

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN DİFÜZÖRLERİN DÜŞEY
KANAT AÇISININ ORTAMDAKİ HAVA DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Cengizhan SUNGURLU

**HAZİRAN 2012
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN DİFÜZÖRLERİN DÜŞEY
KANAT AÇISININ ORTAMDAKİ HAVA DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Mak.Müh. Cengizhan SUNGURLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2012
Tezin Savunma Tarihi : 19.06.2012**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

Trabzon 2012

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Cengizhan SUNGURLU tarafından hazırlanan

**HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN DİFÜZÖRLERİN DÜŞEY
KANAT AÇISININ ORTAMDAKİ HAVA DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 05 / 2012 gün ve 1435 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 19/06/2012 tarihinde yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

Üye : Prof.Dr. Ertan BAYDAR

Üye : Prof.Dr. Yalçın YAŞAR

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Havalandırma; kapalı bir hacimdeki kirlenmiş havayı değiştirmek için ısıtılmadan veya ısıtılarak, doğal akım, etkin basınç ya da mekanik bir etki (vantilatör) yardımıyla, havanın ilgili hacimden emilerek dışarıya atılması veya bu hacme taze hava verilmesidir. Günümüz havalandırma uygulamalarında göz önüne alınan en önemli hususlardan biri hiç kuşkusuz havanın yayılımı ve konfor koşullarının sağlanması konusudur ve bu koşullar her geçen gün daha da hassaslaşmakta ve daha fazla önem verilen bir konu olmaktadır. Kapalı hacim içerisinde havanın yayılması; kapalı hacmin geometrisine, kullanılan dağıtıcının yeri ve çeşidine, hava hızına, egzoz yerine ve termal şartlara bağlıdır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında piyasada mevcut difüzörlerden farklı ve dağıtıcılık özelliği yüksek bir difüzörün tasarlanması amacıyla yeni bir form verilmiş olan difüzörler kapalı bir hacme (ofis) uygun bir biçimde yerleştirilmiştir. Gerekli kaynak taraması yapıldıktan sonra kapalı hacim içerisinde hava dağılımı ve konfor koşulları çeşitli parametreler yardımıyla sayısal olarak incelenmiştir. Bu tip bir çalışmanın konu ile ilgilenele faydalı olmasını diliyorum.

Yapılan bu çalışma, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'ne "Havalandırma Sistemlerinde Kullanılan Difüzörlerin Düşey Kanat Açısının Ortamdaki Hava Dağılımı Üzerindeki Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi" adı altında Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Bu yüksek lisans tez çalışmamda danışmanlığımı yapan, değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen ve yol gösteren hocam Prof.Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU'na, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım esnasında gösterdikleri yardımlar ve destekler için, Mak.Yük.Müh. Şahin YİĞİT, Mak.Yük.Müh. Emrah AYVAZ ve Ümit ORHAN başta olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca her zaman yanımda olan, benden maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen aileme içtenlikle teşekkür ederim.

Cengizhan SUNGURLU
Trabzon 2012

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Havalandırma Sistemlerinde Kullanılan Difüzörlerin Düşey Kanat Açısının Ortamdaki Hava Dağılımı Üzerindeki Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU’ nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/05/2012

Cengizhan SUNGURLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	4
2. İÇ HACİMLERDE HAVALANDIRMA	18
2.1. Oda İçindeki Hava Hareketi.....	18
2.1.1. Temiz Hava Miktarı	20
2.1.2. Temiz Hava Miktarının Tayini	22
2.1.2.1. Havalandırma Sistemlerinde Dış Hava Miktarı Tayini	22
2.1.2.2. Mahaldeki İnsan Sayısına Göre Dış Hava Miktarı Tayini	23
2.1.2.3. Hava Debisi ve Hava Değişim Sayısı	24
2.2. Havalandırma Açıklıkları, Menfezler ve Difüzörler.....	26
2.2.1. Menfezlerin Görevleri.....	27
2.2.2. Hava Dağıtım Sisteminin Tasarımı.....	28
2.2.2.1. Kaldırma Etkileri	29
2.2.3. Hava Hareketleri İçin Temel Kavramlar.....	32
2.2.3.1. Hava Atış Mesafesi	32
2.2.3.2. Yayılma.....	33
2.2.3.3. Bitiş Hızları	33
2.2.3.4. Coanda Etkisi	34
2.2.4. Menfezlerin Konumu	35
2.2.5. Hava Dağılım Prensipleri.....	36
2.3. Konfor Koşulları	39

2.3.1.	İç Ortam Havaasının Hızı	41
2.3.2.	Emme ve Basma Menfezlerinin Konumu	43
3.	SAYISAL MODELME	48
3.1.	Hareket Denklemleri	52
4.	BULGULAR	55
4.1.	Difüzör Düşey Kanat Açısının Hava Dağılımına Etkisi	56
4.1.1.	Düz Difüzör ($\alpha = 0^\circ$)	56
4.1.2.	$\alpha = 20^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör	59
4.1.3.	$\alpha = 35^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör	62
4.1.4.	$\alpha = 40^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör	65
4.1.5.	$\alpha = 45^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör	68
4.1.6.	$\alpha = 50^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör	71
4.1.7.	$\alpha = 55^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör	74
4.2.	Difüzör Düşey Kanat Açısının Menfez Çıkış Hızına Etkisi	77
4.2.1.	Düz Difüzör için Hız Dağılımı	79
4.2.2.	$\alpha = 45^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör İçin Hız Vektörleri	80
4.3.	Difüzördeki Basınç Düşümü	82
5.	SONUÇLAR	84
6.	KAYNAKLAR	86

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN DİFÜZÖRLERİN DÜŞEY
KANAT AÇISININ ORTAMDAKİ HAVA DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Cengizhan SUNGURLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof.Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU
2012, 87 Sayfa

Bu tez çalışmasında; piyasada mevcut standart difüzörlerden farklı ve dağıtıcılık özelliği yüksek bir difüzörün geliştirilmesi amacıyla farklı düşey kanat açısına sahip olan difüzörlerin ortamdaki hava dağıtıcılığı sayısal olarak incelenmiştir. Havalandırma yapılan ortama gönderilen hava; kanaldan belli hızlarda oda duvarına yerleştirilen difüzör ile ortama dağıtılmış ve alt kısımda yer alan tek bir açıklıktan da egzoz edilmiştir. Oda içerisine yerleştirilen difüzörün değişik düşey kanat açılarında sayısal testleri yapılarak havanın ortamdaki dağılımı, hızı ve difüzörde oluşan basınç düşümleri ANSYS-Fluent paket programı ile belirlenmiştir. Çalışmada ilk olarak akış alanı geometrisi Solidworks 2011 Programında 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Daha sonra ANSYS-Fluent programında modelin ağ yapısı kurulmuştur. Ağ yapısı kurulurken difüzörden odaya doğru düzgün bir şekilde büyüyen ve tetra elamanlardan oluşan bir çözüm yapılmıştır. Sayısal hesaplamada sürekli şartlarda kütle korunumu, türbülanslı momentumun korunumu, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjisinin yayılım oranı (ϵ) denklemleri kullanılmıştır. Yapılan sayısal analizlerde difüzör düşey kanat açısının hava dağılımına ve menfez çıkış hızına etkisi ve menfezdeki basınç düşümleri sayısal olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar ile düşey kanat açısı 45° - 50° olan difüzörlerin havalandırılan ortamda en ideal hava dağıtıcılığını sağlamakta olduğu ve ortamdaki hava hızı açısından konfor koşullarına en uygun difüzörler olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca difüzördeki hava basıncındaki düşmenin düşey kanat açısının 40° 'den daha büyük değerlerinde önemli ölçüde artmakta olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Difüzör, Hava Dağılımı, Basınç Düşümü, ANSYS-Fluent

Master Thesis

SUMMARY

NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF VERTICAL FIN ANGLE OF HVAC
DIFFUSERS TO AIR DISTRIBUTION IN A VENTILATING SPACE

Cengizhan SUNGURLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof.Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU
2012, 87 Pages

In this thesis, it has been numerically analyzed that the re-formed diffusers which have higher air-distributive characteristics by addition of angled vertical fins. This type of diffuser is different from existing regular diffusers in market. The air provided by HVAC system has been distributed to the room with a constant velocity by a diffuser and it has been exhausted from a single air vent mounted bottom of the room. The distribution and velocity of the air and pressure drops in the diffuser has been determined by changing the vertical fin angle with ANSYS-Fluent software. In the study, the flow geometry has been designed in 3D by Solidworks 2011 software, firstly. Then, mesh study has been made by using ANSYS-Fluent. In the mesh study, a constantly developing solution consisting of tetra elements has been made. In the numerical analysis, the equations of conservation of mass, conservation of turbulence momentum, turbulence kinetic energy (k) and diffusion rate of the turbulence kinetic energy (ϵ) have been used in steady state conditions. In the numerical analysis, the effects of the vertical fin angle of the diffuser on air inlet velocity and pressure drops in the diffuser have been predicted. It has been obtained that the diffusers having the vertical fin angle of 45° - 50° provide a well air distribution and air velocities for human comfort at indoor. In addition, it has been examined that the pressure drops considerably rise with the angles greater than 40° .

Key Words: Diffuser, Air distribution, Pressure Drops, Ansys-Fluent

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Tahmini ve ölçülen hız profili	5
Şekil 1.2. Soğuk hava jetinin merkezden geçen düşey düzlemdeki ölçülen ve tahmini hız vektörleri ve konturlarının karşılaştırılması (a) ölçüm ve (b) tahmini	6
Şekil 1.3. Tahmini ve ölçülen hız profillerinin karşılaştırılması “o”: ölçülen, “-“ tahmini	7
Şekil 1.4. Kuas ve Başkaya’ nın [4] araştırdıkları odanın şematik görünümü	8
Şekil 1.5. Pulat’ ın [5] araştırdığı odanın şematik görünümü	9
Şekil 1.6. Yer Değiştirmeli Havalandırma ağ geometrisinin görünüşü	11
Şekil 1.7. Zaman bağlı Reynolds-averaged yaklaşımında (URANS) hız konturları (a) 0s, (b) 10s, (c) 20s, (d) 30s	11
Şekil 1.8. A Grubu besleme ağız çıkışlarının hava hareketleri.....	14
Şekil 1.9. B Grubu besleme ağız çıkışlarının hava hareketleri	15
Şekil 1.10. C Grubu besleme ağız çıkışlarının hava hareketleri.....	15
Şekil 1.11. D Grubu besleme ağız çıkışlarının hava hareketleri	15
Şekil 1.12. E Grubu besleme ağız çıkışlarının hava hareketleri	16
Şekil 2.1. Bir hacim içerisinde havanın yer değiştirmesi	18
Şekil 2.2. Bir hacim içerisinde karışmalı akış.....	19
Şekil 2.3. Mahal Havaına İnsanlar Tarafından Yapılan Katkılar	23
Şekil 2.4. Mahale değişik üfleme şekilleri.....	27
Şekil 2.5. Mahal havasından daha soğuk olan bir besleme havası jetinin düşmesi	29
Şekil 2.6. Mahalde engel bulunması hali	31
Şekil 2.7. Atış Mesafesi	32
Şekil 2.8. Yayılma.....	33
Şekil 2.9. Coanda Etkisi.....	34
Şekil 2.10. Menfezin uygun yerleşimi	35
Şekil 2.11. Hava akım yönlerinin etkileri	40
Şekil 2.12. Ortalama hava hızının fonksiyonu olarak hoşnutsuzluk duyanların yüzdesi ...	40
Şekil 2.13. Bas ile topuklar arasındaki sıcaklık farkının fonksiyonu olarak hoşnutsuzluk duyanların yüzdesi	41
Şekil 2.14. Hava şartlandırılması yapılmış bir ortamda, hava hareketlerinden hoşnut olmayan insanların yüzdesi	46
Şekil 3.1. Havalandırma yapılan ortamın şematik görünümü.....	48

Şekil 3.2.	Difüzör üst görünüşü	49
Şekil 3.3.	45° lik difüzör	50
Şekil 3.4.	0° lik difüzör	50
Şekil 3.5.	Oda içi havalandırılmasının üç boyutlu sayısal analizinin şematik görüntüsü (a) 45° lik difüzör (b) 0° lik difüzör	50
Şekil 3.6.	Kapalı hacim ağ yapısı görüntüsü.....	51
Şekil 3.7.	Difüzör çıkışı x-z düzlemleri	51
Şekil 4.1.	B ve II düzlemlerinde hız kaydı yapılan eksenler	55
Şekil 4.2.	A düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 0^0$ için).....	57
Şekil 4.3.	B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 0^0$ için)	57
Şekil 4.4.	I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 0^0$ için).....	58
Şekil 4.5.	II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 0^0$ için)	58
Şekil 4.6.	III düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 0^0$ için).....	59
Şekil 4.7.	A düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 20^0$ için).....	60
Şekil 4.8.	B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 20^0$ için)	60
Şekil 4.9.	I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 20^0$ için).....	61
Şekil 4.10.	II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 20^0$ için)	61
Şekil 4.11.	III düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 20^0$ için).....	62
Şekil 4.12.	A düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 35^0$ için).....	62
Şekil 4.13.	B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 35^0$ için)	63
Şekil 4.14.	I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 35^0$ için).....	63
Şekil 4.15.	II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 35^0$ için)	64
Şekil 4.16.	III düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 35^0$ için).....	64
Şekil 4.17.	A düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 40^0$ için).....	65
Şekil 4.18.	B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 40^0$ için)	66
Şekil 4.19.	I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 40^0$ için).....	66
Şekil 4.20.	II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 40^0$ için)	67
Şekil 4.21.	III düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 40^0$ için).....	67
Şekil 4.22.	A düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 45^0$ için).....	68
Şekil 4.23.	B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 45^0$ için)	69
Şekil 4.24.	I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 45^0$ için).....	69
Şekil 4.25.	II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 45^0$ için)	70
Şekil 4.26.	III düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 45^0$ için).....	70

Şekil 4.27. A düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 50^0$ için).....	71
Şekil 4.28. B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 50^0$ için)	72
Şekil 4.29. I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 50^0$ için).....	72
Şekil 4.30. II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 50^0$ için)	73
Şekil 4.31. III düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 50^0$ için).....	73
Şekil 4.32. A düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 55^0$ için).....	74
Şekil 4.33. B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 55^0$ için)	75
Şekil 4.34. I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 55^0$ için).....	75
Şekil 4.35. II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 55^0$ için)	76
Şekil 4.36. III düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 55^0$ için).....	76
Şekil 4.37. Difüzör Çıkışı Düzlemi.....	77
Şekil 4.38. Çıkış hızının giriş hızına olan oranının difüzör düşey kanat açısı ile değişimi	78
Şekil 4.39. D düzlemindeki hız vektör dağılımı ($\alpha=0^0$).....	79
Şekil 4.40. E düzlemindeki hız vektör dağılımı ($\alpha=0^0$)	79
Şekil 4.41. F düzlemindeki hız vektör dağılımı ($\alpha=0^0$).....	80
Şekil 4.42. D düzlemindeki hız vektör dağılımı ($\alpha=45^0$).....	80
Şekil 4.43. E düzlemindeki hız vektör dağılımı ($\alpha=45^0$)	81
Şekil 4.44. F düzlemindeki hız vektör dağılımı ($\alpha=45^0$).....	81
Şekil 4.45. Difüzör düşey kanat açısı ile boyutsuz basınç düşümü.....	83

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Mahaldeki hava hızının bireylere etkisi.....	17
Tablo 2.1. Ticari tesisler için tavsiye edilen dış hava miktarları.	21
Tablo 2.2. Mahal Kullanım Amacına Göre Fert Başına Saatlik Taze Hava İhtiyacı.....	24
Tablo 2.3. Tavsiye edilen saatteki hava değişim sayıları.....	25
Tablo 2.4. Hava çekmelerinden kaçınmak için önerilen maksimum Arşimet sayısına ilişkin değerler	31
Tablo 2.5. Bazı Uygulamalarda Menfez İçin Tavsiye Edilen Hava Çıkış Hızları.....	37
Tablo 2.6. Mekan içi hava hızlarının bireyler üzerindeki etkileri.....	42
Tablo 3.1. Havalandırma yapılan ortamın boyutları	49
Tablo 3.2. “k-ε” Türbülans modeli için kullanılan ampirik sabit değerler	54
Tablo 4.1. Oda içindeki algılayıcı koordinatları	55
Tablo 4.2. Algılayıcıların kayıt yaptığı eksenlerdeki hızları.....	56
Tablo 4.3. α Düşey kanat açısına göre difüzör çıkışı ortalama hızları.....	77
Tablo 4.4. Difüzör düşey kanat açılarına göre çıkış hızlarının giriş hızlarına oranı	77
Tablo 4.5. Giriş hızlarına göre basınç düşümleri	82
Tablo 4.6. Giriş hızlarına göre boyutsuz veriler	83

SEMBOLLER DİZİNİ

HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HYPİ	: Hava yayılım performansı indeksi
α	: Difüzör düşey kanat açısı
ΔP	: Basınç düşümü
u_g	: Giriş hızı
$u_ç$: Çıkış hızı
g	: Yerçekimi ivmesi
Ar	: Archimedes sayısı
μ_{ef}	: Efektik viskozite
μ_t	: Türbülans viskozite
k	: Türbülansın kinetik enerjisi
σ_t	: Türbülansın Prandtl (Schmidt) sayısı
Γ_t	: Türbülans difüzyon katsayısı
ε	: Türbülans kinetik enerjisinin yayılım hızı
I_u	: Türbülans şiddeti
θ	: Etkin hava cırcıyanı sıcaklığı
W	: Kapalı hacim genişliği
L	: Kapalı hacim uzunluğu
H	: Kapalı hacim yüksekliği

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Havalandırma; kapalı bir hacimdeki kirlenmiş havayı değiştirmek için ısıtılmadan veya ısıtılarak, doğal akım, etkin basınç ya da mekanik bir etki (vantilatör) yardımıyla, havanın ilgili hacimden emilerek dışarıya atılması veya bu hacme taze hava verilmesidir. Günümüz havalandırma uygulamalarında göz önüne alınan en önemli hususlardan biri hiç kuşkusuz konfor koşullarının sağlanması konusudur ve bu koşullar her geçen gün daha da hassaslaşmakta ve daha fazla önem verilen bir konu olmaktadır. Bunun nedeni; ortamdaki hava hızının, bağıl nemin, hava sıcaklığının ve gürültü seviyesinin insanların sağlığını ve verimliliklerini doğrudan etkilenmesidir.

Günümüzde insanlar yaşamının önemli bir bölümünü kapalı hacimlerde geçirmektedir. Bu hacimlerde konfor koşullarının sağlanması ve korunması için yapılacak en mantıklı işlem havalandırmadır. Havalandırma tesisatının oluşturulmasında temel veri iç ortam havasını sağlayan havalandırma miktarıdır. Bu hava miktarının belirlenmesi, insanların temiz hava ihtiyacı, belirli kirleticilerin derişiklik seviyelerinin limit değerler altında tutulması, basınç kontrolü ve sıcaklık kontrolü gibi bazı temel kriterlerden biri veya birkaçı esas alınarak yapılır. Bu kriterler esas alınırken, kapalı hacimdeki insan sayısı (birim döşeme alanı için), sigara içilme durumu, kapalı hacimdeki cihazlar, insanların aktiviteleri ve elde edilebilir taze hava kalitesi gibi bilgiler de göz önünde bulundurulur.

İnsanların yaşamlarında çalışma ortamları ve özellikle ofis odaları, yaşam kalitesinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu nedenle, minimum enerji kullanımı ile konforlu bir çevre oluşturma, hem yapı tasarımcılarının hem de yapıyı kullananların amacıdır. Yapıda yaşayanların üretkenliğini artırmak amacıyla, ısı konfor ve hava kalitesi hissine göre modellerin geliştirilmesi için çok geniş çalışmalar yapılmıştır. Hem insanın konforu hem de yapıdaki enerji kullanımı, taze hava temini ile yakından ilgilidir. İklimlendirme sistemlerinin performansını tanımlayan en önemli unsurlar olarak; yaşam alanına sağlanan iklimlendirilmiş taze havanın sürekli olarak (otomatik kontrol sistemindeki algılayıcıların konumlanmasına bağlı olarak) gereken debide olması ve bu havanın beslendiği mekân içerisinde en mükemmel şekilde dağıtılması (difüze olması) gibi teknik detaylar göz önüne alınmalıdır. Taze havanın verilmesi ve dağılımı, oda içi çevreyi belirlemede çok önemli bir

rol oynadığından dolayı; işgal edilen alandaki hava akışının doğru tahmini, etkili bir hava dağıtım sistemi tasarımı için önemlidir. Geçmiş dönemlerde enerji maliyetleri sistemin tasarımında önemli bir belirleyici parametre oluştururken, günümüzde ise enerji maliyetleri yanında, iç hava kalitesinin önemi de gerek ısı konfor gerekse sağlık açısından giderek artmış, birinci prensiple bütünleşen ikinci bir belirleyici parametre haline gelmiştir. Minimum enerji tüketimiyle kabul edilebilir bir iç hava kalitesine ulaşabilmek için farklı standartlar değişik rakamlar verebilmektedir. Bu konuda Türk Standartları yeterli derinlikte ve ayrıntıya sahip olmadıklarından belirleyici değildir. Esas olarak alınan ASHRAE, kişi başına düşen dış hava miktarını bir standarda bağlamıştır. ASHRAE Standart 62'ye göre, eğer dış hava kalitesi yeterli ise, belirtilen miktarlarda dış hava söz konusu hacimlere temin ediliyorsa, istenilen iç hava kalitesi elde edilir. Bu dış hava miktarları kişi başına 1/s şeklinde verilmektedir. Ayrıca, Avrupa'da çeşitli hacimler için saatteki hava değişim sayısı şeklinde veriler mevcuttur. Ancak söz konusu havalandırma değerleri halen tartışılmakta olan değerlerdir. Yeterli havalandırmayı, kaynaktan bağımsız olarak, her koşul için geçerli genel değerlerle temin etmek mümkün değildir [13].

Havalandırma amacıyla odaya beslenen havanın, oda içerisinde de farklı uçlarda iki tipik hareketi söz konusudur. Bunları taşınım ve yayılım hareketi olarak isimlendirmek mümkündür. Taşınımda odaya beslenen hava bir piston gibi hareket eder ve ideal durumda hiçbir yayılım meydana gelmeden odayı süpürerek diğer uçtan hacmi terk eder. Yayınım ile havalandırma ise konfor havalandırmasında tercih edilen bir yöntem olup, bu yöntemde odaya üflenen hava, geniş hacme sahip ortam havasını etkiler ve bir karışım oluşur. Sonuç olarak odadan ilerilere giderken hava akımının hacmi artar ve aynı zamanda hızı azalmaya başlar. Kısa zamanda, hava akımının oluşturduğu hava hareketleri oda içindeki havanın tamamını karıştırır ve oda içerisinde istenilen hava karışımı elde edilmiş olur.

Havalandırma sisteminin boyutlandırılması yapılırken konfor açısından göz önünde bulundurulacak en önemli kriterlerden biri, mahal içindeki hava hızlarının bireyleri rahatsız edici değerlere çıkmamasıdır. Bu hız hava sıcaklığına bağlı olarak 0,2 ile 0,3 m/s arasında değişir. Bir diğer konfor koşulu ise oda içerisinde dikey yöndeki hava sıcaklığı farkıdır.

Oda içerisine taze havanın verilmesi ve dağılışı, oda içi çevreyi belirlemede çok önemli bir rol oynadığından dolayı, işgal edilen alandaki hava akışının doğru olarak tahmin edilmesi, odanın bire bir veya küçültülmüş fiziksel modelleri içinde hız ve sıcaklık ölçümleriyle yapılmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), yetmişli yıllardan

beri oda hava hareketinin tahmini ve oda içi ısı konforun değerlendirilmesi için güvenilir bir araç olarak kullanılmıştır. Dolayısıyla hava hareketlerinin sayısal çözümleri ısı konfor, hava kalitesi ve sistem maliyeti açısından sistem tasarımcısına dizayn öncesi değişik seçenekler sunmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde teknolojik ürünlerin geliştirilmesinde bilimsel çalışmalardan yararlanılması ve yenilikçi özellikler taşıyan ürünlerin tasarımında bilgisayar modellerinin kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber artık tasarımlar bilgisayar ortamlarında modellenip analizleri yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar, deneyler ile doğrulanarak üretime geçilmektedir.

Bu çalışmada; piyasada mevcut difüzörlerden farklı ve dağıtıcılık özelliği yüksek bir difüzörün tasarlanması amacıyla yeni bir form verilmiş olan difüzörler kapalı bir hacme (ofis) uygun bir biçimde yerleştirilmiştir. Havalandırma yapılan ortama gönderilen hava; kanaldan belli hızlarda oda içine yerleştirilen difüzör ile ortama hava dağıtımı yapılmış olup alt kısımda yer alan tek bir açıklıktan da egzoz edilmiştir. Oda içerisine yerleştirilen difüzör değişik düşey kanat açılarında testler yapılarak havanın ortamdaki dağılımı, hızı ve difüzörde oluşan basınç düşümleri ANSYS-FLUENT paket programı ile belirlenmiştir.. Sayısal hesaplamada sürekli şartlarda kütle korunumu, türbülanslı momentumun korunumu, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjisinin yayılım oranı (ϵ) denklemleri kullanılmıştır. Yapılan sayısal analizlerde difüzör düşey kanat açısının hava dağılımına ve menfez çıkış hızına etkisi ile menfezdeki basınç düşümleri sayısal olarak ölçülmüştür.

1.2. Literatür Araştırması

İdeal konfor koşullarını sağlamak üzere iç yaşam alanlarının mekanik havalandırma ve hava şartlandırma sistemleri ile donatmak gereklidir. Taze havanın mekana verilmesi ve mekan içerisindeki dağılımı, oda içerisindeki hava kalitesini ve otomatik kontrol sisteminin algılama performansını doğrudan etkilediğinden, hava şartlandırma yapılan alandaki hava akışının doğru tahmin edilmesi, etkili bir hava dağıtım sistemi tasarımı için çok önemlidir. Son yıllarda, havalandırılan mekânlarda hava akışının belirlenmesi amacıyla çeşitli CFD yazılımlarının kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Bu CFD yazılımları; Navier-Stokes denklemleri, enerji denklemi, kütle korunumu ile çeşitli türbülans modeli denklemlerinin sayısal olarak çözülmesi esasına dayanmaktadır. Bu denklemlerin 2 ve 3 boyutlu olarak çözümü, binalardaki jetlerin yayılmasından, yangın ve duman yayılmasına kadar birçok akış problemine uygulanmaktadır. Havalandırılan kapalı mekânlarda hava dağılım kontrolünün öneminin artmasıyla birlikte bu konuda yapılan çalışmalar da artmıştır. Hava jeti ve oda içerisindeki havanın dağılımının belirlenmesine dair yapılan kaynak araştırmasında bu konuyla ilgili olarak ulaşılan gerek deneysel gerekse sayısal önemli bazı çalışmalar kısaca aşağıda sunulmuştur.

