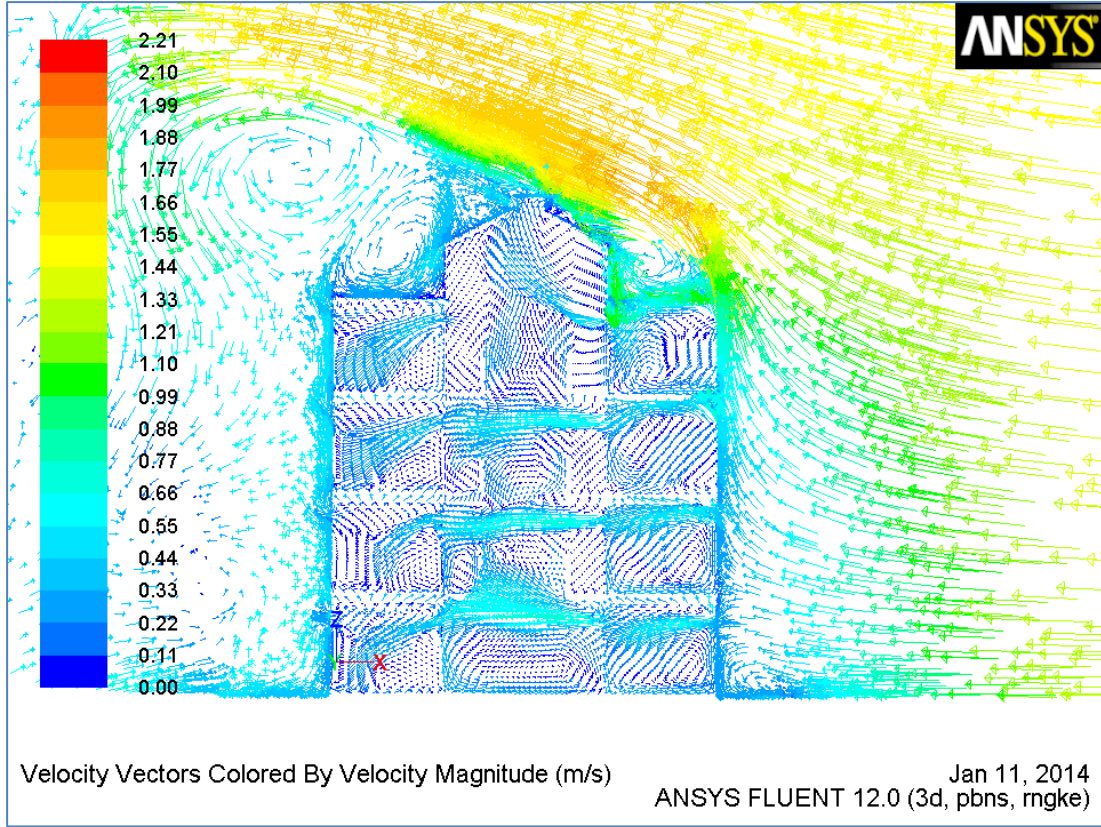
Şekil 4.84 : Model HM3 için Y4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



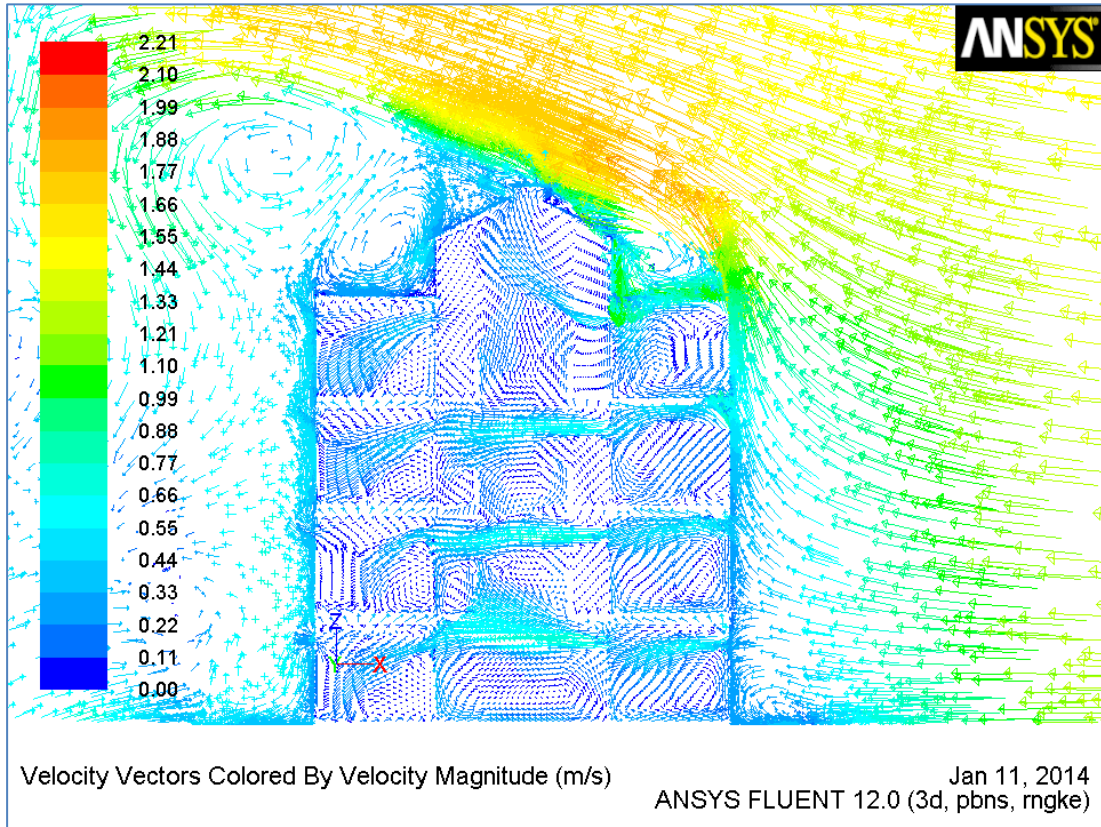
Şekil 4.85 : Model HM3, Y2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



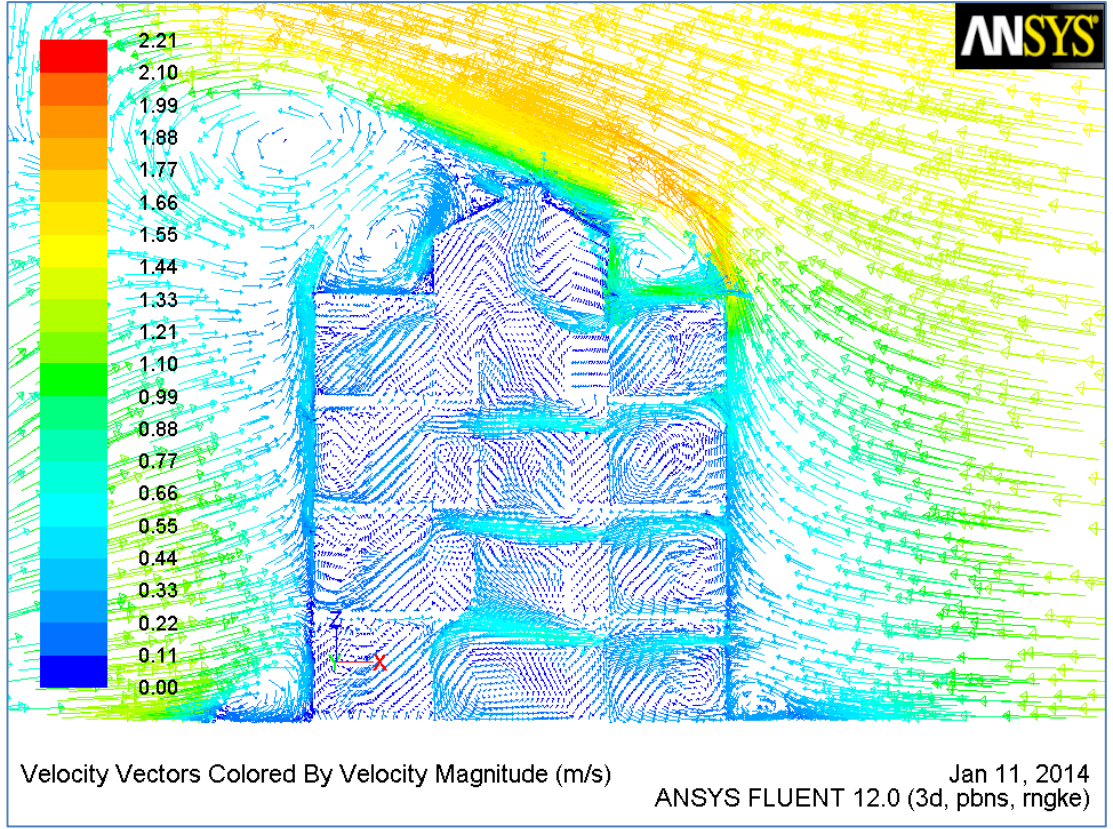
Şekil 4.86 : Model HM3, Y4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



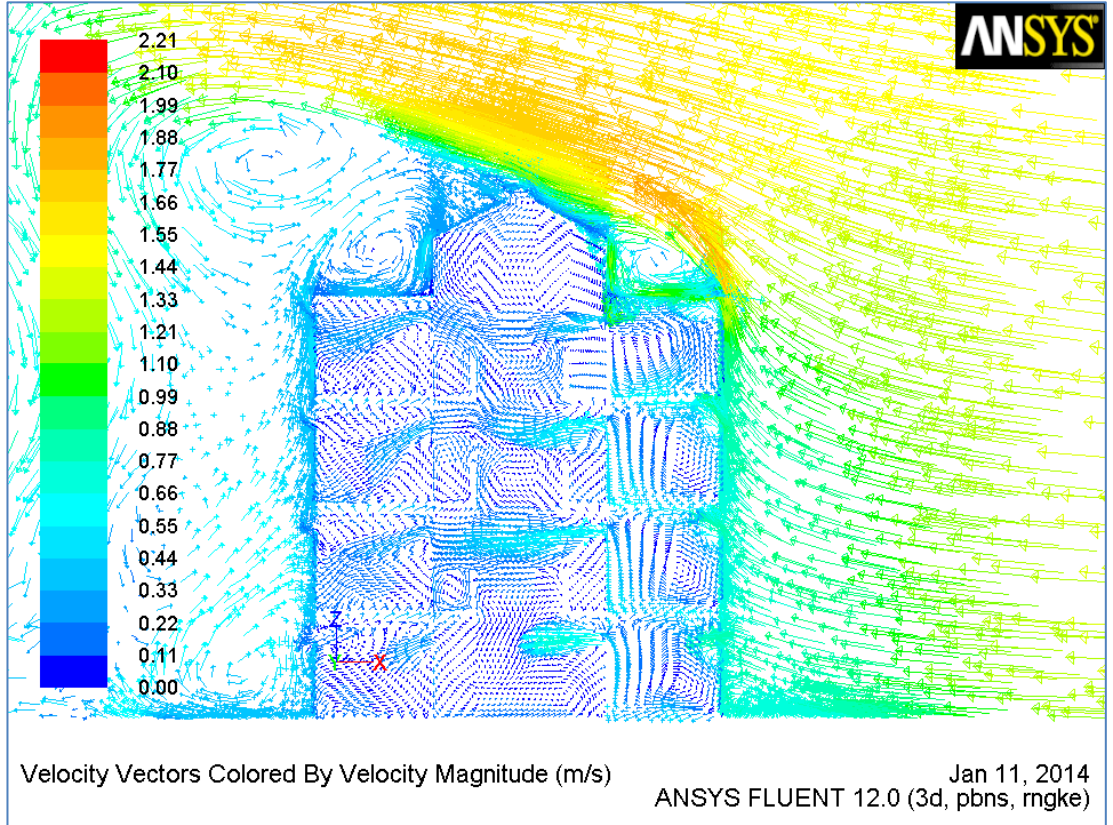
Şekil 4.87 : Model HM3 için D1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



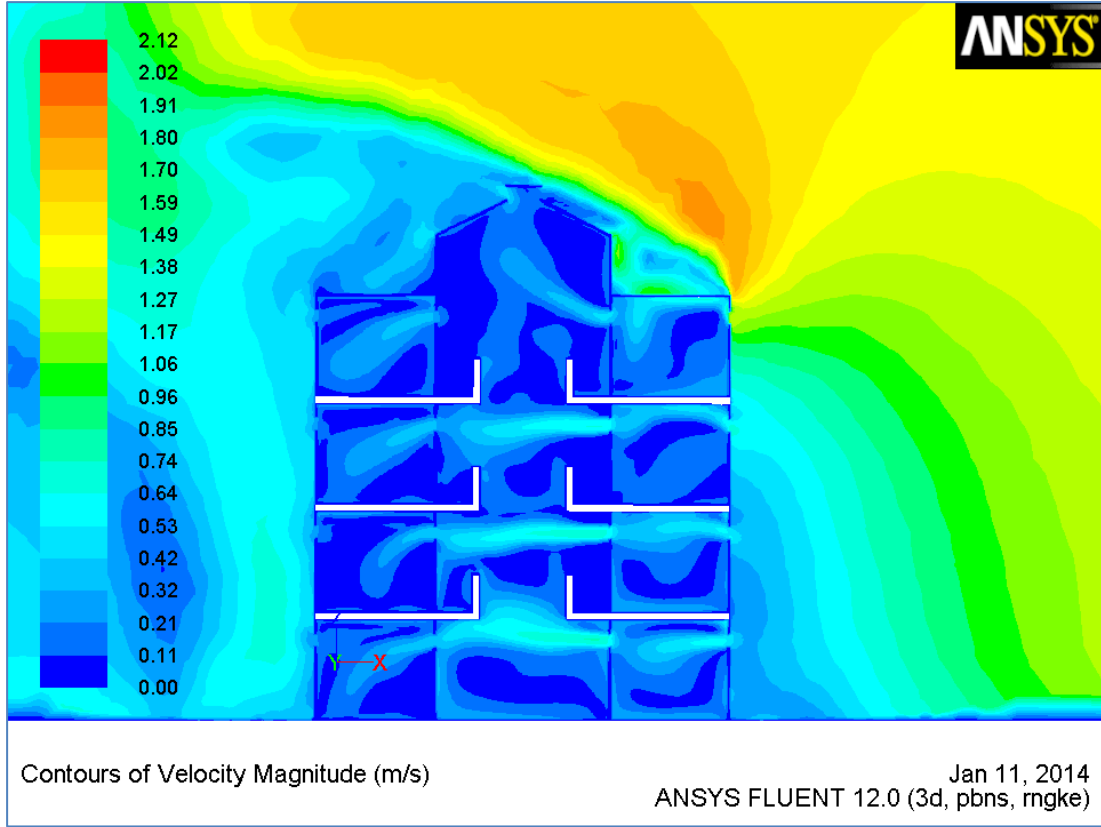
Şekil 4.88 : Model HM3 için D2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



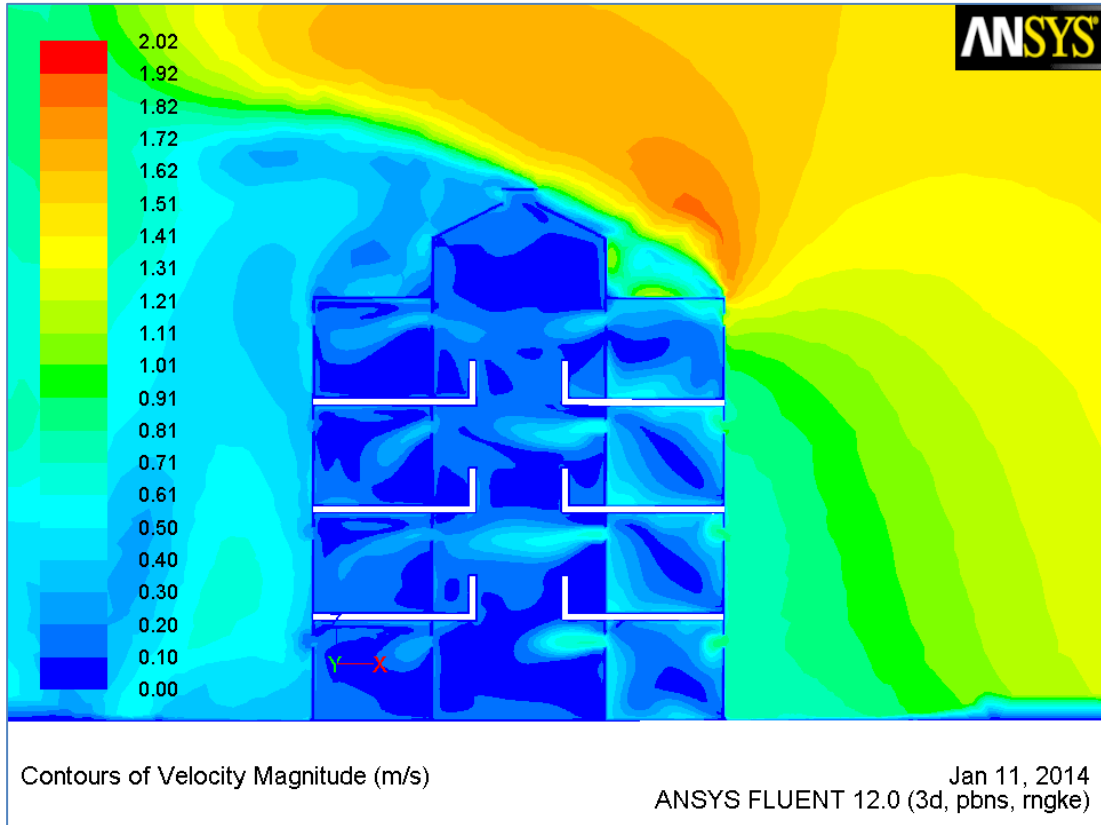
Şekil 4.89 : Model HM3 için D3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



Şekil 4.90 : Model HM3 için D4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



Şekil 4.91 : Model HM3, D2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.92 : Model HM3, D4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.

Çizelge 4. 27: Bina model HM3 için baca açıklıklarından giren ve çıkan havanın hız değerleri.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Hız Değerleri (m/sn)	
		Baca Açıklık Tarafı	Hız (m/sn)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	0,23
		Güney - Sol	0,43
Ortalama			0,33

Çizelge 4.28: Bina model HM3 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.

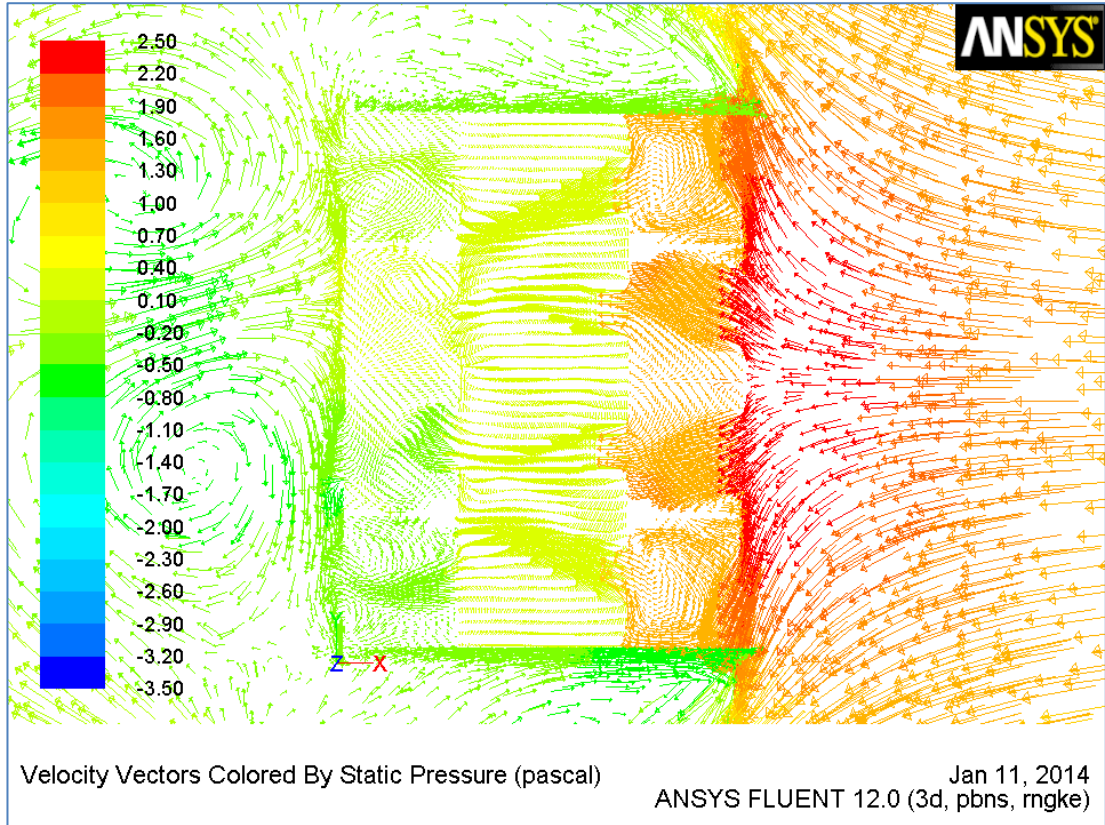
Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Hız Değerleri (m/s)							
Kat 1	Hız (m/sn)	Kat 2	Hız (m/sn)	Kat 3	Hız (m/sn)	Kat 4	Hız (m/sn)
udf1r1	0,62	udf2r1	0,57	udf3r1	0,53	udf4r1	0,39
udf1r2	0,62	udf2r2	0,59	udf3r2	0,56	udf4r2	0,45
udf1r3	0,61	udf2r3	0,58	udf3r3	0,56	udf4r3	0,45
udf1r4	0,63	udf2r4	0,58	udf3r4	0,54	udf4r4	0,40
uwf1r1	0,88	uwf2r1	0,86	uwf3r1	0,87	uwf4r1	1,05
uwf1r2	0,51	uwf2r2	0,53	uwf3r2	0,64	uwf4r2	1,00
uwf1r3	0,51	uwf2r3	0,53	uwf3r3	0,65	uwf4r3	1,00
uwf1r4	0,86	uwf2r4	0,84	uwf3r4	0,87	uwf4r4	1,04
Ortalama	0,65		0,64		0,65		0,72

Çizelge 4. 29 : Bina model HM3 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.