Hjertger ve Magnussen [1], kapalı mekan içerisindeki türbülanslı serbest ve duvar jetlerinin üç boyutlu eşsıcaklıklı (isothermal) akışlarını hesaplamak için, momentum ve iki türbülans parametresine (k, ϵ) ait taşınım denklemlerini upwind fark yöntemi ve SIMPLE algoritmasını kullanarak çözmüştür. İlk durumda hava jeti; kare bir yarıktan, boyunun yüksekliğine oranı üç olan bir kapalı mekâna üflenmiştir. Kapalı hacmin boyutları 0.1 x 0.1x0.3 m olup, üfleme açıklığında akış alanının dörtte birlik kısmı 9 x 9 x 9 cm ebatlarında ve 4 x 4 grid noktalarıyla modellenmiştir. Üfleme çıkışındaki türbülans kinetik enerjisi (k_0), türbülans hızı ve denklem 1.1 yardımıyla hesaplanmıştır. Bu denklemde türbülans şiddeti (I_u) ile gösterilmekte olup “o” alt indisi üfleme çıkışındaki değerleri göstermektedir.

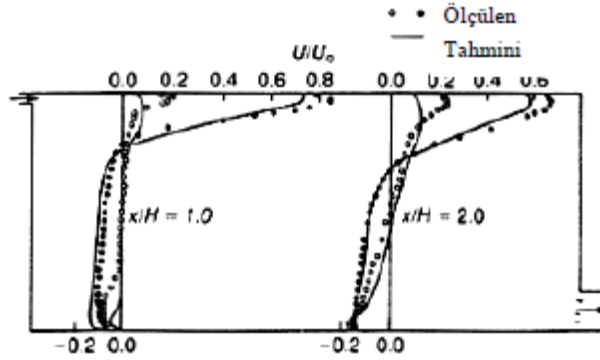
$$\begin{aligned} k_0 &= 1.5 I_u^2 U_0^2; \\ I_u &= \vec{u} / U_0 \end{aligned} \quad (1.1)$$

Yayınım hızı (ϵ_0) ise denklem 1.2’de de görüldüğü gibi uzunluk ölçeğinin 0.1 x (açıklığın genişliği) alınmasıyla hesaplanmıştır. Burada I_0 üfleme tarafındaki karışım uzunluğunu ve

C_μ ise sabit bir değeri ($C_\mu=0.09$) göstermektedir.

$$\varepsilon_0 = C_\mu k_0^{1.5} / I_0 \quad (1.2)$$

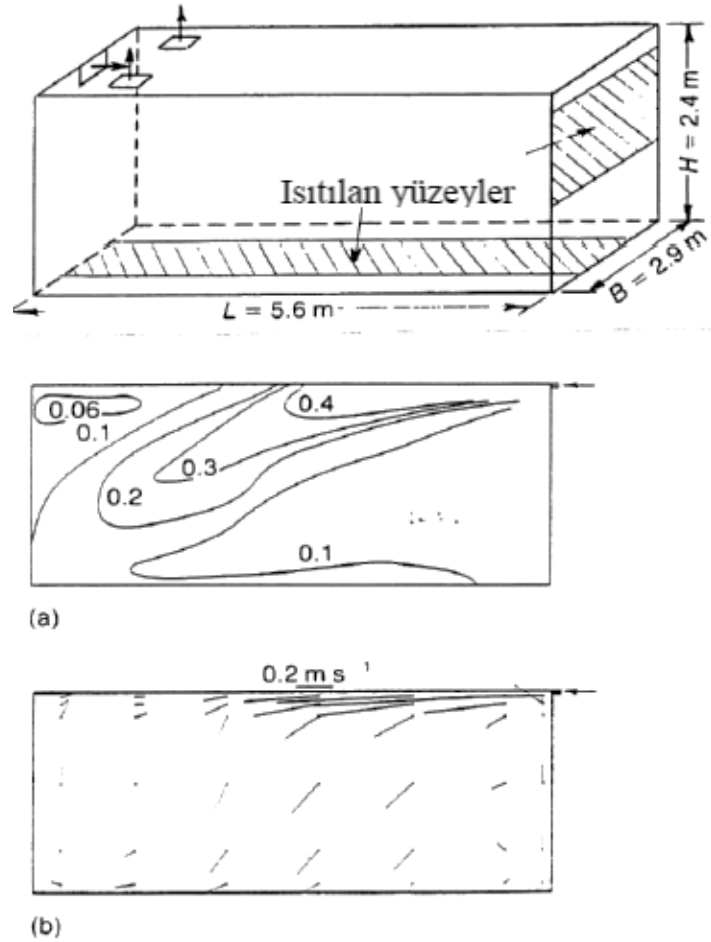
Duvar jeti durumunda, yüksekliği $h = 0.056 \times H$ (burada H kapalı hacmin yüksekliğini belirtmekte olup $89,3 \text{ mm}$ 'dir.) ve genişliği $b = 0.5 \times H$ olan yüksek seviyeli bir duvar tipi yarık, $L = 3H$ boyundaki kapalı mekanın duvarının tam merkezine yerleştirilmiştir. Serbest jet için efektif üfleme hızı olarak $18,5 \text{ m/s}$ (burada $Re=u_0d/v \approx 1,2 \times 10^4$), duvar jet için ise efektif üfleme hızı olarak 15 m/s (burada $Re=u_0d/v \approx 5 \times 10^3$) kullanılmıştır. Duvar jeti durumu için kapalı mekandan $x/H=1$ ve 2 durumlarına ait tahmini hız profilleri Şekil 1.1'de görülmektedir. Buradaki deneysel veriler karşılaştırma amaçlı olarak Nielsen' in çalışmalarından alınmıştır.



Şekil 1.1. Tahmini ve ölçülen hız profilleri

Patankar ve Spalding [2] tarafından geliştirilen SIMPLE algoritmasının oda hava hareketlerine uygulandığı kayıtlara geçmiş en eski uygulamalarından biri Hjerter ve Magnussen' in çalışmalarıdır. Hjerter ve Magnussen hız bileşenleri u, v , ve w için sonlu hacimler yöntemini kullanarak enerji, türbülans enerjisi (k) ve türbülans yayılım hızına (ε) ait üç boyutlu taşınım denklemlerini çözmüşlerdir. Bu yaklaşımı; 5.6 m boyunda, 2.9 m genişliğinde ve 2.4 m yüksekliğindeki bir odada, $2.9 \times 2.4 \text{ m}$ 'lik duvarın tavan hizasında bulunan $243 \times 35 \text{ mm}$ boyutlarındaki dikdörtgen açıklıktan gönderilen hava ve tavana yerleştirilmiş iki noktadan egzoz edilen kirli hava için hız ve sıcaklık dağılımlarının elde edilmesinde uygulamışlardır. Bu çalışmada hem eşsıcaklıklı hem de eşsıcaklıklı olmayan (soğutma) akışlar incelenmiştir. İkinci durumda döşemenin ve uzak duvarın bir kısmı ısıtılmıştır. Şekil 1.2'de üfleme açıklığının simetri düzleminde elde edilen tahmini ve

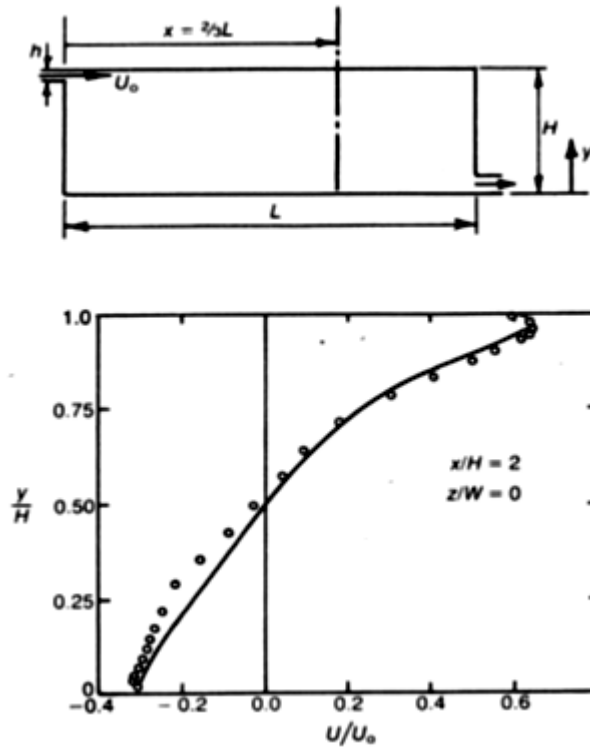
deneysel veriler çizilmiştir. Burada, üflenen hava oda sıcaklığının 11 K ($K =$ akışkan elamanı yerel sıcaklığı ile mahal sıcaklığı arasındaki fark) altında, üfleme hızı 2.42 m/s olup bu değerler altında açıklığın hidrolik çapı esas alınarak Re sayısı 9800 ve Ar (Archimedes) sayısı 0,0038 olmaktadır. Görüldüğü üzere jetin tavan ayrılma noktası iyi tahmin edilmiştir fakat jetin alt kısımlara giriş kısmındaki hızlar ölçülen değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Fakat eşsıcaklıklı çözüme ait tahmini değerler deneylerle elde edilen sonuçlara daha yakın sonuçlar vermiştir.



Şekil 1.2. Soğuk hava jetinin merkezinden geçen düşey düzlemdeki ölçülen ve tahmini hız vektörleri ve konturlarının karşılaştırılması. (a) ölçüm ve (b) tahmini

Nielsen [3], SIMPLE algoritması ve hybrid interpolasyon yöntemini içeren TEACH bilgisayar programını kullanarak hız bileşenleri, k ve ϵ 'a ait taşınım denklemlerini iki boyutta çözmüştür. Havalandırılan kapalı mekânlardaki iki boyutlu eşsıcaklıklı akışın tahminini sağlayan sayısal yöntemin doğruluğunu test etmek, ikincisi ise üç boyutlu

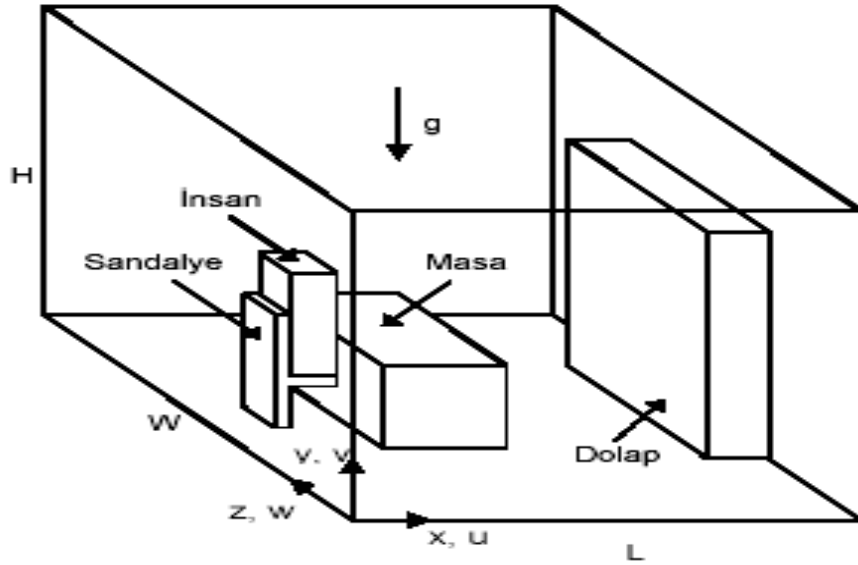
havalandırma problemlerini iki boyutta ifade edebilmektir. 89,3 mm kare kesitli (yüksekliği, H ve eni, B aynı değerde olup 89,3 mm) ve boyu bu değer üç katına eşit olan perspeks'ten (Kristal duruluğunda, sert bir plastik) yapılmış kapalı bir hacim oluşturulmuş ve elde edilen tahmini değerler, deneyler sonucunda bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Hava kapalı hacme 5 mm yüksekliğinde ve farklı iki genişlikte olan tavana komşu bir yarıktan üflenmiştir. İki genişlikten biri kapalı mekân genişliğinde, diğeri ise bu genişliğin yarısıdır. Egzoz havası ise uzak duvarda döşeme hizasında bulunan duvar genişliğindeki yarıktan yapılmıştır. Hava hızları Laser Doppler anemometresi ile ölçülmüştür. Reynolds sayısı 5000 ile 10 000 arasında kullanılmıştır. Şekil 1.3'de $2/3 \times L$ mesafede üfleme yarığının merkezi boyunca x-y düzlemindeki hız profillerinin ölçülen ve hesaplanan değerlerinin bir karşılaştırması yapılmıştır. Fiziksel modelde üç boyutlu etkilerden dolayı ters akış bölgelerinde oluşan farklılıklar dışında hızlar oldukça uygun çıkmıştır.



Şekil 1.3. Tahmini ve ölçülen hız profillerinin karşılaştırılması.
“o”:ölçülen, “-“ tahmini

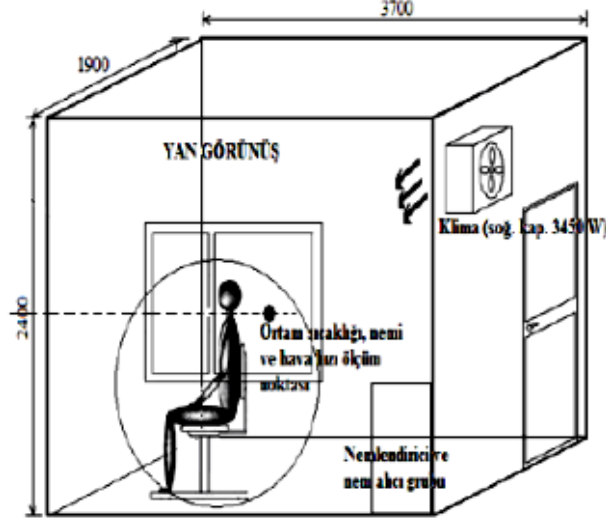
Kuas ve Başkaya'nın [4] yaptıkları çalışmada ise Şekil 1.4'de görülen içinde bir insan ve nesnelerin bulunduğu bir ofis odası içine verilen soğutma havasının, hacim içindeki dolaşımını sayısal olarak incelenmiştir. Sürekli şartlardaki üç boyutlu kütle

korunumu, türbülanslı momentum, türbülanslı enerji, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans kinetik enerjisinin yayılım hızı denklemleri, tanımlanan sınır şartlarıyla birlikte hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak çözülmüştür. Sonuçlar, odanın çeşitli kesitlerinde hız vektörleri ve sıcaklık konturları ile gösterilmiştir. Menfez konumları değiştirilerek hava hareketi incelenmiş ve insanın konforlu olup olmadığı ile nesnelerin hava hareketine etkileri incelenmiştir.



Şekil 1.4. Kvas ve Başkaya'nın [4] araştırdıkları odanın şematik görünümü

Pulat [5], yaptığı çalışmada Şekil 1.5'de görülen oda, klima cihazı ile havalandırılan bir odada hava dağılımları sayısal olarak araştırılmıştır. Bu amaçla; ısı konfor çalışmaları için hazırlanmış olan bir oda iki boyutlu olarak modellenmiştir. Akış türbülanslı, sürekli ve sıkıştırılmaz olarak ele alınmış olup standart k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Klima cihazının üç farklı hız kademesi için eşsıcaklıklı (izotermal) hız ve kinetik enerji dağılımları elde edilmiştir. Bu çalışmalarda standart k- ϵ türbülans modeli Van Driest duvar fonksiyonuyla sonlu elemanlar esasına dayalı ANSYS-FLOTRAN yazılımı kullanılmıştır. Sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılarak tartışılmış ve ana akış karakteristiklerinin elde edildiği görülmüştür.



Şekil 1.5. Pulat'ın [5] araştırdığı odanın şematik görünümü

Müllejans [2], Archimedes sayısının hava hareketine etkisini göstermek için geometrik olarak benzer üç tane oda oluşturmuştur. L, H ve B harfleri sırasıyla test odalarının uzunluk, yükseklik ve genişliğini göstermek üzere; birebir ölçekte oda boyutu 4.75 m x 2.95 m x 2.88 m olarak alınmıştır. Diğer iki test odasının ölçüleri geometrik ölçeğin 3 ve 9 olarak alınmasıyla bulunmuştur.

Üfleme havası, odaya duvarın üst kısmından dikdörtgen bir açıklıktan gönderilmiştir. Burada, oda için denklem 1.3'de tanımlanan Archimedes sayısı kullanılmıştır.

$$Ar = \frac{gD_h \Delta T_0}{T_m U_r^2} \quad (1.3)$$

$$D_h = \frac{2BH}{(B+H)}; \quad U_r = \frac{\dot{V}}{(BH)}; \quad T_m = 0,5 \times (T_0 + T_w); \quad \Delta T_0 = T_w - T_0 \quad (1.4)$$

burada; D_h (m) ile gösterilen büyüklük odanın hidrolik çapını, U_r (m/s) eşdeğer oda hızını, T_m ($^{\circ}\text{C}$) ortalama oda sıcaklığını, T_0 ($^{\circ}\text{C}$) üfleme havası sıcaklığını, T_w ($^{\circ}\text{C}$) ise ısıtılan duvar sıcaklığını göstermektedir.

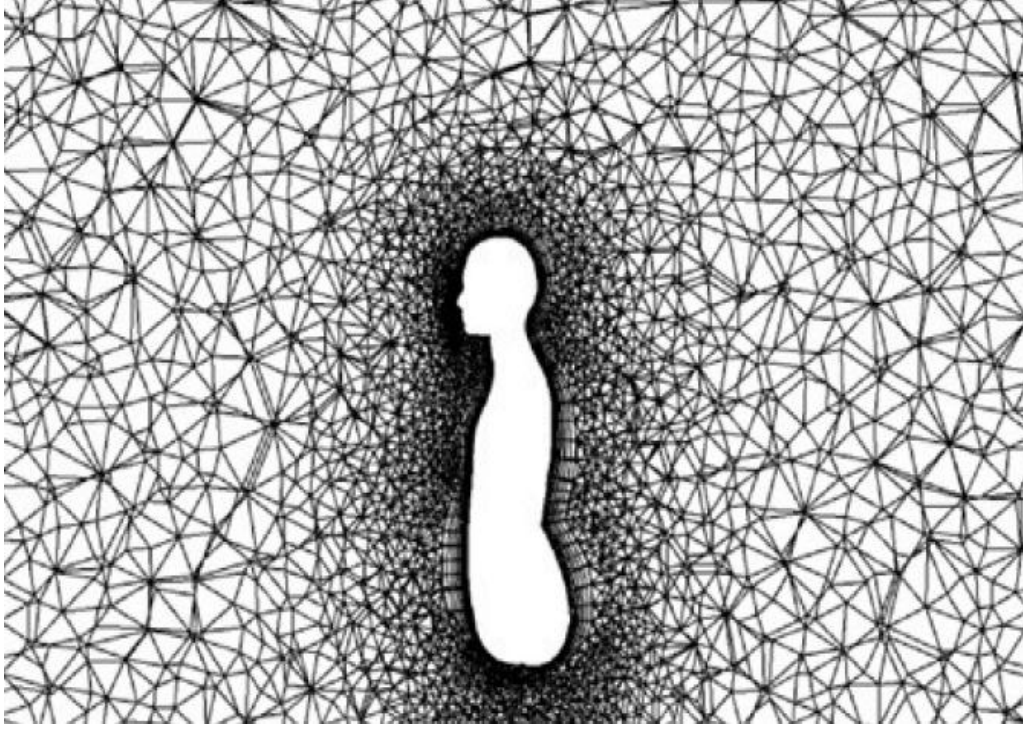
Oda için Reynolds sayısı ise denklem 1.5'deki gibi verilmektedir.

$$Re = \frac{D_h U_r}{\nu} \quad (1.5)$$

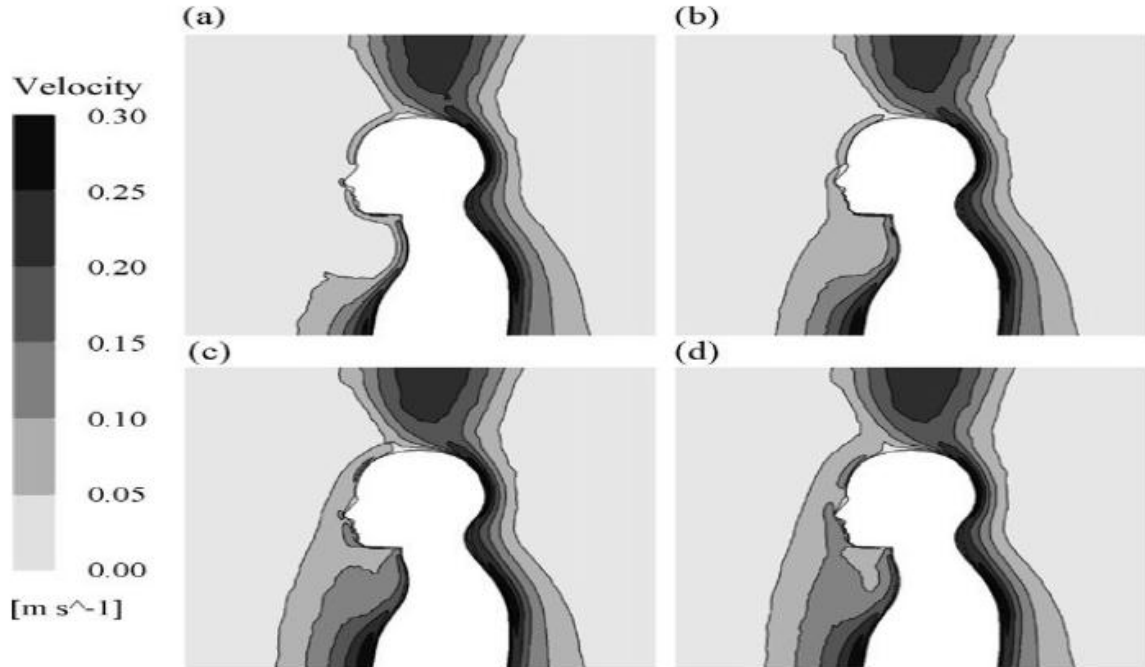
Müllejjans'ın deneylerinde odaya verilen ısı yükü, yüzeylerden birinin ısıtılması ile sağlamakta ve bu yükü karşılamak üzere duvarın üst tarafında bulunan açıklıktan soğuk hava gönderilmektedir. Döşeme ve tavanın ısıtılma durumları için farklı deneyler yapılmıştır. Oluşturulan bu üç test odasından elde edilen hız ölçümleri ve duman akış gözlemlerinden elde edilen verilere göre, oda içerisinde aynı Ar sayılarında benzer hava dağılımının olduğu görülmüştür.

Chung ve Hsu'nun [6] çalışmalarında; iki giriş iki çıkış olmak üzere farklı konumlarda yerleştirilen yayıcılarda oluşturulmuş farklı havalandırma yöntemlerinin havalandırma verimlerini araştırmışlardır. Öncelikle hava akışını ve havalandırma performansını görmek için sayısal simülasyon yapmışlardır. Daha sonra oda havasının dağılımı ile hava kirleticilerinin dağılımına ait tam ölçekteki deney düzeneğinden elde edilen veriler, sayısal çözümü doğrulamak için kullanılmıştır. Deney yöntemi olarak duman izleme yöntemi kullanılmıştır. CO₂ miktarının azalmasından, test odasındaki hava debisi ve havalandırma verimi hesaplanmıştır. Farklı hava hızlarının kullanıldığı eşsıcaklıklı olan bu çalışmada, havalandırma verimi ile karakterize edilen üfleme ve egzoz havası dağılımı belirlenmiştir. Sonuçta, havalandırma veriminin, hava değişim sayısına kıyasla yayıcının yerleşiminden çok daha fazla etkilenebileceği belirlenmiştir.

M. Deevy, Y. Sinai, P. Everitt, L. Voigth ve M. Gabeau'nun [7] tarafından yapılmış olan çalışmada ise oturan bir insanın yer değiştirmeli havalandırma sistemi uygulanan mahallerdeki durumu, konfor koşulları açısından CFD ve deney verileriyle karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. İnsan şeklinin geometrisi CFD yardımıyla tam olarak modellenmiş ve bu sayede basit geometri kullanmanın getirdiği hataların önüne geçilmiştir. Çalışmada kaynağı insan olan ısı ışınımının önemi olduğu görülmüştür. CFD' de kullanılan ışınım modeli ile deneysel verilerin sonuçlarının iyi bir şekilde gösterdiği görülmüştür. Ayrıca Türbülans modelin etkisi incelenmiş ve zamana bağlı ortalama Reynolds yaklaşımı ile eddy simülasyonu arasında karşılaştırılmalı bir çalışma yapılmış ve sonuçların deneysel verilerle örtüştüğü görülmüştür. Gerçeğe yakın insan geometrisi kullanımı doğru ısı transferi değerini belirlemede önemli bir yere sahiptir.



Şekil 1.6. Yer Değiştirmeli Havalandırma ağ geometrisinin görünüşü



Şekil 1.7. Zaman bağı Reynolds-averaged yaklaşımında (URANS) hız konturları
(a)0s, (b) 10s, (c) 20s, (d) 30s

Kapalı hacim konfor şartlarının maksimum düzeyde elde edilmesine ilişkin bir diğer çalışma Kavgić, Mumović, Stevanović ve Young, [8] adlı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmasıdır. Tiyatrolar bilindiği üzere izleyici ve dinleyici bakımından en kompleks salonlardır. Genellikle yüksek ısı yüklerine maruz kalırlar. Bu ısı yükleri kapalı mekâna toplu halde giren çıkan insan hareketleri, bu insanların hepsinin oturuyor olması veya ayakta durması hali için değişir. Sahnelerin değişmesi, ışıklandırma da ısı yüklerinin değişmesinde rol oynayan parametrelerdir. Ayrıca tiyatrolarda ses akustiğinin hem dinleyici hem de izleyici kitlesi için çok iyi tasarlanması gerekmektedir. Bu faktörlerin tümü havalandırma dizaynına sınırlama ve zorluklar getirmektedir. Bir aksaklık olması durumunda bu direkt olarak hava kalitesi ve termal konfora yansımaktadır. Kapalı mekânda hava kalitesi ve konfor kalite derecesini belirlemek için Belgrade tiyatrosunda bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı konfor koşulları açısından kapalı hacim içerisinde hız, sıcaklık, nem ve CO₂ dağılımını incelemektir.

Costa, Oliveira ve Blay [9], ofis odası içindeki karışık taşınım ile ısı transferi ve akışkan akışı, sürekli koşullarda kütle korunumu, türbülanslı momentum korunumu, türbülanslı enerji, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans kinetik enerjisinin yayılım miktarı denklemleri kullanılarak üç boyutlu olarak ifade edilmiştir. Daimi ve üç boyutlu sıkıştırılmaz bir akış için kütle korunumu denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1.6)$$

Türbülanslı momentum denklemi ise aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_{ef} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - g_i(\rho - \rho_{ref}) \quad (1.7)$$

Burada, g yerçekimi ivmesi, ρ_{ref} referans yoğunluk ve μ_{ef} efektif viskozitedir. Denklemdaki $g(\rho - \rho_{ref})$ terimi, fiziksel olarak yoğunluğa bağlı kaldırma kuvvetidir.

Türbülanslı enerji denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_{ef} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (1.8)$$

Türbülans kinetik enerjisi denklemi ise aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_K + G_B - \rho \varepsilon \quad (1.9)$$

Burada, σ_k türbülans model sabiti, G_K kayma kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisi üretim oranı ve G_B kaldırma kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisi üretim oranıdır. Burada G_K ve G_B terimleri aşağıdaki şekillerde tanımlanır:

$$G_K = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad G_B = -g_i \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho_i}{\partial x_i} \quad (1.10)$$

Türbülans kinetik enerjisinin yayılım oranı denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} G_K + C_{3\varepsilon} G_B - \rho C_{2\varepsilon} \varepsilon) \quad (1.11)$$

Burada, $\sigma_\varepsilon, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}, \varepsilon$ türbülans model sabitleridir. Yukarıda verilen tanımlar standart k- ε türbülans modeline göre sunulmuştur. Bu modelde türbülanslı büyüklükler aşağıda verilmiştir

$$\mu_{ef} = \mu_t + \mu ; \quad \mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} ; \quad \Gamma_{ef} = \frac{\mu_t}{\sigma_t} \quad (1.12)$$

Burada, μ_t türbülans viskozitesi, ρ akışkan yoğunluğu, C_μ türbülans model sabiti, ref etkili değişim katsayısıdır. Türbülans model sabitleri ve değerleri şu şekildedir:

$$\sigma_t = 1.00; \quad C_\mu = 0.09; \quad \sigma_k = 1.00; \quad \sigma_\varepsilon = 1.00;$$

$$C_{1\varepsilon} = 1.44; \quad C_{2\varepsilon} = 1.92; \quad C_{3\varepsilon} = 1.00$$

Burada, $C_\mu, \sigma_k, \sigma_\varepsilon, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$ türbülans model sabitleridir. σ_t türbülanslı Prandtl sayısıdır.

Katı duvar yüzeylerine yakın bölgelerde duvarın logaritmik kanunu (log-law) kullanılmıştır. Giriş türbülans sınır şartlarında kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir:

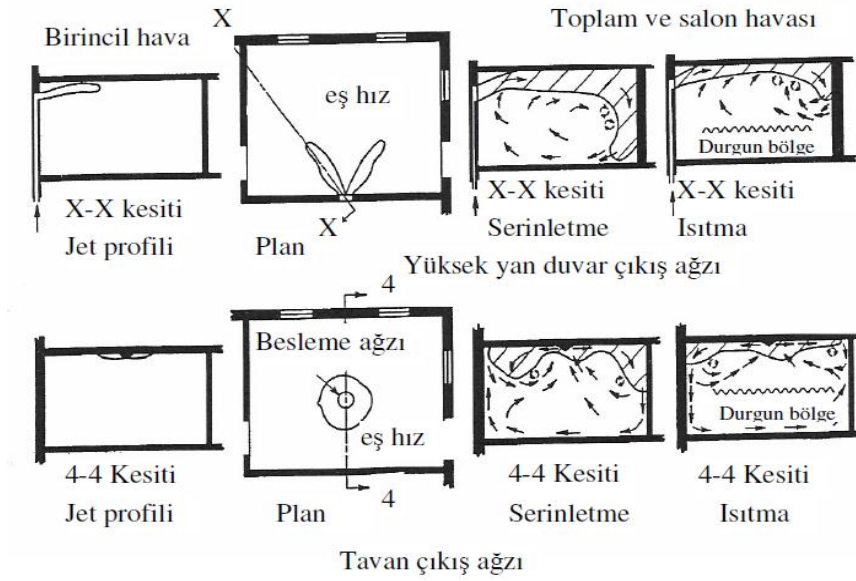
$$k_{in} = 1.5t_{in}^2 U_c^2; \quad I_{t_m} = \left\{ \left[\frac{(\overline{u^2} + \overline{v^2})}{2} \right]^{1/2} / U_c \right\}$$

$$\varepsilon_{in} = k_{in}^{3/2} / L_\varepsilon; \quad L_\varepsilon = d / 2$$

Burada, k_{in} giriş sınırlarında türbülans kinetik enerjisi, I_{t_m} giriş şartında türbülans yoğunluğu, U_c karakteristik hız ölçüsü, u' ve v' çalkantılı hız bileşenlerinin dalgalanma miktarı, ε_{in} giriş sınırlarında türbülans kinetik enerjisinin yayılım oranı, L_ε karakteristik uzunluk ve d giriş menfezi genişliğidir.

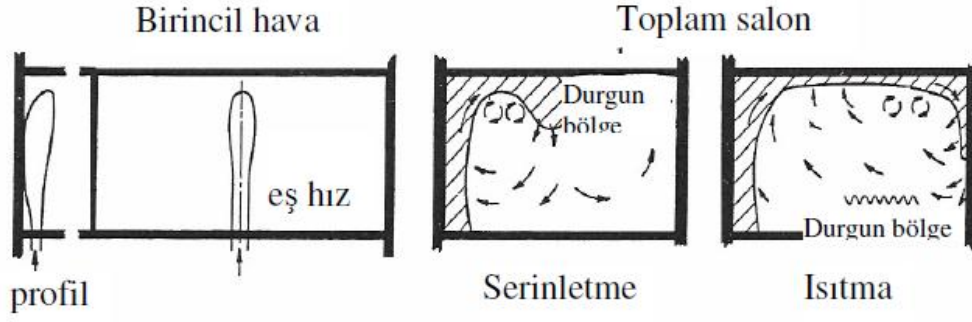
Straub ve arkadaşları [10], tipik hava besleme ağızları ve bunların performanslarını incelemiştir. Beş grup altında toplamış oldukları hava besleme ağızları:

A grubu: Havayı yatay olarak veren tavana veya tavan yanına monte edilmiş ağızlar;



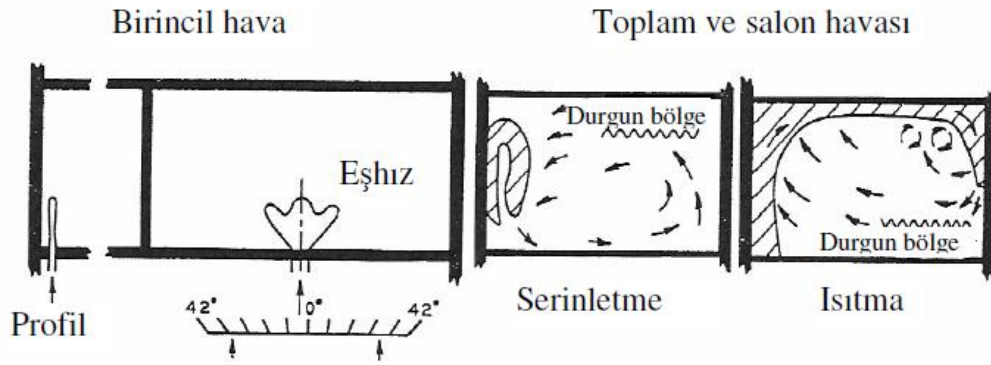
Şekil 1.8. A Grubu besleme ağızı çıkışlarının hava hareketleri

B grubu: Açılmayan bir jet ile havayı düşey olarak veren, döşemeye veya döşeme yanına monte edilmiş ağızlar



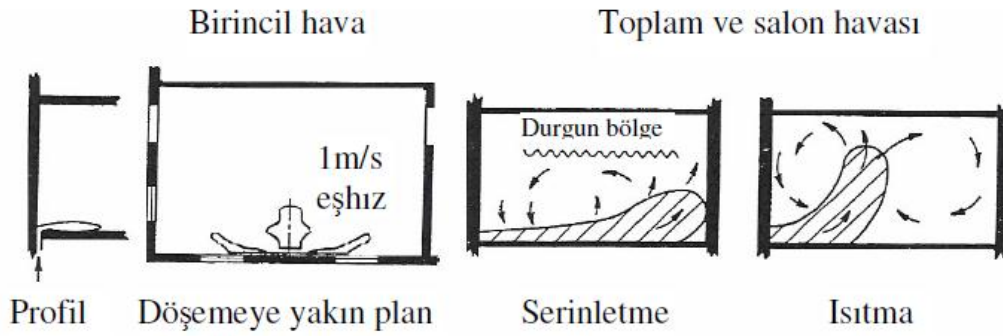
Şekil 1.9. B Grubu besleme ağız çıkışlarının hava hareketleri

C grubu: Açılan bir jet ile havayı düşey olarak veren, döşemeye veya döşeme yanına monte edilmiş ağızlar



Şekil 1.10. C Grubu besleme ağız çıkışlarının hava hareketleri

D grubu: Havayı yatay olarak veren döşemeye veya döşeme yanına monte edilmiş ağızlar



Şekil 1.11. D Grubu besleme ağız çıkışlarının hava hareketleri

E grubu: Birincil havayı düşey olarak püskürten, tavan veya tavan yanına monte edilmiş ağızlar



Şekil 1.12. E Grubu besleme ağız çıkışlarının hava hareketleri [10]

Tanımlanan bu beş grup besleme ağızındaki hava çıkışlarının salon içindeki hava hareketlerinin karakteristikleri Şekil 1.8' den - Şekil 1.12' e kadar olan şekillerde görülmektedir. Bu şekillerde dış duvarlar kalın çizgilerle belirtilmiştir. Buradaki gözlemlerden salon içinde hava yayılması ile ilgili aşağıdaki esaslar belirlenmiştir.

- Bu şekillerde taralı olarak gösterilmiş olan, besleme havası, 0,75 m/s hızına kadar analitik olarak hesaplanabilir. Isıtma veya soğutma yükünün, besleme havasının karakteristikleri üzerinde önemli etkisi vardır.

- Eğik çizgilerle taranmış bölgede gösterilen toplam hava, birincil havadan etkilenir ve 0,75 m/s değerinin altında olmamak üzere nispeten yüksek hızda olup, buradaki hava sıcaklığı ise genellikle salon sıcaklığından $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ farklıdır. Toplam hava çevreden de etkilenir. Serinletme işleminde aşağı doğru düşerken, ısıtma işleminde yukarı doğru yükselir. Bunlar için kesin analitik bir çözüm elde etmek zordur.

- Doğal ısı taşınım akımları serinletme işleminde tavanın aşağısında, ısıtmada ise döşemenin yukarısında durgun bölgeler oluşturur. Bundan dolayı buralarda hava hızları genellikle azdır.

- Bir dönüş ağız, salon hava hareketinin sadece ağızın yakın çevresini etkiler. Ortamın serinletilmesi sırasında en sıcak havanın, ortamın ısıtılması sırasında en soğuk havanın geri dönebilmesi için giriş ağız, durgun bölge içine yerleştirilmelidir.

- Taranmamış alanlarda, salondaki genel hava hareketi, toplam hava akımına doğru hafif bir sürüklenme şeklindedir. Salon koşulları, salon havasının toplam hava akımına katılması ile korunur.

Buraya kadar değinilen belli başlı çalışmaların yanı sıra daha birçok ilgili çalışmayı da bu tez kapsamında derlemek mümkündür. Bu çalışmalarda çok çeşitli yöntemler denemiştir. Bu çalışmalarda genellikle içi boş mekânlar üzerinde çalışmalar yapılmış, mekân içinde nesnelere konumunun etkisi fazla araştırılmamıştır.

Hougten ve Reinmann isimli araştırmacılar [11], hızı ve sıcaklık derecesi değiştirilen hava akımlarının etkisine maruz bırakılan bireyler tarafından gösterilen tepkileri incelemiştir. Bu çalışmaya ait deney sonuçları Tablo 1.1’de görülmektedir

Tablo 1.1. Mahaldeki hava hızının bireylere etkisi

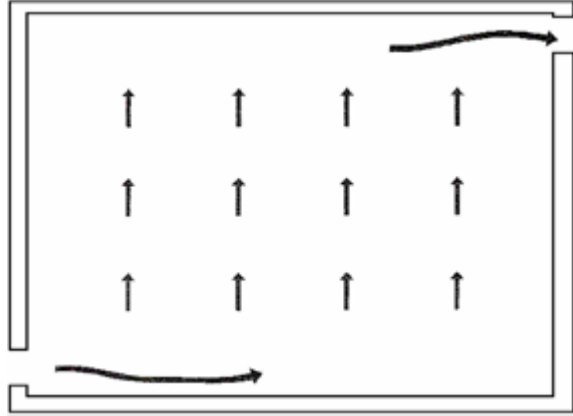
Mahal Ortamı Hava Hızı (m/s)	Bireyler Tarafında Gösterilen Tepki	Uygulama Alanı
0-0,1	Uygunsuz bulunur boğulma hissi görülür	Ender olarak kullanılır
0,1-0,2	Tepki uygun niteliktedir	Konfor uygulamalarında sıkça kullanılır
0,2-0,3	Oturan insanlar için uygunsuz duran veya gezinen insanlar için uygun	Bu hava hızı mağaza, banka gibi yerlerde kullanılır
0,3 ve üstü	Hava akımlar rahatsızlık verir.	Endüstriyel uygulamalarda kullanılır

Başkaya ve Alpay [12], yatay kapalı bir ortamda ayırık ısı kaynaklarından olan doğal taşınım akışının sayısal incelemesinin yapıldığı bir çalışmada, duvarlarında düzlemsel ayırık ısı kaynakları bulunan iki boyutlu yatay bir kapalı ortamda, sürekli şartlarda, laminer doğal taşınım akış özellikleri sayısal olarak incelemiştir. İki boyutlu laminer sayısal modellemeler, tam eliptik korunum denklemlerinin sonlu hacimler metoduna dayalı sayısal akışkanlar dinamiği ile çözülmesi ile elde edilmiştir. Isı transferleri ve akış özellikleri hız vektörleri ile sabit sıcaklık kontur grafikleri ile incelemiştir. Ortamın duvar sıcaklıkları ile ısıtıcı sıcaklıkları sabit tutulmuştur. Değişik ayırık ısı kaynakları konumları altında altı değişik durum incelenmiştir. Ayırık ısı kaynakları konumlarının önemli derecede doğal taşınım akış özelliklerini değiştirdiği gözlenmiştir. Her bir incelenen durum için farklı hava hareketi karakteristikleri elde edilmiştir.

2. İÇ HACİMLERDE HAVALANDIRMA

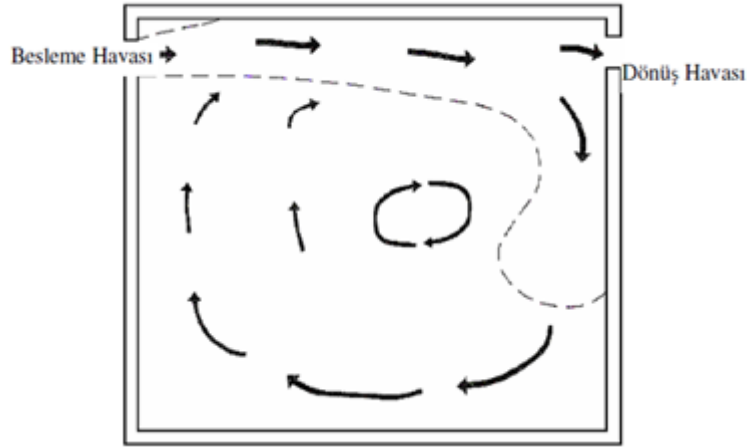
2.1. Oda İçindeki Hava Hareketi

Havalandırma amacıyla odaya beslenen havanın, mahal içerisinde farklı uçlarda iki tipik hareketi söz konusudur. Bunları yer değiştirme hareketi ve yayılım (difüzyon) hareketi olarak isimlendirmek mümkündür. Yer değiştirme hareketinde odaya beslenen hava Şekil 2.1'de görüldüğü gibi bir piston gibi hareket eder ve ideal durumda hiçbir karışım meydana gelmeden odayı süpürerek diğer uçtan hacmi terk eder. Kirli oda havasını böylece karışmadan dışarı atmak mümkün olmaktadır. Karışmalı havalandırma sisteminin tersine yer değiştirmeli havalandırma, kullanılan bölgede havanın karışmasını azaltacak şekilde tasarlanır. Bu havalandırmanın amacı, kullanılan bölgede, besleme havası özelliklerine yakın bir durum elde etmektir.



Şekil 2.1. Bir hacim içerisinde havanın yer değiştirmesi

Havanın oda içerisindeki diğer bir hareketi olan karışmalı havalandırma ise konfor havalandırmasında tercih edilen bir yöntem olup bu yöntemde odaya üflenen hava, Şekil 2.2'de görüldüğü gibi geniş hacme sahip ortam havasını etkiler ve bir karışım oluşturur. Sonuç olarak odadan ilerilere giderken hava akımının hacmi artar ve aynı zamanda hızı azalmaya başlar. Kısa zamanda, hava akımının oluşturduğu hava hareketleri oda içindeki havanın tamamını karıştırır ve odadaki havayı seyreltir. Karışan hava odada kullanılan bölgede nispeten düzgün bir hava hızı, sıcaklığı, nemi ve hava kalitesi özellikleri oluşturur.



Şekil 2.2. Bir hacim içerisinde karışmalı akış

Günümüzde havalandırma işlemi genel olarak şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

1. Doğal çekimli havalandırma
2. Aralık havalandırması
3. Pencere havalandırması
4. Baca havalandırması
5. Çatı havalandırması
6. Zorlamalı havalandırma:

Bu sınıflandırma içerisinde en yaygın olarak uygulanmakta olan zorlanmalı havalandırmaya ait uygulamalar için

- Vakumlu havalandırma,
- Basınçlı havalandırma,
- Birleşik havalandırma,
- Üst basınçlı havalandırma,
- Geçiş akımlı havalandırma.

şeklinde sınıflandırmalar yapılabilmektedir.

2.1.1. Temiz Hava Miktarı

Yirminci yüzyılın ilk yarısında binalardaki havalandırma miktarı standardı her bir bina sakini için 7 l/s iken, 1973'deki petrol ambargosu sonucu enerji tasarrufu kaygısıyla havalandırma miktarının kişi başına 2,36 l/s'ye kadar düştüğü görülmektedir. Çoğu durumda 2,36 l/s'ye düşen bu dış hava miktarının, hem konfor hem de sağlık koşullarını karşılamakta yetersiz kaldığı görülmüştür.

Yetersiz havalandırma; ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin verimsiz çalışmasının da bir sonucu olarak karşımıza çıkabilir. Eğer bir binanın HVAC sistemi havayı insanlara efektif bir şekilde dağıtıyorsa bu durum hasta bina sendromunda önemli bir etken olarak karşımıza çıkabilir. Minimum enerji tüketimiyle kabul edilebilir bir iç hava kalitesine ulaşabilmek için ASHRAE kişi başına düşen dış hava miktarını bir standarda bağlamıştır.

ASHRAE Standart 62'ye göre, eğer dış hava kalitesi yeterli ise, Tablo 2.1'de gösterilen miktarlarda dış hava söz konusu hacimlere temin ediliyorsa, istenilen iç hava kalitesi elde edilir. Tablo 2.1'de dış hava miktarları kişi başına l/s veya alan başına l/s.m² verilmiştir. Ancak söz konusu havalandırma değerleri hala tartışılmakta olan değerlerdir. Yeterli havalandırmayı, kaynaktan bağımsız olarak, her koşul için geçerli genel değerlerle temin etmek mümkün değildir. Belki de havalandırma miktarları, aynı ısı kaybı ve kazancı hesaplarında yapıldığı gibi, her bina için kaynak tanımına bağlı olarak hesaplanmalıdır. Böyle bir hesap yöntemi, kaynak tanımları yapılamadığı ve zararlı düzeyleri belirlenemediği için günümüzde verilememektedir. Buradan hareketle son yıllarda gelişen tekniklerden biri talep kontrollü havalandırma'dır. Bu sistemde hava kalite sensöründen veya CO₂ sensöründen kumanda alan bir havalandırma sistemi ihtiyaç olduğunda ve talep edildiğinde devreye girmektedir. Özellikle kafe, bar gibi yoğun havalandırma gereken ve büyük havalandırma enerjisi tüketimi olan yerlerde bu sistem giderek yaygınlaşmaktadır.[13]

Tablo 2.1. Ticari tesisler için tavsiye edilen dış hava miktarları.

Uygulama	İnsan sayısı (Kişi/100m ²)	l/s kişi	l/s m ²
Kuru temizleme, çamaşırhane			
Ticari çamaşırhane	10	13	
Ticari kuru temizleyici	30	15	
Depo	30	18	
Jetonlu çamaşırhane	20	8	
Jetonlu kuru temizleme	20	8	
Yiyecek ve içecek hizmeti			
Lokanta	70	10	
Kafeterya, fast food	100	10	
Bar, kokteyl salonu	100	15	
Mutfaklar (pişirme)	20	8	
Garajlar, tamirhaneler			
Servis istasyonları			7.5
Kapalı garajlar			7.5
Otomobil tamirhaneleri			7.5
Alışveriş merkezleri satış katları ve show room katları			
Bodrum ve zemin	30		1.50
Üst katlar	20		1.00
Depo odaları	15		0.75
Soyunma odaları			1.00
Yürüme alanları (moller)	20		1.00
Yükleme ve kabul alanları	10		0.75
Depolar	5		0.25
Sigara odaları	70	30	
Özel dükkanlar			
Berber	25	8	
Güzellik salonları	25	13	
Zayıflama salonu	20	8	
Çiçekçi	8	8	
Mobilya giyim			1.50
Hırdavat, ilaç	8	8	
Süpermarket	8	8	
Hayvanat			5.00
Oteller, moteller, dinlenme yerleri, yurtlar			
Yatak odaları			15
Oturma odaları			15
Banyolar			18
Lobiler	30	8	
Konferans salonları	50	10	
Toplantı salonları	120	8	
Ofisler			
Ofis alanları	7	10	
Kabul alanları	60	8	

2.1.2. Temiz Hava Miktarının Tayini

Mahallerde ihtiyaç duyulan hava miktarının belirlenmesinde başta mahalın kullanım amacı olmak üzere, o mahalde bulunan insan sayısı, makine sayısı ve bunların genel hava kirlenme durumları, havanın bağıl nemi, havanın akış hızı ve yönü, hava ile dışarı atılan enerji miktarı ve ihtiyaç duyulan taze hava ve enerji miktarı gibi faktörler önemli rol oynamaktadır. Mahallerin kullanım durumlarına göre, hava sıcaklık ve miktarı tayinleri ile ilgili hesaplama şekilleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

2.1.2.1. Havalandırma Sistemlerinde Dış Hava Miktarı Tayini

Yalnız havalandırma yapılan mahallerde havanın tamamı dışardan alınmakta ve hava üzerinde hiçbir termodinamik işlem yapmadan mahale verilmektedir. Dışardan taze hava mahale gelirken, mahalın kirlenmiş havası da dışarı atılmaktadır. Bu işlemler genellikle, hava fanları yardımı ile cebri olarak yapıldıklarından, fanın gücünün belirlenmesinde mahal hava debisinin bilinmesi gerekmektedir.

Mahal hava debisinin belirlenmesinde;

- 1- Mahal havasının kirlilik durumu,
- 2- Dış havanın fiziki durumu,
- 3- Mahal havasının sıcaklığı,
- 4- Mahal havasının nemliliği, (bazı mahallerde normalin üstünde nem üretilmektedir (çamaşırhane ya da ahır gibi) bu da mahalın gizli ısını hızla bir şekilde yükseltmektedir),
- 5- Mahalin kullanım amacı, (toplantı salonu, istirahat salonu, atölye ya da hayvan barınağı gibi),
- 6- Mahalden mahal havasına yapılan gaz katkıları (mahal gazlı deneyler yapılan bir laboratuvar ise; havaya istenmeyen gazların karışması söz konusudur.),
- 7- Mahalde bulunmak durumunda olanların özellikleri (insan ya da hayvan gibi), gibi hususların göz önünde bulundurulması gerekir.

Mahal dış hava debisinin belirlenmesinde, bu hususlar göz önünde bulundurularak hazırlanan metotlardan en uygun olan biri ya da birkaçı uygulanabilir.

2.1.2.2. Mahaldeki İnsan Sayısına Göre Dış Hava Miktarı Tayini

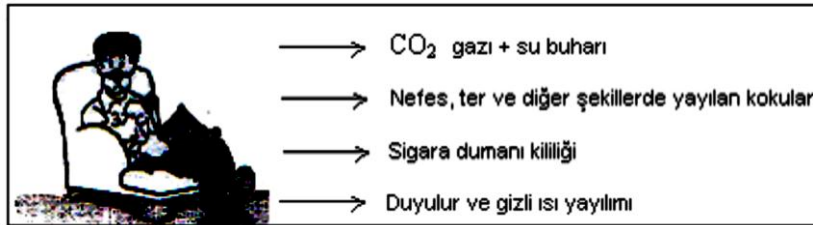
Mahal havalandırmada, mahalın kullanım amacı ve mahalde bulunan insanların havayı kirletme durumlarını da göz önünde bulundurmak gerekir (Şekil 2.3). Mahalin ortalama taze hava ihtiyacını kişi sayısına göre belirlenmesinde kesin sayısal bir değer vermek imkanı yoktur. Bunun için mahalın kullanım amacına göre fert başına tecrübe edilen yaklaşık değerler göz önüne alınmaktadır. Tablo 2.2’de mahal kullanım amacı ve o mahalde bulunan insanların taze dış hava ihtiyaçlarına göre fert başına ihtiyaç duyulan taze hava miktarları verilmiştir. Ancak, lüzumu halinde bu değerlerin 10-15 m³/h altında ve üstünde almak mümkündür. Bu çizelgeden faydalanarak toplam dış hava ihtiyacını bulmak için;

$$Q = n \times V_{kişi}$$

Q : Toplam dış hava debisi

$V_{kişi}$: İnsanlar tarafından ihtiyaç duyulan temiz hava miktarı (m³/h, kişi) (Tablo 2.2)

n : Mahalde bulunan insan sayısı



Şekil 2.3. Mahal Havaına İnsanlar Tarafından Yapılan Katkılar

Örnek: Bir kantinde ortalama 25 kişinin bulunduğu kabul edilmektedir. Bu kantine dış hava sağlamak amacıyla bağlanan fanın hava debisi ne olmalıdır?

Çözüm: *Toplam dış hava debisi:*

$$V_{kişi} = 30 \text{ m}^3/\text{h, kişi}$$

$$Q = n \times V_{kişi}$$

$$Q = 25 \text{ kişi} * 30 \text{ m}^3/\text{h, kişi} = 750 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tablo 2.2. Mahal Kullanım Amacına Göre Fert Başına Saatlik Taze Hava İhtiyacı

Hava kullanım yeri	Hava miktarı m ³ /h, kişi	Hava kullanım yeri	Hava miktarı m ³ /h, kişi
Tiyatro	20	Özel büro	30
Konser salonu	20	Dinlenme odaları	30
Sinema	20	Kantin	30
Okuma salonu	20	Konferans salonu	30
Fuar alanı	20	Sınıflar	30
Satış mağazası	20	Teneffüs odaları	30
Müzeler	20	Lokantalar	40
Spor salonları	20	Büyük bürolar	50

2.1.2.3. Hava Debisi ve Hava Değişim Sayısı

Hava değişim sayısı, mahal hacmi kadar dış havanın mahalde bulunan hava ile değiştirilerek, mahal havasının yenilenmesidir. Saatteki yenilenme miktarı da saatlik hava değişim sayısı olarak ifade edilmektedir. Mahal havasının değiştirilme ihtiyacı sıklığı, (bilhassa atölyelerde) mahal havasının kirlenme süresine bağlıdır. Özellikle işletme mahallerinde oluşan zararlı maddelerin etkilerine göre, hava değişim sayıları belirlenmektedir. Tablo 2.3' de mahallerin kullanım amaç ve cinsine göre, tecrübeye dayalı saatlik hava değişim sayıları verilmiştir. Bir hacme gönderilecek hava ihtiyacı hava değişim sayısına göre belirlenebilir. Buna göre hava ihtiyacı;

$$Q = H_d \cdot V_m$$

Q : Mahale üflenen hava debisi (m³/h)

H_d : Hava değişim sayısı (defa/saat= 1/h= h⁻¹) (Tablo 2.3)

V_m : Mahalin toplam hacmi (m³)

Örnek: Yüksekliği 3,5 m, eni 10 m ve boyu 20 m olan bir konferans salonu havalandırılacaktır. Buna göre konferans salonunun dış hava ihtiyacını belirleyiniz.