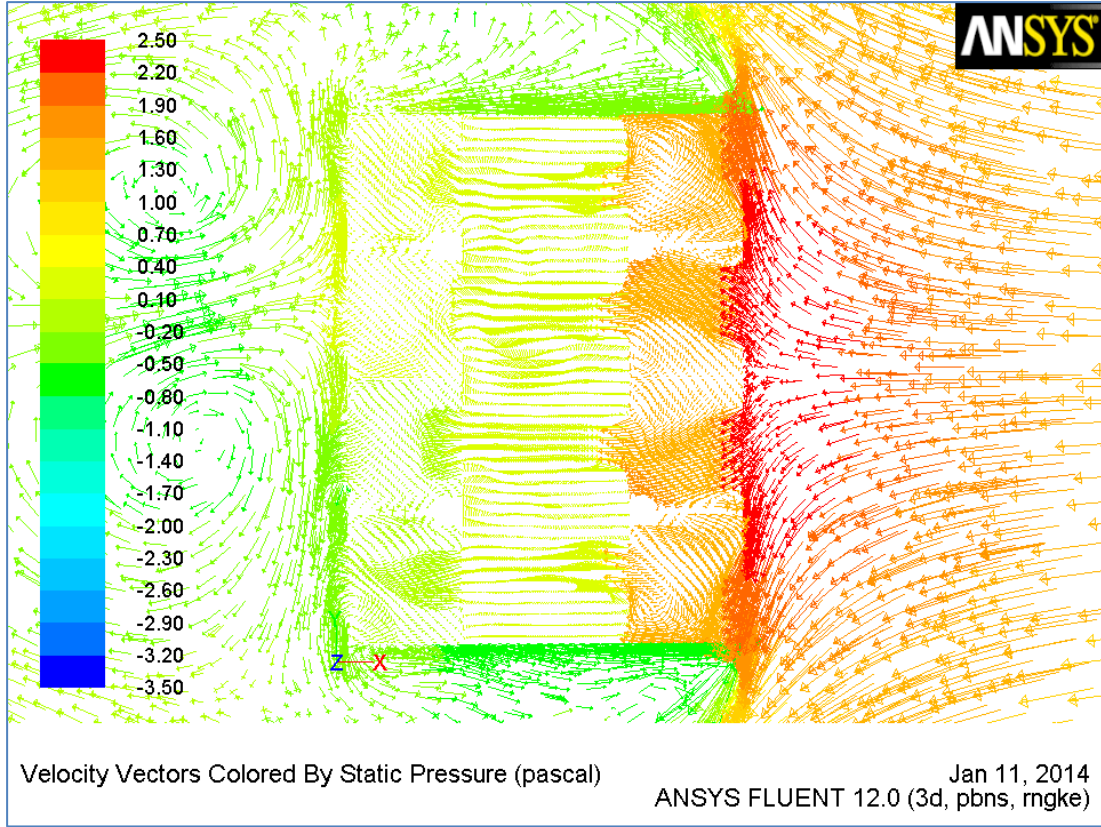
Bina Güney Cephesindeki Pencerelerindeki Hız Değerleri (m/s)							
Kat 1	Hız (m/sn)	Kat 2	Hız (m/sn)	Kat 3	Hız (m/sn)	Kat 4	Hız (m/sn)
udf1l1	0,31	udf2l1	0,32	udf3l1	0,33	udf4l1	0,32
udf1l2	0,36	udf2l2	0,35	udf3l2	0,33	udf4l2	0,29
udf1l3	0,24	udf2l3	0,27	udf3l3	0,21	udf4l3	0,24
udf1l4	0,22	udf2l4	0,25	udf3l4	0,27	udf4l4	0,27
uwf1l1	0,22	uwf2l1	0,26	uwf3l1	0,25	uwf4l1	0,25
uwf1l2	0,24	uwf2l2	0,25	uwf3l2	0,23	uwf4l2	0,23
uwf1l3	0,10	uwf2l3	0,18	uwf3l3	0,21	uwf4l3	0,21
uwf1l4	0,17	uwf2l4	0,20	uwf3l4	0,19	uwf4l4	0,22
Ortalama	0,23		0,26		0,25		0,25

4.2.8.2 Bina modeli HM3 için basınç dağılımları

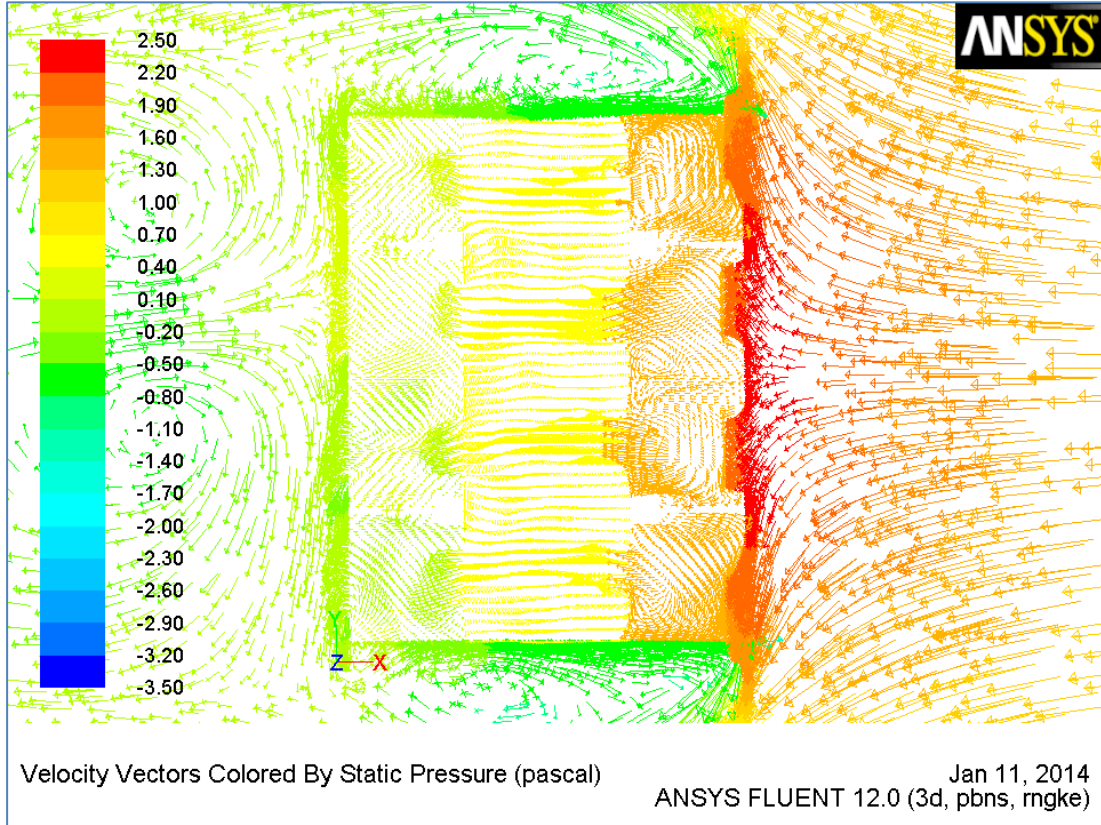
HM3 Modeli için tanımlanmış düzlemlerdeki basınç dağılımları vektörel ve kontur olarak Şekil 4.93 – Şekil 4.104’te gösterilmiştir. Ayrıca açıklıklar yüzeyindeki basınç dağılımları Çizelge 4.30, Çizelge 4.31, Çizelge 4.32’de verilmiştir. Kuzey cephesindeki açıklık yüzeylerindeki ortalama basınç 1,33 pascal iken, güney cephesi açıklıklarındaki ortalama basınç 0,11 pascal civarındadır. Havanın akış yönü doğrultusunda basınç giderek düşmektedir. Bina güney cephesindeki açıklıkların katlara göre dağılımındaki basınç değerleri incelendiğinde (Çizelge 4.32) üst katlara doğru çıkıldıkça basıncın arttığı görülmektedir. Vektör olarak görseller incelendiğinde basınç vektör dağılımının, hız vektör dağılımına benzerlik gösterdiği görülmektedir.



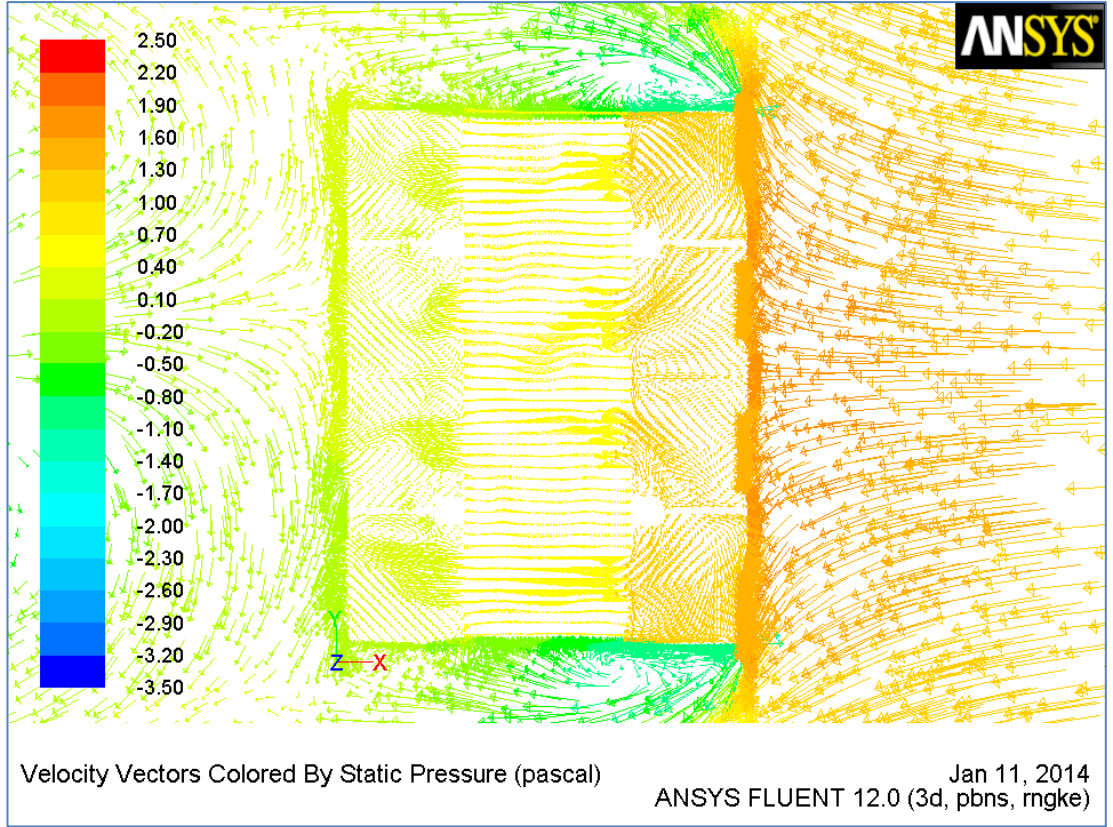
Şekil 4.93 : Model HM3 için Y1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



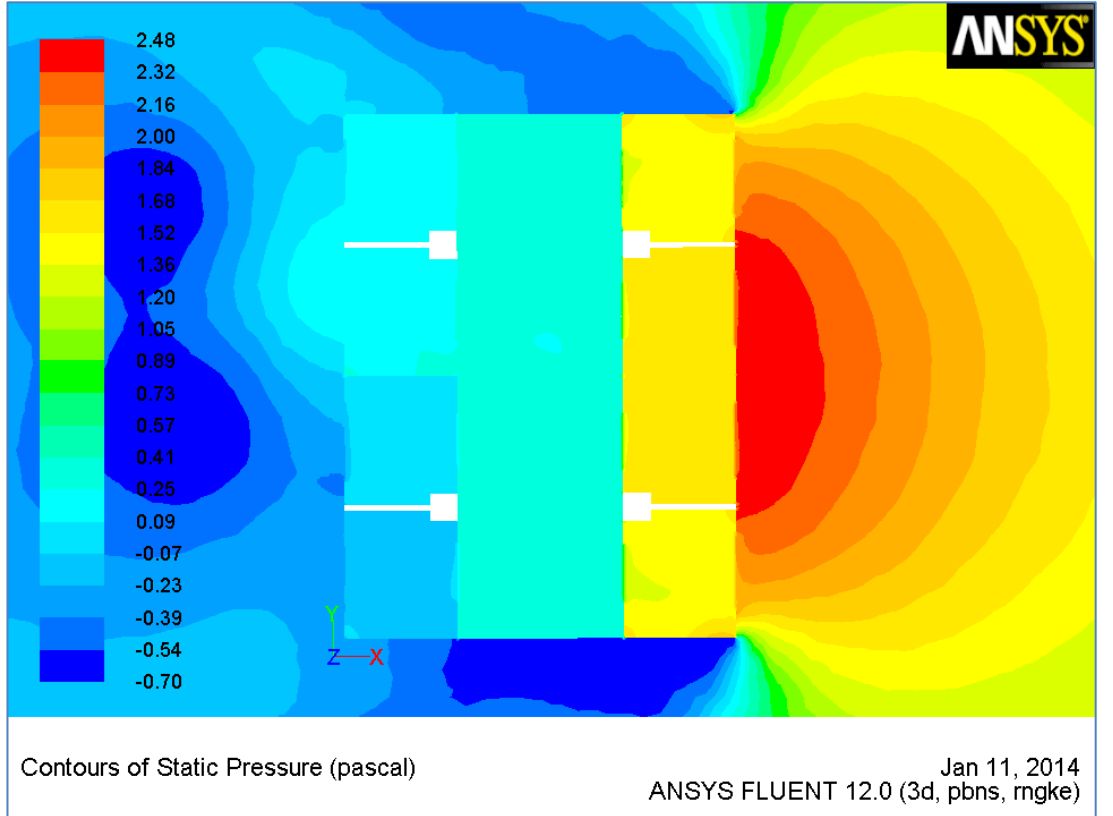
Şekil 4.94 : Model HM3 için Y2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



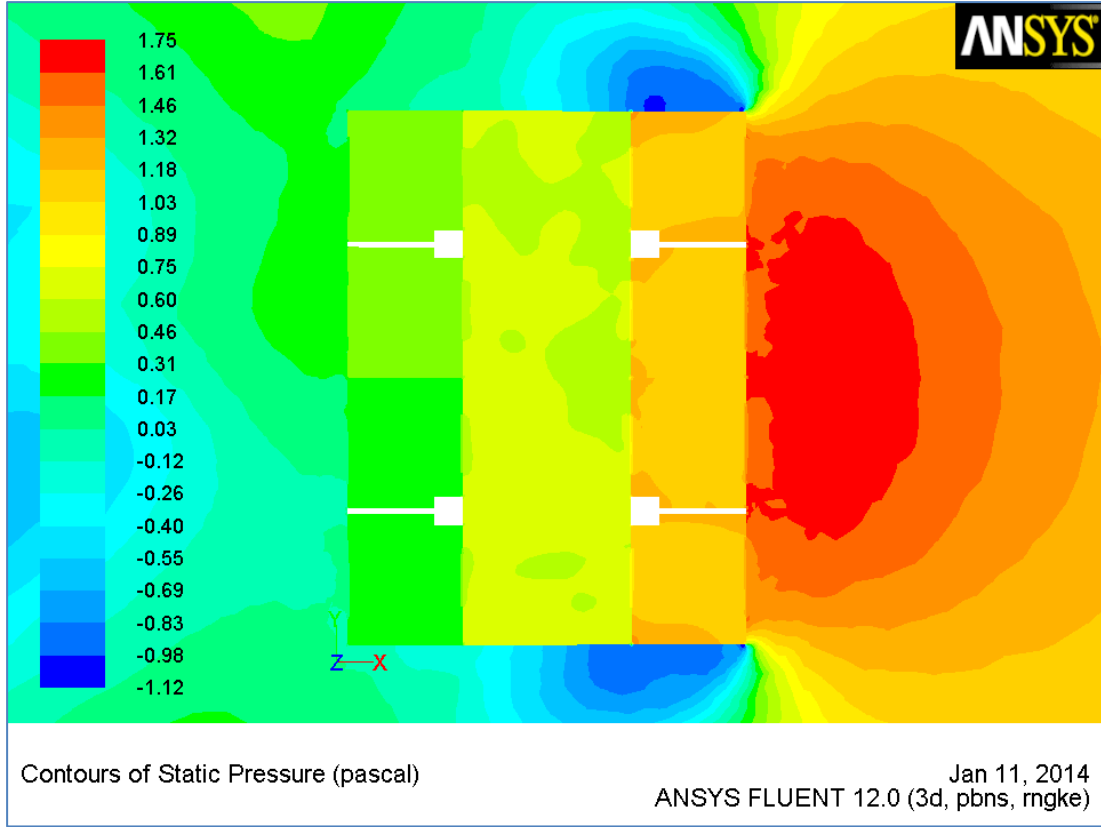
Şekil 4.95 : Model HM3 için Y3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



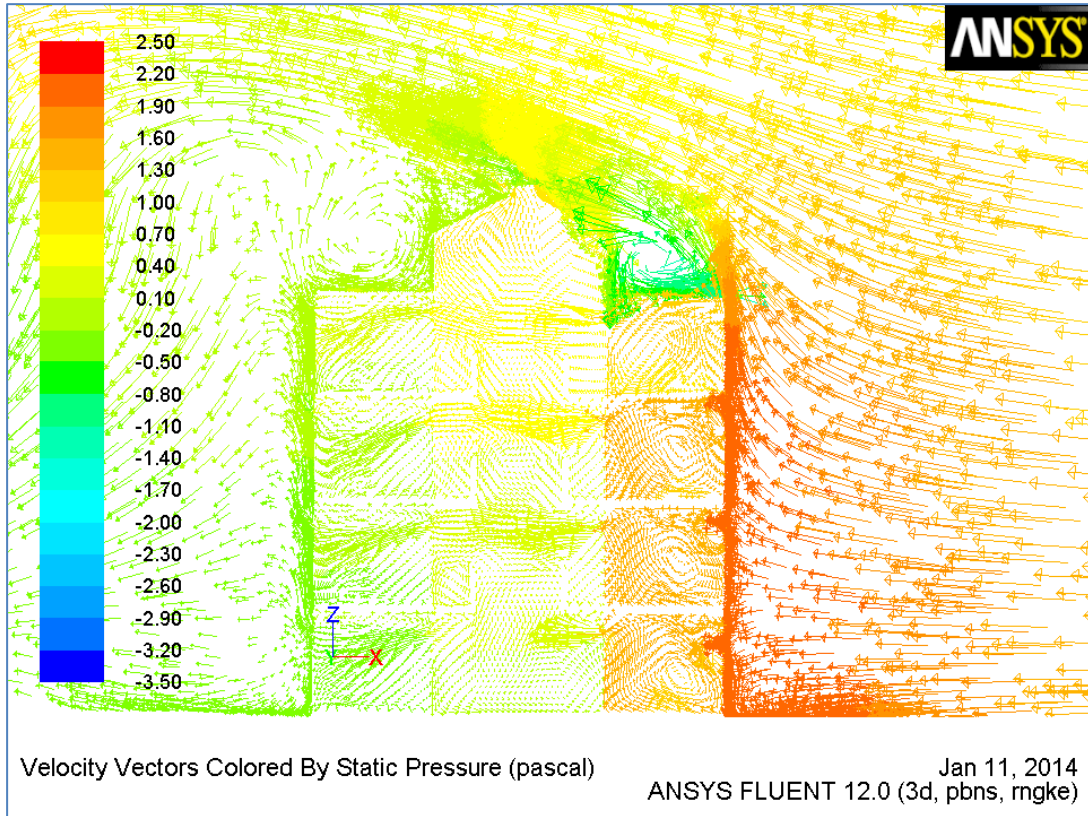
Şekil 4.96 : Model HM3 için Y4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



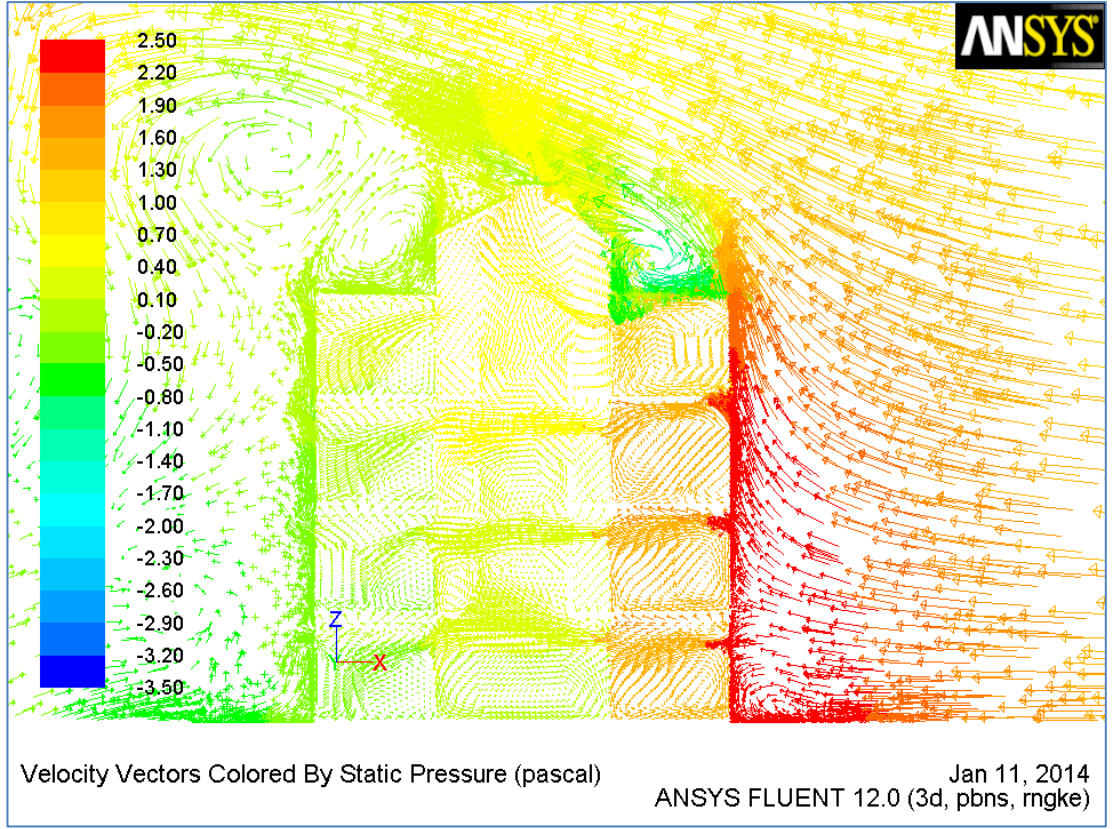
Şekil 4.97 : Model HM3, Y2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



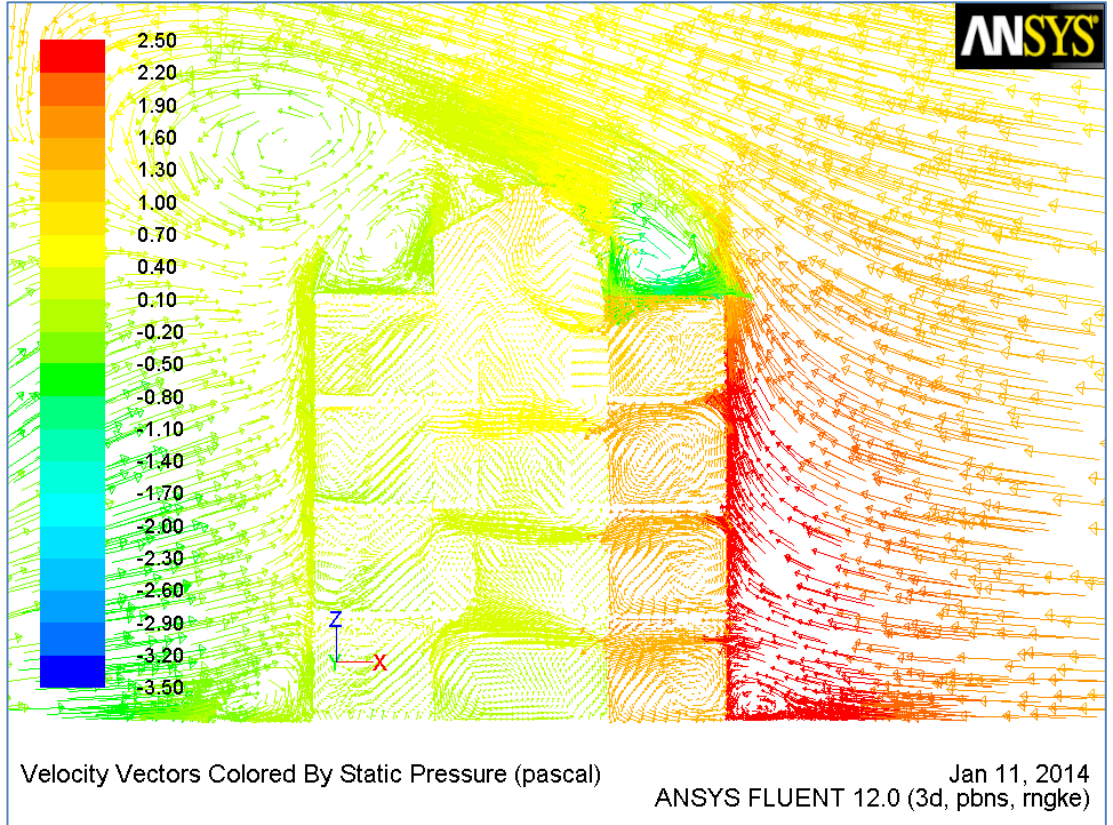
Şekil 4.98 : Model HM3, Y4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



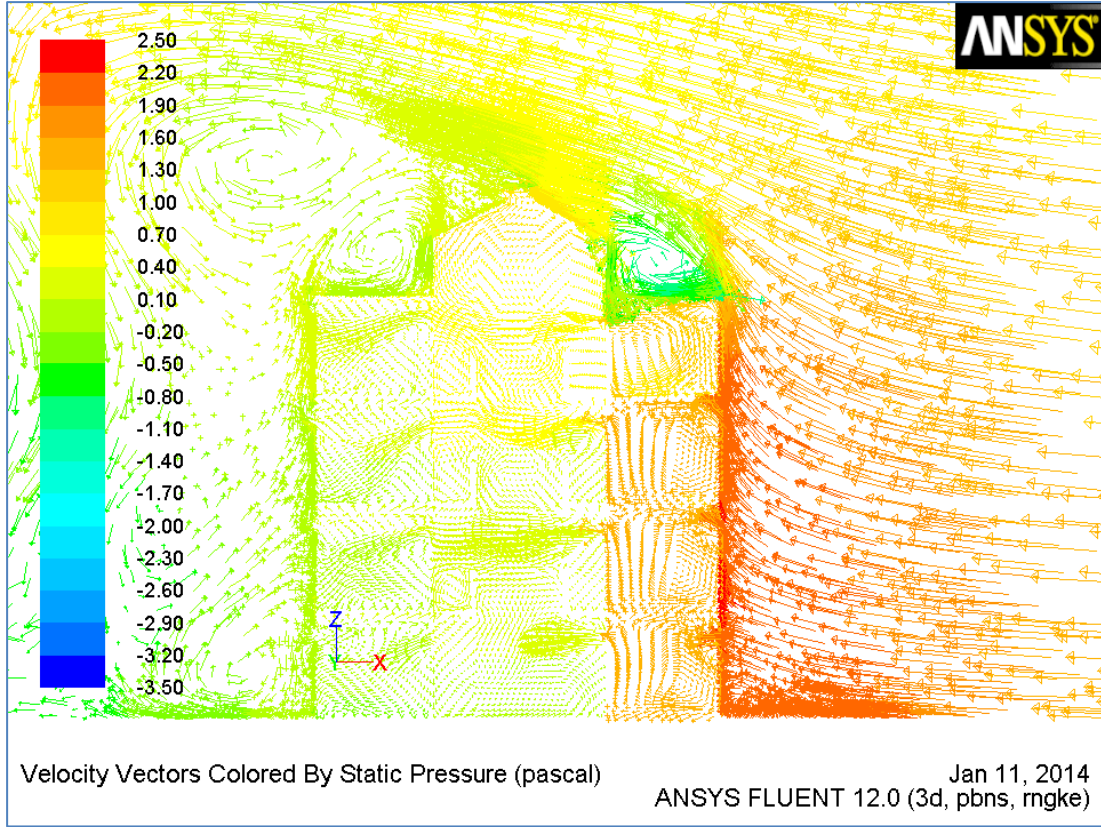
Şekil 4.99 : Model HM3 için D1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