Çözüm: Konferans salonunun hacmi:

$$a = 10 \text{ m, } b = 20 \text{ m ve } h = 3,5 \text{ m}$$

$$V_m = a.b.h = 10.20.3,5 = 700 \text{ m}^3$$

Konferans salonunun hava değişim sayısı:

$H_d = 5-10$ defa/h (Tablo 2.3' den sigara içme yasağı olduğu için en düşük değer 5 defa/h alınmıştır)

Buna göre hava ihtiyacı:

$$Q = H_d \cdot V_m$$

$$Q = 5 \text{ defa/h} \cdot 700 \text{ m}^3$$

$$Q = 3500 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tablo 2.3. Tavsiye edilen saatteki hava değişim sayıları

Odanın Özellikleri	Saatteki hava değişim sayısı	Tavsiye edilen havalandırma yöntemi	Odanın özellikleri	Saatteki hava değişim sayısı	Tavsiye edilen havalandırma yöntemi
Toplantı Salonları	4-8	Egzoz	Mutfaklar, domestik	15-25	Egzoz
Oditoryumlar	6-8	Egzoz ve besleme	Mutfaklar, ticari	15-30	Egzoz
Pasta, fırın	20-30	Egzoz	Laboratuvarlar	8-15	Egzoz
Banyolar	7-10	Ön ısıtılmış hava besleme	Çamaşırhaneler	10-20	Egzoz
Güzellik salonları	8-12	Egzoz ve besleme	Kütüphaneler	4-5	Egzoz ve besleme
Kafeler	10-12	Egzoz	Makine daireleri	10-40	Egzoz, ısı hesabı
Sinemalar	5-8	Egzoz ve besleme	Ofisler	4-8	Egzoz ve besleme
Konferans salonları	5-8	Egzoz ve besleme	Lokantalar	8-12	Egzoz ve besleme
Soyunma odaları	6-8	Egzoz	Tuvaletler	8-15	Egzoz
Garajlar	5-7	Egzoz	Süpermarketler	10-15	Egzoz ve besleme
Hastaneler, ameliyathane	10-15	Egzoz, besleme	Yüzme havuzları	10-15	Egzoz ve ısıtılmış besleme

Bir hacme gönderilecek veya çekilecek hava miktarı kirleticilerin veya kokunun yoğunluğuna bağlıdır. Endüstriyel ve ticari uygulamalarda üretilen ısı ve prosese bağlı olarak ilave artırım faktörlerine gereksinim duyulabilir. Saatteki hava değişim sayısı, bir odaya beslenecek taze hava miktarının hesaplanmasında önemli bir faktördür. Tablo 2.3' de Avrupa tarafından tavsiye edilen hava değişim sayıları verilmiştir. Bu değerler DIN 1976 T.2 üzerinde çalışan yerel otoriteler tarafından teklif edilmiştir. Bu hesaplarda kişi başına hava ihtiyacı 20 - 50 m³/h arasında bir değer olarak göz önüne alınmıştır.

2.2. Havalandırma Açıklıkları, Menfezler ve Difüzörler

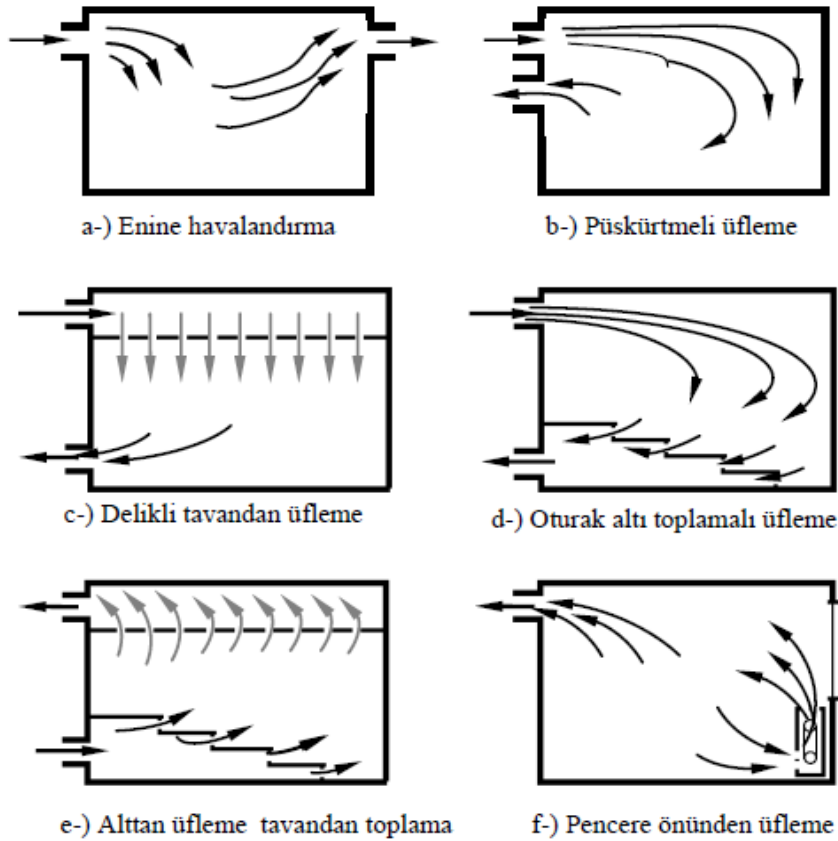
Havalandırma tesisatının uç noktasında menfez veya difüzör adını verdiğimiz havalandırma açıklıkları bulunur. Bu açıklıklardan odalara hava beslenir veya egzoz havası çekilir. Öncelikle menfezden beslenen havalandırma havası miktarı yeterli olmalıdır. Bunun yanında bir menfez; odadaki yaşam bölgesinde (insanlı bölgede) yarattığı ses basınç seviyesi, üflenen havanın hızı ve üflenen hava ile oda sıcaklığı arasındaki farkla ilişkili belirli şartları yerine getirmelidir. İklimlendirme açısından önemli olan bu insanlı bölge, döşemeden yaklaşık 1,80 m yüksekliğe kadar olan bölgedir. Konfor şartları ve iyi bir hava dağılımının bu bölgede sağlanması önemlidir. Bu bölgede de özellikle ense yüksekliği olarak tanımlanabilecek düzey en kritik bölgedir.

Bazı araştırmalara göre havalandırma ile ilgili sorunların % 70'i menfezlerden kaynaklanmaktadır. Menfez seçimi için her duruma uygun kesin kurallar koymak mümkün değildir. Özellikle yüksek ısıtma ve soğutma yükü olan karmaşık geometrik ölçülere sahip mahallerde güçlüklerle karşılaşmaktadır. Çok alçak ve çok yüksek tavanlı mahaller, içinde balkon bulunan salonlar sarkan kirişli veya tavan yüksekliği değişken mahaller, konser salonları, vb. havalandırmak için zor mahallerdir. Böyle durumlarda, bir model mahal oluşturarak deney yapmak en iyi çözüm olarak görülmektedir. Standartlarda bu deneylerin nasıl yapılacağı tanımlanmaktadır.

2.2.1. Menfezlerin Görevleri

- Gerekli hava debisini sağlamak
- Havayı mahal içinde uygun şekilde yaymak
- Rahatsız edici hava akımlarını oluşturmamak
- Havayı doğrudan toplayıcı menfezlere göndermemek
- Gürültü oluşturmamak
- Mimari tasarıma uygun olmak

Hava üflemede, mahalın hava şartlarına etki ederken, mahalın kullanım amacına göre, görünüm ve estetiğinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 2.4) değişik görünümlerdeki mahallerin konum ve kullanım amacına göre havalandırma şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Mahale değişik üfleme şekilleri

Mahallerde iyi bir hava dağıtımını sağlamak için;

- a) Üfleme ve emme hava ağızlarının uygun ve doğru ölçüde seçilmiş olması,
- b) Hava dağıtım etkenlerinin (havanın hızı, basıncı, sıcaklığı, v.s.) iyi belirlenmesi,
- c) Mevcut sistemlerin problem oluşturan kısımlarının kaldırılması,
- d) Havanın iyi bir şekilde dağıtılmasını etkileyecek diğer faktörlerin (fan çalışma rejimi, yük değişimi gibi.) iyi tespit edilmesi,
- e) Değişik hava dağıtım şekillerinin uygulanmasından elde edilen neticenin iyi değerlendirilmesi,
- f) Hava dağıtım elemanlarının işe başlamadan doğru seçilmiş olması,
- g) Üfleyici ağızlarının doğru projelendirilmesi gerekir.

Bir mekâna dağıtıcı menfezlerle verilen hava, normal olarak toplayıcı menfezlerle geri alınır. Bazı durumlarda, verilen havanın bir bölümü atmosfere veya komşu mahallere kaçar. Bu durumda mahal içinde pozitif basınç oluşur. Eğer mahal içinde eksi basınç oluşmuş ise örneğin tuvalet ve banyo gibi mekândan emilen havanın bir bölümü veya tümü atmosferden veya komşu mahallerden gelir. Görüldüğü gibi mahal içinde bir hava hareketi söz konusudur. Bu hava hareketinin içeride bulunan insanları rahatsız etmeyecek şekilde olması gerekir. Menfez seçiminde ve yerleştirilmesinde dikkat edilecek en önemli konunun bu olduğu söylenebilir.

Hava, dağıtım menfezleri aracılığı ile mahal içine gönderilir. Bu menfezlere, basma veya üfleme menfezleri adı da verilmektedir. Mekân içine gönderilen hava mahal havası ile karışarak kapsamında bulunan bir kısım entalpi ve nem miktarını bırakır. Böylece ya daha fazla ısınır veya serinler ve ayrıca nem oranı da değişir. Bu hava daha sonra toplama veya emme menfezleri tarafından tutularak yeniden tesisata gönderilir [11].

Mahal içinde oluşan hava dağılımında öneme sahip başlıca etkenler şunlardır.

- İç ortam havasının hızı,
- Mahal içine gönderilen basma havasının sıcaklığı,
- Hava dağıtım ile toplama menfezlerinin yeridir.

2.2.2. Hava Dağıtım Sisteminin Tasarımı

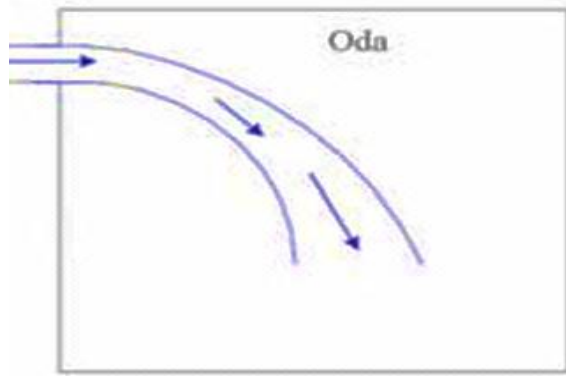
Hava dağıtım sistemlerinin tasarımındaki amaç, hava besleme difüzörü ile dönüş menfezlerinin yerini ve türünü belirlemek ya da seçmektir. Koşullandırılan mahalde belirli bir noktadaki hava hızını ve sıcaklığını etkileyen parametreler şu şekildedir:

- a) Havanın besleme difüzörüne girişteki hızı,
- b) Besleme ve dönüş sıcaklık farkı ($T_s - T_r$),
- c) Besleme çıkış ağzının geometrisi ve konumu,
- d) Dönüş hava girişinin konumu,
- e) Mahalin geometrisi,
- f) Mahaldeki yüzey sıcaklığı: Yüzey sıcaklıkları düştükçe (örneğin camlar) doğal konveksiyon akımları daha güçlü hale gelir.
- g) İçsel ısı kaynakları (örneğin insanlar, cihazlar),
- h) Mahaldeki türbülans

Koşullandırılan mahaldeki hız ve sıcaklık profillerinin tam olarak tahmin edilebilmesi, kütle, momentum ve enerji eşitliklerinin eşzamanlı çözümünü gerektirir. Buna karşılık genelde bu işlev, mahalde ısı transferi ile hava akışını etkileyen birkaç faktör nedeniyle, son derece karmaşık bir yapıda olup mahalde hava dağıtımının temel bilgileri, kaldırma etkisi, hava akımlarının sapma göstermesi ve serbest akımlı hava jetleri gibi hususların anlaşılmasını gerektirir. Normalde, dönüş menfezlerinin yeri ve türü hava dağıtımını önemli ölçüde etkilemez.

2.2.2.1. Kaldırma Etkileri

Havanın kaldırma kuvveti etkisi nedeniyle, mahal havasından daha soğuk olan bir hava akımı aşağı doğru inerken (Şekil 2.5), daha sıcak ve düşük yoğunluklu hava akımı yukarı doğru yükselir.



Şekil 2.5. Mahal havasından daha soğuk olan bir besleme havası jetinin düşmesi

Kaldırma etkilerinin besleme ve dönüş havalarının sıcaklıkları arasındaki fark nedeniyle oluştuğu bilinmelidir. Belirli bir 'h' yüksekliğinde bulunan hava elemanın kaldırma etkisiyle oluşan hızı aşağıdaki gibidir:

$$V_i^2 = gh\left(\frac{\Delta T}{T_r}\right) \quad (2.1)$$

burada ΔT , akışkan elemanı yerel sıcaklığı (T_f) ile mahalın sıcaklığı (T_r) arasındaki fark, g yer çekimi ivmesi ve h yüksekliktir, h yüksekliğindeki denge için akışkan elemanı hızı ile besleme havasının giriş hızı (V_0) eşit olmalıdır. Denge durumunda,

$$V_i = V_0 \quad (2.2)$$

yazılabilir. Buna göre denklem 2.2'den

$$V_0^2 = gh\left(\frac{\Delta T}{T_r}\right) \quad (2.3)$$

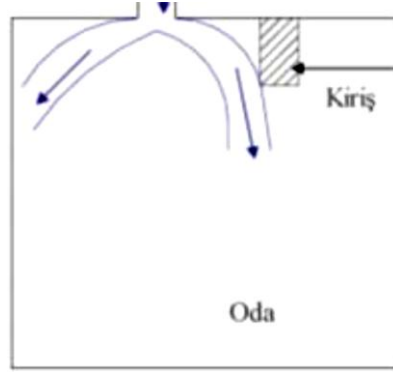
Diğer yandan Arşimet sayısı Ar aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$Ar = \frac{gh}{V_0^2} \left(\frac{\Delta T}{T_r}\right)$$

Yukarıdaki ifadede Arşimet sayısındaki mahalın yüksekliği (h) yerine aşağıdaki eşitlikle verilen hidrolik çap (D_h) kullanılabilir:

$$D_h = \frac{4Wh}{2(W+h)} \quad (3.5)$$

Burada W ve h sırasıyla odanın genişliği ve yüksekliğidir.



Şekil 2.6. Mahalde engel bulunması hali

Arşimet sayısı, çıkış ağızındaki hava hızı, besleme havası ile oda sıcaklığı arasındaki fark ve odadaki hava dağıtımını etkileyen temel boyutlar arasında bir bağlantı kurar. Birkaç çalışmada, bir mahaldeki hava akım örneğinin önemli ölçüde Arşimet sayısına bağlı olduğu gösterilmiştir. Arşimet sayısı aynı zamanda Grashoff sayısının, Reynolds sayısının karesine oranı biçiminde de yazılabilir. ($Ar = Gr/Re^2$) ve bu biçimde, kaldırma kuvveti nedeniyle olan doğal konveksiyon etkileri ile besleme hava jeti nedeniyle ortaya çıkan cebri konveksiyon etkilerini birleştirir. Arşimet sayısı aynı zamanda iç mahal havasıyla çevreleyen yüzeyler arasındaki ısı transferini de etkiler. İnsanların bulunduğu zonda çekmelerden kaçınmak için, Arşimet sayısı oda boyutlarına bağlı olan bir maksimum değeri aşmamalıdır. Tablo 2.4' de W ve h'nin fonksiyonu olarak Arşimet katsayısına ilişkin maksimum değerleri göstermektedir [15].

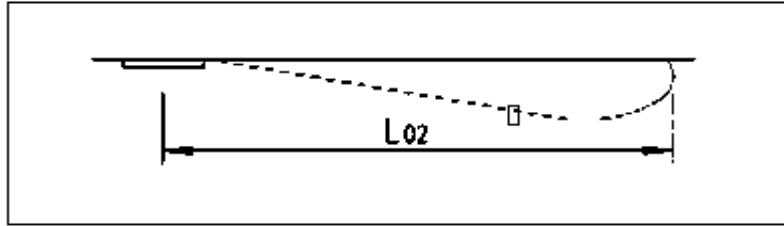
Tablo 2.4. Hava çekmelerinden kaçınmak için önerilen maksimum Arşimet sayısına ilişkin değerler

W/H	4.7	3.0	2.0	1.0
A_{rmax}	2000	3000	10 000	11 000

2.2.3. Hava Hareketleri İçin Temel Kavramları

2.2.3.1. Hava Atış Mesafesi

Bir jetin hava atış mesafesi, L_{02} yayıcı çıkış ağzı ile akış kesitindeki maksimum hızın belirlenen bir terminal hıza düştüğü nokta arasındaki uzaklığa eşittir. Bütün yayıcılar için terminal hız, 0,25 m/s olmasına rağmen, sadece tavan tipi yarıkli yayıcılarda terminal hız 0,5 m/s olarak alınır. Atış mesafesini belirlemede kullanılan değerler izotermal halde ve tavana monte edilmiş menfez/difüzör için verilir. Atış mesafesi Şekil 2.7' de gösterilmiştir. Eş sıcaklık koşullarında ve sınır duvarların jete etki etmemesi durumlarında, yayıcı imalatçıları üretimleri olan yayıcıların jet hava atış mesafelerini kataloglarında verirler. ASHRAE Standart 70-72 ile onaylanmış jet hava atış mesafelerine ait veriler eş sıcaklık koşullarında alınmalıdır; bu Standart ile onaylanmamış jet hava atış mesafesi verileri, imalatçının seçimine bağlı olarak eş sıcaklık koşullarında olabilir veya olmayabilir.



Şekil 2.7. Atış Mesafesi

Bir çıkış ağzındaki hacimsel debi ve eksenel hız bilinirse, çıkışın X hava atış mesafesi

$$L_{02} = X = \frac{K'}{V_x} \frac{Q}{\sqrt{A_c C_d R_{fa}}} \quad (3.6)$$

K' = orantı katsayı, $K'=1,13K$

$A_c C_d R_{fa}$ = açık ağızlı kanaldan boşalan veya daralmış kısımdaki akıştaki etkin alan, m^2

Q =çıkıştaki hava debisi, m^3/s

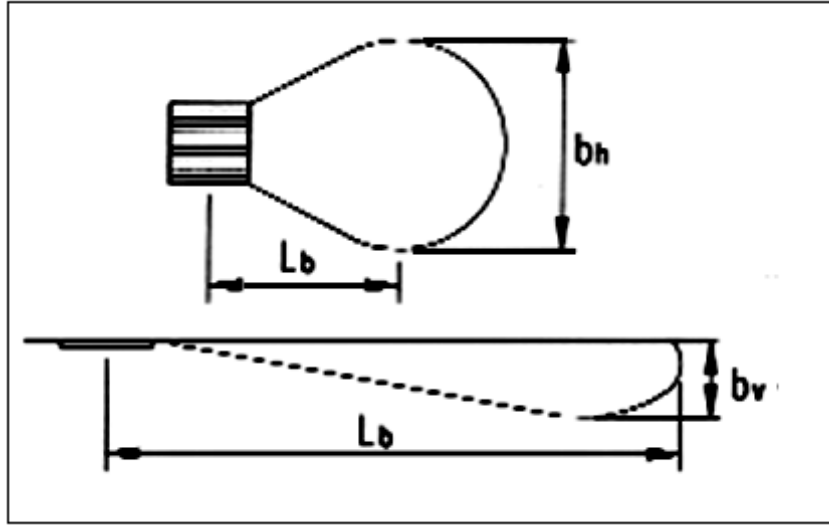
V_x =merkezdeki hız

C_d =boşalma katsayı (çoğunlukla 0,65 ile 0,90 arasındadır)

R_{fa} =serbest alanın çekirdek alanına oranı

2.2.3.2. Yayılma

Maximum düşey yayılma, b_v tavan ile son hız 0,2 m/s değerine sahip noktalar arasında düşey doğrultudaki en büyük mesafedir. Yatay yayılma, b_h ise 0,2 m/s son hızın yatay doğrultudaki en geniş yayılmasını gösterir (Şekil 2.8). En büyük jet genişliği noktası ile menfez/difüzör arasındaki mesafe L_b ile gösterilir.



Şekil 2.8. Yayılma

2.2.3.3. Bitiş Hızları

Sınırlı bir alanda hava jeti çekirdeğinin hızı aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$V_x = (L_{02} \cdot 0,2) / X$$

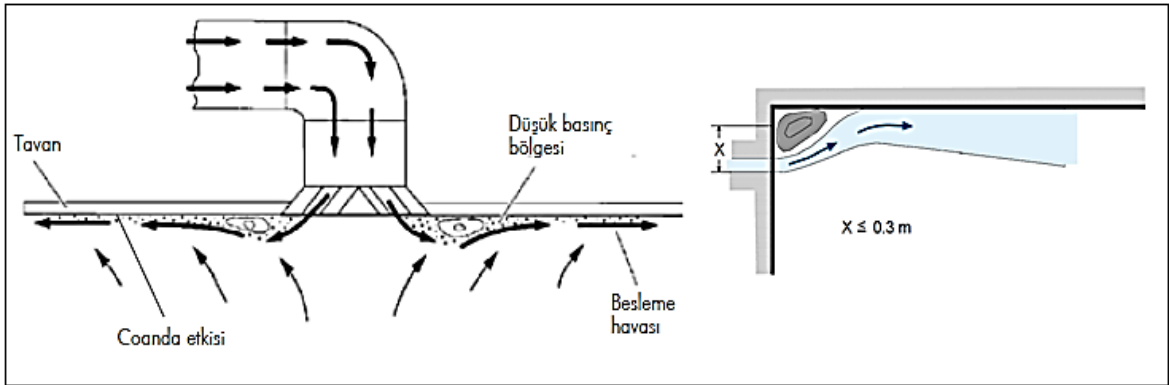
Burada X (m), menfez/difüzör ile V_x (m/s) çekirdek hızının belirleneceği nokta arasındaki mesafeyi göstermektedir.

Örneğin; Atış mesafesi $L_{02} = 3$ m olan bir difüzörde jet hızının 0,3 m/s olduğu mesafe,

$$X = 3 \cdot 0,2 / 0,3 = 2 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

2.2.3.4. Coanda Etkisi

Bir hava akımı bir duvar veya tavanın yakınına geldiği zaman duvar veya tavana doğru yönelir. Bu olgu Coanda Etkisi olarak adlandırılır. Coanda etkisi, daha açık bir tanımlama ile hızla ilerleyen hava akımının doğru bir yol izlemek yerine, yakınındaki bir düzeye yapışarak, düzeyin eğimlerini izleyerek ilerlemesi olayıdır. Coanda etkisinin nedeni odadaki hava akımına göre duvar üzerinde ya da tavan çevresindeki hava akımının basıncının daha düşük olmasıdır. Bunun sonucu hava akımı duvar üzerinde ya da tavana karşı bir basınç oluşturur. İkinci bir hava akımı duvar ya da tavan gibi davranır, iki hava akımı birbirini çeker. Bu çekim etkisiyle hava akımı duvara ya da tavana doğru yönelir. İyi bir hava dağıtımının yapılabilmesi için Coanda Etkisi önemlidir. Mümkün en büyük coanda etkisini yaratabilmek için, hava her menfezden küçük miktarlarda bütün tavan boyunca düzgün olarak ve mümkün olan en büyük hızda üflenmelidir. Coanda etkisi, hızın 0,35 m/s değerinin altına inmesi halinde tamamen kaybolur. Tavan ile menfez arası 0,3 m'den küçük eşitse coanda etkisi oluşur (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Coanda Etkisi

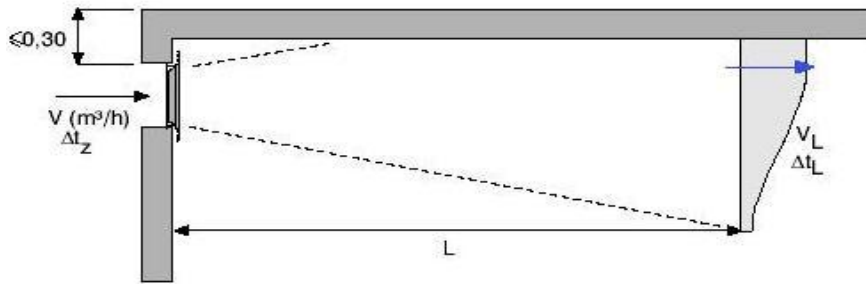
Engel olması durumu; besleme hava yayıcısına yakın olan bina kirişi gibi engeller hava akışını bozabilir. Coanda etkisi ortadan kalkabilir. Bunun sonucunda hava akışı, yaşanılan bölgede rahatsız edecek bir hava cereyanı yaratacak şekilde aşağıya doğru çok erken düşebilir.

2.2.4. Menfezlerin Konumu

Dağıtıcı ve Toplayıcı menfezlerinin mahal içindeki konumu, konfor veya rahatlık duygusu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Menfez konumlarının seçimi işleminde sınırsız bir serbestlik söz konusu değildir. Bu işlem esas olarak, iklimlendirme tesisatının tipine bağlıdır. Üfleme menfezleri, bir duvarın alt ya da üst kısmında, bir pencerenin alt kısmındaki duvar yüzeyi üzerinde veya tavana yerleştirilebilir. Duvarların üst kısımlarında öngörülen basma menfezleri, yaz mevsiminde soğutma yapıldığında iklimlendirme işlemleri için son derecede uygun sonuçlar verir. Bunun nedeni, serin havanın aşağılara doğru inmeye ve bu koşullar altında mahal havası ile karışmaya eğilim göstermesidir.

Kış mevsiminde ise, ısıtma yapıldığında, sıcak hava, tavana yakın bölgelerde tabakalar halinde yayılmış durumda toplanır. Bundan dolayı, basma havası ile mahal havasının uygun bir karışım oluşturması için, emme menfezlerinin duvarların alt bölgelerinde öngörülmesi gerekir. Bir duvar üzerinde gerçekleşmesi düşünülen basma menfezi konumunun seçimi işinde bazı koşullara uyulması zorunludur. Bu koşullar;

1) Menfezin uygun bir çalışmaya olanak vermesi için, dağıtıcı menfezin üst kenarı, tavan seviyesinden yaklaşık 30 cm kadar aşağıda bulunmalıdır. Tavanda, kirişler ve aydınlatma aygıtları gibi çıkıntılı kısımlar bulunması halinde, istenmeyen türbülanslar olmayacak kadar aşağı indirilmelidir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Menfezin uygun yerleşimi

2) Duvara yerleştirilecek bir üfleme menfezinin konumu hakkında kesin bir karar verilmeden önce, mahallin boyutları ile boyut oranlarının ve konumsal durumunun olabildiği kadar ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekir. Üfleme havası mahallin büyük kenarı boyunca püskürtülmeli; böylece temas yüzeyinin süpürülmesi ve karşıt yüzey üzerinde hava hüzmesi darbesi veya şoku oluşumunun önlenmesi gerekir. Üfleme

menfezinin konumu havanın üflenen kenar boyunca soğuyarak aşağıya doğru inmesini engelleyecek şekilde belirlenmelidir.