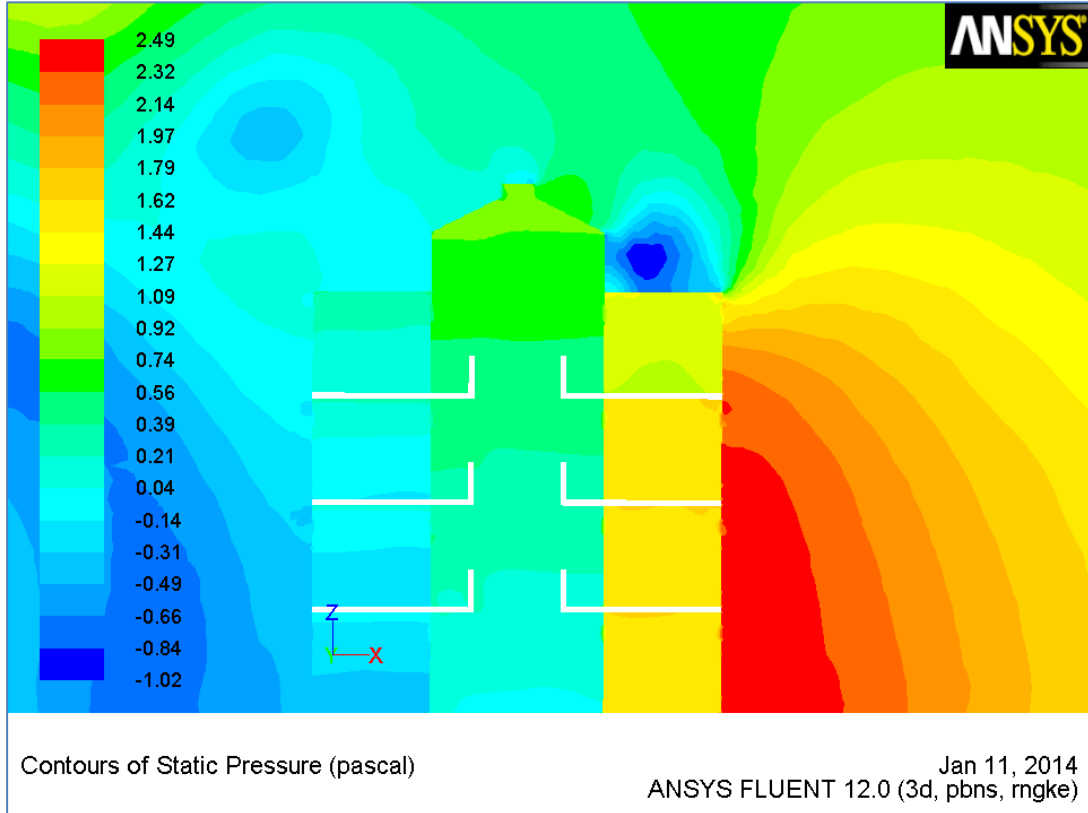
Şekil 4.100 : Model HM3 için D2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



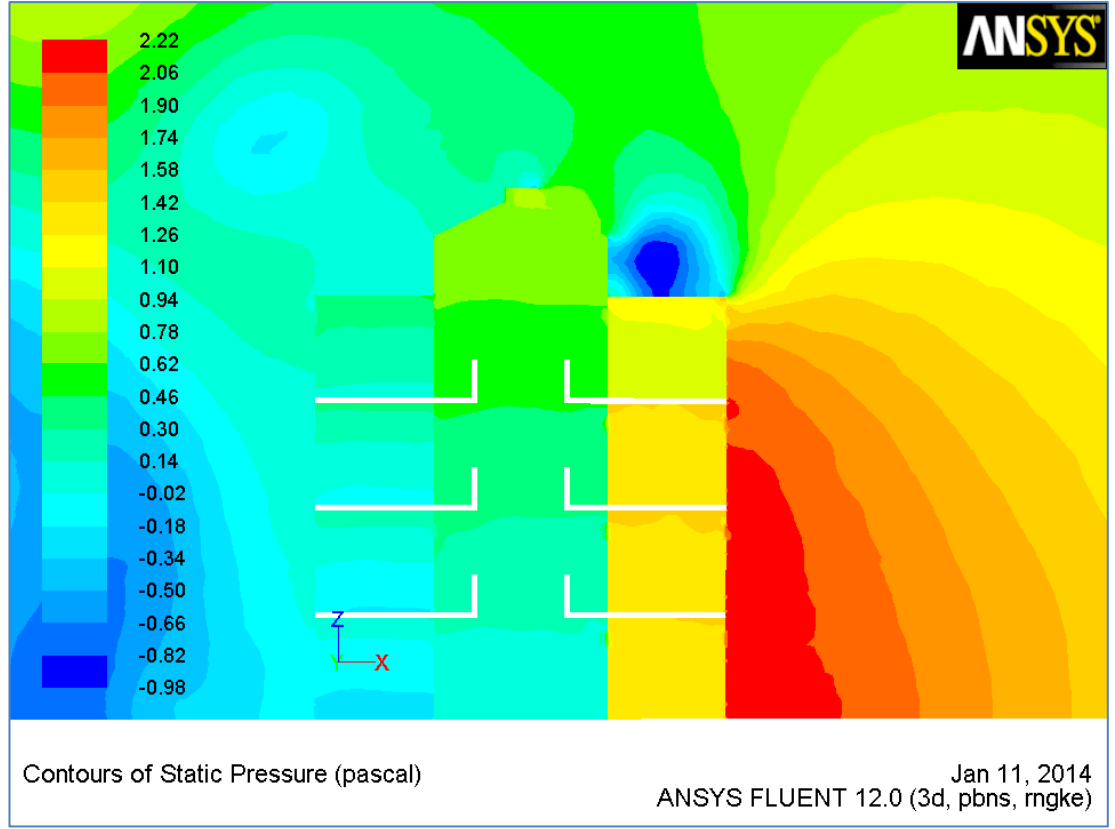
Şekil 4.101 : Model HM3 için D3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



Şekil 4.102 : Model HM3 için D4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



Şekil 4.103 : Model HM3, D2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.104 : Model HM3, D4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.

Çizelge 4. 30 : Bina model HM3 için baca açıklıklarındaki basınç değerleri.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Basınç Dağılımı (pascal)	
		Baca Açıklık Tarafları	P (pascal)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	0,69
		Güney - Sol	4,37
Ortalama		2,53	

Çizelge 4.31 : Bina model HM3 için kuzey cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.

Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Basınç Dağılımı (pascal)							
Kat 1	P (pascal)	Kat 2	P (pascal)	Kat 3	P (pascal)	Kat 4	P (pascal)
udf1r1	1,07	udf2r1	1,14	udf3r1	1,17	udf4r1	1,02
udf1r2	1,30	udf2r2	1,36	udf3r2	1,35	udf4r2	1,06
udf1r3	1,31	udf2r3	1,36	udf3r3	1,35	udf4r3	1,07
udf1r4	1,10	udf2r4	1,16	udf3r4	1,17	udf4r4	1,02
uwf1r1	1,42	uwf2r1	1,48	uwf3r1	1,47	uwf4r1	1,17
uwf1r2	1,65	uwf2r2	1,67	uwf3r2	1,62	uwf4r2	1,22
uwf1r3	1,65	uwf2r3	1,65	uwf3r3	1,62	uwf4r3	1,21
uwf1r4	1,45	uwf2r4	1,49	uwf3r4	1,48	uwf4r4	1,18
Ortalama	1,37		1,41		1,40		1,12

Çizelge 4.32 : Bina model HM3 için güney cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.

Bina Güney Cephesindeki Pencerelerindeki Basınç Dağılımı (pascal)							
Kat 1	P (pascal)	Kat 2	P (pascal)	Kat 3	P (pascal)	Kat 4	P (pascal)
udf1l1	-0,20	udf2l1	-0,05	udf3l1	0,11	udf4l1	0,27
udf1l2	-0,18	udf2l2	-0,04	udf3l2	0,14	udf4l2	0,31
udf1l3	0,12	udf2l3	0,24	udf3l3	0,32	udf4l3	0,41
udf1l4	0,00	udf2l4	0,12	udf3l4	0,23	udf4l4	0,37
uwf1l1	-0,26	uwf2l1	-0,13	uwf3l1	0,04	uwf4l1	0,20
uwf1l2	-0,24	uwf2l2	-0,11	uwf3l2	0,06	uwf4l2	0,23
uwf1l3	0,14	uwf2l3	0,22	uwf3l3	0,28	uwf4l3	0,36
uwf1l4	-0,01	uwf2l4	0,09	uwf3l4	0,19	uwf4l4	0,31
Ortalama	-0,08		0,04		0,17		0,31

4.2.8.3 Bina modeli HM3 için kütle dengesi

Bina modeli üzerinde bulunan açıklıklardan (pencere ve baca) daha önce bahsedilmişti. Analiz için tanımlanan açıklıklardaki havalandırma yüzeylerinden giren ve çıkan hava miktarları Çizelge 4.33 – Çizelge 4.35’te verilmiştir.

Tablolar incelendiğinde kuzey ve güney yönünde bulunan odalara giren ve çıkan hava miktarının dengeli olduğu görülmektedir (Çizelge 4.34 ve Çizelge 4.35). Açıklıkların durumu göz önüne alındığında pencerelerden giren havanın miktarı HM1 modeline göre azalmıştır. İnceleme öncelikle havanın ilk olarak içeriye girdiği kuzey cephesinde yapılmıştır, kuzey cephesindeki pencerelerden geçen hava miktarı %39 azalarak ortalama 1,01 kg/sn’den 0,62 kg/sn’ye gerilemiştir. Çizelge 4.34 verilerinde kuzey cephesindeki her bir katta bulunan ofislerdeki pencerelerdeki debi değerleri bilgisi verilmiştir. Çizelge 4.3 verilerinde ise güney cephesine ait debi değerleri ayrıntılı olarak mevcuttur. Güney cephesindeki pencerelerden geçen hava miktarı %65 azalarak ortalama 0,86 kg/sn’den 0,3 kg/sn’ye düşmüştür. Güney cephesindeki pencereler en uzak bölgede olduklarından bu kısımdaki debi değerlerin kararlı hale gelmesi diğer tarafa göre uzun sürecektir.

Çizelge 4.33 : Bina model HM3 için bacadan giren ve çıkan hava miktarları.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Debi Değerleri (kg/s)	
		Baca Açıklık Tarafları	Debi (kg/s)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	0,69
		Güney - Sol	4,37
Toplam			5,06

Çizelge 4.34 : Bina model HM3 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bina Kuzey Cephesindeki Pencereleindeki Debi Değerleri (kg/s)							
		Kat 1	Debi (kg/s)	Kat 2	Debi (kg/s)	Kat 3	Debi (kg/s)	Kat 4	Debi (kg/s)
KUZEY	1,5	udf1r1	-0,67	udf2r1	-0,64	udf3r1	-0,58	udf4r1	-0,43
		udf1r2	-0,75	udf2r2	-0,72	udf3r2	-0,66	udf4r2	-0,46
		udf1r3	-0,75	udf2r3	-0,72	udf3r3	-0,66	udf4r3	-0,47
		udf1r4	-0,67	udf2r4	-0,64	udf3r4	-0,58	udf4r4	-0,44
		uwf1r1	0,67	uwf2r1	0,64	uwf3r1	0,58	uwf4r1	0,43
		uwf1r2	0,75	uwf2r2	0,71	uwf3r2	0,66	uwf4r2	0,46
		uwf1r3	0,75	uwf2r3	0,72	uwf3r3	0,66	uwf4r3	0,47
		uwf1r4	0,67	uwf2r4	0,64	uwf3r4	0,58	uwf4r4	0,44
Toplam		-0,01		-0,01		-0,01		0,00	

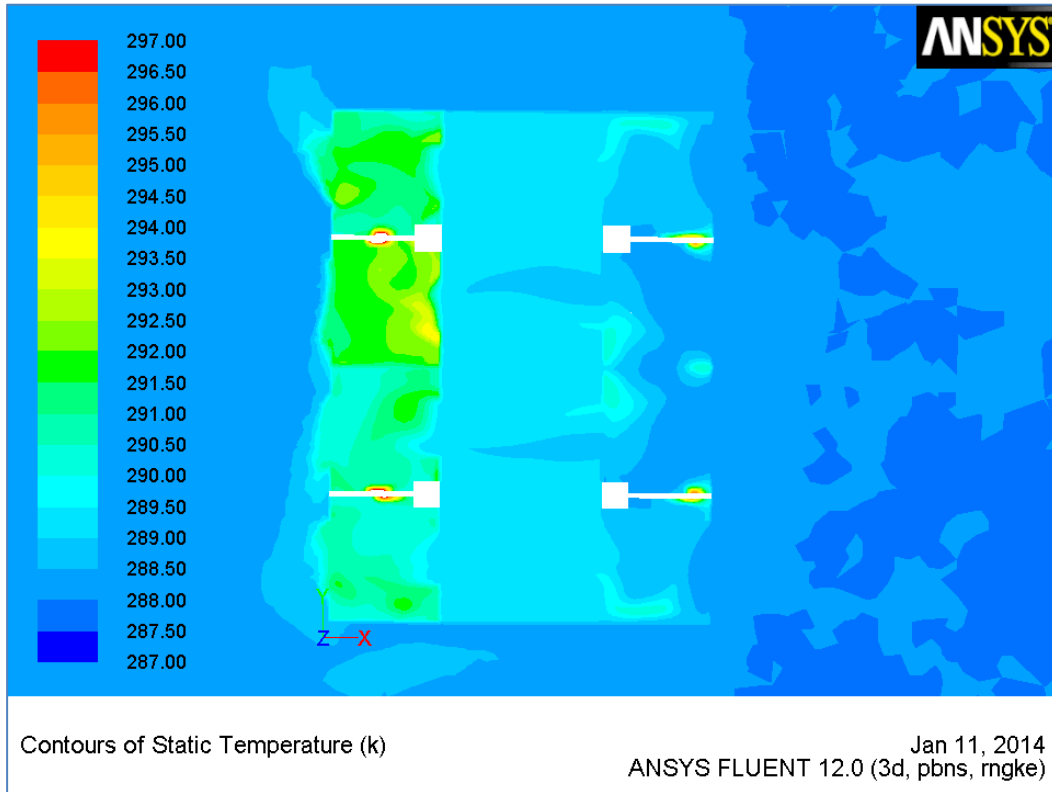
Çizelge 4. 35 : Bina model HM3 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bina Güney Cephesindeki Pencereleindeki Kütlesel Debi Değerleri (kg/s)							
		Kat 1	Debi (kg/s)	Kat 2	Debi (kg/s)	Kat 3	Debi (kg/s)	Kat 4	Debi (kg/s)
KUZEY	1,5	udf1l1	0,34	udf2l1	0,37	udf3l1	0,38	udf4l1	0,38
		udf1l2	0,38	udf2l2	0,41	udf3l2	0,36	udf4l2	0,34
		udf1l3	0,13	udf2l3	0,18	udf3l3	0,25	udf4l3	0,27
		udf1l4	0,20	udf2l4	0,26	udf3l4	0,30	udf4l4	0,31
		uwf1l1	-0,34	uwf2l1	-0,36	uwf3l1	-0,38	uwf4l1	-0,38
		uwf1l2	-0,37	uwf2l2	-0,40	uwf3l2	-0,36	uwf4l2	-0,35
		uwf1l3	-0,11	uwf2l3	-0,18	uwf3l3	-0,25	uwf4l3	-0,28
		uwf1l4	-0,20	uwf2l4	-0,26	uwf3l4	-0,30	uwf4l4	-0,31
Toplam		0,03		0,00		0,00		-0,02	

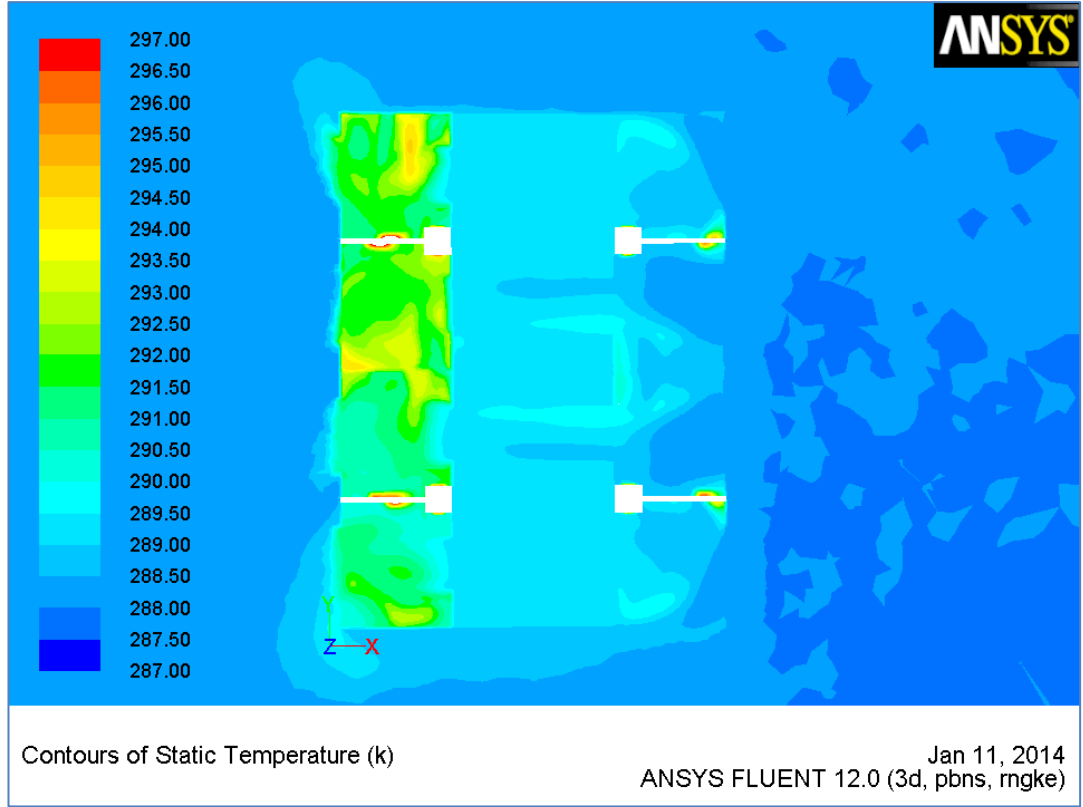
4.2.8.4 Bina model HM3 için sıcaklık dağılımları

Analiz için uygulanan rüzgarın ortalama sıcaklığı 15 °C(≈288 K), ortalama hız 1,5 m/sn ve her odada bulunan radyatörlerin ısı akı değeri 1400 W/m² olarak alınmıştır. Çizelge 4.8’de belirtilen düzlemlere göre elde edilen sonuçlar Şekil 4.105 – Şekil 4.112 arasında görülmektedir.

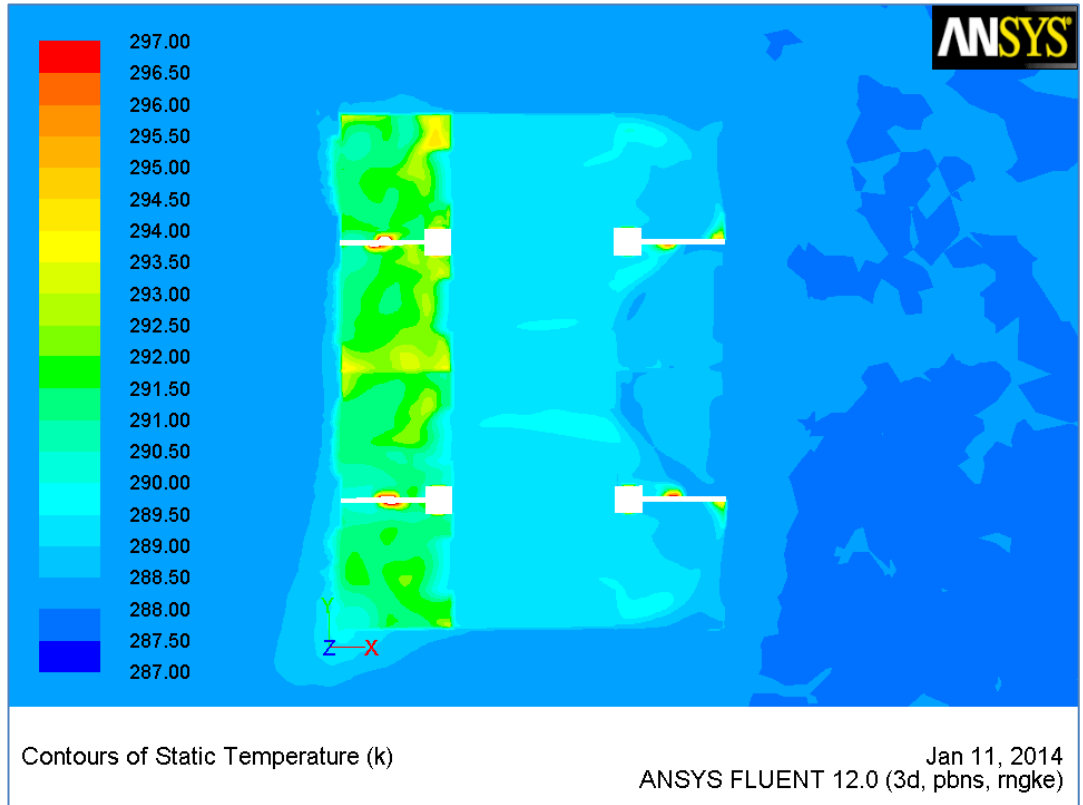
Sonuçlara göre rüzgarın ilk olarak girdiği kuzey cephesi bölgesinde odaların içerisindeki sıcaklık, güney cephesindeki oda sıcaklığından daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca üst kısımlarda alt kısımlara göre, orta kısımlarda kalan odaların ise binanın köşe yan kısımlarında kalan odalara göre sıcaklıklarının daha iyi yayıldığı gözlenmektedir. Hava sıcaklığı pencere etkisiyle pencereye yakın bölgelerde yükselmektedir ve pencereden uzaklaştıkça hava sıcaklığında azalma görülmektedir. Radyatörün bulunduğu yüzeylerde ortalama sıcaklık 297 K – 300 K arasında ve odalardaki ortalama sıcaklık 293 K’dir. Bu duruma etki eden en önemli faktör açıklıkların kısmen kapatılmasıdır. Açıklıklar kısmen kapatılarak hacim içine alınan havanın ortamda daha uzun süre kalması sağlanmış bu durumda da ortam ortalama sıcaklığı artmıştır.



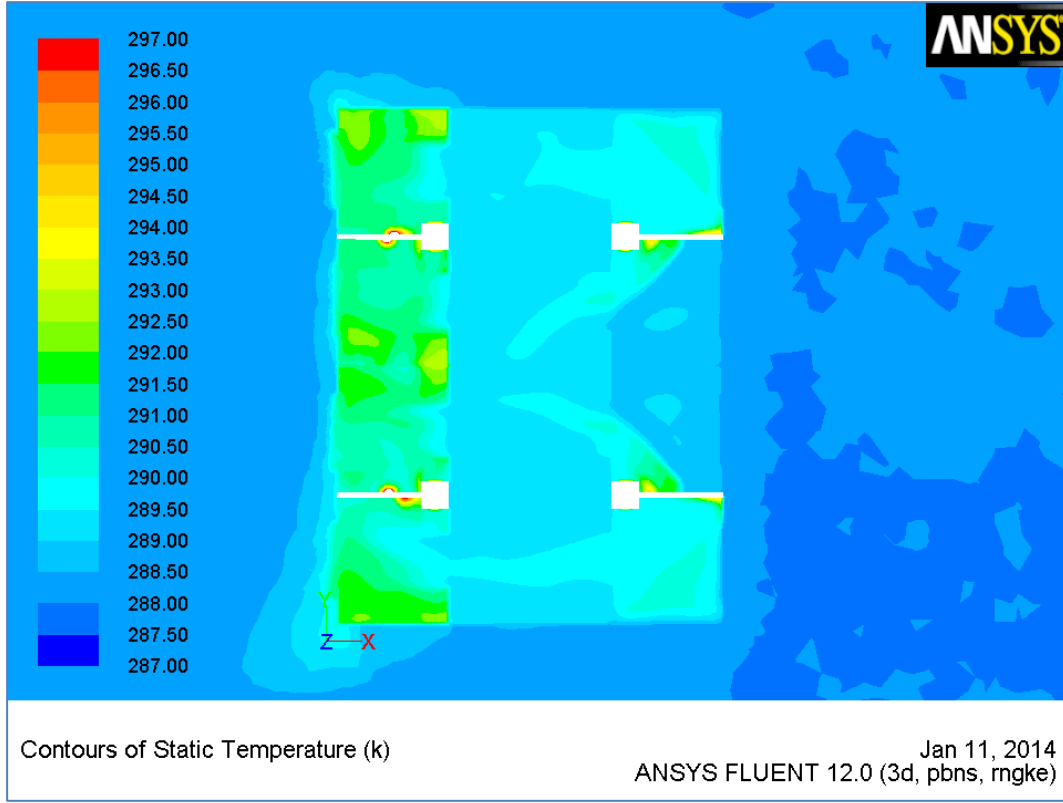
Şekil 4.105 : Model HM3, Y1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



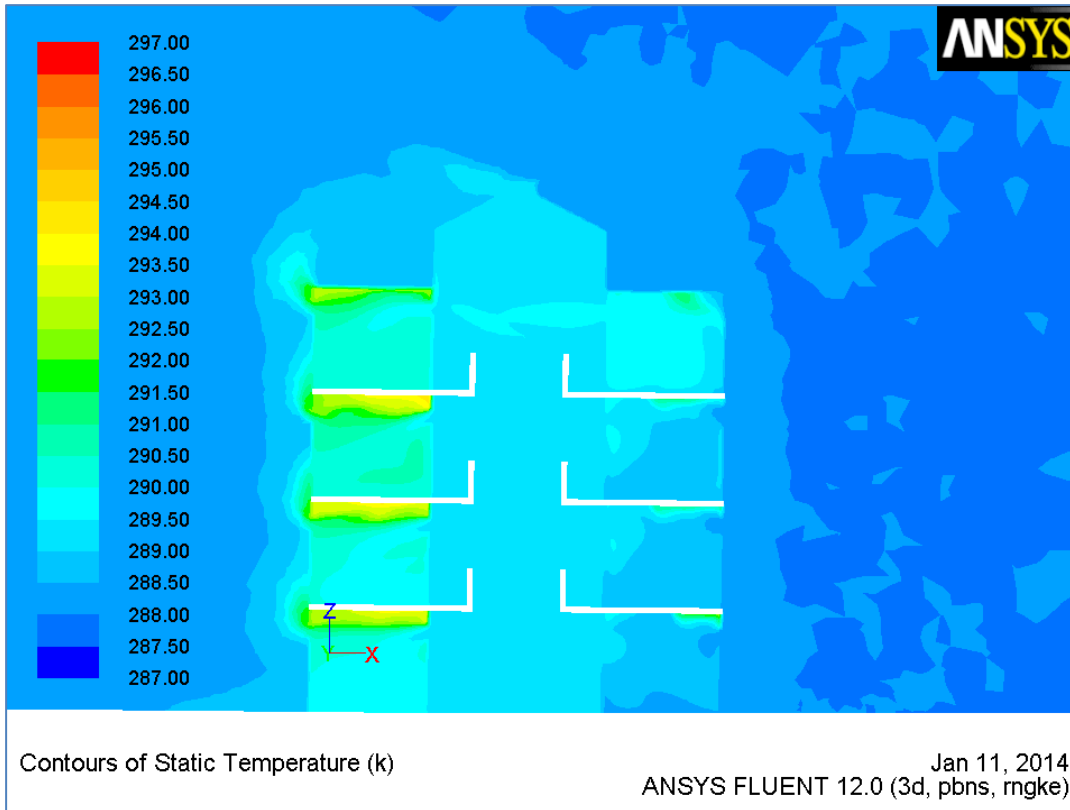
Şekil 4.106 : Model HM3, Y2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



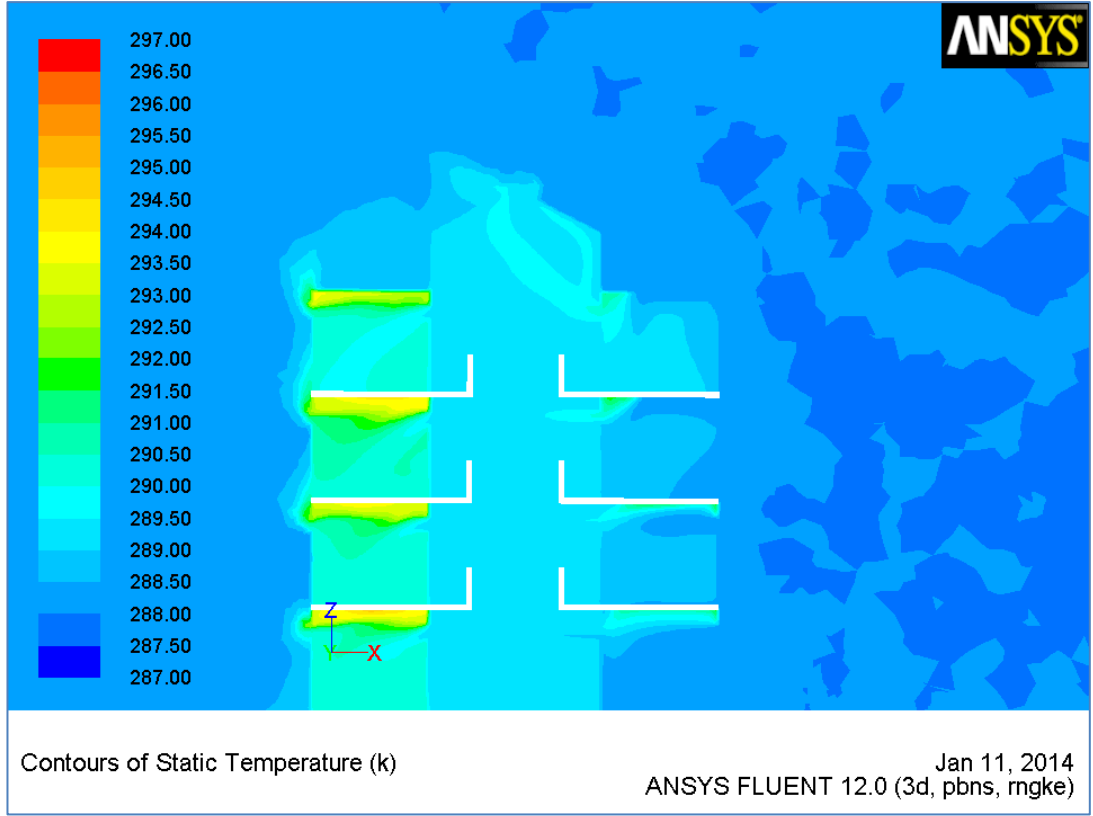
Şekil 4.107 : Model HM3, Y3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



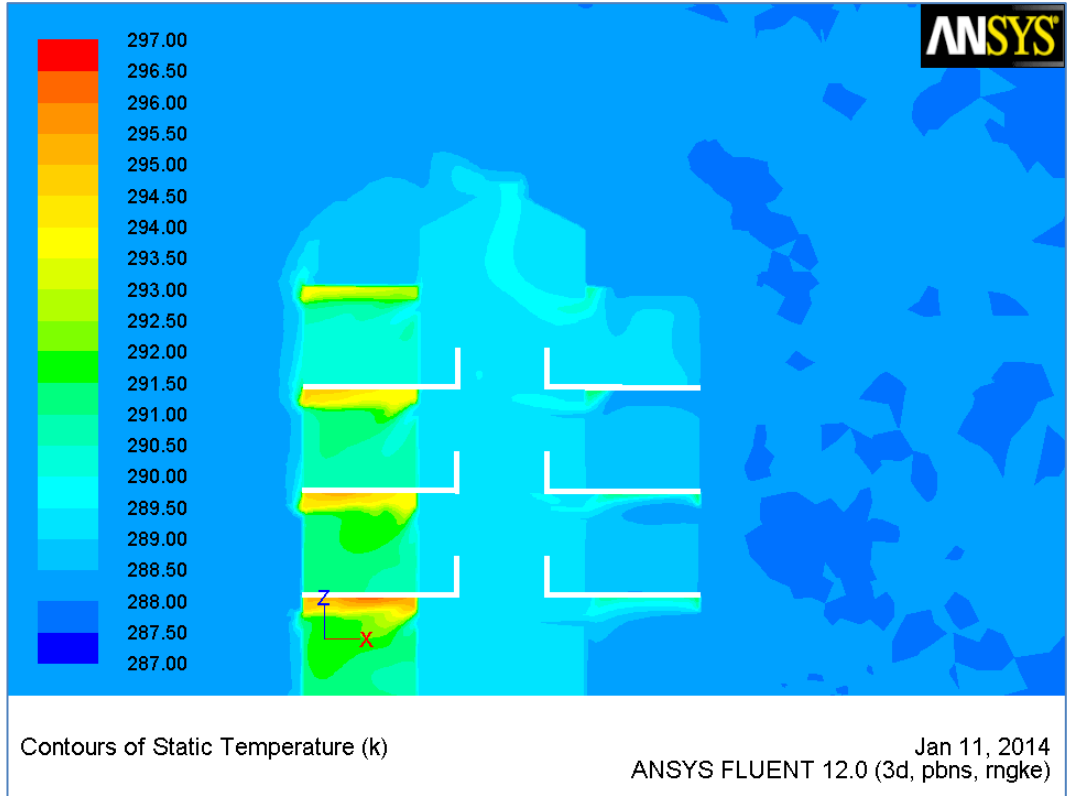
Şekil 4.108 : Model HM3, Y4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



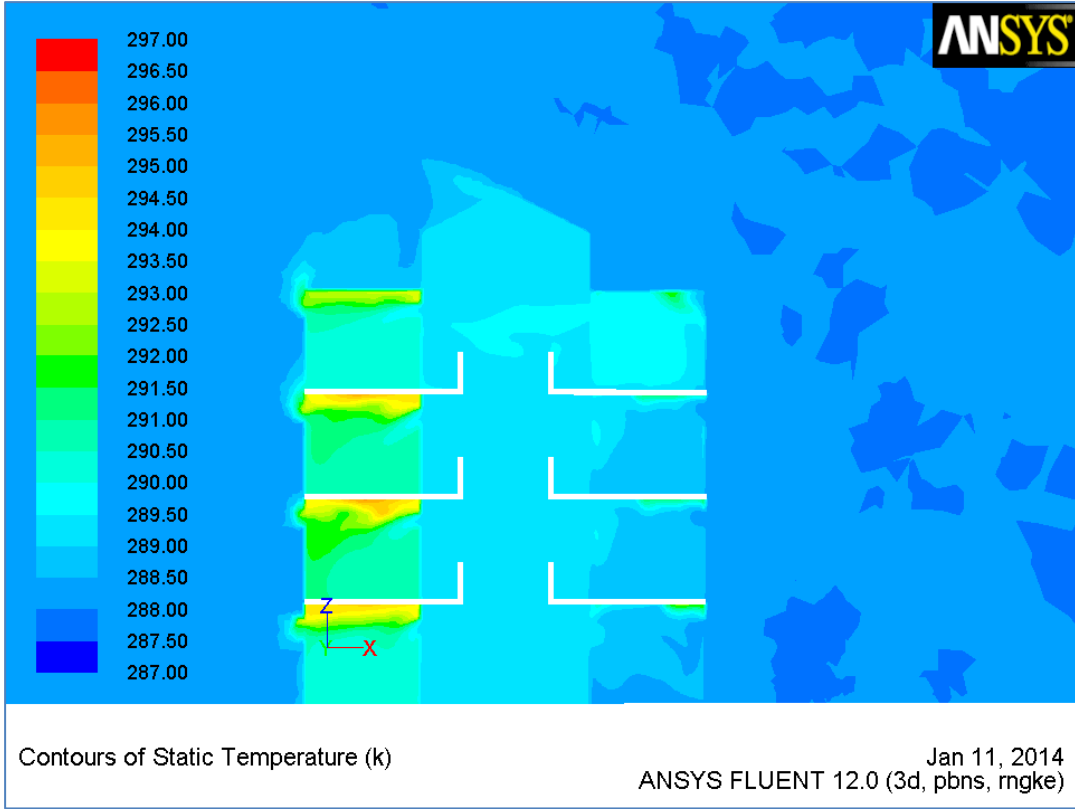
Şekil 4.109 : Model HM3, D1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.110 : Model HM3, D2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.111 : Model HM3, D3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.112: Model HM3, D4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.

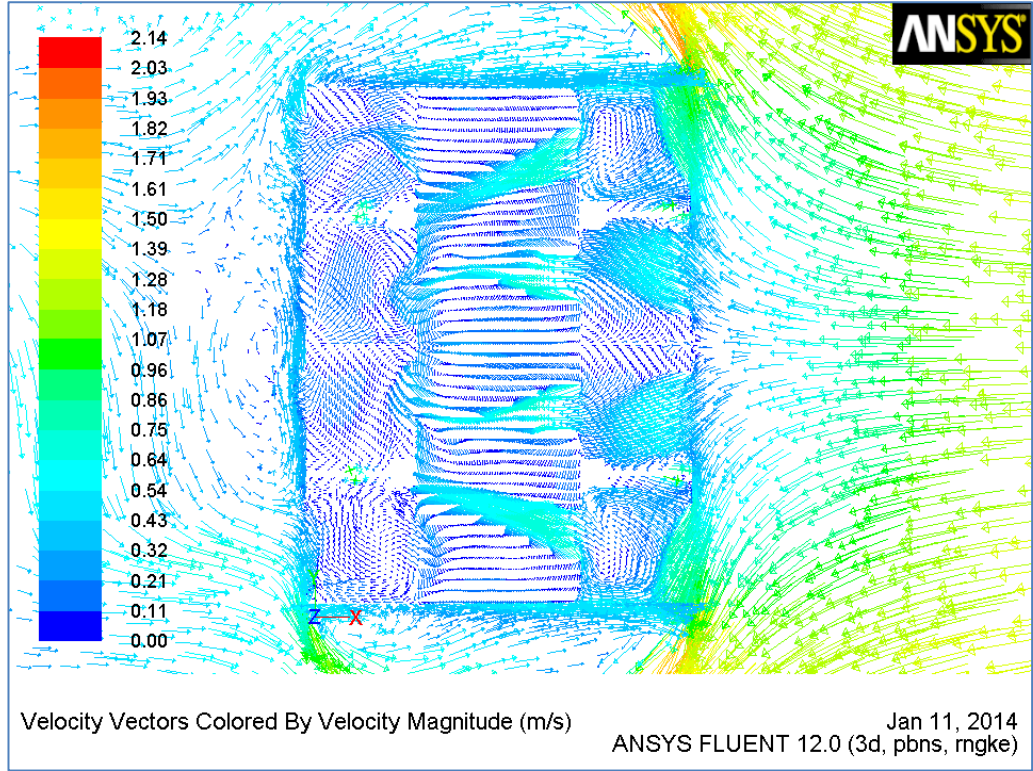
4.2.9 Bina model HM4 için analiz sonuçları

Bina HM4 modelinde bina çatısındaki güney cephesindeki açıklık kapalı, rüzgara dik olan kuzey cephesindeki açıklık ise kısmi açık pozisyonundadır. Odalarda bina dış cephelerinde bulunan (baca ve pencere açıklıkları) ve rüzgara karşı dik olan kapı üstü açıklıklar HM4 modelinde, HM3 modeli gibi biraz kısılmıştır ve analiz sonuçları bu duruma göre incelenmiştir. Belirtilen açıklıklar için belirlenen Pressure-Jump katsayı ve kalınlık değeri Şekil 4.80’de belirtilmiştir.

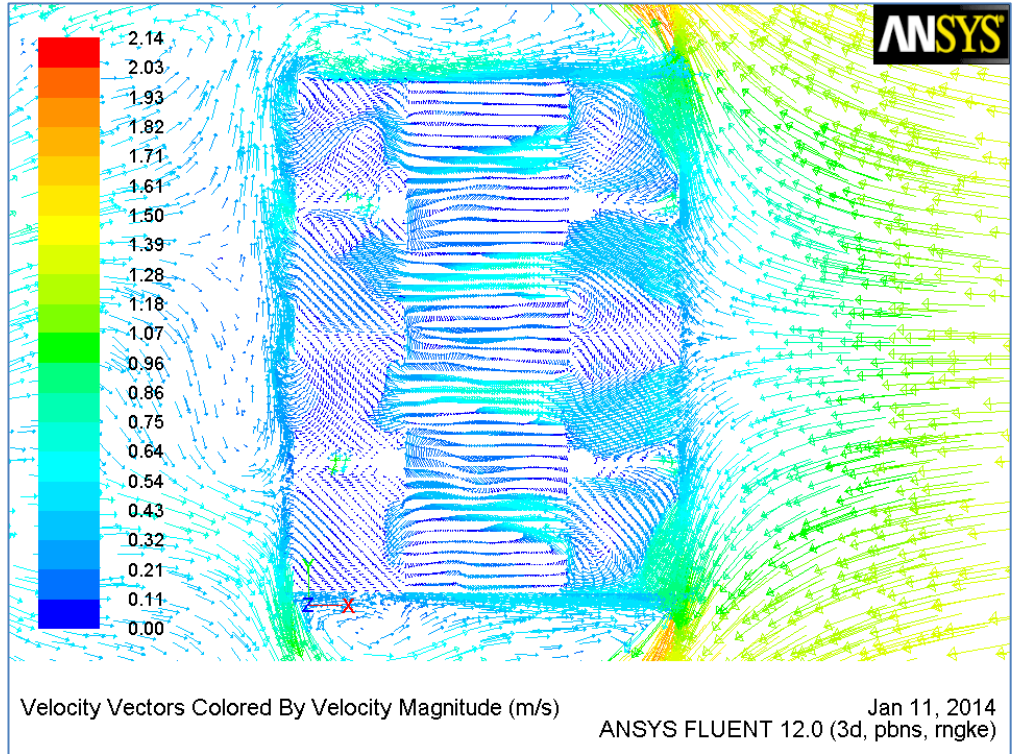
4.2.9.1 Bina modeli HM4 için hız dağılımları

HM2 modelinde kuzey cephesindeki açıklıklardan giren havanın ortalama hızı 0,85 m/sn iken, pencerelerin kısılması ile bu değer %25 azalarak 0,63 m/sn olmuştur. Aynı şekilde, bina güney cephesindeki açıklıklardan giren havanın ortalama hızı 0,43 m/sn iken, pencerelerin kısılması ile bu değer %32 azalarak 0,43 m/sn’den 0,29 m/sn’ye düşmüştür. Baca sağ kısmındaki açıklıkta ise ortalama rüzgar hızı değeri %38 azalarak 0,62 m/sn’den 0,38 m/sn hıza düşmüştür (Çizelge 4.36 – Çizelge 4.38).

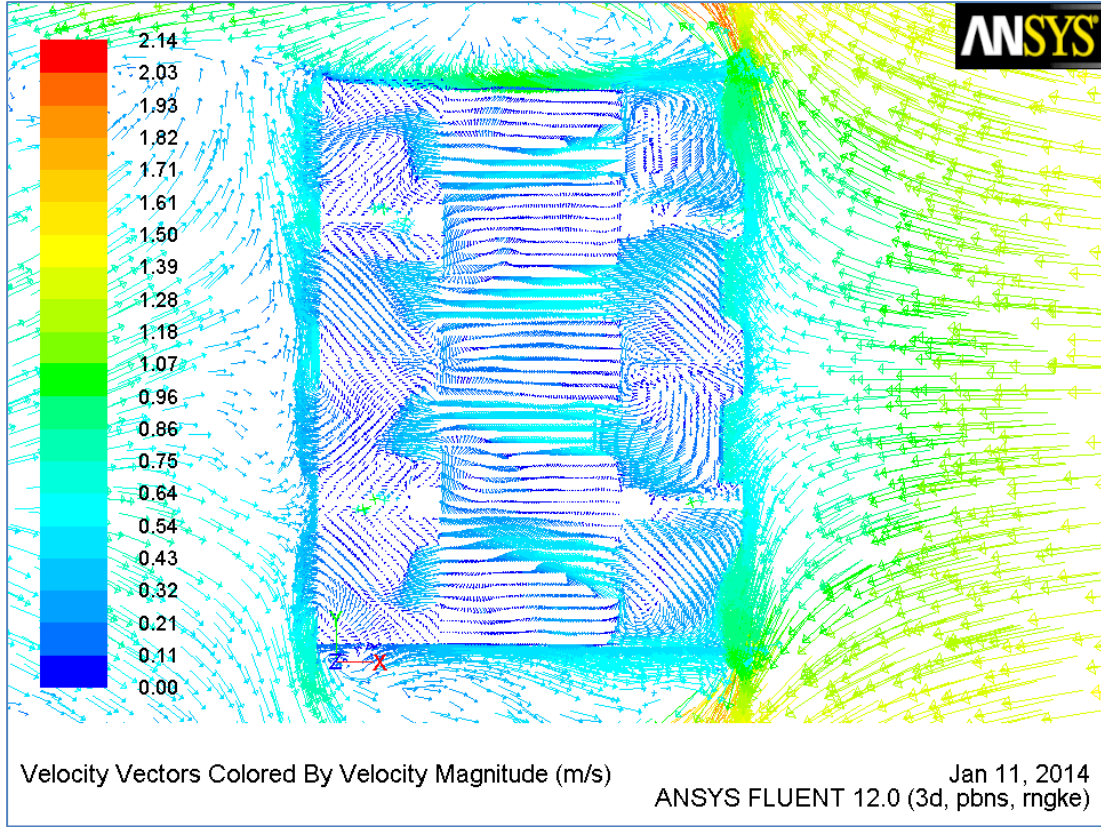
Çizelge 4.7’de belirtilen sınır koşulları ve Çizelge 4.8’de belirtilen düzlemlere göre elde edilen sonuçlar Şekil 4.113 – Şekil 4.124 arasında görülmektedir.



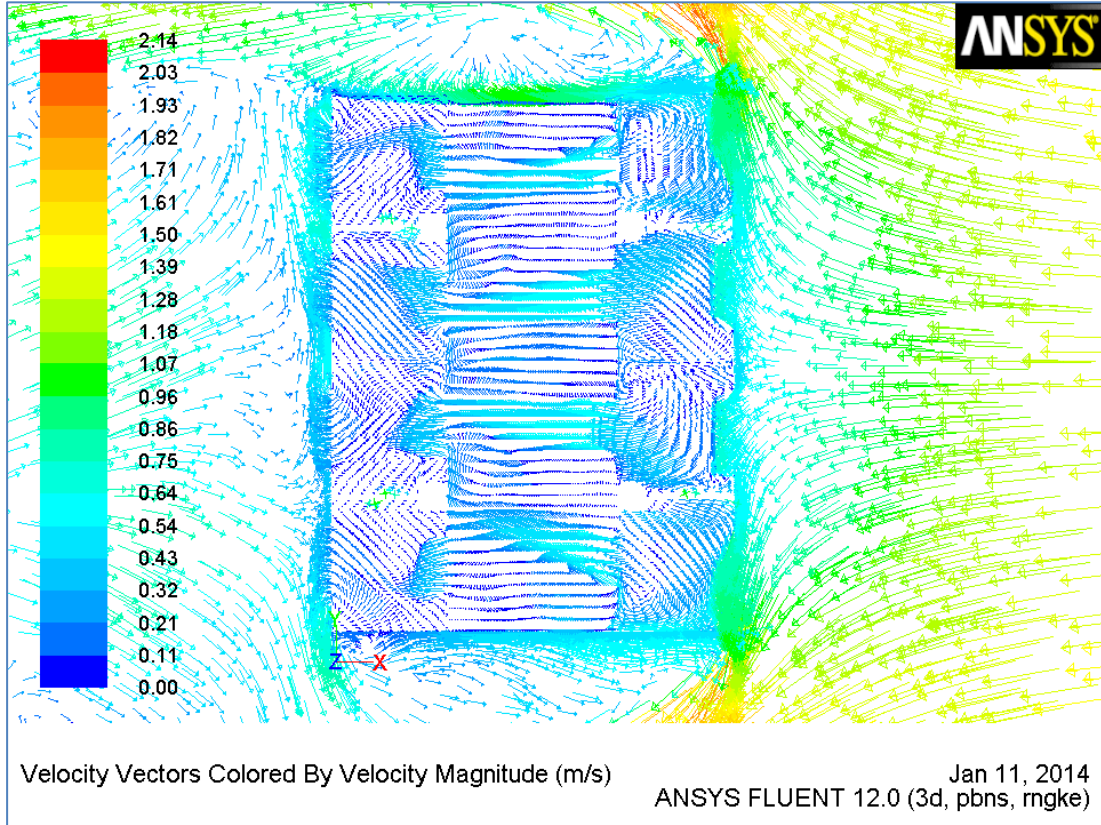
Şekil 4.113 : Model HM4 için Y1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



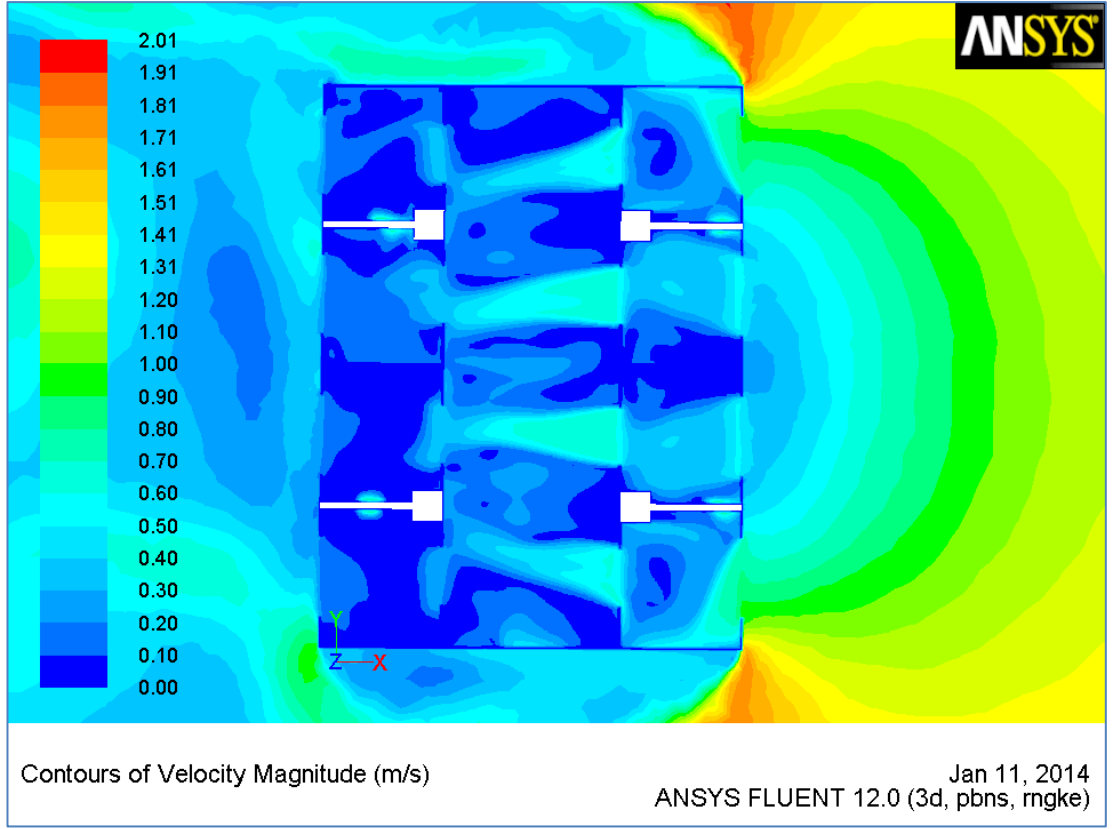
Şekil 4.114 : Model HM4 için Y2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