3) Dağıtıcı menfezlerin, mahal içinde bulunan bireylerin konumuna göre yerleştirilmesi konfor ve rahatlık duygusu açısından son derece önemlidir. Mahallin döşemeye yakın kısımlarında ya da pencere altındaki duvarlara yerleştirilen üfleme menfezleri, konfor veya rahatlık duygusunun sağlanması amacıyla iklimlendirme projelerinde kullanımında giderek yaygınlaşmaktadır. Bu tip menfezlerde, havanın basılması işlemi, düşey doğrultu 15 ile 20 derecelik bir açı yapacak şekilde tavana doğru gerçekleşir. Bu tip menfezler özellikle kış mevsimi koşullarına uygundur. Tavan menfezleri, yalnızca yüksekliği 2,5 m'den büyük olan mekanlarda öngörülebilir. Gerçekten de, hava akımı duygusunun önlenmesi amacıyla, düşey doğrultulu hava huzmesi ile mahal içerisinde bulunan insanların başı arasında en azından 1 m'lik bir açıklığın bırakılması zorunludur.

2.2.5. Hava Dağılım Prensipleri

Menfezleri tanımanın en iyi yolu menfezlerin çeşitli başlıklar halinde uygun bir biçimde sınıflandırmaktır. Menfezler farklı açılardan sınıflandırılabilirler.

Hava akış yönüne göre sınıflandırırsak;

- Dağıtıcı menfezler,
- Toplayıcı menfezler,
- Transfer menfezleridir.

Kısaca önemli menfez ve difüzör tiplerini tanımlarsak

- Kare tavan yayıcıları (anemostat),
- Duvar tipi dikdörtgen havalandırma menfezleri,
- Ayarlanabilir kanatlı tavan yayıcıları,
- Yarık tipli yayıcılar,
- Girdap akışlı yayıcılar (Swirl difüzörler) ve
- Jet menfezlerdir

Bu konu ile ilgili olarak; Ağızlar besleme havasının devrini en az yapacak şekilde yerleştirilmelidir. Şayet hava tavandaki jetler ile besleniyorsa, egzoz ağızları jetlerin arasında veya salonun diğer tarafına, hava jetlerinden uzak bir yere yerleştirilmelidir. Yer değiştirmeli havalandırmada, çıkış ağızları döşemede veya döşeme yanında bulunur ve bu

ağızlardan besleme havası salonda kullanılan bölgeye doğrudan doğruya gönderilir. Tek yönlü havalandırma uygulanacaksa bir ortamın havalandırılmasında, hava ya tavandan beslenir ve döşemeden çıkar veya tam tersi olur yada hava bir duvardan beslenir ve karşı duvardaki emme ağızından çıkar. Uygun bir hava dağılımı için hava atış mesafesi maksimum değerinin % 75'inden az daha az tutulmalıdır. Menfezlerin seçimine ve yerleşimine ilişkin çeşitli yardımcı tablolar mevcuttur.

Tablo 2.5. Bazı Uygulamalarda Menfez İçin Tavsiye Edilen Hava Çıkış Hızları

Mahal	Üfleme Hızı (m/s)
Radyo ve Film Stüdyosu, ameliyathane	1,5-2,5
Hastane, Yatak Odası, Ofis, Konut, Cami vb.	2-4
Dershane, Konser Salonu, Yemek Odası, Kütüphane, Oyun salonları, Bankalar, Konferans salonu	2,5-4
Alışveriş Merkezi, Balo salonu, Restaurant, Kafeterya, Otel lobisi, Tiyatro, Sinema	2,5-6
Süpermarket, Fabrika, Jimnastik Salonu, Endüstriyel mutfak, depo	4-8

Kısaca önemli menfez ve yayıcı tipleri tanımlanırsa;

Kare tavan yayıcıları (anemostat); bu türlerin kanatları sabittir ve tavana 4 yönde yatay besleme havası üflemede kullanılırlar. Tavanın merkezinde yerleştirilmeleri uygundur. Sıcak ve soğuk havayı aynı mükemmellikte besleyebilirler.

Duvar tipi dikdörtgen havalandırma menfezleri; bu tiplerin en uygun kullanım yerleri duvarın üst kotlarıdır. Kanatları ayarlanabilir ve hem egzoz hem de beslemede kullanılırlar. Ancak tavana yerleştirilerek düşey yönde hava üflemleri konfor uygulamasında genellikle kabul edilmez.

Ayarlanabilir kanatlı tavan yayıcıları; bu tiplerde havanın en yakın yüzeye yapışması etkisi önemlidir. Kanat pozisyonları belirli bir konuma gelinceye kadar havanın en yakın yüzeye yapışması etkisi sürer ve atılan hava tavana yapışır. Bundan sonra kanatlar daha da açılırsa, hava üflemleri düşey doğrultuda gerçekleşir, bu yüzden geniş bir kullanım alanı vardır.

Yarıklı tipli yayıcılar (slot difüzör); bu yayıcılar bir veya daha fazla ince uzun yarıklı şekilde çıkış elemanlarıdır. Dik akışlı olanları en iyi duvar uygulamalarında kullanılırlar.

Girdap akışlı yayıcılar (swirl difüzörler); bu tiplerde besleme havası mahal havasına çabuk karışır. Büyük hava değişim sayıları veya büyük soğutma yükleri söz konusu olduğunda rahatlıkla kullanılabilirler. Besleme havası, menfez boğazına genellikle 13 m/s hızla girer ve özel form verilmiş kanatlar aracılığı ile radyal ve yatay doğrultulu çok sayıda hava jeti olarak menfezden çıkar.

Jet menfezler; büyük ve yüksek tavanlı yerlerde üfleme havasının yaşam bölgesine ulaştırmak için uzun atış mesafelerine sahip oldukları için uygundur, 30 m' ye varan atış mesafelerine sahiptirler.

Bu bilgiler ışığında, menfez seçimi ve yerleştirilmesinde izlenecek prosedürü özetlersek;

1. İç mahal çevresinin kontrol gereksinimi: İç mahal çevresinin kontrolü hava hareketi gerektirdiğinde, yüksek hızlı bir hava çıkış ağızı kullanılmamalıdır.

2. Binanın biçimi, büyüklüğü ve yüksekliği: Tavan ve yarıklı difüzörler sınırlı tavan yüksekliğindeki binalar için idealdir. Geniş binalar ve yüksekliği fazla olan binalar için, yan duvarın yüksek bölümüne yerleştirilen çıkış elemanları önerilir.

3. Birim alan başın hava debisi: Yan duvar çıkış elemanları, insan bulunan zonda yüksek hava hızları verdiklerinden, düşük debiler ile sınırlıdır. Yarıklı difüzörlerle karşılaştırıldıklarında, tavan difüzörleri büyük hacimsel debileri daha etkili biçimde üstlenebilir.

4. Çıkış ağızı basma hacimsel hava debisi: Çıkış elemanı basma hava debisi, mahalde uygun bir hava dağıtımını sağlamak üzere gerekli atım uzunluğuna bağlıdır. Lineer yarıklı difüzörler için, birim uzunluk basma hava debisi önemlidir. Bunun değeri lineer difüzörler için normalde 23 ~ 62 L/s.m'dir. Döşeme alan yaklaşık 14 m² olan ve bir dış duvarı bulunan bir kapalı ofis için normalde bir tavan difüzörü yeterlidir.

5. Atım uzunluğu: Yan duvarın yüksek kısmında bulunan difüzörler, tavan difüzörlerine oranla daha yüksek atım uzunluğuna sahiptir. Kare tavan difüzörleri, ve dairesel tavan difüzörleri benzer atım uzunluklarına sahiptir.

6. Toplam basınç düşümü: 19 mm genişliğe sahip bir yarıklı difüzör den akan havanın toplam basınç düşümü normal olarak 12 ~ 50 Pa iken, tavan difüzörünün basınç kaybı 5 ~ 50 Pa'dır. Normalde besleme çıkış elemanındaki basınç kaybı 50 Pa'dan fazla olmamalıdır.

7. Gürültü düzeyi dikkate alınmalıdır.

8. Maliyet ve görünüm: Belirli bir uygulama için kullanılacak difüzörün maliyeti ve görünümü de dikkate alınmalıdır. Değişik besleme havası çıkış elemanlarının performansı, hangisinin en iyi performansı vereceğini seçmek üzere kullanılan tablolar ve diyagramlar halinde üreticiler tarafından sağlanır.

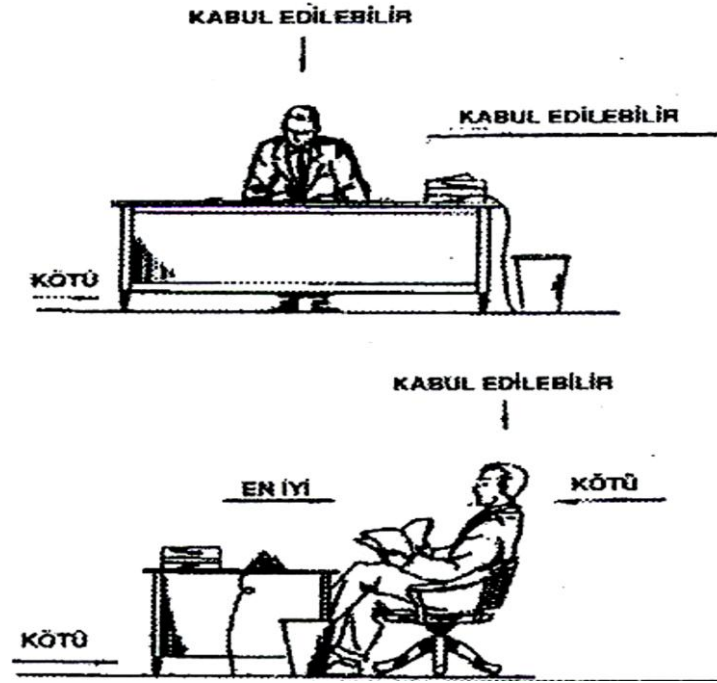
2.3. Konfor Koşulları

Günümüz havalandırma uygulamalarında göz önüne alınan en önemli hususlardan biri hiç kuşkusuz konfor koşullarının sağlanması konusudur ve bu koşullar her geçen gün daha da hassaslaşmakta ve daha fazla önem verilmektedir. Konfor kriterleri bize mahal içerisinde hangi parametreleri kontrol etmemiz gerektiğini açıklar.

Bu Faktörler,

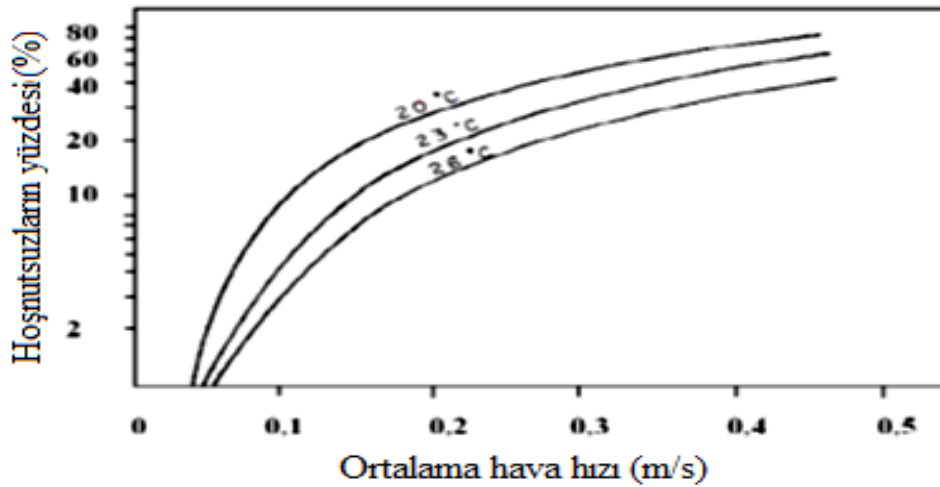
1. Yaş ve kuru termometre sıcaklıkları,
2. Bağıl nem,
3. Mahaldeki ısı kazanç ve kayıpları,
4. Mahaldeki hava hareketi,
5. Ses Seviyesi,
6. Mahal hava hızıdır.

Bizim için esas olan yaşanılan bölgenin (occupied zone) döşemeden 1,70 m (veya 1,80 m) yüksekliğe kadar çıkan, duvarlara 15 cm'ye kadar yaklaşan, mahal içinde insanların bulunduğu kısım olduğu tanımlanmıştır. Bu bölgede (özellikle ense yüksekliği olarak tanımlanan bölge kritiktir) yarattığı ses, basınç düşmesi, üflenen havanın hızı ve üflenen hava ile oda sıcaklığı arasındaki fark istenen ölçülerde olmalıdır. Örneğin bu bölgede hava hızı 0,2 m/s değerinden fazla olmamalıdır ve genellikle 0,13-0,18 m/s arasında tercih edilir. Genel olarak aynı kottaki çalışma yerlerinde aynı andaki sıcaklık farkı, 4°C'dan daha büyük olmayacak ve hacimde olabildiği kadar düzgün ve etkin bir hava dağıtımını sağlayacak şekilde olmalıdır. Soğutmalı havalandırma ve iklimlendirme tesislerinde bu sıcaklık farkı, sağlanması istenen değerden en çok 1,5°C farklı olmalıdır. Isıtmalı havalandırma tesislerinde, bu fark en çok 2°C olabilir.



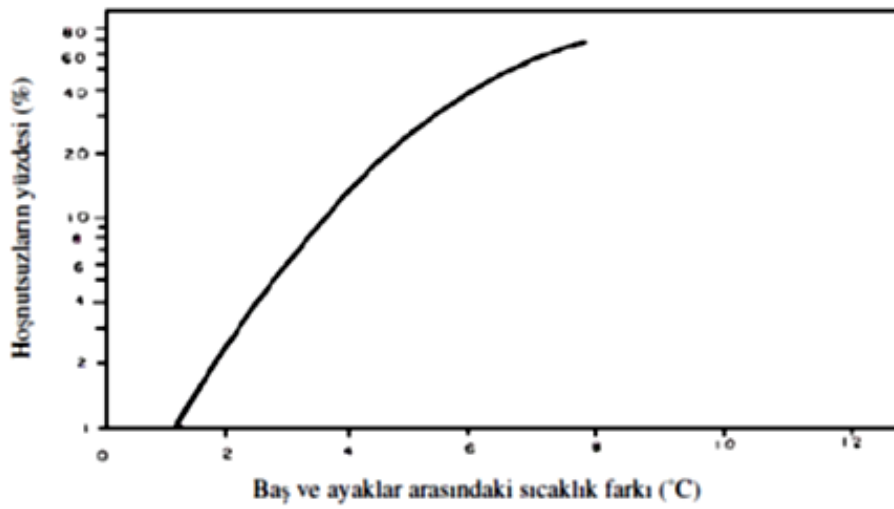
Şekil 2.11. Hava akım yönlerinin etkileri

Mahal içinde bulunan bireylerin hissettiği rahatsızlık veya sıkıntı duygusunun başlıca nedeni iç ortam havasının hızıdır. İç ortam hava hızlarına karşı insanların davranışını bilimsel esaslara oturtabilmek amacıyla Fanger ve Christensen (1985) verilen bir ortalama hava hızında cereyan hissedenlerin yüzdesel oranlarını bulmayı hedeflemişlerdir. Boyun arkasındaki ortalama hava hızına göre kafa bölgesinde cereyan hissedenlerin yüzdesi Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Ortalama hava hızı fonksiyonu olarak hoşnutsuzluk duyanların yüzdesi

Yapıların iç ortamlarında, hava sıcaklığı normal olarak döşemeden tavana doğru artar. Dağılım yeterince büyükse, vücut ısıl dengede olsa bile, başta yerel bir ılık konforsuzluk veya ayaklarda soğuk konforsuzluk gerçekleşebilir. Dikey yönde hava sıcaklığı farklılığını ve bunun konfor üzerindeki etkilerinin araştırmak için birçok çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar sonucunda Şekil 2.12’de dikey sıcaklık farklılığından dolayı hoşnutsuz olanların yüzdesi baş (döşemeden 1,1 m yukarıda) ve topuklar (döşemeden 0,1m yukarıda) arasındaki sıcaklık farkının fonksiyonu olarak Şekil 2.13’de gösterilmiştir [14].



Şekil 2.13. Baş ile topuklar arasındaki sıcaklık farkının fonksiyonu olarak hoşnutsuzluk duyanların yüzdesi

Mahal içinde oluşan hava dağılımında öneme sahip başlıca etkenler şunlardır.

İç ortam havasının hızı, mahal içine gönderilen basma havasının sıcaklık derecesi, hava dağıtım ile toplama menfezlerinin yeridir.

2.3.1. İç Ortam Havasının Hızı

Mahal içinde bulunan bireylerin hissettiği rahatsızlık veya sıkıntı duygusunun başlıca nedeni iç ortam havasının hızıdır. Mahal ortamı havasının hızına bağlı olarak bireylerin ne gibi tepkiler gösterdiği Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Buradaki tepkiler bazı faktörlere bağlı olarak farklılık ve ayrıcalık gösterebilir.

1-) Bireyin cinsi ve yaşı

2-) Oturma, ayakta durma veya gezinme gibi bireylerin yaptığı uğraşının niteliği

3-) Mahallin hangi amaçla kullanıldığı, örneğin bir büro mahalinin, bir mağazanın veya bir konferans salonunun söz konusu olması anılan faktörler arasındadır.

Konfor veya rahatlık duygusunun sağlanmasını amaçlayan iklimlendirme tesislerinde, mahallin kullanılma amacına ve bireylerin uğraşı durumuna bağlı olarak mekân hava hızı olarak 0,1 ile 0,3 m/sn aralığında değişen hız değerleri kabul edilebilir [11].

Tablo 2.6. Mekan içi hava hızlarının bireyler üzerindeki etkileri

Mekan Havası Hızı m/sn	Bireyler Tarafından Gösterilen Tepki	Uygulanma Alanı
0 ile 0,1	Tepki genellikle olumsuz niteliktedir. Havanın durgun olduğu ve boğulma hissinin duyulduğu söylenir.	Bu aralıktaki hız değerleri ender hallerde kullanılır.
0,1 ile 0,2	Tepki olumlu niteliktedir.	Bu hız sınırları konfor iklimi amaçlı iklimlendirme tesislerinde kullanılır.
0,2 ile 0,3	Tepki oturan insanlar için olumsuz ayakta duran veya yavaş hareket eden insanlar için uygundur	Söz konusu hız değerleri mağazalar, bankalar ve kamu yapısı gibi tesislerde konfor iklimi alanında kullanılır.
>0,3	Tepki uygunsuz niteliktedir. Hava akımlarından dolayı rahatsızlık hissi duyulur.	Bu sınırdan büyük olan hız değerleri endüstriyel iklimlendirme tesislerinde uygulanır.

2.3.2. Emme ve Basma Menfezlerinin Konumu

Emme ve basma menfezlerinin mahal içindeki konumu, konfor veya rahatlık duygusu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Menfez konumlarının seçimi işleminde genellikle sınırsız bir serbestlik söz konusu değildir ve bu işlem esas olarak, iklimlendirme tesisatının tipine bağlıdır.

Basma menfezleri, bir duvarın alt ya da üst kısmında, bir pencerenin alt kısmındaki duvar yüzeyi üzerinde veya tavana yerleştirilebilir. Duvarların üst kısımlarında öngörülen basma menfezleri, yaz mevsiminde gerçekleşen iklimlendirme işlemleri için son derecede uygun sonuçlar verir. Bunun nedeni, serin havanın aşağılara doğru inmeye ve bu koşullar altında mahal havası ile karışmaya eğilim göstermesidir.

Kış mevsiminde ise, sıcak hava, tavana yakın bölgelerde tabakalar halinde yayılmış durumda toplanır. Bundan dolayı, basma havası ile mahal havasının uygun bir karışım oluşturması için, emme menfezlerinin duvarların alt bölgelerinde öngörülmesi gerekir. Bir duvar üzerinde gerçekleşmesi düşünülen basma menfezi konumunun seçimi işinde bazı koşullara uyulması zorunludur. Bu koşullar aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

1-) Menfezin uygun bir çalışmaya olanak vermesi ve tavan yüzeyinde siyahımsı lekelerin belirmemesi için, basma menfezinin üst ayırıtı, tavan seviyesinden yaklaşık 20 cm kadar daha aşağıda bulunmalıdır. Tavanda, kirişler ve aydınlatma aygıtları gibi çıkıntılı kısımlar bulunması halinde, istenmeyen türbülanslar olmayacak kadar aşağı indirilmelidir.

2-) Bir duvar menfezinin konumu hakkında kesin bir karar verilmeden önce, mahallin boyutları ile boyut oranlarının ve sıcak, soğuk cidarların konumsal durumunun olabildiği kadar ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekir. Basma havası mahallin büyük ayırıtı boyunca püskürtülmeli; böylece tekmiil yüzeyin süpürülmesi ve karşıt cidar üzerinde hava huzmesi darbesi veya şoku oluşumunun önlenmesi gerekir. Bundan başka basma devresinin konumu da havanın serin cidarlar boyunca soğuyarak aşağıya doğru inmesini engelleyecek şekilde düzenlenmelidir.

3-) Basma menfezlerinin, mahal içinde bulunan bireylerin konumuna göre yerleştirilmesi konfor ve rahatlık duygusu açısından son derece önemlidir. Mahallin süpürgelik deyimiyile tanımlanan ve düşey cidarlarla döşemenin ortak birleşme ayrıtlarına yakın bölgelerde, düşey cidarların döşemeye yakın kısımlarında öngörülen ya da pencere altındaki duvarlara yerleştirilen basma menfezleri, konfor veya rahatlık duygusunun sağlanmasını amaçlayan iklimlendirme tesislerinde yaygın bir şekilde uygulanmaktadır.

Bu tip menfezlerde, havanın basılması işlemi, düşey doğrultu ile 15 ile 20° lik bir açı yapacak şekilde tavana doğru gerçekleşir. Soğuk cidarlar boyunca oluşması olasılığı bulunan hava akımlarının önlenmesine imkan verdiği için, bu tip menfezler özellikle kış mevsimi koşullarına uygundur.

Tavan menfezleri, yalnızca yüksekliği 2,5 m 'den büyük olan mekanlarda öngörülebilir. Gerçekten de, hava akımı duygusunun önlenmesi amacıyla, düşey doğrultulu hava huzmesi ile mahal içerisinde bulunan insanların başı arasında en azından 1 m'lik bir açıklığın bırakılması zorunludur [11].

Hava ile ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemindeki hava yayılımının amacı, şartlandırılmış salonda döşeme seviyesinin yaklaşık 1,8 m üzerindeki kısımda, salonda kullanılan bölge içindeki sıcaklık, nem ve hava hareketinin uygun bir bileşimini oluşturmaktır. Bu bölge içinde konfor koşullarının elde edilebilmesi için, kabul edilebilir hava cereyanı sıcaklığı için standart sınırlar verilmiştir. Hava cereyanı sıcaklığı, hava sıcaklığının, hareketinin ve bağıl neminin insan vücuduna fizyolojik etkilerinin bir bileşiminin yardımı ile tanımlanır. Kabul edilen standartlardan farklılıklar, bu hacimlerde bulunan insanların konforlarının bozulmasına neden olur. Hacimde üniform şartların eksikliği veya hacmin belirli bölümünde bu şartların aşırı değişimi, konforun bozulmasına neden olan diğer durumlardır.

Konfordaki bu tür bozulmalara;

- 1-) salonun hava sıcaklığının aşırı değişimleri (yatay, düşey veya her ikisi de),
- 2-) aşırı hava cereyanları
- 3-) değişik yerlerdeki yük ihtiyaçlarına göre havanın taşınma ve dağıtılması sorunları
- 4-) sıcaklığının çok hızlı değişimleri, etki etmektedir.

Hava cereyanını tanımlamak amacıyla, hava hareketinin konfora etkisini incelenmiş ve nem ile ısı ışınlımının etkilerini sabit kabul ederek, hava cereyanını hem hava hareketi hem de hava sıcaklığından dolayı vücudun herhangi bir yerinde bölgesel olarak hissedilen serinlik veya ılıklik olarak tanımlamışlardır. Hava cereyanı ılıklığı veya serinliği, salon ortasında 24 °C değerindeki kuru termometre sıcaklığının, döşemeden 750 mm yukarıda ve havanın 0,15 m/s hızla hareket ettiği durumların sağlandığı, kontrollü oda koşullarının yukarısında veya aşağısında ölçülerek belirlenmiştir.

θ , etkin hava cereyanı sıcaklığı ile oturlan bölgenin herhangi bir noktasındaki ve kontrol şartındaki farkı belirtmek için, Rydberg ve Norback tarafından önerilen ve Koestel ve Tune' un çalışmasından, Straub tarafından değiştirilen

$$\theta = T_x - T_c - 8(V_x - 0,15) \quad (2.7)$$

denklemini kullanılır.

Bu denklemde,

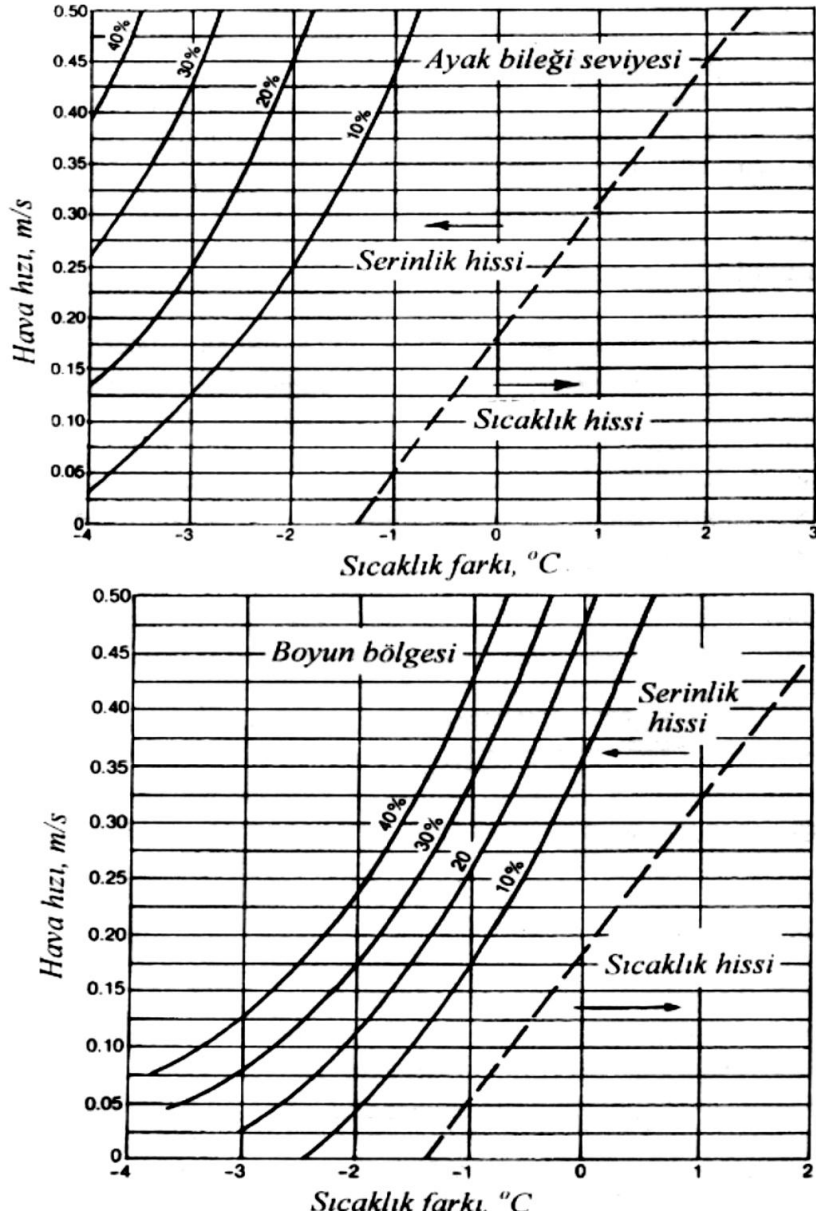
T_x = havanın yerel kuru termometre sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)

T_c = salonun ortalama kuru termometre sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)

V_x = yerel hava hızı, (m/s)

anlamındadır.