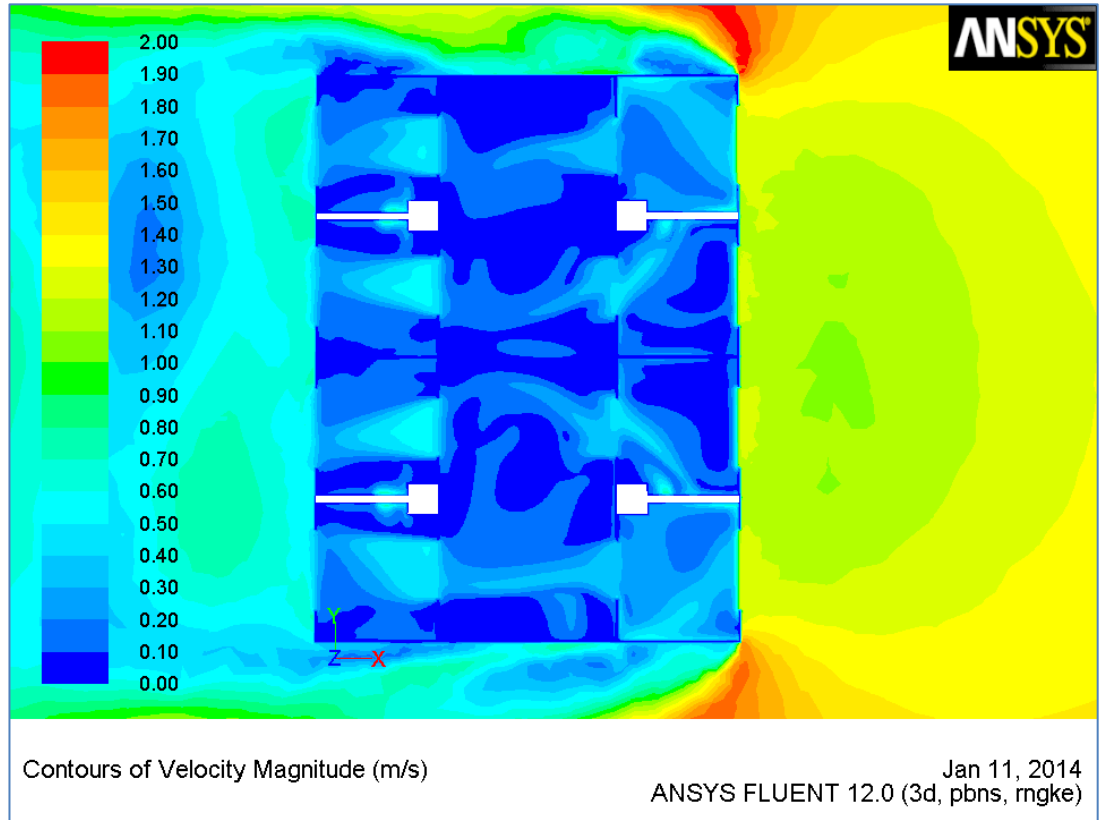
Şekil 4.115 : Model HM4 için Y3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



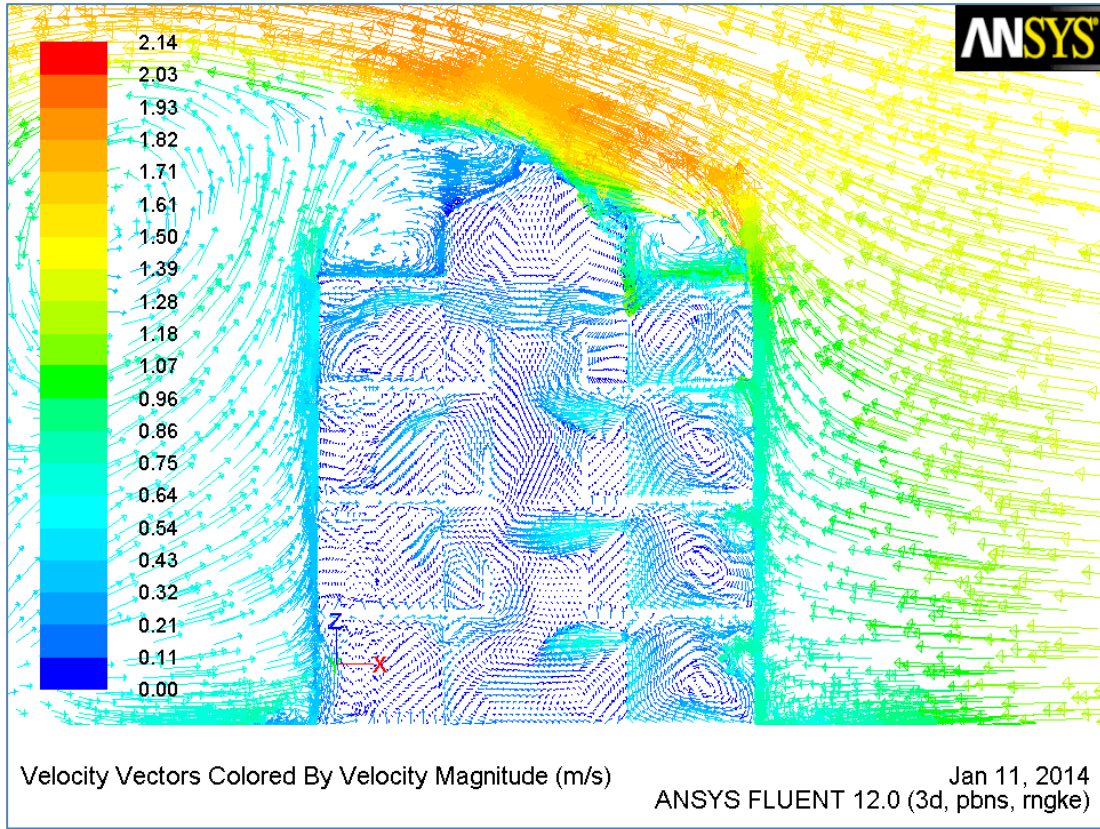
Şekil 4.116 : Model HM4 için Y4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



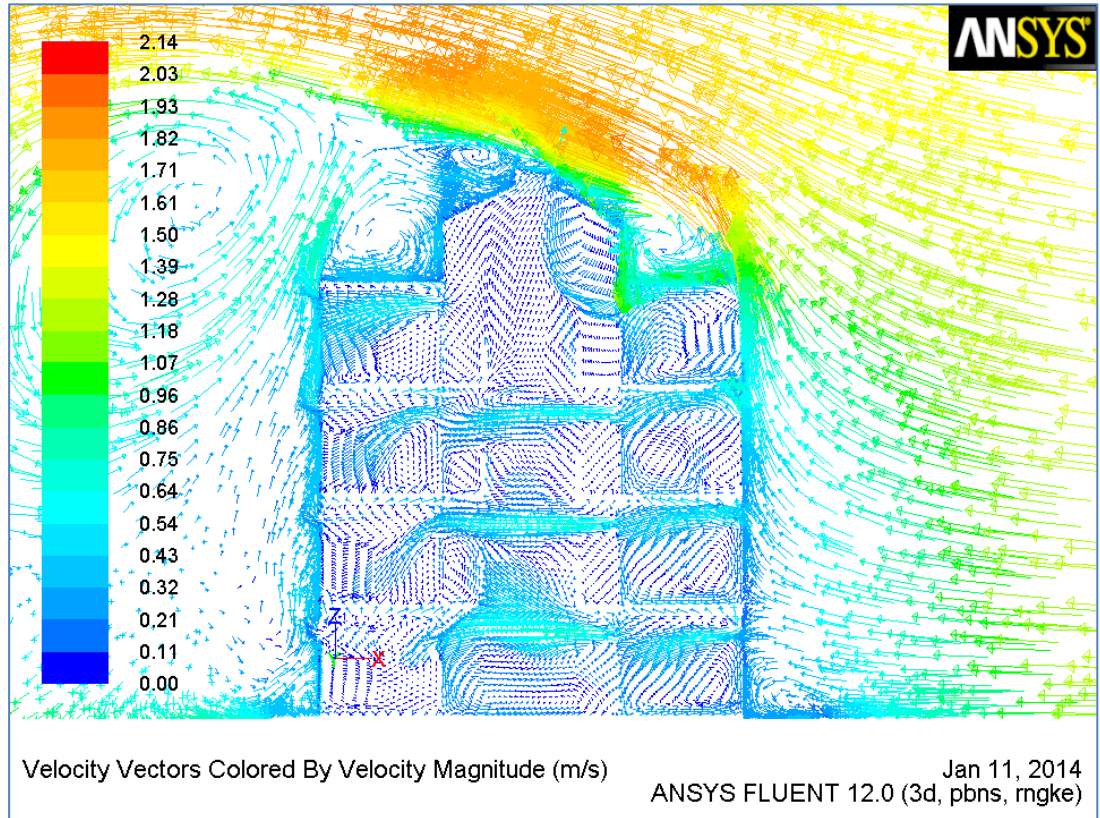
Şekil 4.117 : Model HM4, Y2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



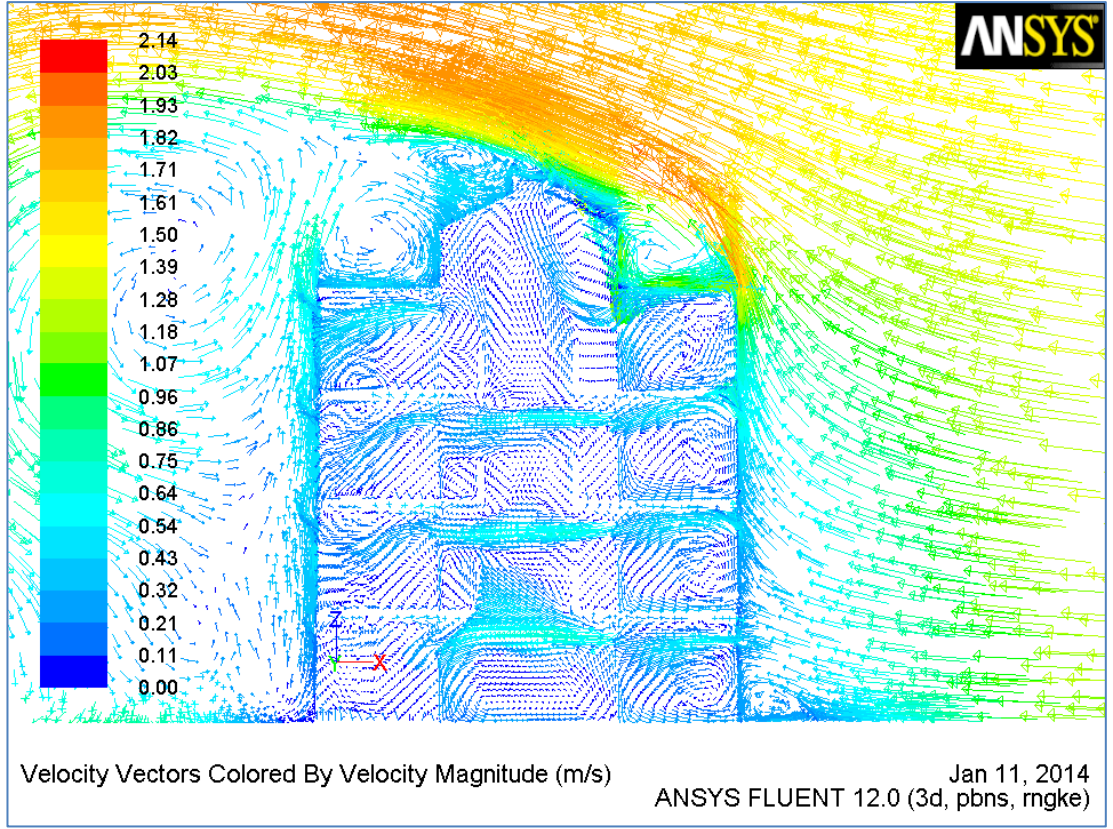
Şekil 4.118 : Model HM4, Y4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



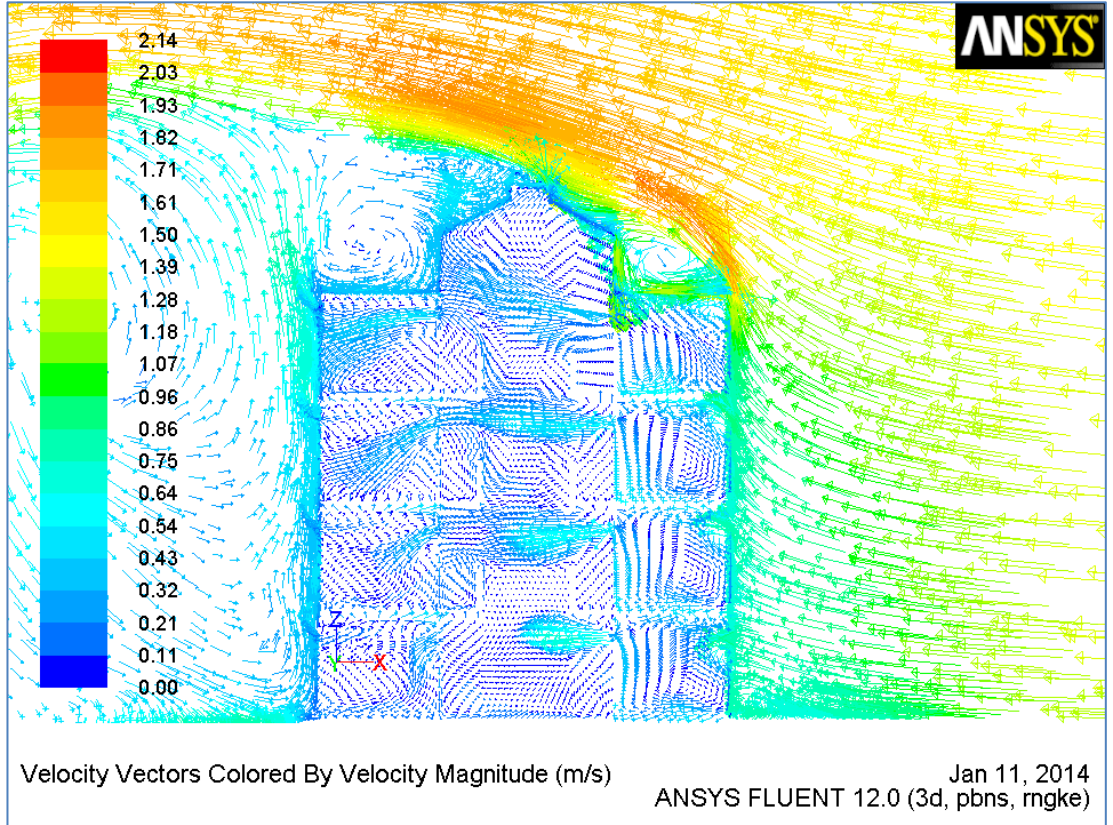
Şekil 4.119 : Model HM4 için D1 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



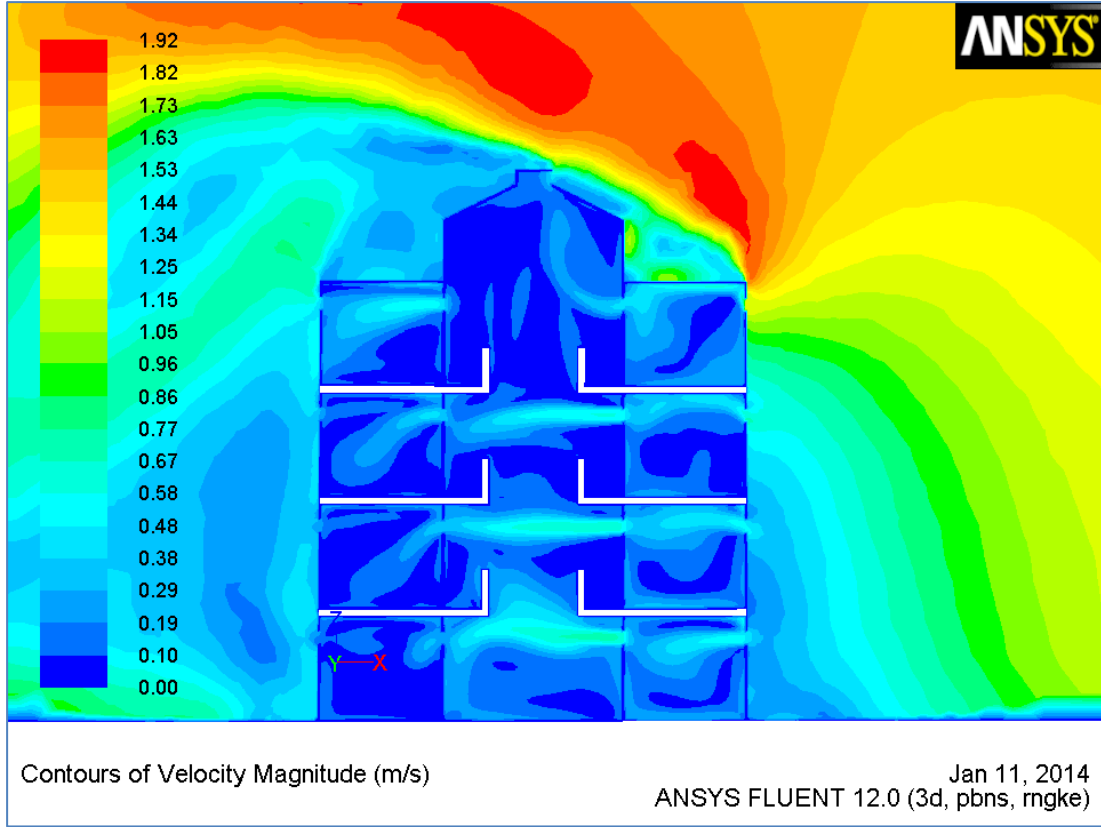
Şekil 4.120 : Model HM4 için D2 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



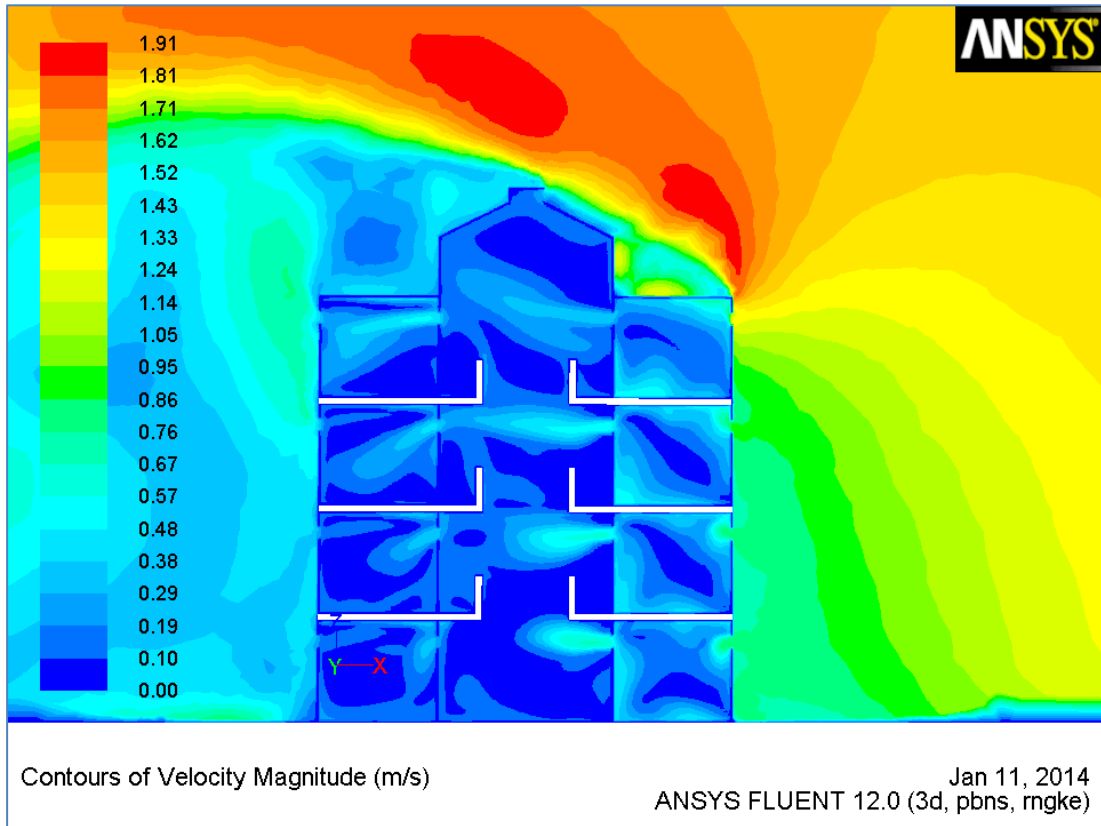
Şekil 4.121 : Model HM4 için D3 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



Şekil 4.122 : Model HM4 için D4 düzlemindeki vektörel hız dağılımı.



Şekil 4.123 : Model HM4, D2 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.124 : Model HM4, D4 düzlemindeki hız dağılımının kontur olarak gösterimi.

Çizelge 4. 36: Bina model HM4 için baca açıklıklarından giren ve çıkan havanın hız değerleri.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Hız Değerleri (m/sn)	
		Baca Açıklık Tarafı	Hız (m/sn)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	0,38
		Güney - Sol	0,00
Toplam			0,19

Çizelge 4.37: Bina model HM4 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.

Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Hız Değerleri (m/s)							
Kat 1	Hız (m/sn)	Kat 2	Hız (m/sn)	Kat 3	Hız (m/sn)	Kat 4	Hız (m/sn)
udf1r1	0,59	udf2r1	0,55	udf3r1	0,50	udf4r1	0,35
udf1r2	0,59	udf2r2	0,55	udf3r2	0,51	udf4r2	0,40
udf1r3	0,59	udf2r3	0,55	udf3r3	0,51	udf4r3	0,39
udf1r4	0,59	udf2r4	0,55	udf3r4	0,48	udf4r4	0,34
uwf1r1	0,83	uwf2r1	0,81	uwf3r1	0,84	uwf4r1	1,01
uwf1r2	0,48	uwf2r2	0,51	uwf3r2	0,62	uwf4r2	0,98
uwf1r3	0,49	uwf2r3	0,52	uwf3r3	0,63	uwf4r3	0,98
uwf1r4	0,86	uwf2r4	0,84	uwf3r4	0,86	uwf4r4	1,03
Ortalama	0,63		0,61		0,62		0,69

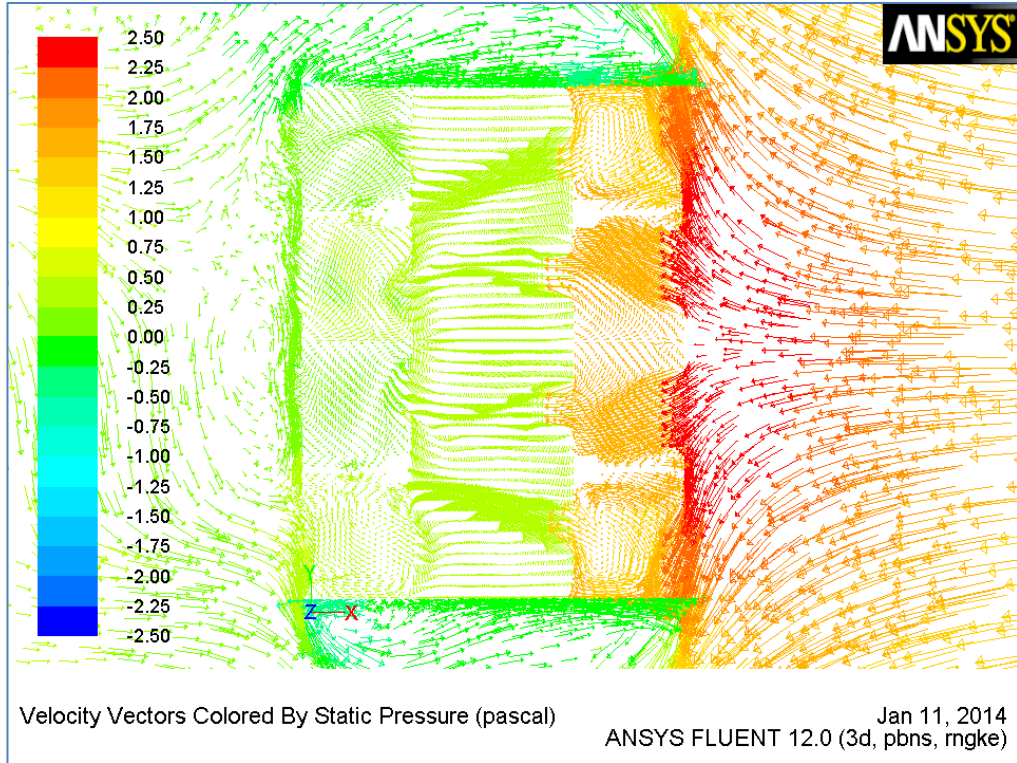
Çizelge 4. 38 : Bina model HM4 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan havanın hız değerleri.

Bina Güney Cephesindeki Pencerelerindeki Hız Değerleri (m/s)							
Kat 1	Hız (m/sn)	Kat 2	Hız (m/sn)	Kat 3	Hız (m/sn)	Kat 4	Hız (m/sn)
udf1l1	0,19	udf2l1	0,26	udf3l1	0,34	udf4l1	0,42
udf1l2	0,28	udf2l2	0,33	udf3l2	0,37	udf4l2	0,42
udf1l3	0,28	udf2l3	0,30	udf3l3	0,35	udf4l3	0,42
udf1l4	0,26	udf2l4	0,31	udf3l4	0,36	udf4l4	0,40
uwf1l1	0,28	uwf2l1	0,19	uwf3l1	0,25	uwf4l1	0,34
uwf1l2	0,19	uwf2l2	0,23	uwf3l2	0,27	uwf4l2	0,33
uwf1l3	0,18	uwf2l3	0,25	uwf3l3	0,27	uwf4l3	0,33
uwf1l4	0,19	uwf2l4	0,22	uwf3l4	0,29	uwf4l4	0,32
Ortalama	0,23		0,26		0,31		0,37

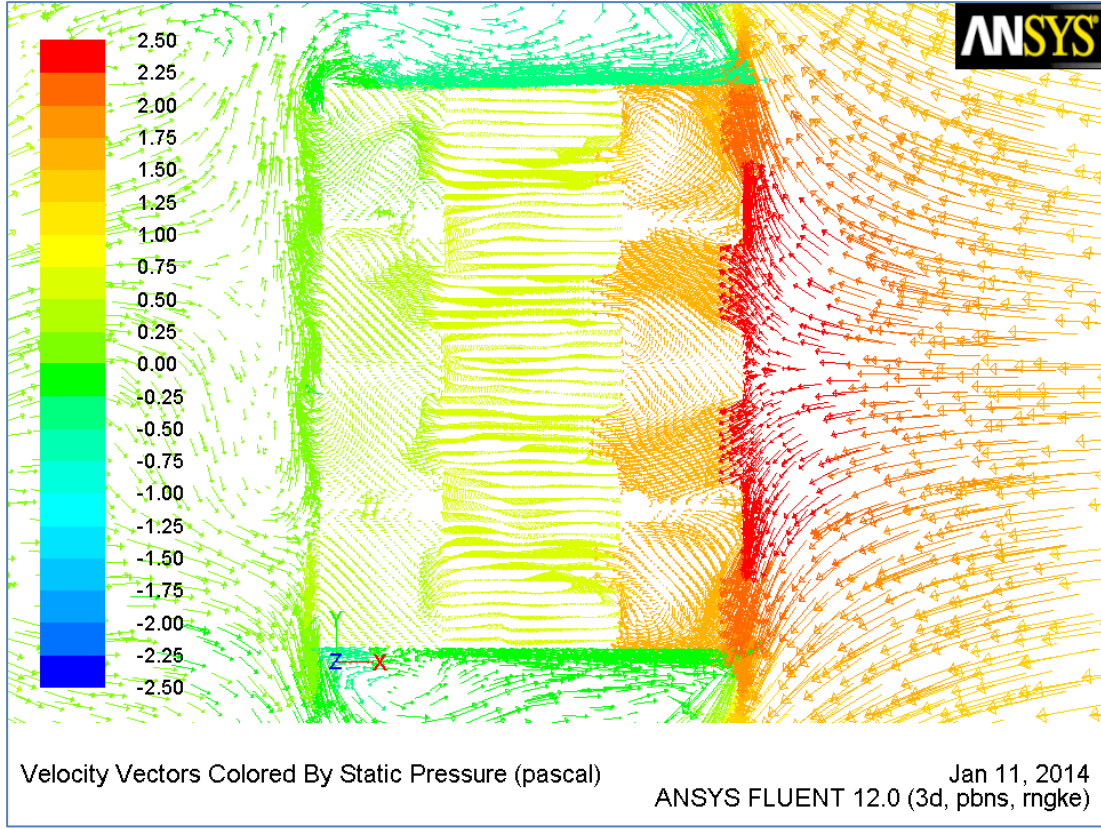
4.2.9.2 Bina modeli HM4 için basınç dağılımları

HM4 Modeli için tanımlanmış düzlemlerdeki basınç dağılımları vektörel ve kontur olarak Şekil 4.125 – Şekil 4.126’da gösterilmiştir. Ayrıca açıklıklar yüzeyindeki basınç dağılımları Çizelge 4.39, Çizelge 4.40, Çizelge 4.41’de verilmiştir. Kuzey cephesindeki açıklık yüzeylerindeki ortalama basınç 1,45 pascal iken, güney cephesi açıklıklarındaki ortalama basınç 0,29 pascal civarındadır. Havanın akış yönü doğrultusunda basınç giderek düşmektedir. Bina kuzey ve güney cephelerindeki açıklıkların katlara göre dağılımındaki basınç değerleri incelendiğinde (Çizelge 4.40, Çizelge 4.41) üst katlara doğru çıkıldıkça basıncın hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir. HM4 Modeli, HM2 modeli ile karşılaştırıldığında bacadaki açıklıklar yüzeyindeki basınç değişimi ortalama 0,85 pascal’dan 0,19 pascal’a düşmüştür.

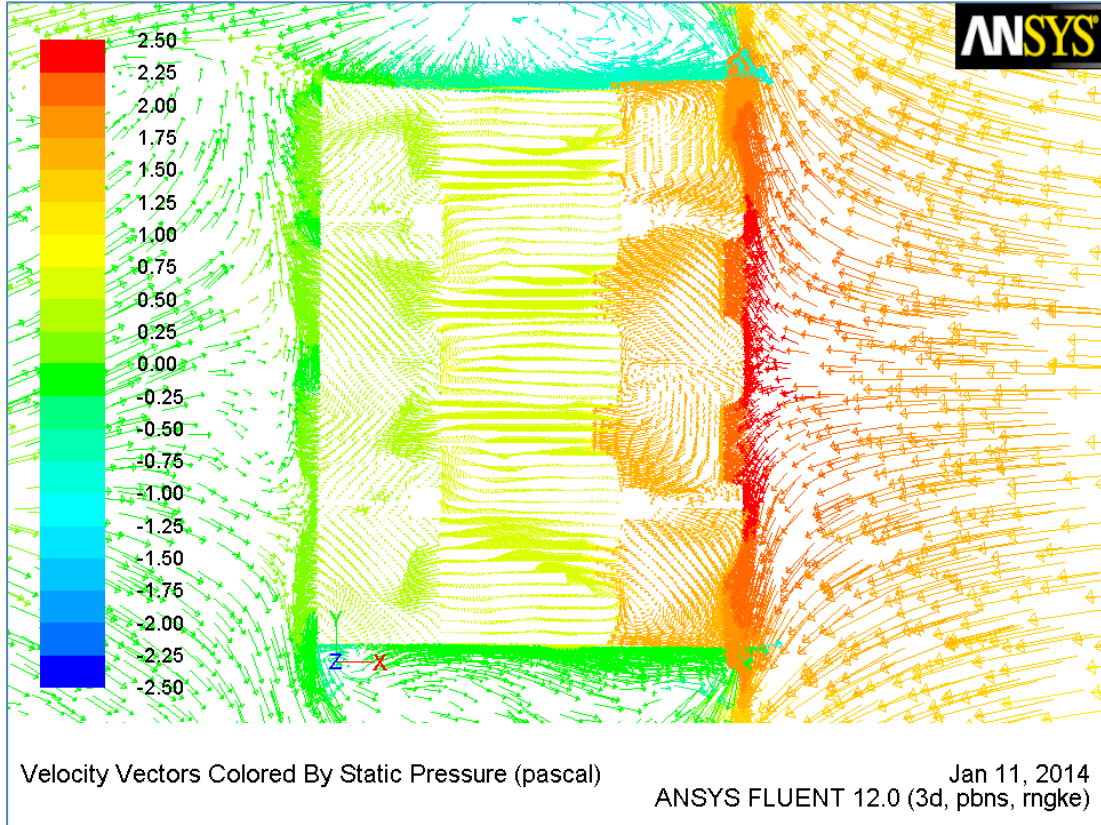
Kuzey cephesindeki açıklık yüzeylerindeki basınç değişimi ortalama 1,64 pascal’dan 1,45 pascal’a, güney cephesindeki açıklık yüzeylerindeki basınç değişimi ise ortalama 0,87 pascal’dan 0,29 pascal’a düşmüştür. Vektör olarak görseller incelendiğinde basınç vektör dağılımının, hız vektör dağılımına benzerlik gösterdiği görülmektedir.



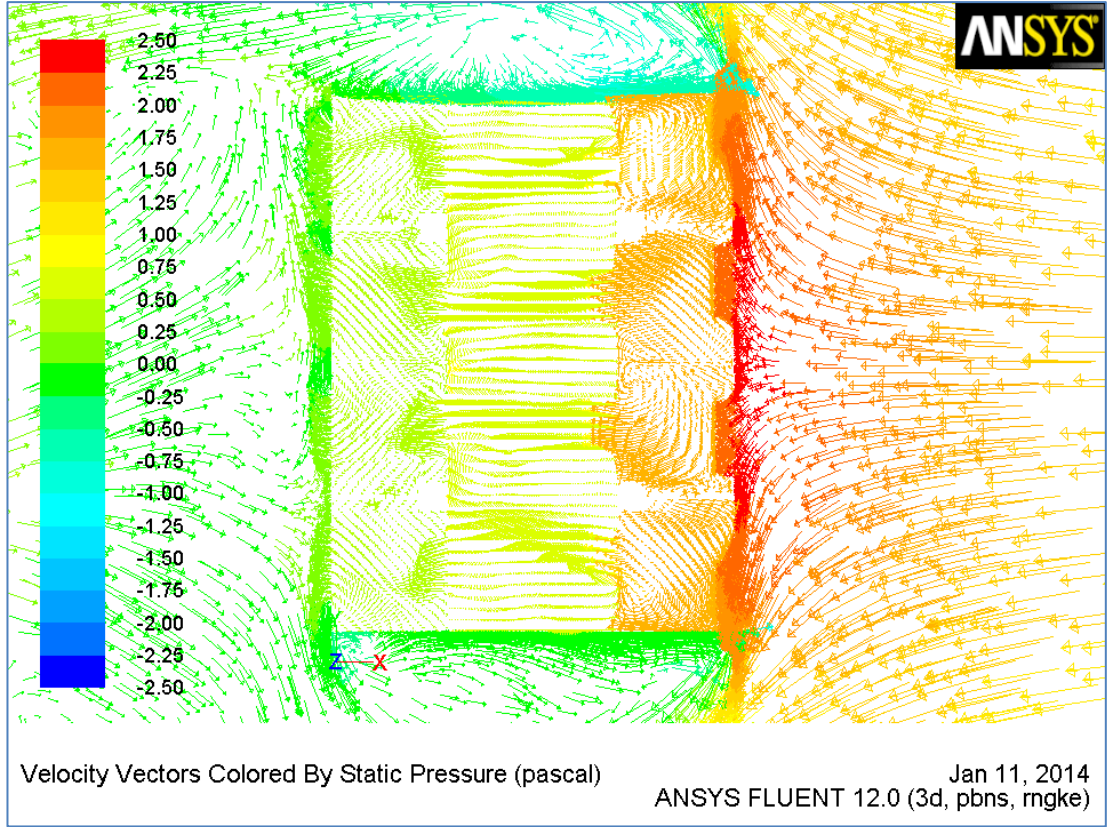
Şekil 4.125 : Model HM4 için Y1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



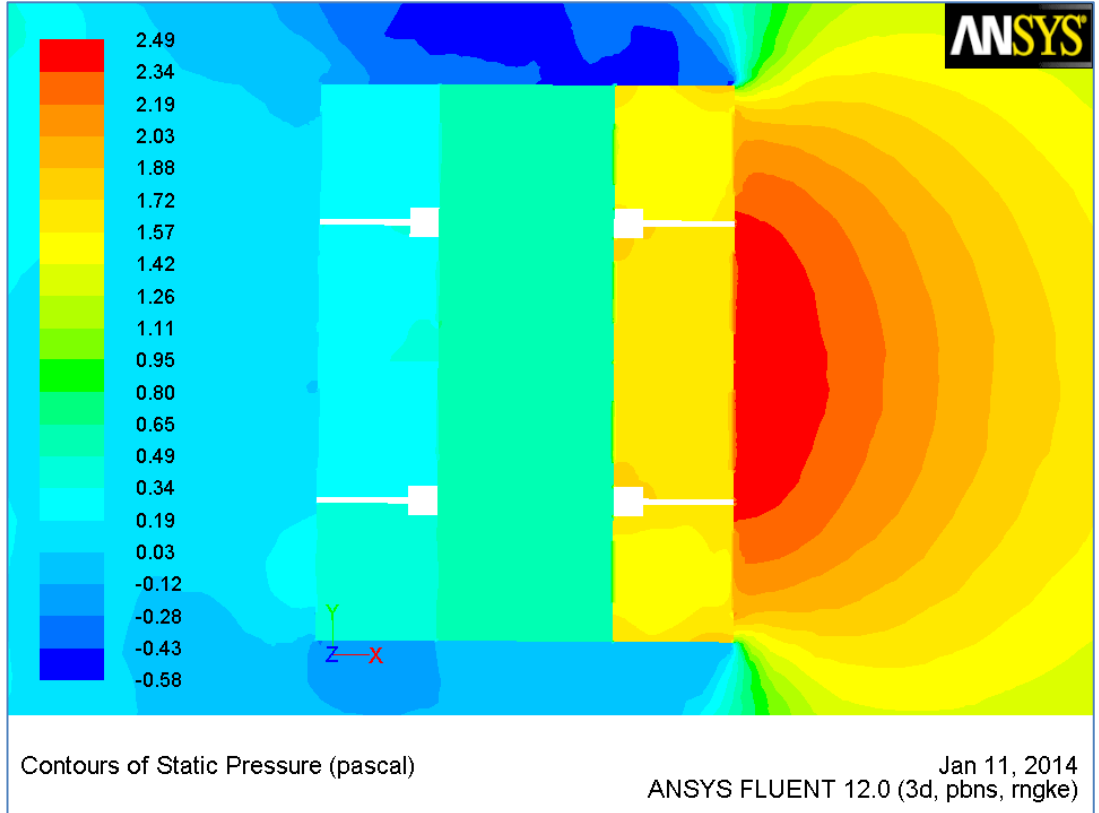
Şekil 4.126 : Model HM4 için Y2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



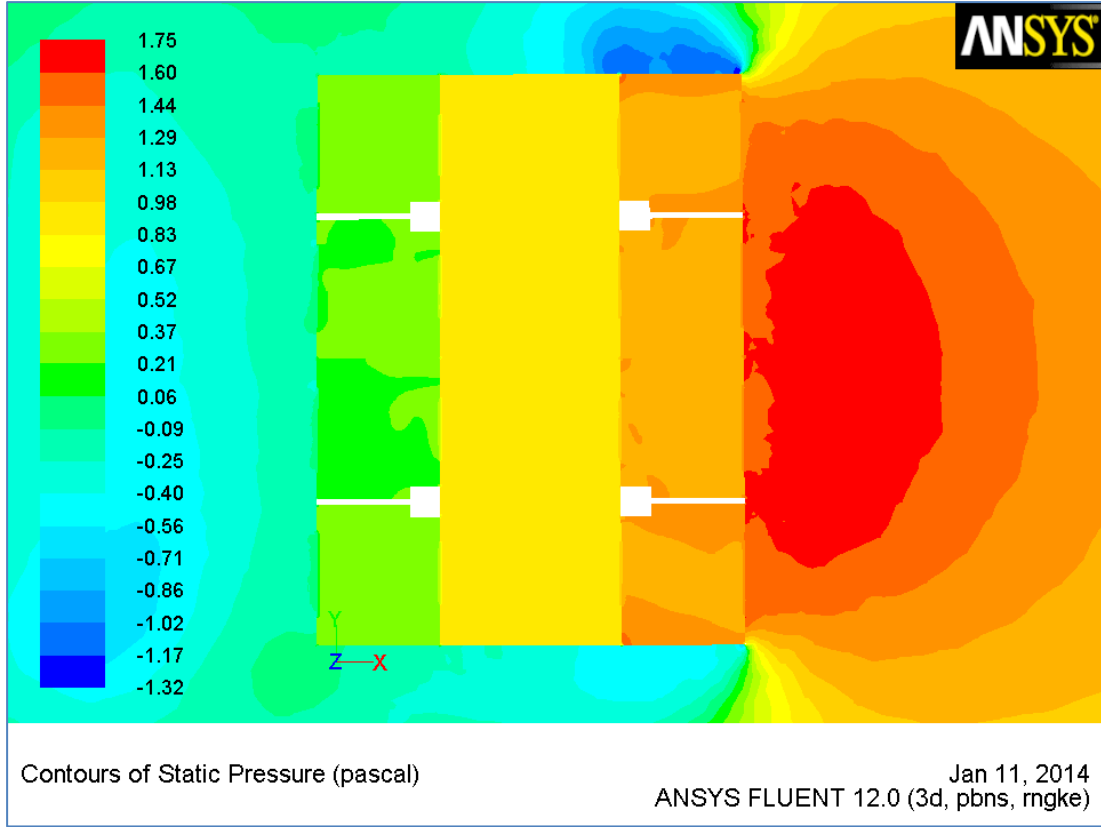
Şekil 4.127 : Model HM4 için Y3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



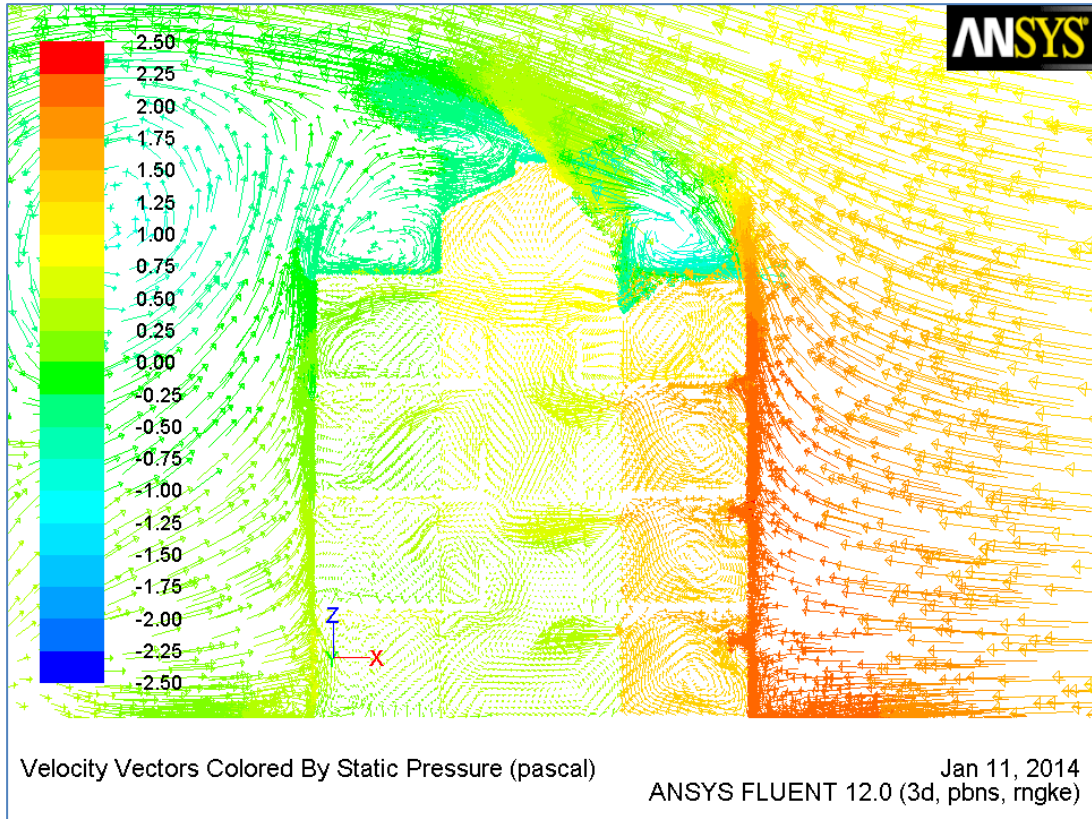
Şekil 4.128 : Model HM4 için Y4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



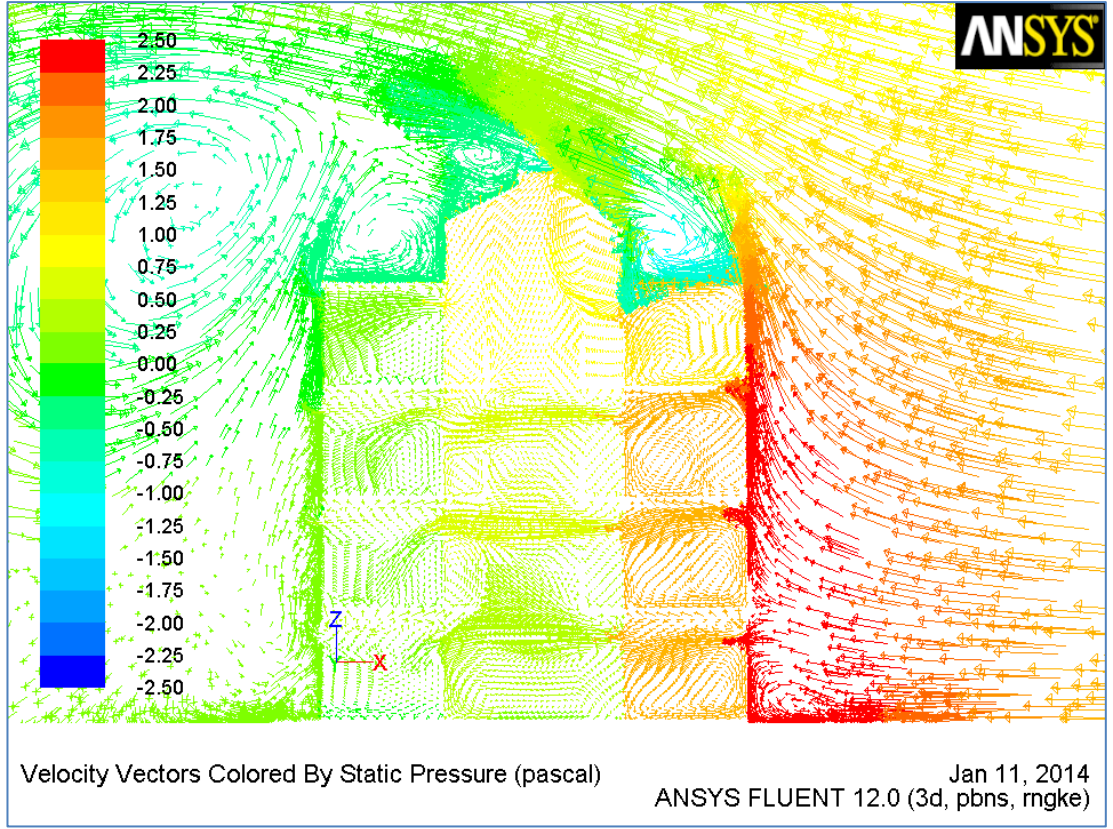
Şekil 4.129 : Model HM4, Y2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



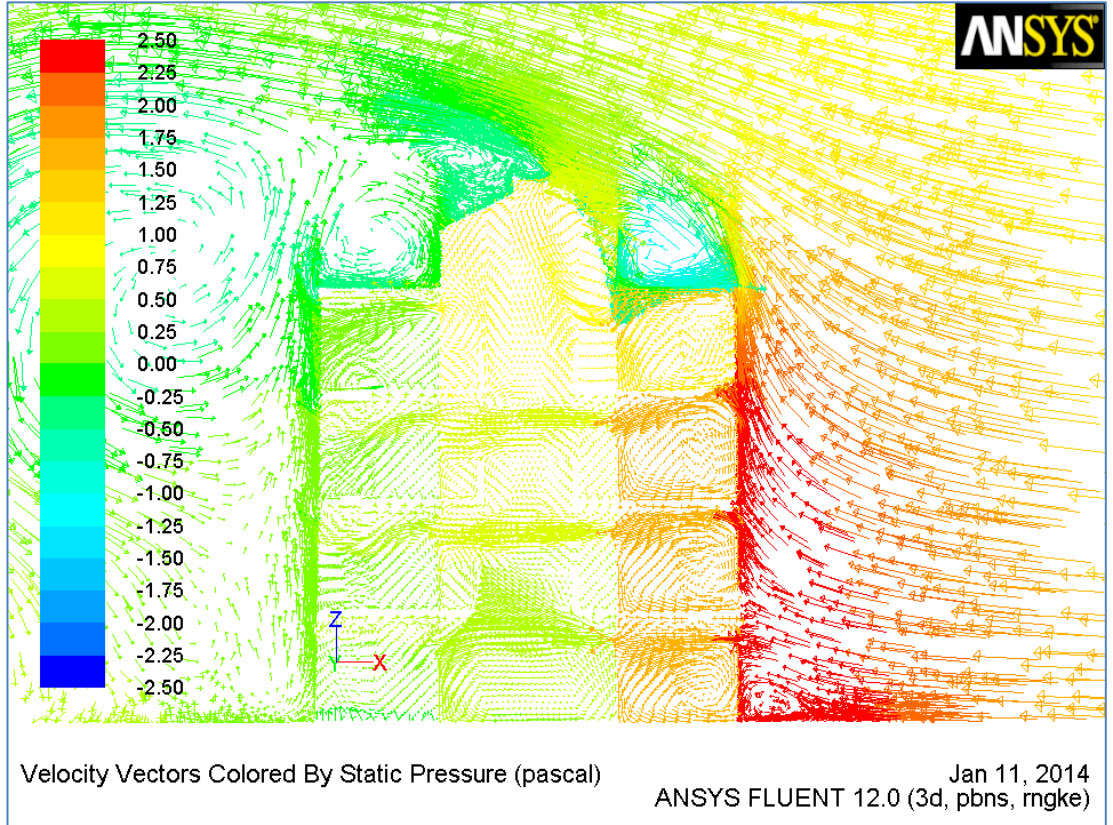
Şekil 4.130 : Model HM4, Y4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