Denklem (2.7), hava hareketinden dolayı oluşan serinlik hissini göz önüne alır ve Şekil 2.13'deki nötr çizgiyi oluşturur. Yaz mevsiminde, havanın yerel kuru termometre sıcaklığı T_x , kontrol sıcaklığının altındadır. Bundan dolayı, hem sıcaklık hem de hız, V_x hızının 0,15 m/s değerinden büyük olması halinde eksi işaretlidir ve serinlik hissini arttırmaları. Şayet kış mevsiminde, T_x sıcaklığı kontrol sıcaklığının üzerinde olursa, 0,15 m/s değerinin üzerindeki her hava hızı, T_x tarafından oluşturulan sıcaklık hissini azaltır. Bu nedenle x noktasındaki etkin hava ceryanı sıcaklığı ile kontrol noktası arasındaki fark, kış mevsiminde çoğunlukla sıfır olabilirken, yaz mevsiminde sıfır değildir [10].



Şekil 2.14. Hava şartlandırılması yapılmış bir ortamda, hava hareketlerinden hoşnut olmayan insanların yüzdesi [10]

Bir ortamda belirli bir hava ceryanı koşuluna karşı gelen, bu ortamda bulunan insanların hoşnut olmamaları yüzdelere ait veriler Şekil 2.14’de verilmiştir. Verilerde görüldüğü gibi, bir kişi ayak bileği seviyesinde boyun seviyesine göre daha yüksek hızlara ve daha düşük sıcaklıklara dayanabilmektedir. Bundan dolayı, bölgede döşeme seviyesinden 0,75 ila 1,5 m yüksekliğe kadar olan şartlar, döşeme seviyesine daha yakın olan şartlardan daha kritiktir.

Genellikle 0,25 m/s değerinin altındaki salon hava hızları tercih edilir; ancak Şekil 2.13’de gösterildiği gibi salondaki bazı insanlar tarafından daha yüksek hızlar da kabul edilebilir. ASHRAE Standart 55-1992, yüksek hava sıcaklıklarında, yüksek hava hızlarını önermektedir. 0,1 m/s değerinin altındaki hava hızları çoğunlukla seçilmemesine rağmen, konfor için en düşük bir hava hızı önerilmez.

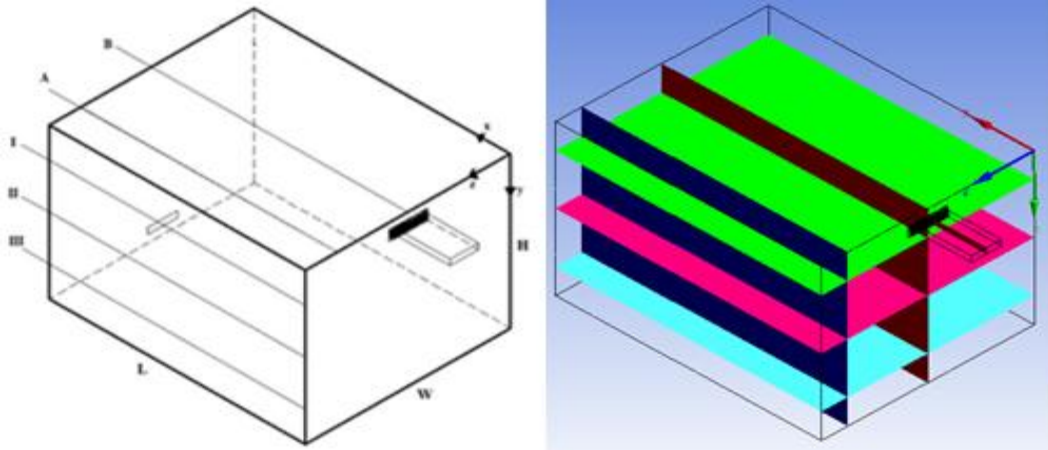
Şekil 2.13 ’de görüldüğü gibi salonda bulunan insanların %20’ye yakın kısmı ayak bileği oturma seviyesinde, 2 °C bir sıcaklık gradyanını kabul etmezler. Isıtma halinde kötü bir şekilde tasarlanmış veya çalıştırılan sistemler bu durumu yaratırlar, bu da sistemlerin doğru seçiminin ve çalışmasının önemini vurgular.

Denklem (2.7)’de belirtildiği gibi, insanların büyük bir yüzdesi, θ etkin hava cereyan sıcaklığının, -1,5 ve 1 °C arasında, hava hızının 0,35 m/s değerinden az olduğu ofis hacimlerinde kendilerini konforlu hissederler. Ofis içerisinde insanların bulunduğu bölgelerde hava hızı ve sıcaklığı birçok kere ölçülmüş ise bu durumda, HYPİ (hava yayılım performansı indeksi) değeri, “etkin hava cereyan sıcaklığı ve hızının daha önce belirlenmiş değerlere uyum gösteren ölçmelerin olduğu yerlerin yüzdesi” olarak tanımlanır. HYPİ en büyük değerde (%100 değerinde) ise, arzu edilen koşula ulaşılmıştır [10].

3. SAYISAL MODELLEME

Son yıllarda bilgisayar teknolojisi ve yazılım alanındaki gelişmelere bağlı olarak, çeşitli akış ve ısı geçişi problemlerinin bilgisayar ortamında modellenerek çözülmesini sağlayan ticari yazılımların, hem endüstriyel uygulamalarda hem de akademik çalışmalarda kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. *Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD)* kapsamında çeşitli yöntemler kullanan bu yazılımlar ile akış ortamı modellenerek iki ya da üç boyutlu olarak analiz edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında ticari yazılımların uygulamalarda en sık kullanılan programlarından biri olan ANSYS-Fluent paket programı kullanılmıştır.

Bu çalışmada; piyasada mevcut klasik difüzörlerden farklı ve dağıtıcılık özelliği yüksek bir difüzörün tasarlanması amacıyla, kanat açıları değiştirilmiş olan difüzörler kapalı bir hacme (ofis) uygun bir biçimde yerleştirilmiş olarak göz önüne alınmıştır. Sayısal modelde göz önüne alınan ofis odası $L=5$ m uzunluğunda, $W=4$ m genişliğinde ve $H=3$ m yüksekliğinde kapalı bir hacim olarak seçilmiştir. Ofis odasının şematik görünümü Şekil 3.1’de görülmektedir. Havalandırma kanalının odaya giriş kısmına uygun bir şekilde yerleştirilen α düşey kanat açılı difüzörden odaya çıkan havanın ortamdaki dağılımı, hızı ve difüzörde oluşan basınç düşümleri ANSYS-Fluent paket programı ile belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Havalandırma yapının ortamın 3 boyutlu görünüşü (Şekilde görülen düzlemler bu çalışmada hız dağılımlarının elde edildiği düzlemlerdir)

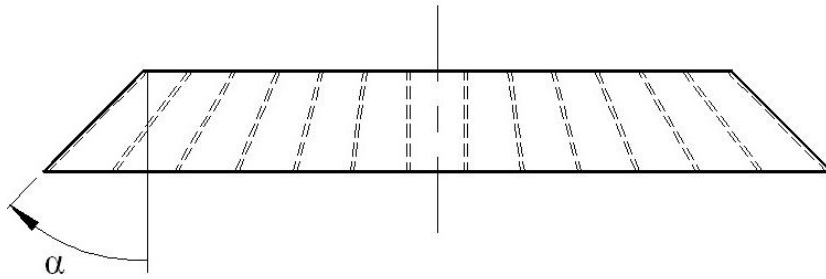
Havalandırılan ofis ortamına ait ölçüler Tablo 3.1 de görülmektedir.

Tablo 3.1. Havalandırma yapılan ortama ait ölçüler

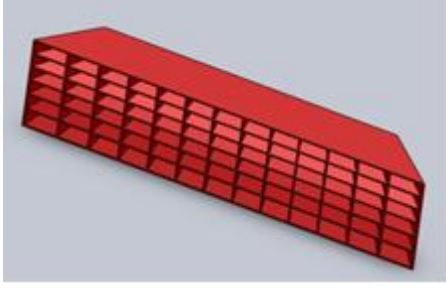
	L(m)	W(m)	H(m)	Giriş kesiti (cm ²)	Egzoz kesiti (cm ²)
Ortam	5	4	3	10x60	10x60

Difüzör tasarımında havalandırılan ortama gerekli hava miktarını sağlayacak şekilde standarda uygun boyutlarda difüzör ve önerilen hava debileri göz önünde bulundurulmuştur. Ofis hacimleri için Tablo 2.2'deki tavsiye edilen saatteki hava değişim sayısı göz önüne alınmıştır (ofis odaları için saatlik hava değişim sayısı 4 ile 8 arasındadır). Difüzör üreticileri tarafından ofis odaları için tavsiye edilen hızlar 2 m/s ile 5 m/s arasında ve difüzördeki basınç düşümleri 50 Pa'ı geçmeyecek şekildedir.

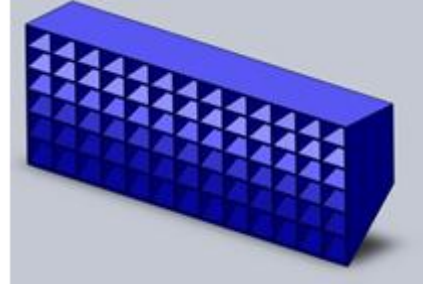
En ideal dağıtıcılık özelliğine sahip difüzör çalışmasında Şekil 3.2'de görüldüğü gibi difüzörün α düşey kanat açısı 0, 20, 35, 40, 45, 50, 55 derece olarak farklı açılarda sayısal testler yapılmıştır. Şekil 3.3'de 45° düşey kanat açılı difüzör ve Şekil 3.4'de 0° düşey kanat açılı difüzöre ait perspektif resimler görülmektedir. Havalandırılacak ortama gönderilen hava kanaldan belli hızlarda çıkarak kanal çıkışına yerleştirilen difüzör ile ortama dağıtılmış olup alt kısımda yer alan tek bir açıklıktan da egzoz edilmiştir.



Şekil 3.2. Difüzör üst görünüşü

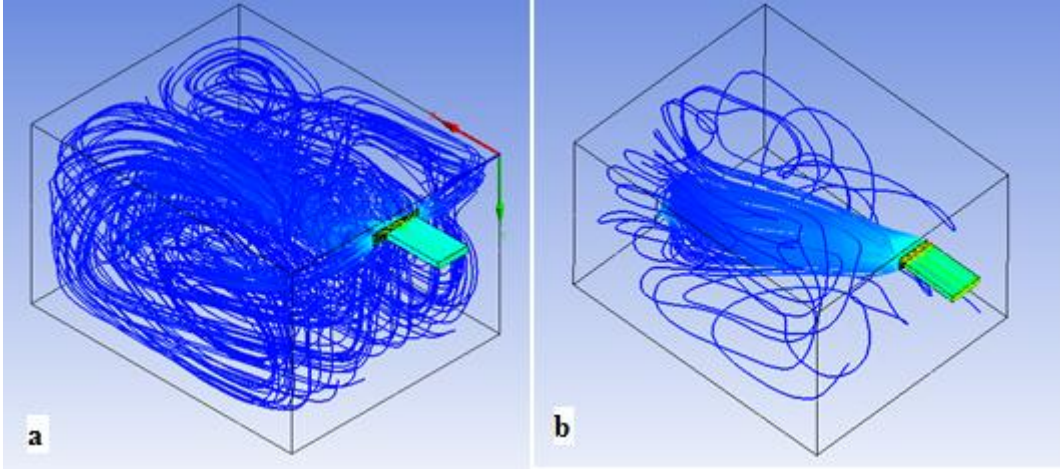


Şekil 3.3. 45°lik difüzör



Şekil 3.4. 0°lik difüzör

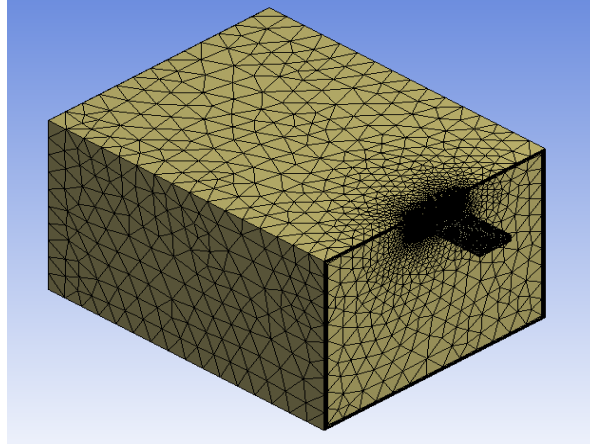
Oda içindeki karşılıklı duvarlarda olmak üzere üfleme difüzörü üst seviyeye egzoz menfezi ise alt seviyeye yerleştirilmiştir. Difüzörün üst kenarı ile tavan arasında 12 cm, aynı şekilde difüzör boyutlarındaki egzoz menfezi de zemin ile arasında 12 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu çalışmada incelenen difüzör, farklı düşey kanat açıları ve içerisinde 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5 ve 5 m/s hızlarında hava akışı olan kanal ağzına bağlı olacak şekilde 3 boyutlu sayısal olarak incelenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. İki farklı difüzörden çıkan hava akışına ait akım çizgileri (a) 45°lik difüzör (b) 0°lik difüzör

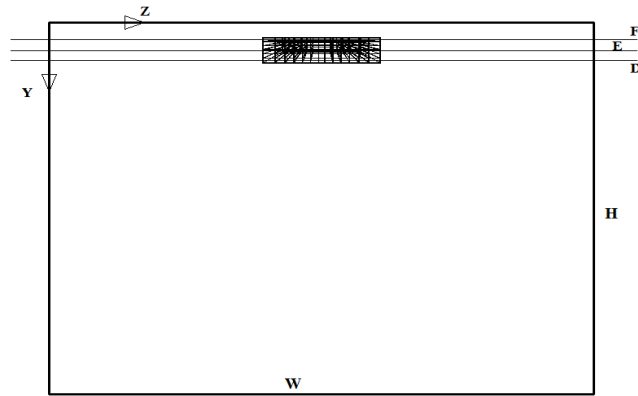
Çalışmada ilk olarak akış alanını sınırlayan geometri Solidworks 2011 Programında 3 boyutlu tasarlanmıştır. Daha sonra ANSYS-Fluent programında akışa ait modelin ağ yapısı kurulmuştur. Ağ yapısı kurulurken difüzörden odaya doğru düzgün bir şekilde büyüyen ve tetra elamanlardan oluşan bir yapı kurulmuştur. Ağ yapısı Şekil 3.6'da görülmektedir. Akışın türbülanslı olması nedeniyle, akış k- ϵ türbülans modeli kullanılarak modellenmiştir. Kullanılan türbülans modelinin daha hassas sonuçlar vermesi için NASA

Viscous Grid Spacing Calculator [14] programı kullanılarak, odadaki sınır tabaka ağlarının (katı duvarlara bitişik elemanlar) ilk eleman yükseklikleri belirlenmiştir. Sayısal modellemede ANSYS-Fluent programındaki bilinen tanımlamalarla, difüzör kanatlarında ve odanın duvarlarında “WALL” sınır koşulu, giriş kesinde “VELOCITY INLET”, çıkışta ise “PRESSURE OUTLET” sınır koşulları kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Hesaplama hacmine ait ağ yapısı görüntüsü

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi oda içinde x - y düzlemlerinde (A, B) ve x - z düzlemlerinde (I, II, III) akım çizgileri farklı difüzör açılarında incelenmiştir. Ayrıca difüzörden çıkış hızlarının hava dağılımı üzerindeki etkileri difüzörün x - z düzlemlerinde (D, E, F) incelenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Difüzör çıkışında inceleme yapılan x - z düzlemleri

3.1. Hareket Denklemleri

İncelenen problemde havalandırma yapılan oda içerisine giren ve çıkan hava üç boyutlu bir akış incelemesini gerektirmektedir. Bu hareketin oluşmasında odaya giren hava hızının etkisi vardır. Oda içi ölçüler büyük olduğundan akış türbülanslıdır. Problemin analizinde kütle korunumu, türbülanslı momentum korunumu, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans kinetik enerjisinin yayılım hızı denklemleri kullanılmıştır. Kartezyen koordinatlarda, süreklilik, momentum, enerji denklemleri aşağıda verilmiştir.

Kütle korunumu denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V}) = 0 \quad (3.1)$$

Bu denklemde kullanılan ∇ ve \vec{V} , vektörel büyüklükler olup, gradyan ve hızı ifade eder. Bu bağıntının açık şekli

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.2)$$

Bu denklemlerde u ; x yönündeki hızı, v ; y yönündeki hızı, w ; z yönündeki hızı temsil etmektedir.

Zamana bağlı ve üç boyutlu bir akış için türbülanslı momentum denklemleri aşağıdaki şekillerde ifade edilir:

$$\begin{aligned} S_u &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{\partial P}{\partial x} \\ S_v &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial y} \right) - \frac{\partial P}{\partial y} - g \rho \\ S_w &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{ef} \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{ef} \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{ef} \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \frac{\partial P}{\partial z} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Burada, S_u , S_v ve S_w kaynak terimleri, g yerçekimi ivmesi, ρ havanın yoğunluğu ve μ_{ef} efektif viskozitedir. μ_{ef} ; laminer viskozite ve türbülans vizkozitenin toplamına eşittir ($\mu_{ef} = \mu_t + \mu$).

Üç boyutlu türbülanslı akış için çalışmada kullanılan standart k - ε türbülans modelinde yer alan türbülans kinetik enerjisi denklemi şu şekildedir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uk) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vk) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho wk) = \\ \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z}\right) + G_K + G_B - \rho\varepsilon \end{aligned} \quad (3.4)$$

Burada k ; türbülans kinetik enerjisi, G_K sürtünme kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisi üretim hızı ve G_B kaldırma kuvvetlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisi üretim hızıdır. G_K ve G_B terimleri aşağıdaki şekillerde ifade edilir;

$$G_K = \mu_t \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} \quad (3.5)$$

$$G_B = -g \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$

Burada μ_t türbülans viskozitesi, σ_t ise türbülanslı Prandtl sayısıdır.

Türbülans modelinde yer alan ikinci değişken olan türbülans kinetik enerjisinin yayılım hızı (ε) denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y}\right) + \\ \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right) + \frac{\varepsilon}{k} [C_{1\varepsilon} G_K + C_{3\varepsilon} G_B - \rho C_{2\varepsilon} \varepsilon] \end{aligned} \quad (3.6)$$

Burada $\sigma_\varepsilon, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ türbülans modeli sabitleridir. Türbülans viskozitesi aşağıdaki ifadeden hesaplanır.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.7)$$

Türbülans ısı iletim (difüzyon) katsayısı ise şöyle hesaplanır.

$$\Gamma_t = \frac{\mu_t}{\sigma_t} \quad (3.8)$$

Türbülans model sabitlerinin değerleri topluca Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. k - ε türbülans modelinde yer alan sabitler

C_μ	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	σ_k	σ_ε	σ_t	σ_s
0,09	1,44	1,92	1	1,34	1	0,7

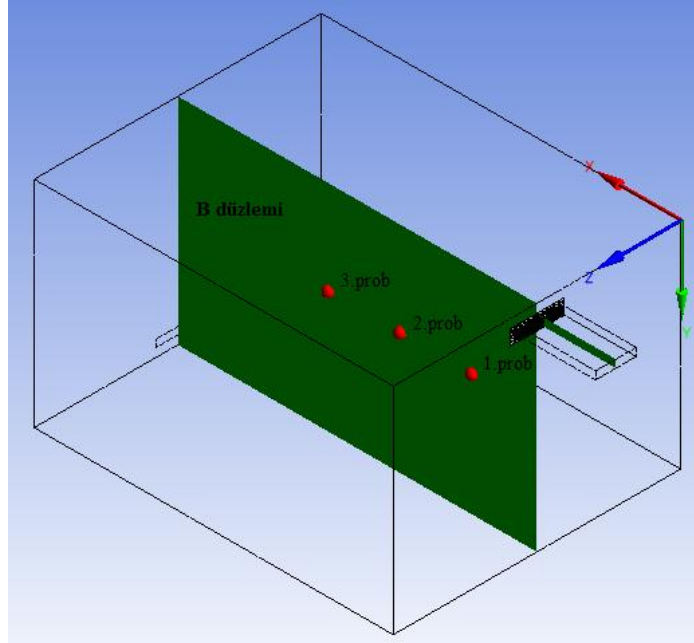
Bu çalışmada, Reynolds sayısı tanımı ise denklem 3.9’da verilmektedir.

$$R_e = \frac{D_h U_r}{\nu} \quad D_h = \frac{2BH}{(B+H)} \quad (3.9)$$

Burada; D_h ile gösterilen büyüklük menfezin hidrolik çapı, U_r (m/s) ise giriş hızıdır.

4. BULGULAR

Havalandırılan ortamdaki hava kanalı çıkışına monte edilmiş olan ve Şekil 3.2’ de görülen difüzörün düşey kanat α açısının 0° , 20° , 35° , 40° , 45° , 50° ve 55° olması durumları için x-y (A, B) ve x-z (I, II, III) düzlemlerindeki akım çizgileri ile düşey kanat α açısı 0° ve 45° olan difüzörlerin çıkışında (Şekil 3.7) x-z ekseninde (D, E, F) düzlemlerinde hız dağılımları incelenmiştir. Ayrıca ortam içindeki B düzleminde belli noktalara sanal algılayıcılar yerleştirilerek (Şekil 4.1) bu noktalarındaki hız kaydı yapılmıştır.



Şekil 4.1. B düzleminde hız kaydı yapılan noktalar

Şekil 4.1’de görülen sanal algılayıcıların koordinatları Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Oda içindeki algılayıcı koordinatları

	x (m)	y (m)	z (m)
1. Algılayıcı	1	1,3	2
2. Algılayıcı	2	1,3	2
3. Algılayıcı	3	1,3	2

4.1. Difüzör Düşey Kanat Açısının Hava Dağılımına Etkisi

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile ortam içerisindeki x-y (A, B) ve x-z (I, II, III) düzlemlerinde difüzörün düşey kanat açısının hava dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Difüzör düşey kanat α açısının algılayıcıların kayıt yaptığı noktalardaki hızları nasıl etkilediği ve bu hızların konfor koşullarına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Algılayıcıların difüzör düşey kanat açısına (α) bağlı olarak kayıt yaptığı noktalardaki hızlar Tablo 4.2’de verilmiştir. Tabloda görülen hızlar; kapalı ortam (ofis) hava kanalı çıkışına yerleştirilen α düşey kanat açılı difüzörlerden 3 m/s hız ile giriş yapan hava değeri içindir.

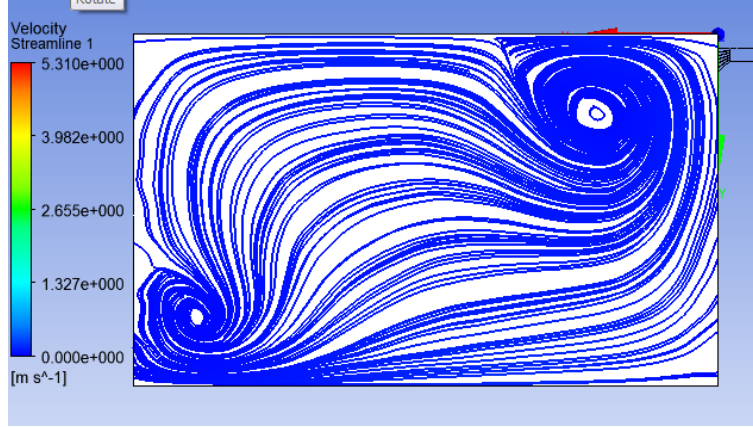
Tablo 4.2 Şekil 4.1’de görülen noktalardaki hız değerleri (m/s)

Algılayıcı	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=20^\circ$	$\alpha=35^\circ$	$\alpha=40^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=50^\circ$	$\alpha=55^\circ$
1.Algılayıcı	0,29	0,096	0,08	0,066	0,092	0,014	0,01
2.Algılayıcı	0,47	0,43	0,35	0,27	0,25	0,23	0,12
3.Algılayıcı	0,34	0,16	0,01	0,068	0,042	0,015	0,26

4.1.1. Düz Difüzör ($\alpha = 0^\circ$)

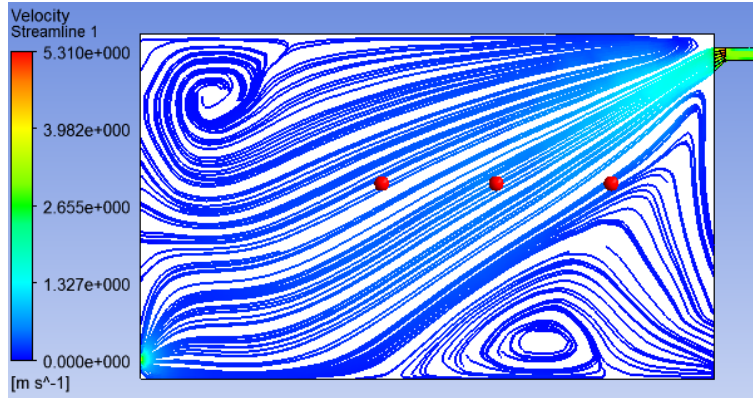
Giriş hızı $v=3$ m/s için ortam duvarına yerleştirilen düşey kanat açısız düz difüzör ile yapılan analizlerde oda içerisindeki A, B ve I, II, III (Şekil 3.1) düzlemlerinde hava akım çizgileri ve yerleştirilen algılayıcılarda hesaplanmış olan hızlar incelenmiştir.

(x-y), z=3,5 m konum değerlerine sahip olan A düzlemi (Şekil 4.2) üzerinde elde edilen akım çizgilerine göre; sadece difüzör çıkışında ve alt egzoz kısmında ortaya çıkmakta olan girdaplar, havanın sadece bu bölgelerde belli bir karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir. Havalandırılan hacmin diğer kısımlarında düşük hızlı düzgün bir akış yapısının olduğu gözlenmektedir.