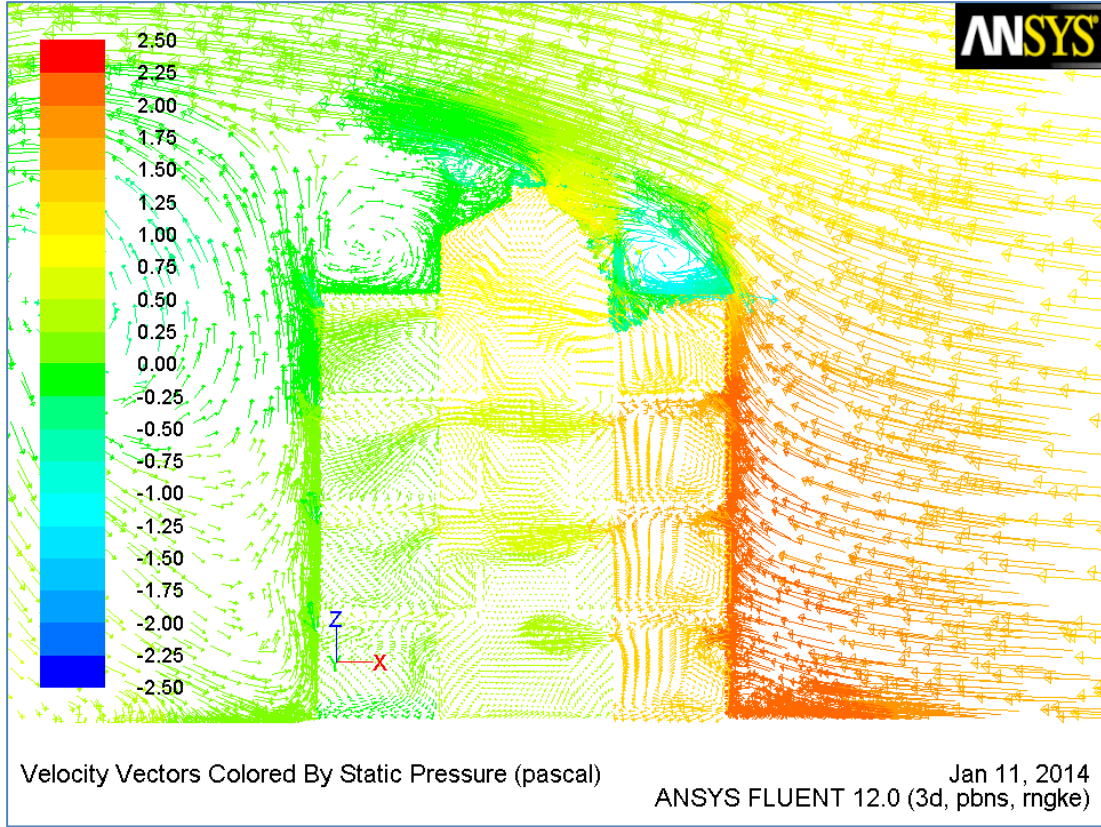
Şekil 4.131 : Model HM4 için D1 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



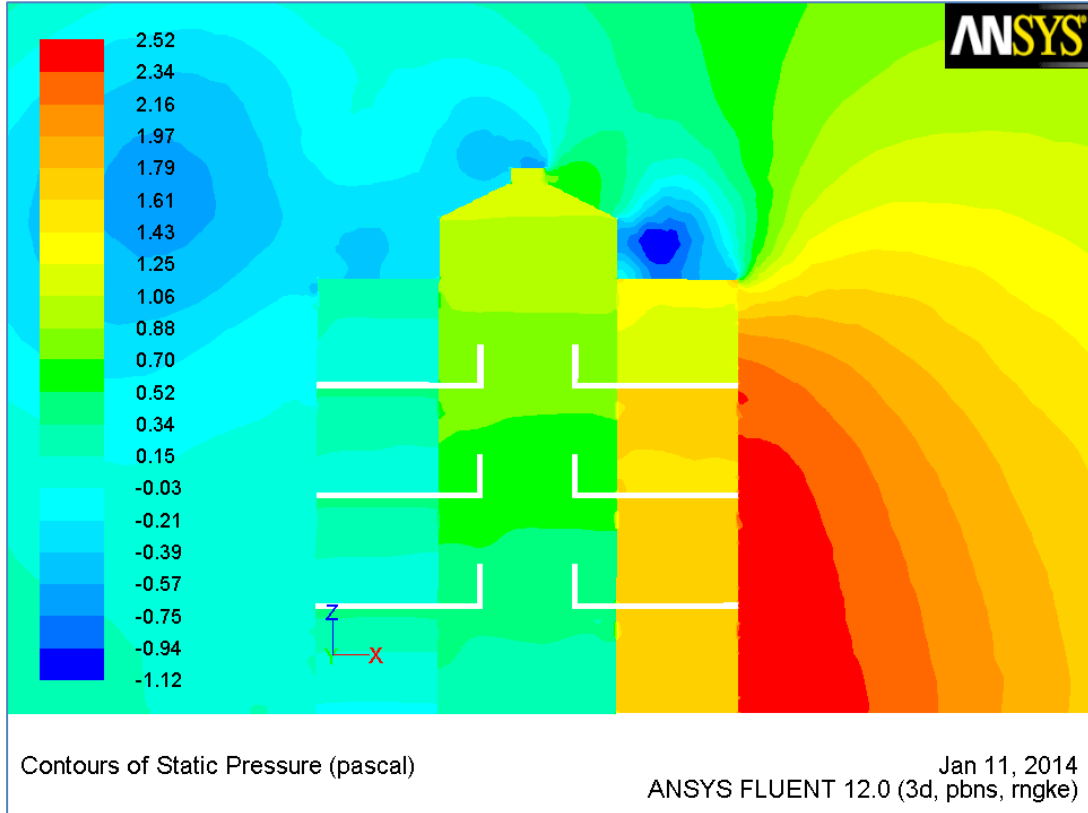
Şekil 4.132 : Model HM4 için D2 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



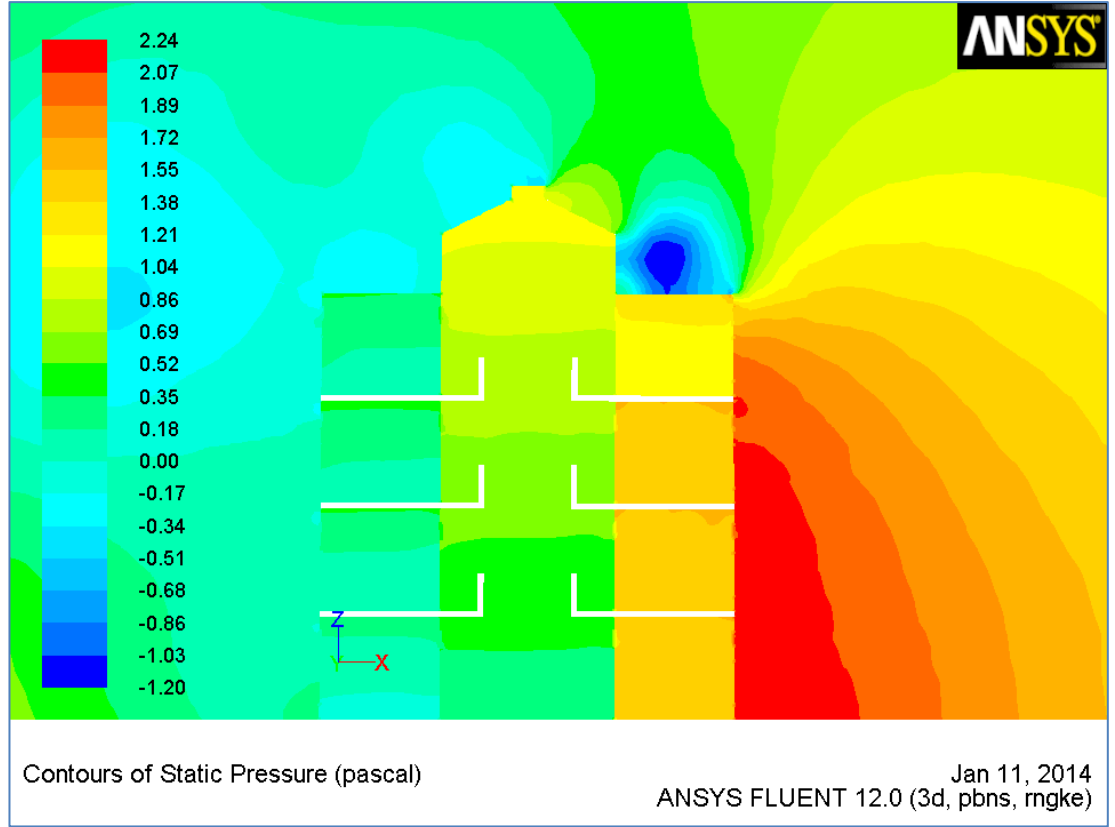
Şekil 4.133 : Model HM4 için D3 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



Şekil 4.134 : Model HM4 için D4 düzlemindeki vektörel basınç dağılımı.



Şekil 4.135 : Model HM4, D2 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.136 : Model HM4, D4 düzlemindeki basınç dağılımının kontur olarak gösterimi.

Çizelge 4. 39 : Bina model HM4 için baca açıklıklarındaki basınç değerleri.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Basınç Dağılımı (pascal)	
		Baca Açıklık Tarafları	P (pascal)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	0,71
		Güney - Sol	-0,32
Ortalama			0,19

Çizelge 4.40 : Bina model HM4 için kuzey cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.

Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Basınç Dağılımı (pascal)							
Kat 1	P (pascal)	Kat 2	P (pascal)	Kat 3	P (pascal)	Kat 4	P (pascal)
udf1r1	1,24	udf2r1	1,31	udf3r1	1,35	udf4r1	1,20
udf1r2	1,43	udf2r2	1,50	udf3r2	1,50	udf4r2	1,22
udf1r3	1,43	udf2r3	1,49	udf3r3	1,50	udf4r3	1,21
udf1r4	1,23	udf2r4	1,29	udf3r4	1,32	udf4r4	1,16
uwf1r1	1,56	uwf2r1	1,61	uwf3r1	1,60	uwf4r1	1,31
uwf1r2	1,75	uwf2r2	1,77	uwf3r2	1,72	uwf4r2	1,30
uwf1r3	1,74	uwf2r3	1,76	uwf3r3	1,71	uwf4r3	1,30
uwf1r4	1,54	uwf2r4	1,58	uwf3r4	1,56	uwf4r4	1,28
Ortalama	1,49		1,54		1,53		1,25

Çizelge 4.41 : Bina model HM4 için güney cephesindeki pencerelerdeki basınç değerleri.

Bina Güney Cephesindeki Pencerelerindeki Basınç Dağılımı (pascal)							
Kat 1	P (pascal)	Kat 2	P (pascal)	Kat 3	P (pascal)	Kat 4	P (pascal)
udf1l1	0,43	udf2l1	0,42	udf3l1	0,38	udf4l1	0,38
udf1l2	0,27	udf2l2	0,29	udf3l2	0,33	udf4l2	0,33
udf1l3	0,28	udf2l3	0,34	udf3l3	0,35	udf4l3	0,35
udf1l4	0,20	udf2l4	0,28	udf3l4	0,34	udf4l4	0,34
uwf1l1	0,45	uwf2l1	0,37	uwf3l1	0,28	uwf4l1	0,18
uwf1l2	0,22	uwf2l2	0,23	uwf3l2	0,21	uwf4l2	0,15
uwf1l3	0,25	uwf2l3	0,29	uwf3l3	0,25	uwf4l3	0,16
uwf1l4	0,15	uwf2l4	0,21	uwf3l4	0,24	uwf4l4	0,21
Ortalama	0,28		0,30		0,30		0,26

4.2.9.3 Bina modeli HM4 için kütle dengesi

Analiz için tanımlanan açıklıklardaki havalandırma yüzeylerinden giren ve çıkan hava miktarları Çizelge 4.42 - Çizelge 4.44 'te verilmiştir.

Açıklıkların durumu göz önüne alındığında pencerelerden giren havanın miktarı HM2 modeline göre azalmıştır. İnceleme öncelikle havanın ilk olarak içeriye girdiği kuzey cephesinde yapılmıştır, kuzey cephesindeki pencerelerden geçen hava miktarı %39 azalarak ortalama 0,92 kg/sn'den 0,56 kg/sn'ye gerilemiştir. Çizelge 4.43 verilerinde kuzey cephesindeki her bir katta bulunan ofislerdeki pencerelerdeki debi değerleri bilgisi verilmiştir. Çizelge 4.44 verilerinde ise güney cephesine ait debi değerleri ayrıntılı olarak mevcuttur. Güney cephesindeki pencerelerden geçen hava miktarı %37 azalarak ortalama 0,54 kg/sn'den 0,34 kg/sn'ye düşmüştür. Bacada bulunan açıklıklardan geçen hava miktarı ise %39 azalarak ortalama 6,07 kg/sn'den 3,72 kg/sn'ye düşmüştür.

Çizelge 4.42 : Bina model HM4 için bacadan giren ve çıkan hava miktarları.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bacada Bulunan Açıklıklardaki Debi Değerleri (kg/s)	
		Baca Açıklık Tarafı	Debi (kg/s)
Kuzey	1,5	Kuzey - Sağ	3,72
		Güney - Sol	0,00
Toplam			3,72

Çizelge 4.43 : Bina model HM4 için kuzey cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.

Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bina Kuzey Cephesindeki Pencerelerindeki Debi Değerleri (kg/s)							
		Kat 1	Debi (kg/s)	Kat 2	Debi (kg/s)	Kat 3	Debi (kg/s)	Kat 4	Debi (kg/s)
KUZEY	1,5	udf1r1	-0,64	udf2r1	-0,61	udf3r1	-0,54	udf4r1	-0,37
		udf1r2	-0,71	udf2r2	-0,68	udf3r2	-0,61	udf4r2	-0,38
		udf1r3	-0,72	udf2r3	-0,68	udf3r3	-0,61	udf4r3	-0,38
		udf1r4	-0,63	udf2r4	-0,59	udf3r4	-0,53	udf4r4	-0,34
		uwf1r1	0,64	uwf2r1	0,61	uwf3r1	0,54	uwf4r1	0,37
		uwf1r2	0,71	uwf2r2	0,68	uwf3r2	0,61	uwf4r2	0,38
		uwf1r3	0,72	uwf2r3	0,68	uwf3r3	0,61	uwf4r3	0,38
		uwf1r4	0,63	uwf2r4	0,59	uwf3r4	0,53	uwf4r4	0,34
Toplam		0,00		0,00		0,00		0,00	

Çizelge 4. 44: Bina model HM4 için güney cephesindeki pencerelerden giren ve çıkan hava miktarları.

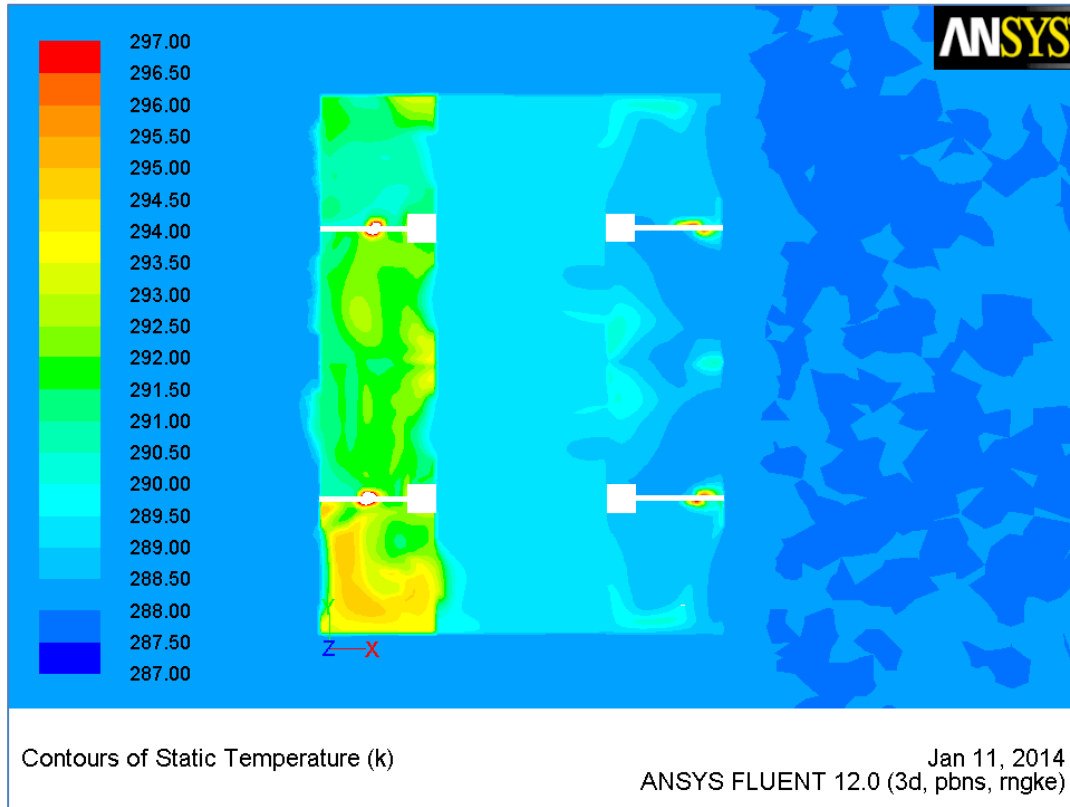
Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı (m/sn)	Bina Güney Cephesindeki Pencereleindeki Kütlesel Debi Değerleri (kg/s)							
		Kat 1	Debi (kg/s)	Kat 2	Debi (kg/s)	Kat 3	Debi (kg/s)	Kat 4	Debi (kg/s)
KUZEY	1,5	udf1l1	-0,14	udf2l1	0,24	udf3l1	0,39	udf4l1	0,50
		udf1l2	0,24	udf2l2	0,37	udf3l2	0,43	udf4l2	0,50
		udf1l3	0,21	udf2l3	0,34	udf3l3	0,41	udf4l3	0,49
		udf1l4	0,25	udf2l4	0,33	udf3l4	0,41	udf4l4	0,48
		uwf1l1	0,15	uwf2l1	-0,25	uwf3l1	-0,39	uwf4l1	-0,51
		uwf1l2	-0,25	uwf2l2	-0,37	uwf3l2	-0,43	uwf4l2	-0,50
		uwf1l3	-0,21	uwf2l3	-0,35	uwf3l3	-0,41	uwf4l3	-0,49
		uwf1l4	-0,26	uwf2l4	-0,34	uwf3l4	-0,42	uwf4l4	-0,48
Toplam		-0,01		-0,01		-0,01		-0,01	

4.2.9.4 Bina model HM4 için sıcaklık dağılımları

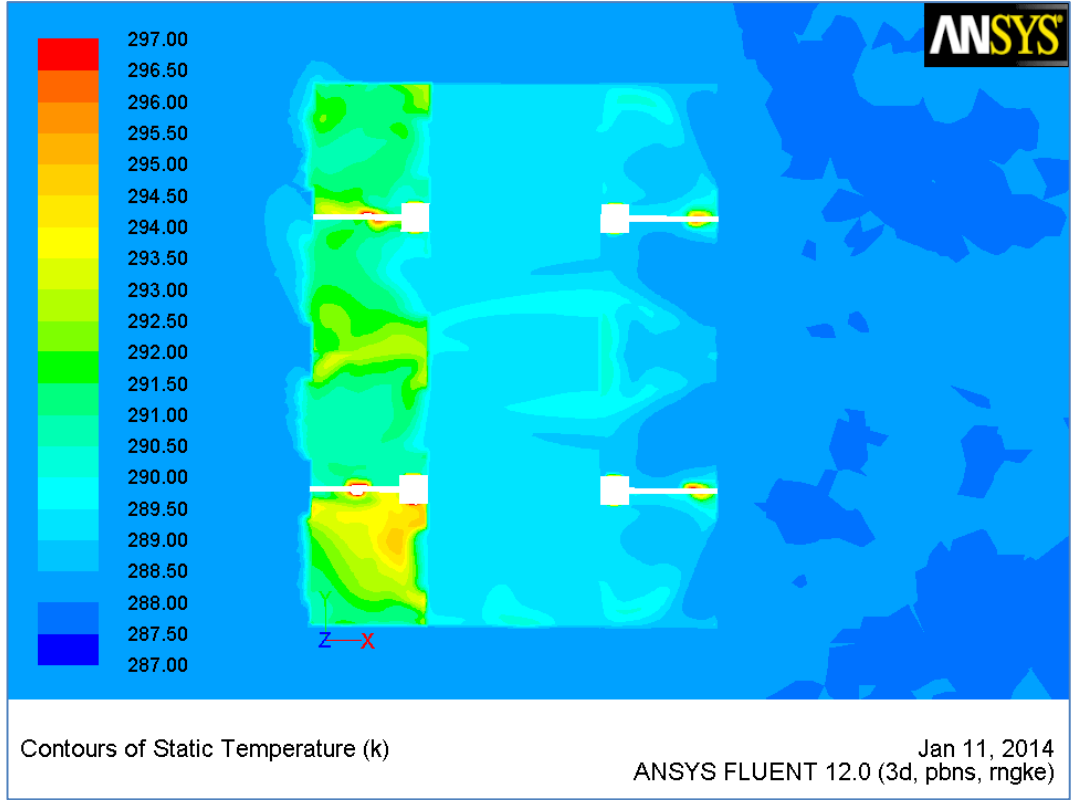
Analiz için uygulanan rüzgarın ortalama sıcaklığı 15°C ($\approx 288\text{ K}$), ortalama hız $1,5\text{ m/sn}$ ve her odada bulunan radyatörlerin ısı akı değeri 1400 W/m^2 olarak alınmıştır. Çizelge 8’de belirtilen düzlemlere göre elde edilen sonuçlar Şekil 4.137 – Şekil 4.148 arasında görülmektedir.

Radyatörün bulunduğu yüzeylerde ortalama sıcaklık $297\text{ K} - 299\text{ K}$ arasında ve odalardaki ortalama sıcaklık 292 K ’dir. Açıklıklar kısmen kapatılarak hacim içine alınan havanın ortamda daha uzun süre kalması sağlanmış bu durumda da ortam ortalama sıcaklığı artmıştır.

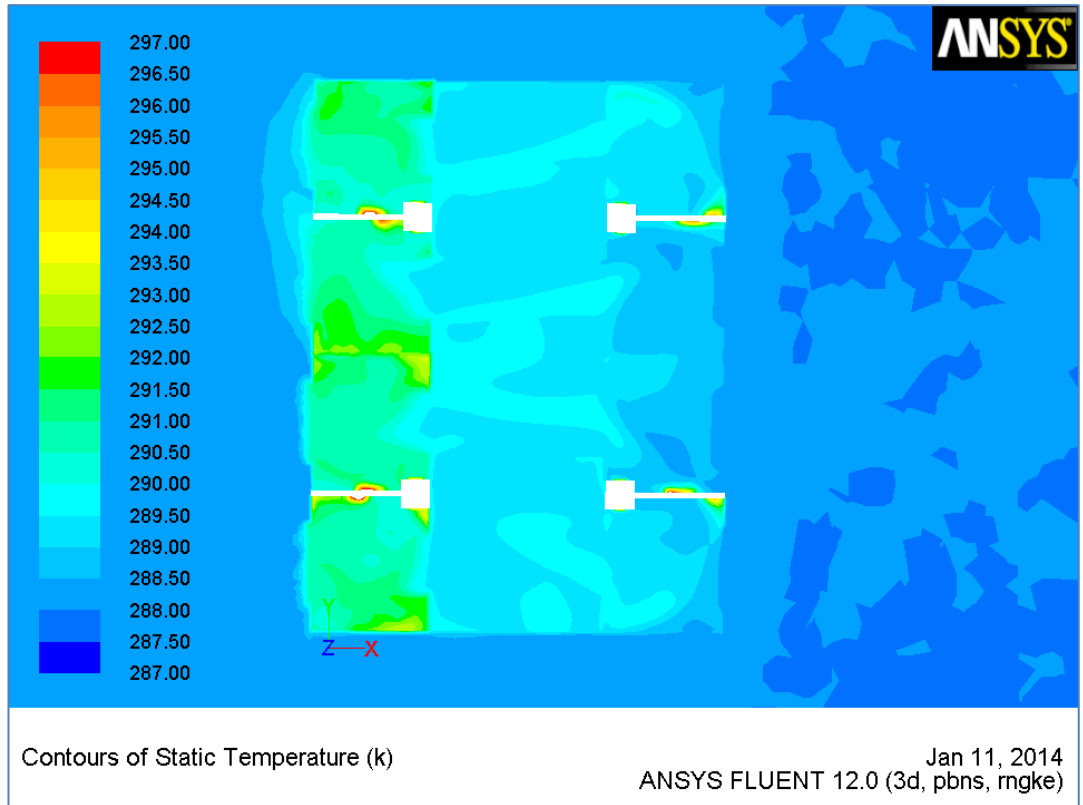
Rüzgar hava akımının düzenli olmaması ortamda homojen olarak sıcaklık dağılımını elde etmememize neden olmaktadır. Çizelge 4.8’de belirtilen düzlemlerden elde edilen Şekil 4.137 – Şekil 4.148 arasında homojen olmayan sıcaklık dağılımı görülmektedir.