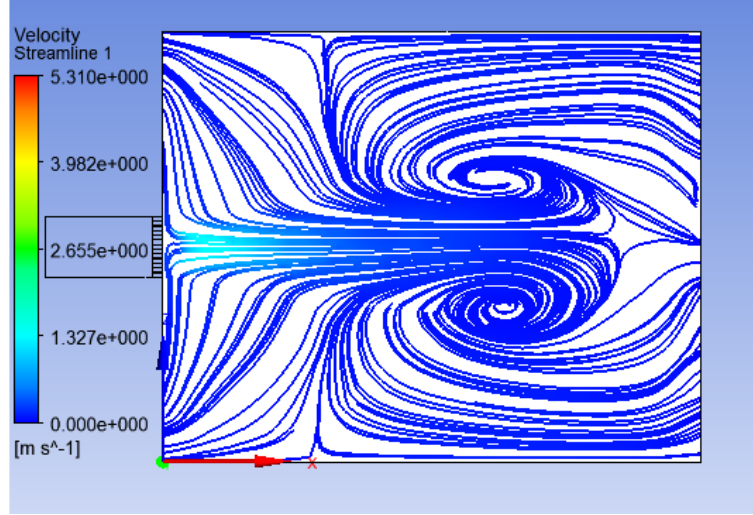
Şekil 4.2. A düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 0^\circ$ için)

Kapalı hacmi tam ortasında olan B düzleminde ((x,y), z=2 m) ise difüzörden gelen havanın, oda içerisindeki havaya karışmadan direk olarak çıkışa doğru yöneldiği ve bu düzlemde yer alan noktalarda (Şekil 4.3'teki kırmızı noktalar) hesaplanan hız seviyelerinin (Tablo 4.1), standart konfor koşullarında verilen hava hız seviyelerin üstünde olduğu görülmüştür (Şekil 4.3). Bu düzlemde sadece oda içerisinde alt ve üst köşelerde girdapların oluştuğu ve havalandırma sisteminden gelen havanın o bölgede fazla karışma davranışı göstermeden egzozdan çıktığı görülmektedir.



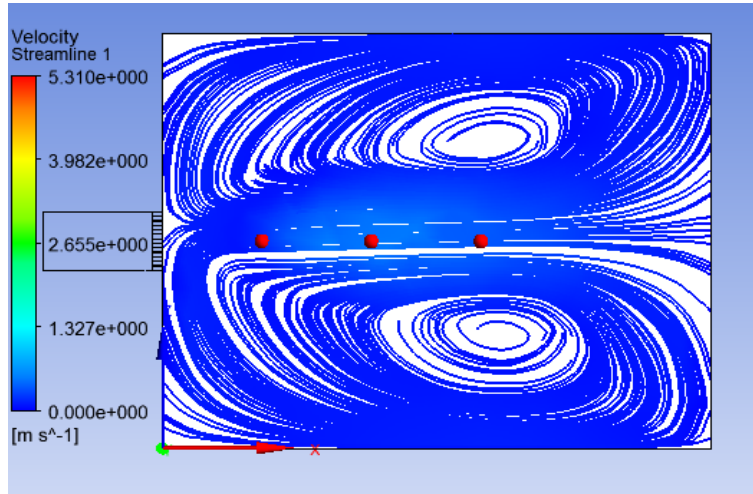
Şekil 4.3. B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 0^\circ$ için)

(x-z), y=0,5 m konumunda yer alan I düzleminde ise; difüzörden gelen hava ortamın orta kısmına doğru yönelip bir girdap çifti oluşturarak belirli bir karışma meydana getirmektedir (Şekil 4.5). Ancak havalandırılan ortamın tamamına bakıldığında havanın sınırlı bir alanda dolaşmakta olduğu gözlenmektedir.



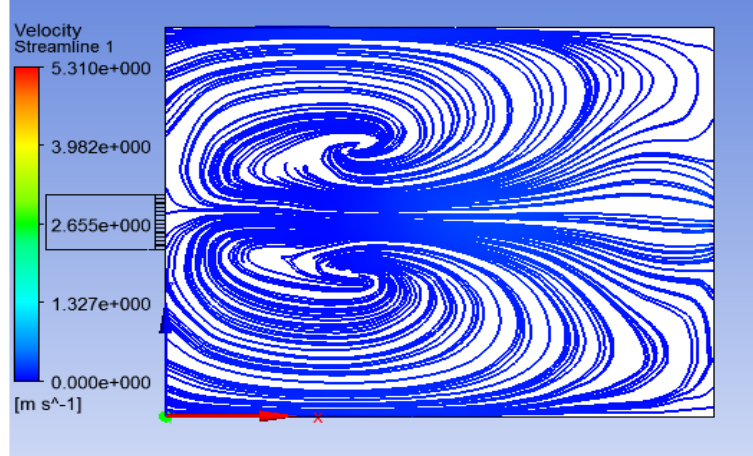
Şekil 4.4. I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 0^\circ$ için)

Şekil 4.5’de de görüldüğü gibi II düzleminde ((x-z), $y=1,5$ m) ise difüzörden gelen hava, orta kısımda ortamın tamamına yayılmış olan büyük bir girdap çifti oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu düzlemde ortamın tamamına yayılmış bir hava karışım hareketinden bahsetmek mümkündür.



Şekil 4.5. II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 0^\circ$ için)

Havalandırma yapılan ortamın zeminine en yakın konumda bulunan III düzleminde ise difüzörden gelen hava, alt kısımda yine üfleme yapılan difüzör duvarı tarafında belirli bir girdap çifti oluşturarak, havanın bu düzlemde odanın tamamına yayılmakta olduğunu göstermektedir (Şekil 4.6). III düzlemini (x-z), $y=2,5$ m koordinatlarına sahiptir.

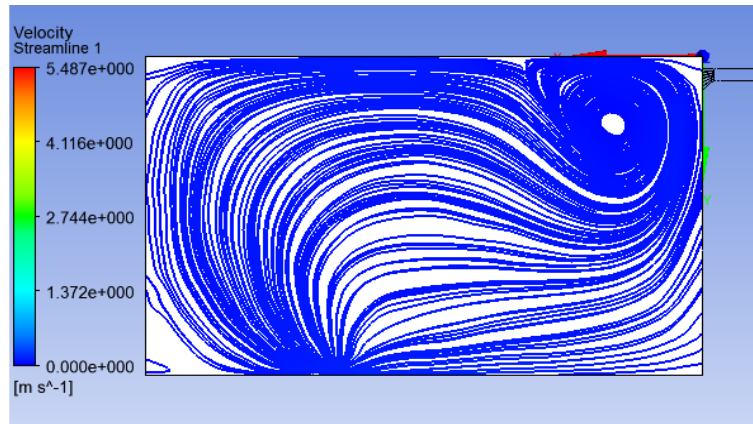


Şekil 4.6. III düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 0^\circ$ için)

4.1.2. $\alpha = 20^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör

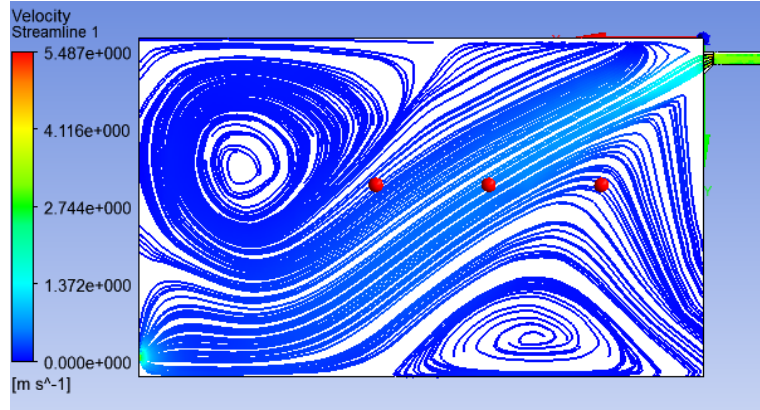
Giriş hızı $v=3$ m/s olan, oda içerisine yerleştirilen $\alpha=20^\circ$ li difüzör ile yapılan analizlerde oda içerisindeki A, B ve I, II, III (Şekil 3.1) düzlemlerinde hava akım çizgileri ve yerleştirilen algılayıcılarda hızlar incelenmiştir.

Havalandırma yapılan ortamda duvara yakın konumda bulunan A düzlemi (Şekil4.7) üzerinde elde edilen akım çizgilerine göre; sadece difüzör çıkışında oluşan girdap, havanın sadece bu bölgede karışma davranışına sahip olduğu görülmektedir. Düzlemin diğer kısımlarına bakıldığında ise havalandırılan ortamda düşük hızlı düzgün bir akış yapısının olduğu gözlenmektedir. A düzlemi (x-y), z=3,5 m koordinatlarında yerleşmiştir.



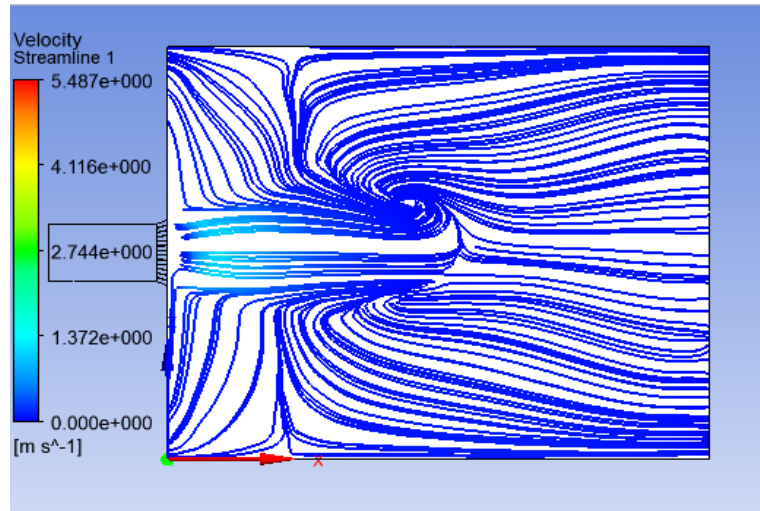
Şekil 4.7. A düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 20^\circ$ için)

(x-y), z=2 m konumuna sahip olan B düzleminde ise difüzörden gelen havanın oda içerisinde köşe kısımlarda girdaplar oluşturup belirli bir karışma meydana getirerek orta kısımdan direkt olarak çıkışa yöneldiği görülmektedir. Düzlem üzerinde difüzörden çıkan havanın yüksek hızlarda hareket ettiği ortama yerleştirilen noktalarda (Şekil 4.8'deki kırmızı noktalar) hesaplanan hız seviyelerinin (Tablo 4.1), standart konfor koşullarında verilen hava hız seviyelerin üstünde olduğu görülmüştür (Şekil 4.8).



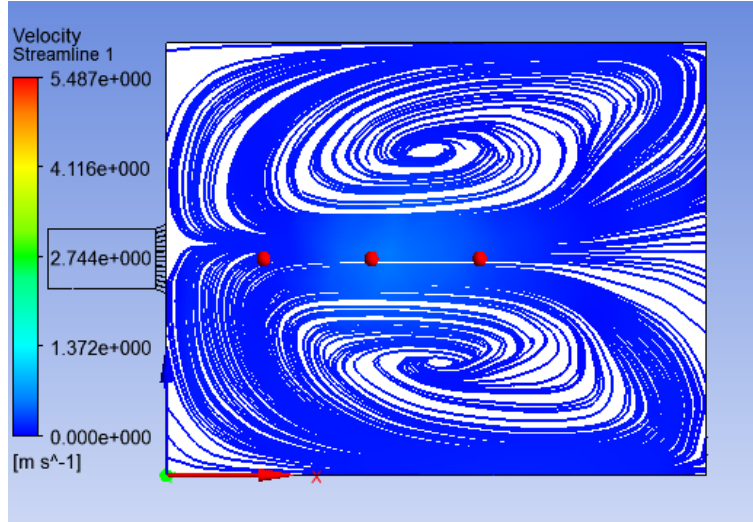
Şekil 4.8. B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 20^0$ için)

(x-z), y=0,5 m konumunda difüzörün alt kısmına yerleştirilen I düzlemine (Şekil 4.9) bakıldığında, difüzörden yüksek hızda çıkan havanın odanın orta kısmında küçük girdap çifti oluşturarak belirli bir karışma meydana getirmektedir. Diğer kısımlara bakıldığında havanın düşük hızlarda düzgün hareket ettiği görülmektedir.



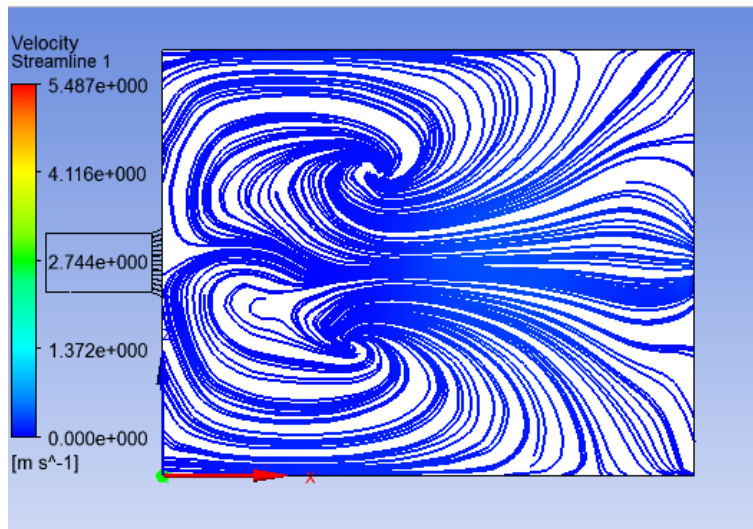
Şekil 4.9. I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 20^0$ için)

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi II düzleminde ((x-z), y=1,5 m)) ise difüzörden gelen hava, orta kısmında büyük girdap çifti oluşturarak, havanın bu bölgede ortamın tamamına yayılmış ve karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.10. II düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 20^0$ için)

III düzleminde (Şekil 4.13) ise difüzörden gelen hava, alt kısımda yine üfleme yapılan difüzör duvarı tarafında belirli bir girdap çifti oluşturarak, havanın bu düzlemde odanın tamamına yayılmakta olduğunu göstermektedir. III düzlemi (x-z), y=2,5 m konumunda yerleşmiştir.

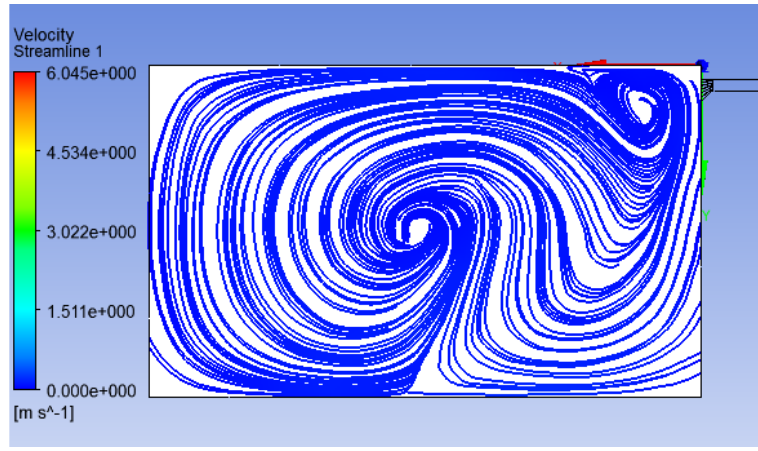


Şekil 4.11. III düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 20^0$ için)

4.1.3. $\alpha = 35^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör

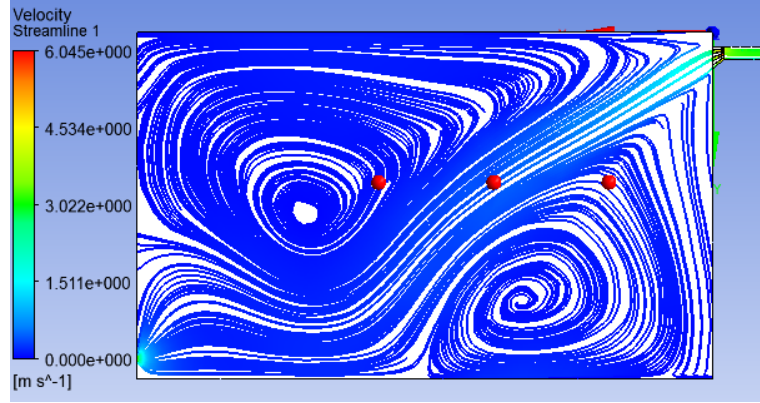
Giriş hızı $v=3$ m/s olan, oda içerisine yerleştirilen $\alpha=35^\circ$ li difüzör ile yapılan analizlerde oda içerisindeki A, B ve I, II, III (Şekil 3.1) düzlemlerinde hava akım çizgileri ve yerleştirilen algılayıcılardaki hızlar incelenmiştir.

(x-y), $z=3,5$ m konumundaki A düzlemi (Şekil 4.14) üzerinde elde edilen akım çizgilerine göre; sadece difüzör çıkışında ve odanın orta kısmında oluşan girdaplar, havanın bu bölgelerde karışmaya çalıştığını göstermektedir.



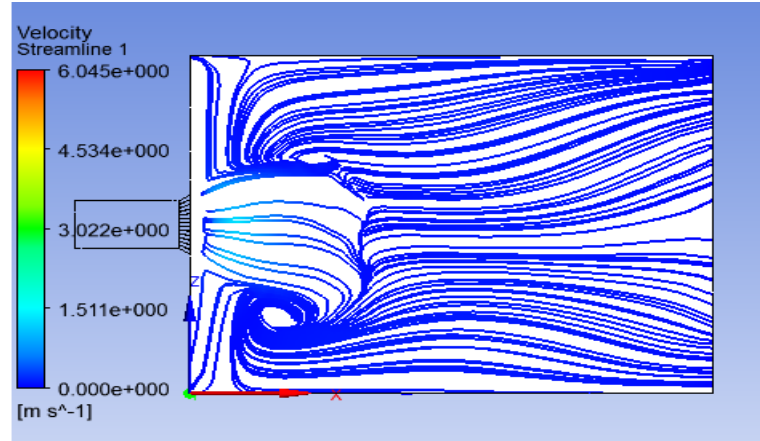
Şekil 4.12. A düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 35^\circ$ için)

(x-y), $z=2$ m konumuna sahip olan B düzleminde ise difüzörden gelen havanın oda içerisinde köşe kısımlarda meydana gelen büyük girdaplar, havanın bu bölgelerde karışma hareketi içerisinde olduğu görülmektedir. Düzlem üzerinde difüzörden çıkan havanın yüksek hızlarda hareket ettiği ortama yerleştirilen noktalarda (Şekil 4.13'deki kırmızı noktalar) hesaplanan hız seviyelerinin (Tablo 4.1), standart konfor koşullarında verilen hava hız seviyelerin üstünde olduğu görülmüştür (Şekil 4.8).



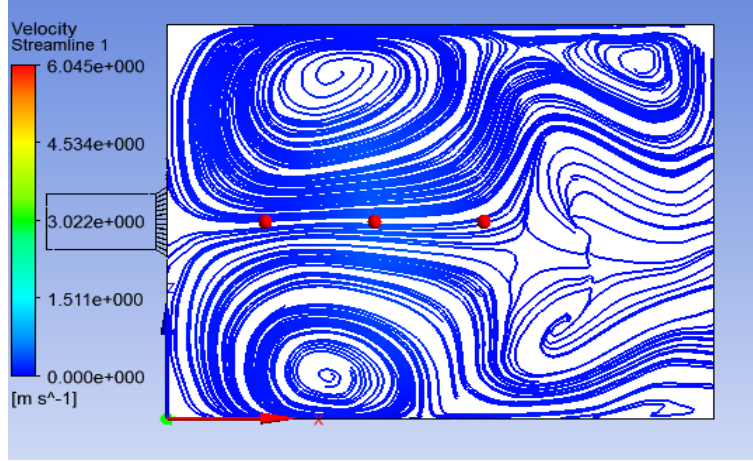
Şekil 4.13. B düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 35^0$ için)

(x-z), y=0,5 m konumunda yer alan I düzleminde (Şekil 4.14) ise difüzörden gelen hava, yanlara doğru sınırlı dağılım hareketi ile difüzöre yakın kısmında bir girdap çifti oluşturarak, havanın bu bölgede belirli bir karışma meydana getirdiği görülmektedir. Düzlem üzerinde diğer kısımlara bakıldığında havanın düşük hızlarda düzgün bir akış yapısına sahip olduğu görülmektedir.



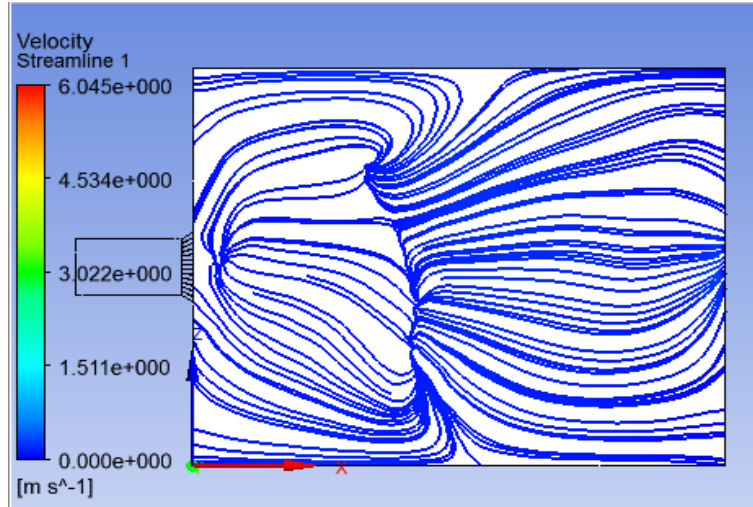
Şekil 4.14. I düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 35^0$ için)

Şekil 4.15'de görüldüğü gibi II düzleminde ((x-z), y=1,5 m)) ise difüzörden gelen hava, havalandırılan ortamın köşe kısımlarında girdap çiftleri oluşturarak, havanın bu bölgede ortamın tamamına yayılmış ve karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.15. II düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 35^{\circ}$ için)

III düzleminde (Şekil 4.16) ise difüzörden gelen hava, odanın alt kısmında düşük hızlarda düzgün bir akış yapısına sahip olduğu görülmektedir. III düzlemi (x-z), y=2,5 m konumunda yerleşmiştir.

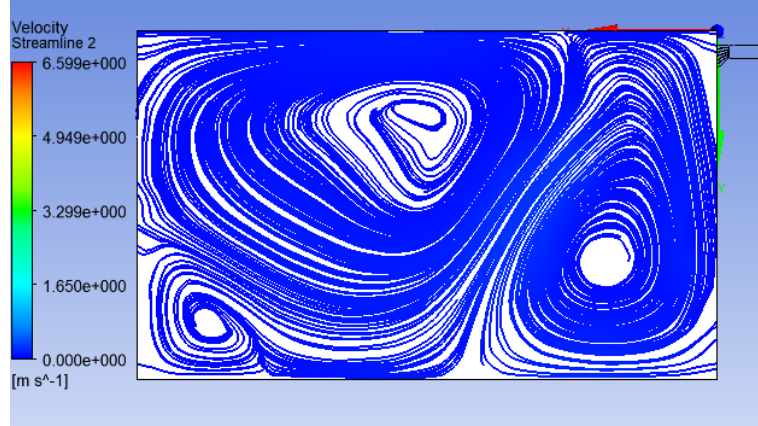


Şekil 4.16. III düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 35^{\circ}$ için)

4.1.4. $\alpha = 40^{\circ}$ Düşey Kanat Açılı Difüzör

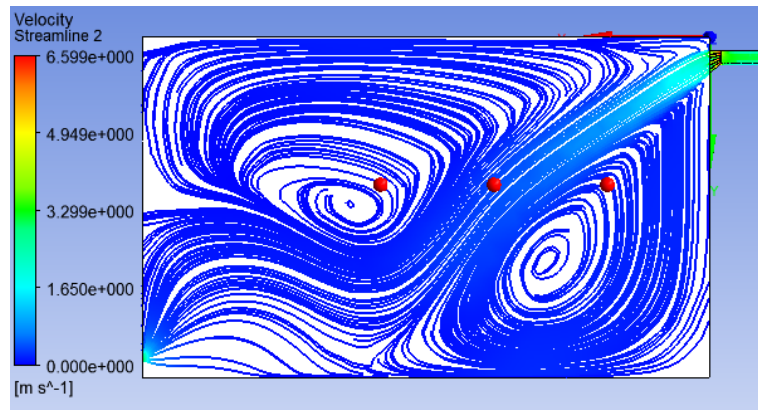
Giriş hızı $v=3$ m/s olan, oda içerisine yerleştirilen $\alpha=40^{\circ}$ li difüzör ile yapılan analizlerde oda içerisindeki A, B ve I, II, III (Şekil 3.1) düzlemlerinde hava akım çizgileri ve yerleştirilen algılayıcılarda hızlar incelenmiştir.

(x-y), z=3,5 m konumundaki A düzlemi (Şekil 4.17) üzerinde elde edilen akım çizgilerine göre; difüzörden gelen havanın düzlemin bulunduğu ortamın tamamına yayılmış olan girdaplar oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu düzlemde ortamın tamamına yayılmış bir hava karışım hareketine sahip olduğu görülmektedir.



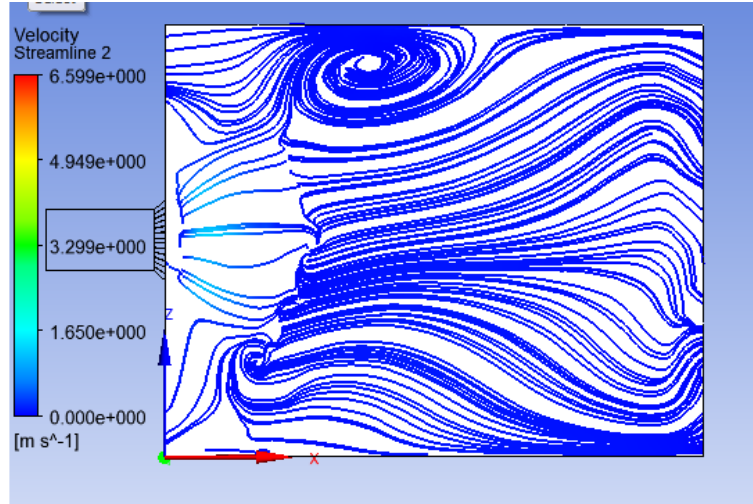
Şekil 4.17. A düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 40^0$ için)

(x-y), z=2 m konumuna sahip olan B düzleminde ise difüzörden gelen havanın direkt çıkışa yönelmeden oda içerisinde köşe kısımlarda girdaplar oluşturarak, havanın bu bölgelerde karışma hareketi içerisinde olduğu görülmektedir. Düzlem üzerinde difüzörden çıkan havanın yüksek hızlarda hareket ettiği ortama yerleştirilen noktalarda (Şekil 4.18'deki kırmızı noktalar) hesaplanan hız seviyelerinin (Tablo 4.1), standart konfor koşullarında verilen hava hız seviyelerine yakın olduğu görülmüştür (Şekil 4.18).



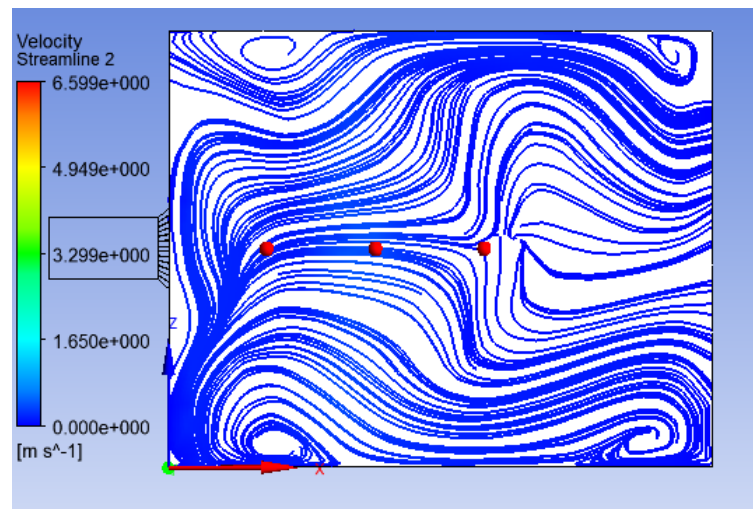
Şekil 4.18. B düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 40^0$ için)

I düzlemini (Şekil 4.19) üzerinde elde edilen akım çizgilerine göre; difüzörden çıkan hava odanın duvar kısmına yayılıp girdaplar oluşturarak, havanın bu bölgede karışmaya çalıştığını göstermektedir. Diğer kısımlarda ise düzgün bir akış yapısına sahip olduğunu göstermektedir. I düzlemi (x-z), y=0,5 m konumunda yerleşmiştir.