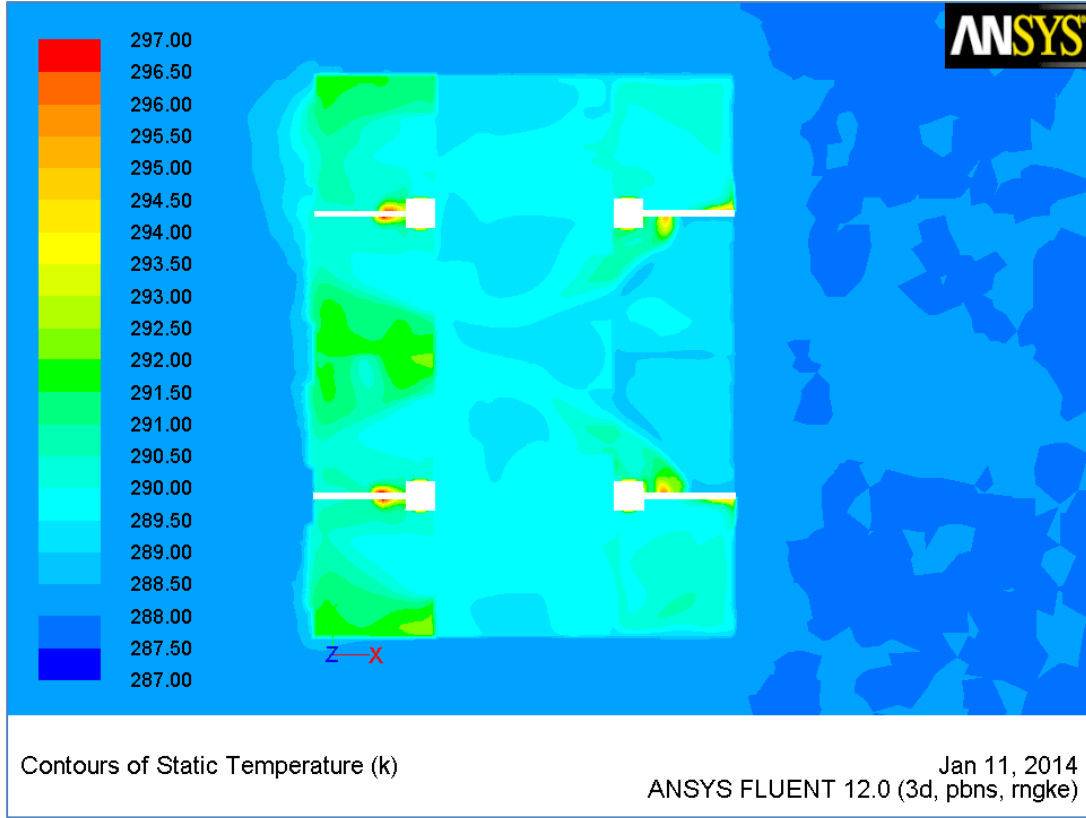
Şekil 4.137 : Model HM4, Y1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



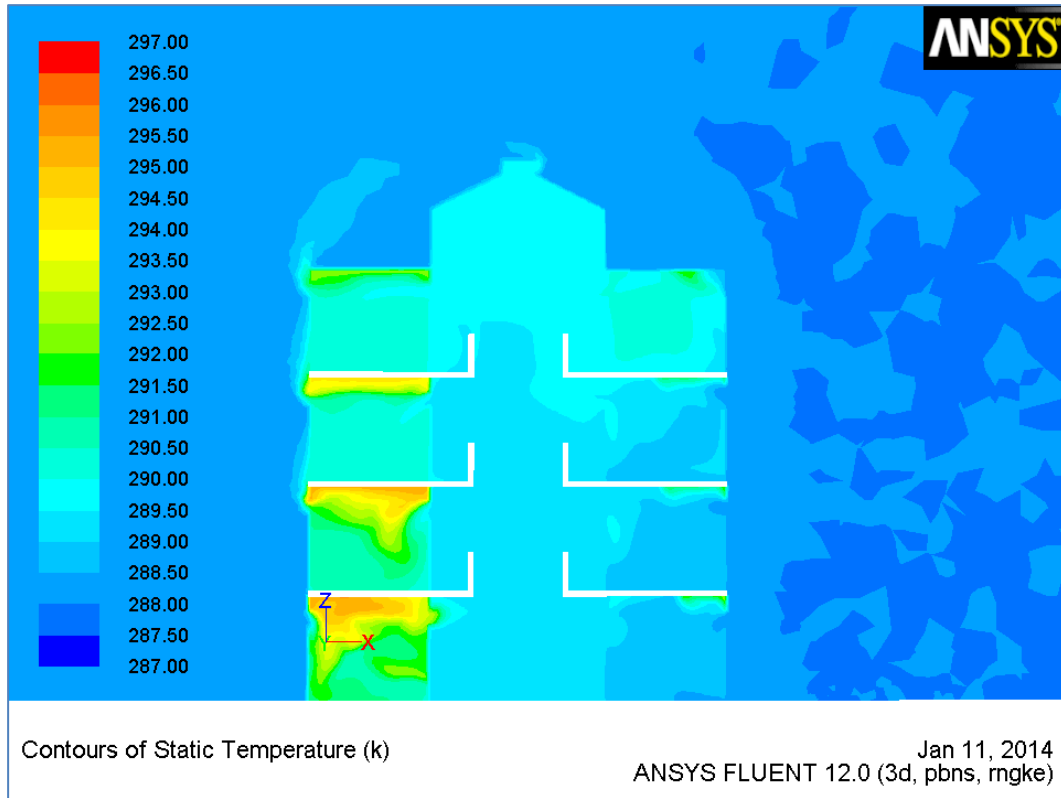
Şekil 4.138 : Model HM4, Y2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



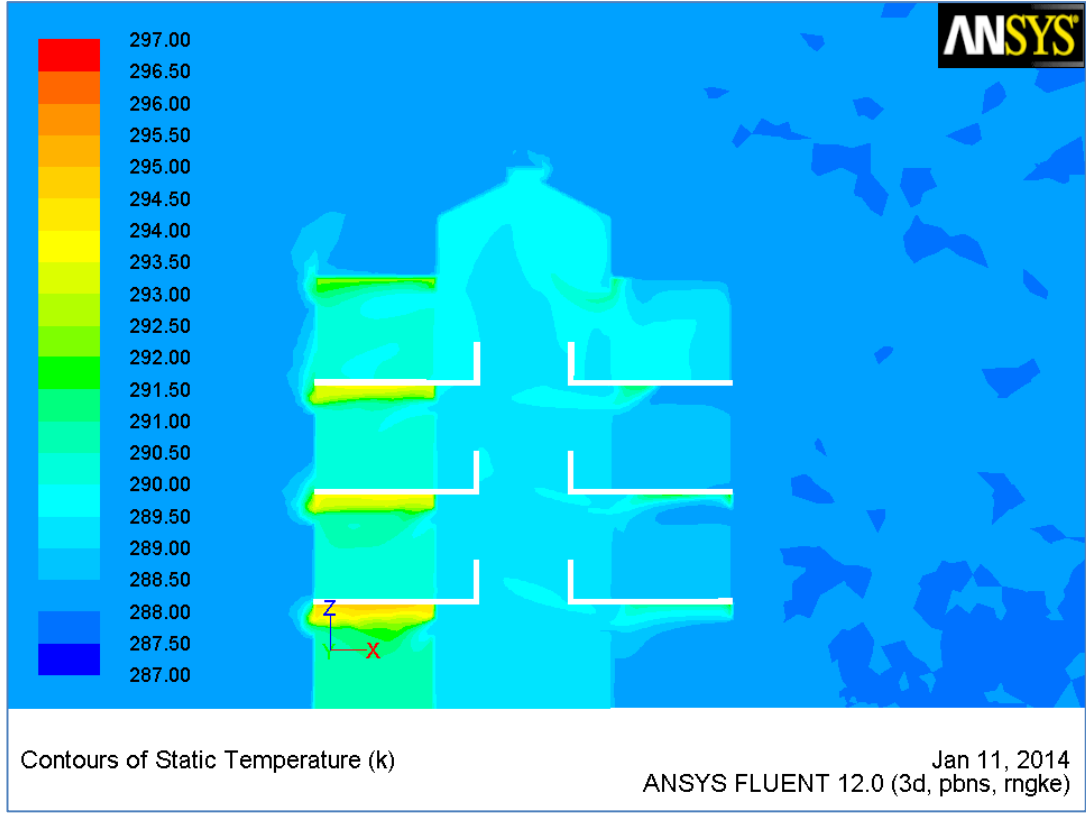
Şekil 4.139 : Model HM4, Y3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



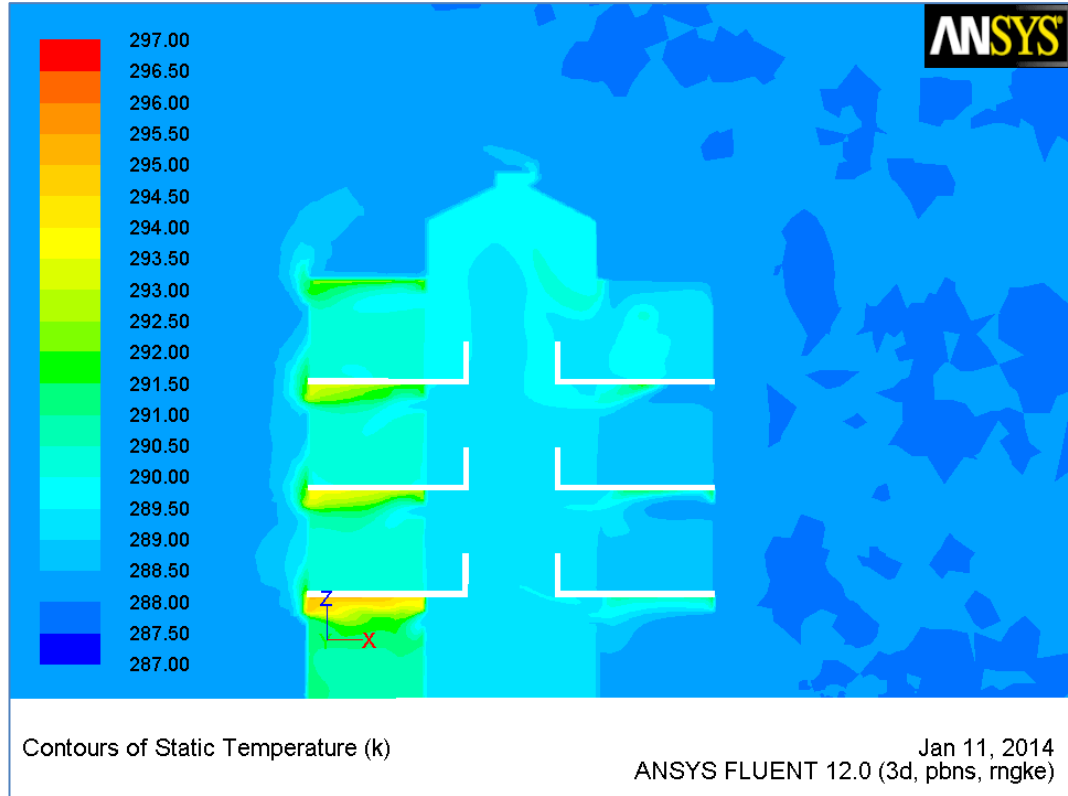
Şekil 4.140 : Model HM4, Y4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



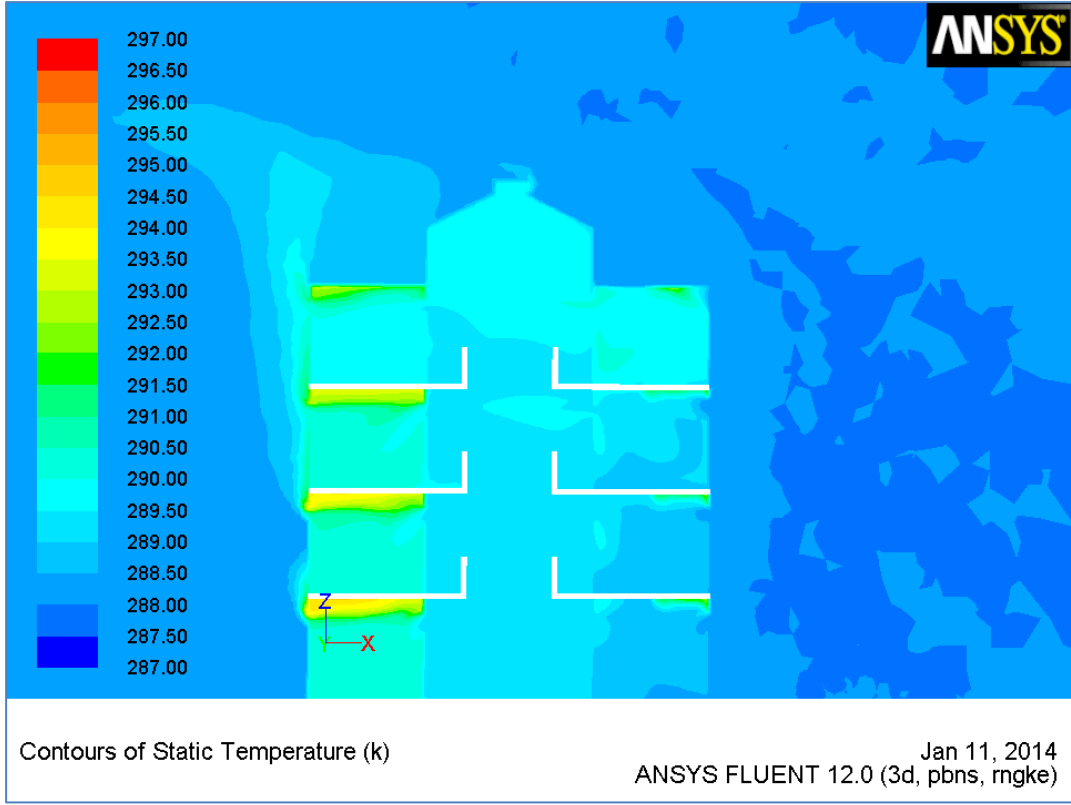
Şekil 4.141 : Model HM4, D1 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.142 : Model HM4, D2 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.143 : Model HM4, D3 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.



Şekil 4.144 : Model HM4, D4 düzlemindeki sıcaklık dağılımının kontur olarak gösterimi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma kapsamında geometrisi belirlenen bina modelinin doğal havalandırma etkinliği hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. Sayısal analizler sonucunda bina iç ve dış ortamındaki hız dağılımı, sıcaklık değişimi ve akım çizgileri incelenmiştir.

Tez kapsamında bir bina modeli tasarlanmıştır. Bina toplamda 4 kat ve 32 ayrı birimden (oda) oluşmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 2011 yılı İstanbul Göztepe bölgesi için alınan saatlik rüzgar hız, yön ve sıcaklık değerleri incelenmiştir. Hakim olan rüzgar yönü temel alınarak ortalama sıcaklık ve hız verileri elde edilmiştir.

Analizi yapılan bina modeli için bina kısımlarına göre kütsel debi, sıcaklık dağılımı, basınç ve hız dağılımlarının tamamı incelenmiştir ve sonuçlar sunulmuştur.

Çizelge 4.1'de yapı modeli için belirlenen analiz modellerinin kodlamaları ve hakim rüzgar yönüne göre açıklıkların durumlarını belirten ifadeler yer verilmiştir. Bu duruma göre HM1 ve HM3 modelleri ile, HM2 ve HM3 modelleri benzerlik göstermektedir. Fark olarak açıklıkların tam veya kısmi açık olması bakımından farklıdırlar.

Rüzgarın belirli yönde esmesi sonucunda, rüzgar öncelikli olarak bina cephe yüzeylerine çarparak belirli açıklıklardan içeriye girdiği ve binaya hiç girmeden binanın köşelerinden geometriyi terk ettiği görülmektedir. Çatı seviyesinde yüksek rüzgar hızları meydana gelmekte olduğu saptanmıştır. Meydana gelen yüksek rüzgar hızları, duvarların yakın olan kısımlarından çok yukarı kısımlarında daha büyük basınçlara yol açtığı gözlemlenmiştir.

Binanın rüzgarın gidiş yönündeki duvarında, yüksek türbülanslı bölge meydana gelmiştir. Ayrıca bu duvara etki eden hız, rüzgar sınır koşulu olarak atanan hız değerinden daha düşüktür. Diğer bir yandan, binanın güney cephesinde basınç değişiminden kaynaklı yukarı doğru bir akış meydana gelmiştir.

Meydana gelen bu bölge geri dönüş bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Sonuçlara göre havanın binayı terk ettiği güney cephesinde rüzgar hızı, rüzgarın binaya çarptığı kuzey cephesindeki rüzgar hızına göre ortalama %55-60 daha az olduğu görülmüştür.

HM3 ve HM4 analizlerinde ise pencere ve baca açıklıklarını kısmak amacı ile açıklıklar gözenekli olarak analizlere atanmıştır. Bunun için de “Porous Jump Coefficient” ve “Porous Medium Thickness” değerleri sisteme girilerek bina iç ve dış ortamındaki hız dağılımı, sıcaklık değişimi ve akım çizgileri değişimleri incelenmiştir, ve diğer yapılmış olan analizler ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Havanın akış yönü doğrultusunda basınç giderek düşerek, öncelikle havanın ilk olarak içeriye girdiği kuzey cephesindeki pencerelerden geçen hava miktarının ortalama %39, güney cephesindeki pencerelerden geçen hava miktarının da ortalama %37 ila %65 oranında azalmıştır.

Radyatörün bulunduğu yüzeylerde ortalama sıcaklık 297 K – 300 K arasında değişirken ve odalardaki ortalama sıcaklık için bu değer 290-293 K olarak bulunmuştur. Hava sıcaklığının pencere etkisiyle pencereye yakın bölgelerde yükseldiği ve pencereden uzaklaştıkça hava sıcaklığında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında bina içerisinde elde edilen hız ve debi miktar verileri kullanılarak uygun iklim koşulları için havalandırma yöntemleri belirlenebilir. Tez çalışması kapsamında bazı kabuller yapılmıştır. Bunlardan en önemlisi sabit rüzgar yönü ve hızı kabulüdür. Daha sonra yapılması planlanan sayısal analiz çalışmalarında bu etkilerin göz önünde bulundurulması doğal havalandırma çalışmalarının gelişmesine katkıda sağlaması bakımından önemlidir.

Diğer bir yandan farklı radyatör güçleri sisteme sınır koşulu olarak belirlenerek sıcaklık dağılımının istenilen seviyede olup olmadığı ve uygun hava değişim oranının (HDO) sağlanıp sağlanmadığı yapılacak çalışmalarda irdelenebilir. Ayrıca tasarımı yapılan bu bina dışında, farklı geometrik yapılara sahip olan binalar üzerinde farklı havalandırma açıklıklarının ölçüleri, pozisyonlarına göre ve binanın çevre binalar üzerine etkisi de araştırma konusu olarak seçilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Salmon, C.** (1999). Architectural Design for Tropical Regions. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [2] **Gadi, M.B.** (2010). Application of design and passive technologies for thermal comfort in buildings in hot and tropical climates. Chapter 27 in M.R. Hall (ed.), Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings. Woodhead Publishing Limited, Oxford.
- [3] **Igarashi, M., Chang Y., T., Yanagisawa, Y. ve Murofushi, M.** (2007). An application of an old Japanese natural ventilation system.
- [4] **Harputlugil, G. ve Çetintürk, N.** (2005). Geleneksel Türk Evi'nde Isıl Konfor Koşullarının Analizi: Safranbolu Hacı Hüseyinler Evi.
- [5] **Kotani, H., Goto, T., Ohba, M. ve Kurabuchi, T.** (2009). Review of cross-ventilation research papers from the Working Group for Natural Ventilation and Cross-Ventilation of the Architectural Institute of Japan, *International Journal of Ventilation* 8, 3, 233–241.
- [6] **Akabayashi, S., Sakaguchi, J. ve Tominaga, Y.** (2003). Study on the evaluation of cross ventilated detached house. The evaluation of building performance index and the proposal of synthesis cross ventilation evaluation index, **46**, 221–224.
- [7] **Zheng, Y.** (2007). A preliminary study on the utility of cross-ventilation in Southeast Asia: improving cross-ventilation with a void in a tangen-type residential building. Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan (2), 797–798.
- [8] **Hiyama, K., Kato, S., Takahashi, T., Huang, H., Kobayashi, S. ve Iwase, S.** (2005). Field measurement of natural ventilation system designed in hospital building with void, *AIJ Journal of Technology and Design* 22, 291–294.
- [9] **Vickery, B. J. ve Karakatsanis, C.** (1987). External wind pressure distributions and induced internal ventilation flow in low-rise industrial and domestic structures, *ASHRAE Transaction* v93 (2), 2198–2213.
- [10] **Heiselberg, P.** (2002). *Principles of Hybrid Ventilation*. Aalborg University, Aalborg, Denmark.
- [11] **NatVent** (1997). NatVent – Overcoming technical barriers to low energy natural ventilation in office type buildings in moderate and cold climates. *Building Research Establishment*, Garston, UK.
- [12] **Gratia, E. ve De Herde, A.** (2003). Design of low energy office buildings. *Energy and Buildings* (5), **35** , 473–491.
- [13] **Gratia, E. ve De Herde, A.** (2002). A simple design tool for the thermal study of an office building. *Energy and Buildings* (3), **34**, 279– 289.

- [14] **Fordham, M.** (2000). Natural ventilation. *Renewable Energy* 19, 17-37.
- [15] **C.I.B.S.E.** (1997). *Natural ventilation in non domestic buildings*. Chartered Institution of Building Services Engineers.
- [16] **B.S.I.** (1991). *BS 5925: Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation*. British Standards Institution.
- [17] **Johnson, D.** (2005). Assess and Implement Natural and Hybrid Ventilation Models in Whole-Building Energy Simulations. B.S., Mississippi State University.
- [18] **Phillips, D. A., PhD.,** (2008). Designing Natural Ventilation. *Canadian Consulting Engineer*.
- [19] **Kosik, W. J.** (2001). Design Strategies for hybrid ventilation. *ASHRAE Journal*
- [20] **Liddament, M.** (2000). Ventilation Strategies. *Indoor Air Quality Handbook Chapter 13*. McGraw Hill, New York.
- [21] **Yaşa, E.** (2004). Avlulu Binalarda Doğal Havalandırma ve Soğutma Açısından Rüzgâr Etkisi ile Oluşacak Hava Akımlarına Yüzey Açıklıklarının Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, FBE*.
- [22] **Santamouris, M.** (1998). Natural Ventilation in Buildings A Design Handbook. *Design Guidelines and Technical Solutions for Natural Ventilation Chapter 6*. James & James Science Publishers, London.
- [23] **Watson, D. ve Labs, K.** (1993). Climatic Building Design: Energy Efficient Building Principles and Practices. McGraw Hill, New York.
- [24] **Zorer, G.** (1992). *Yapılarda Isısal Tasarım İlkeleri*. YTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: 264, Fakülte Yayın No: MF-MİM 92.045, İstanbul.
- [25] **Lencher, N.** (2001). *Heating, Cooling, Lightining: Design Methods for Architects*. John Wiley & Sons, New York.
- [26] **Zorer, G.** (2009). *Yapıda Soğutma Sistemleri*. YTÜ Mimarlık Bölümü Yapı Fiziği.
- [27] **Balanlı, A.** (2007). *Yapı Elemanları 2-Doğramalar*. YTÜ Mimarlık Bölümü Yapı Elemanları ve Malzemeleri Bilim Dalı.
- [28] **Etheridge, D. W.** (2010). *Ventilation, air quality and air tightness in buildings*. Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings. Woodhead Publishing Limited, Oxford.
- [29] **Etheridge, D. W.** (2012). *Natural Ventilation of buildings theory, measurement and design*. Department of Architecture and Built Environment, University of Nottingham, UK.
- [30] **White, F. M.** (2003). *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill, New York.
- [31] **Incropera, F. P. ve Dewitt, P. D.** (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley and Sons, New York.
- [32] **Fluent User's Guide** (1998). Fluent incorporated Centerra Resource park, Lebanon.

- [33] **Bardina, J. E., Huang, P. G. ve Coakley, T. J.** (1997). Turbulence Modeling Validation, Testing, and Development. NASA technical memorandum, California, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Osman AVCI
Doğum Yeri ve Tarihi: İSTANBUL / 24.04.1988
E-posta: osman__avci@hotmail.com
Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi, 2010