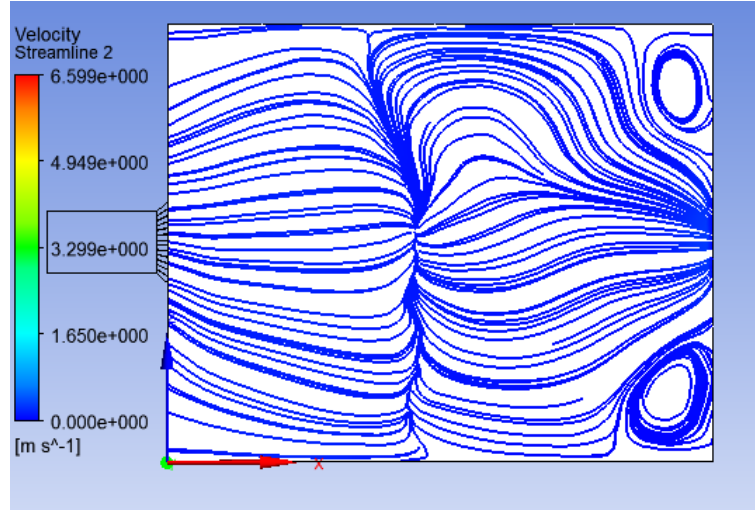
Şekil 4.19. I düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 40^0$ için)

Şekil 4.20 'de de görüldüğü gibi II düzleminde ((x-z), y=1,5 m) ise difüzörden gelen hava, ortamın tamamına yayılmış ve köşe kısımlarda girdap çiftleri oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu düzlemde ortamın tamamına yayılmış bir hava karışım hareketinden bahsetmek mümkündür.



Şekil 4.20. II düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 40^0$ için)

III düzleminde (Şekil 4.21) ise difüzörden gelen hava, alt kısımda egzozun olduğu duvara yakın bölgede girdaplar oluşturarak, havanın bu bölgede belli bir karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir. III düzlemi (x-z), y=2,5 m koordinatlarına sahiptir.

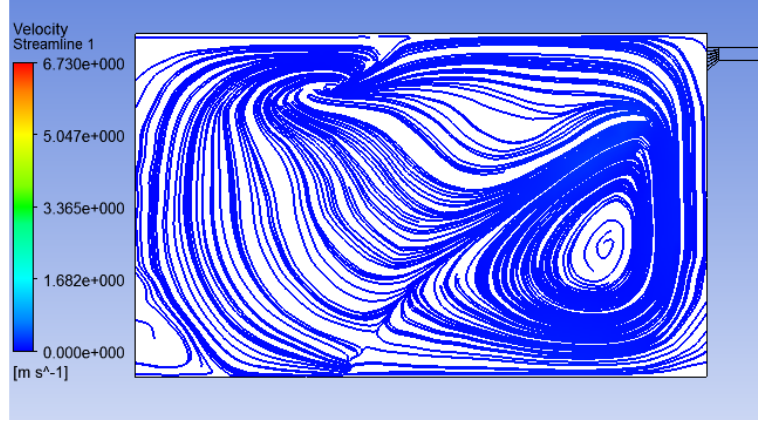


Şekil 4.21. III düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 40^\circ$ için)

4.1.5. $\alpha = 45^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör

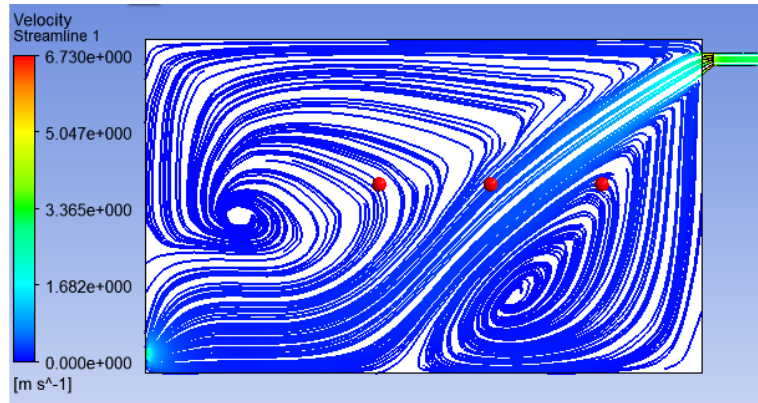
Giriş hızı $v=3$ m/s olan, oda içerisine yerleştirilen $\alpha=45^\circ$ li difüzör ile yapılan analizlerde oda içerisindeki A, B ve I, II, III (Şekil 3.1) düzlemlerinde hava akım çizgileri ve yerleştirilen algılayıcılarda hızlar incelenmiştir.

(x-y), z=3,5 m konumundaki A düzlemi (Şekil 4.22) üzerinde elde edilen akım çizgilerine göre; difüzörden gelen havanın düzlemin bulunduğu ortamın alt ve üst kısmında girdaplar oluşturarak, havanın bu bölgede karışma davranışı içerisinde olup ortama yayıldığını göstermektedir.



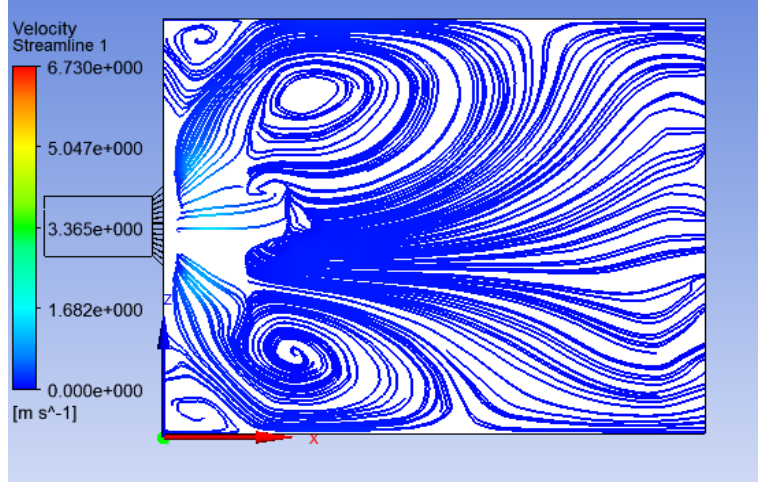
Şekil 4.22. A düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 45^\circ$ için)

(x-y), $z=2$ m konumuna sahip olan B düzleminde ise difüzörden gelen hava, düzlemin bulunduğu ortama tamamen yayıldığı, alt ve üst köşede girdaplar oluşturarak karışma hareketi meydana getirmektedir. Düzlem üzerinde difüzörden çıkan havanın yüksek hızlarda hareket ettiği ortama yerleştirilen noktalarda (Şekil 4.23'deki kırmızı noktalar) hesaplanan hız seviyelerinin (Tablo 4.1), standart konfor koşullarında verilen hava hız seviyelerine yakın olduğu görülmüştür (Şekil 4.23).



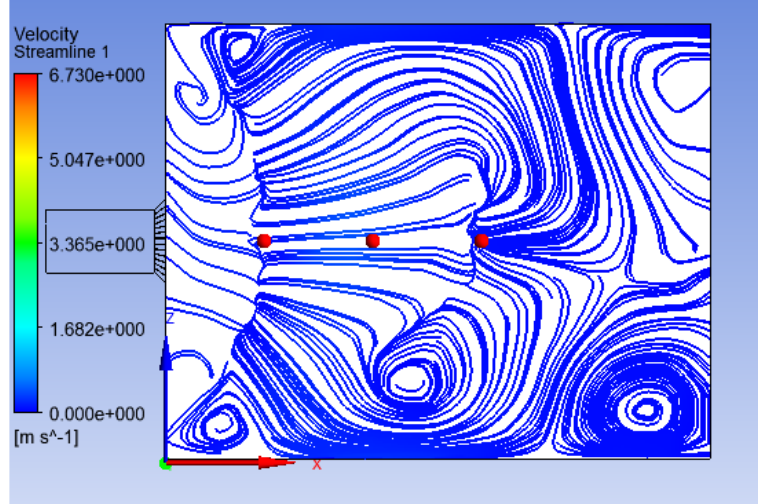
Şekil 4.23. B düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 45^\circ$ için)

I düzleminde ((x-z), $y=0,5$ m)) ise difüzörden gelen hava, düşey kanat açısı küçük olan difüzörlere göre daha iyi hava yayılım göstererek odanın duvar kısmına doğru yayılıp, havanın bu bölgede karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir. Egzoz kısmına yakın yerlerde ise hava düzgün bir akış yapısına sahiptir (Şekil 4.24).



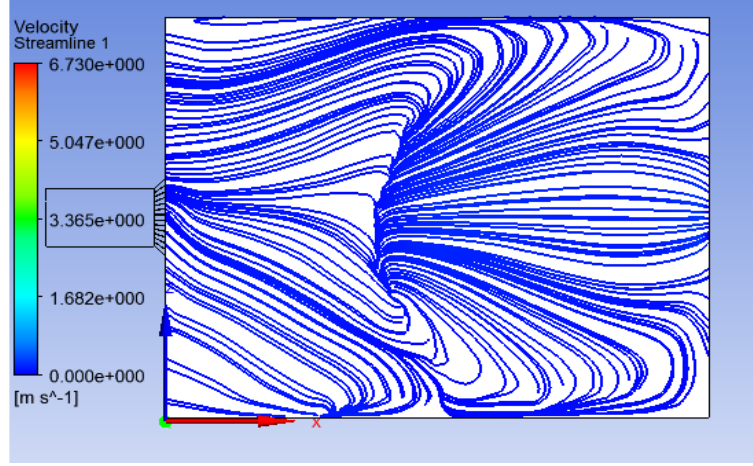
Şekil 4.24. I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 45^0$ için)

(x-z), $y=1,5$ m konumunda yer alan II düzleminde ise; difüzörden gelen hava, ortamın tamamına yayılmış, köşe ve orta kısımlarda girdap çiftleri oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu düzlemde ortamın tamamına yayılmış bir hava karışım hareketinden bahsetmek mümkündür (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 45^0$ için)

III düzleminde (Şekil 4.26) ise difüzörden gelen hava, odanın alt kısmında bulunan düzlemin tamamına yayılmış olan hava düşük hızlarda düzgün bir akış yapısı göstermektedir. III düzlemi (x-z), $y=2,5$ m konumundadır.

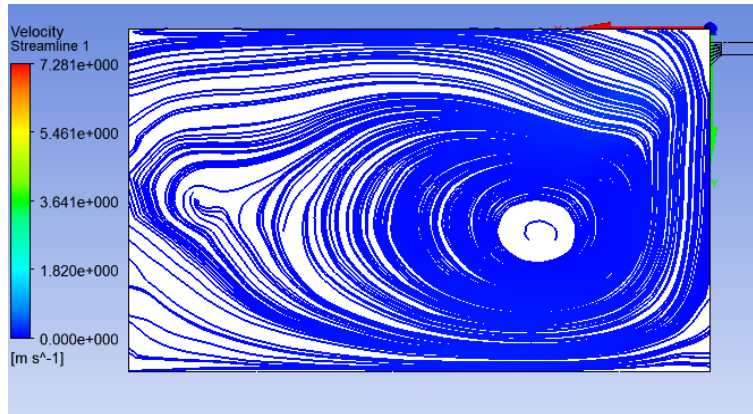


Şekil 4.26. III düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 45^\circ$ için)

4.1.6. $\alpha = 50^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör

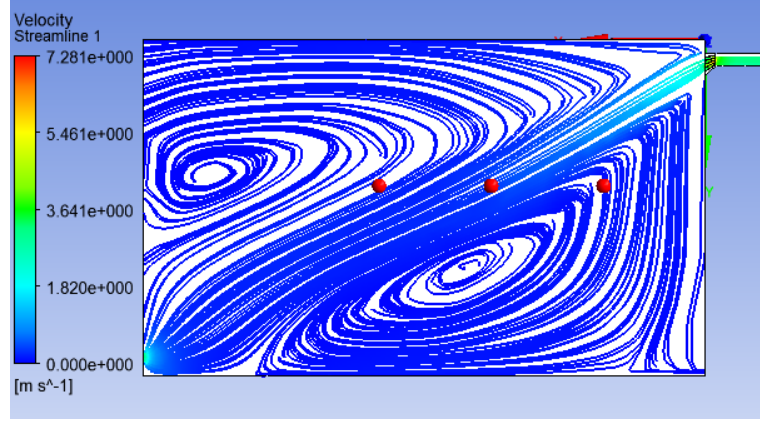
Giriş hızı $v=3$ m/s olan, oda içerisine yerleştirilen $\alpha=50^\circ$ li difüzör ile yapılan analizlerde oda içerisindeki A, B ve I, II, III (Şekil 3.1) düzlemlerinde hava akım çizgileri ve yerleştirilen algılayıcılarda hızlar incelenmiştir.

(x-y), $z=3,5$ m konumundaki A düzlemi (Şekil 4.27) üzerinde elde edilen akım çizgilerine göre; difüzörden gelen havanın düzlemin bulunduğu ortamın tamamına yayılmış büyük bir girdap oluşturarak, havanın bu bölgede karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir.



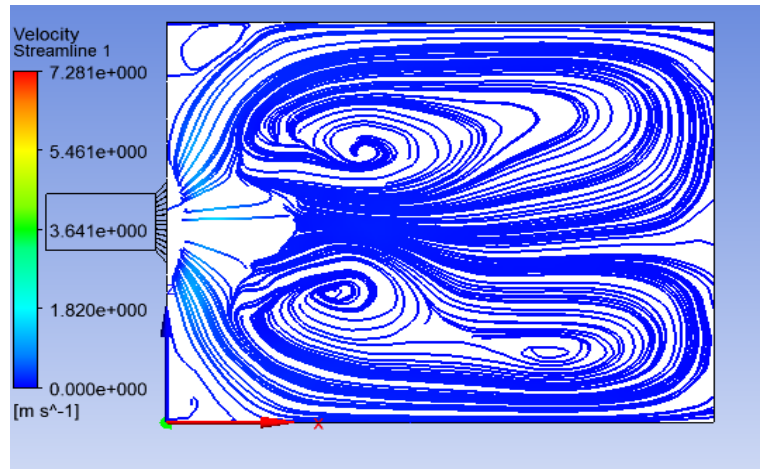
Şekil 4.27. A düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 50^\circ$ için)

(x-y), $z=2$ m konumuna sahip olan B düzleminde ise difüzörden gelen hava, düzlemin bulunduğu ortama tamamen yayıldığı, alt ve üst köşede girdaplar oluşturarak karışma hareketi meydana getirmektedir. Düzlem üzerinde difüzörden çıkan havanın yüksek hızlarda hareket ettiği ortama yerleştirilen noktalarda (Şekil 4.28'deki kırmızı noktalar) hesaplanan hız seviyelerinin (Tablo 4.1), standart konfor koşullarında verilen hava hız seviyelerine olduğu görülmüştür (Şekil 4.28).



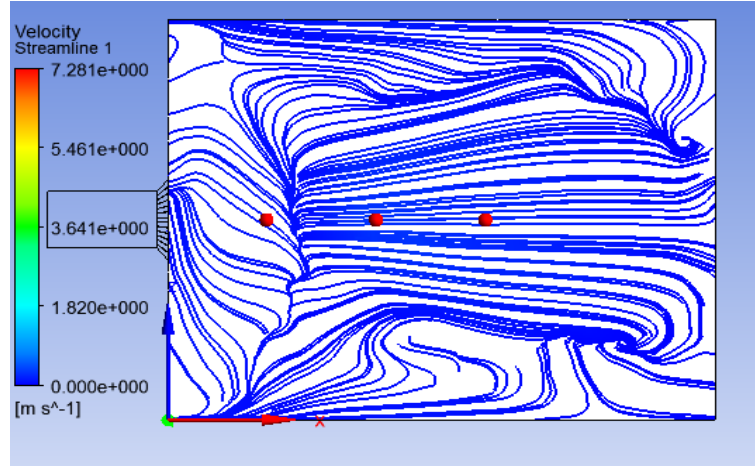
Şekil 4.28. B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 50^\circ$ için)

I düzleminde ((x-z), $y=0,5$ m)) ise difüzörden gelen hava, düşey kanat açısı küçük olan difüzörlere göre daha iyi hava yayılım göstererek odanın tamamına yayılıp girdap çifti oluşturarak, havanın bu bölgede karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir (Şekil 4.29).



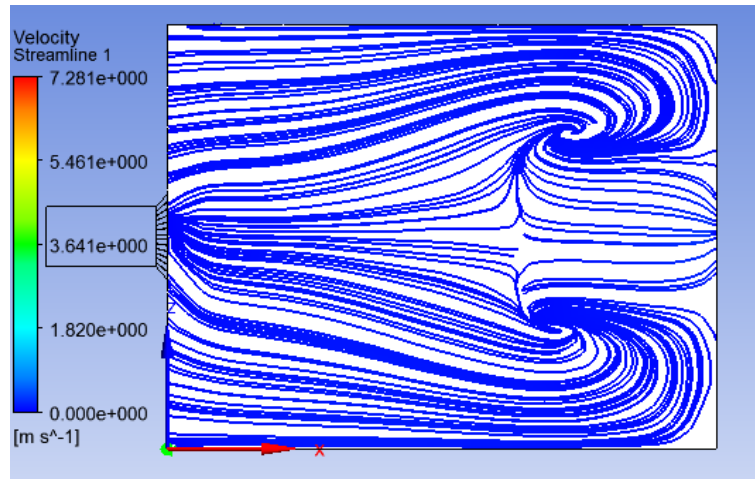
Şekil 4.29. I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 50^\circ$ için)

II düzleminde (Şekil 4.30) ise difüzörden gelen hava, odanın egzoz kısımlarında küçük girdaplar oluşturup, havanın bu bölgede karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir. II düzlemi (xz), $y=1,5$ m olacak şekilde yerleşmiştir.



Şekil 4.30. II düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 50^0$ için)

(x-z), $y=2,5$ m konumunda yer alan III düzleminde ise difüzörden gelen hava, düzlemin bulunduğu ortamın tamamına yayılmış düşük hızlarda düzgün bir akış yapısı göstermekte ve egzoz kısmına yakın yerde ortaya çıkmakta olan girdap çifti havanın sadece bu kısımda belli bir karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir (Şekil 4.31).

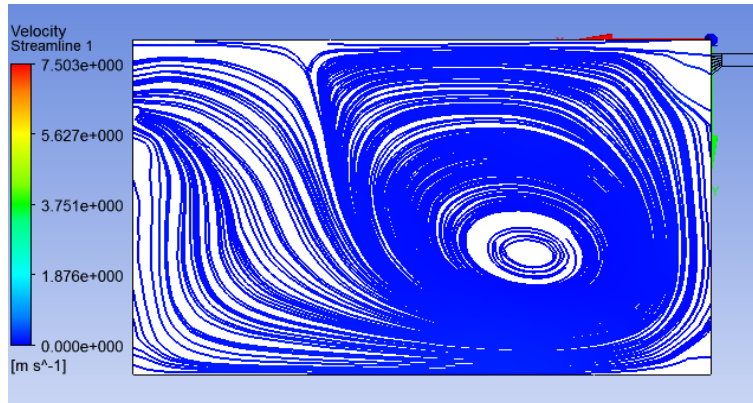


Şekil 4.31. III düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 50^0$ için)

4.1.7. $\alpha = 55^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör

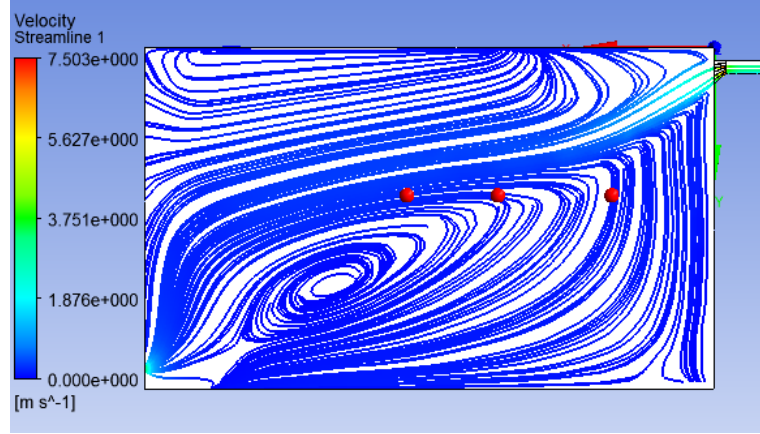
Giriş hızı $v=3$ m/s olan, oda içerisine yerleştirilen $\alpha=50^\circ$ li difüzör ile yapılan analizlerde oda içerisindeki A, B ve I, II, III (Şekil 3.1) düzlemlerinde hava akım çizgileri ve yerleştirilen algılayıcılarda hızlar incelenmiştir.

(x-y), $z=3,5$ m konumundaki A düzlemi (Şekil 4.32) üzerinde elde edilen akım çizgilerine göre; difüzörden gelen havanın düzlemin bulunduğu difüzörün bulunduğu duvara yakın kısımda büyük bir girdap oluşturarak, havanın bu bölgede karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir. Egzozun bulunduğu duvara yakın kısımda ise düzgün bir akış yapısına sahiptir.



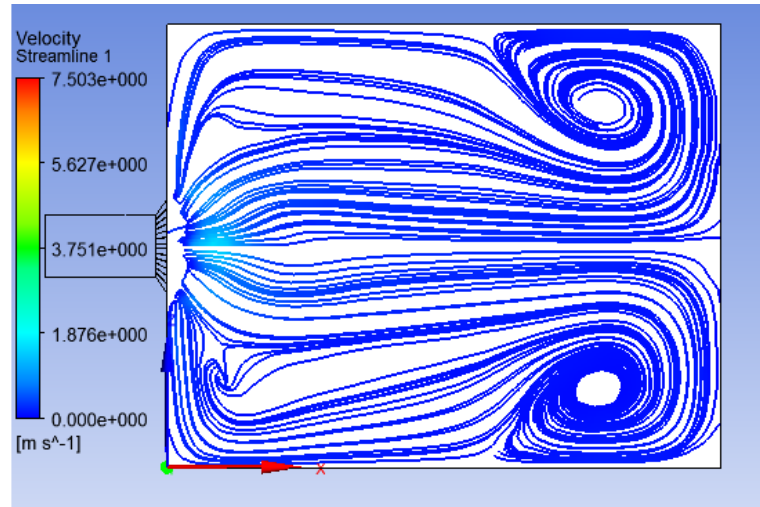
Şekil 4.32. A düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 55^\circ$ için)

(x-y), $z=2$ m konumuna sahip olan B düzleminde ise difüzörden gelen hava, egzoz kısmına yakın yerde girdap oluşturarak karışma hareketi meydana getirmektedir. Düzlem üzerinde difüzörden çıkan havanın yüksek hızlarda hareket ettiği ortama yerleştirilen noktalarda (Şekil 4.33'deki kırmızı noktalar) hesaplanan hız seviyelerinin (Tablo 4.1), standart konfor koşullarında verilen hava hız seviyelerin biraz altında olduğu görülmüştür (Şekil 4.33).



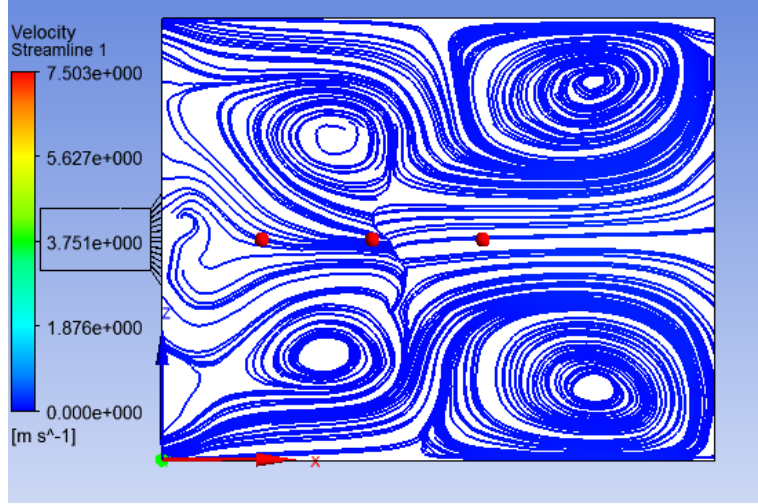
Şekil 4.33. B düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 55^0$ için)

I düzleminde (Şekil 4.34) ise difüzörden gelen hava, odanın tamamına yayılıp egzoz kısmında bulunan duvarın köşelerinde girdap çifti oluşturarak, havanın bu bölgede karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir. I düzlemi (x-z), y=0,5 m koordinatlarında yerleşmiştir (Şekil4.34).



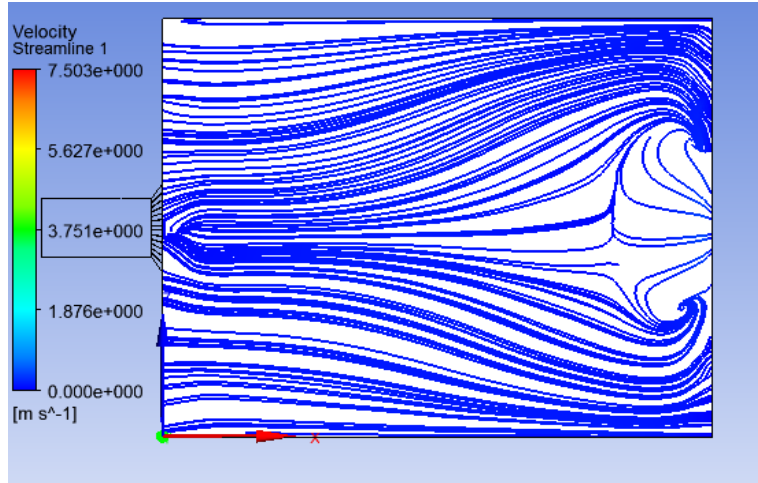
Şekil 4.34. I düzlemindeki hava akım çizgileri ($\alpha = 55^0$ için)

II düzleminde (Şekil 4.35) ise difüzörden gelen hava, düzlemin bulunduğu ortamın tamamına yayılarak oluşturduğu girdap çiftleri, havanın bu bölgede karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir. II düzlemi (xz), y=1,5 m olacak şekilde yerleşmiştir.



Şekil 4.35. II düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 55^0$ için)

(x-z), y=2,5 m konumunda yer alan III düzleminde yer alan akım çizgilerine göre; düzlemin bulunduğu ortamın tamamına yayılmış olan hava düşük hızlarda düzgün bir akış yapısı göstermekte ve egzoz kısmına yakın yerde ortaya çıkmakta olan girdap çifti havanın sadece bu kısımda belli bir karışma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir (Şekil 4.36).

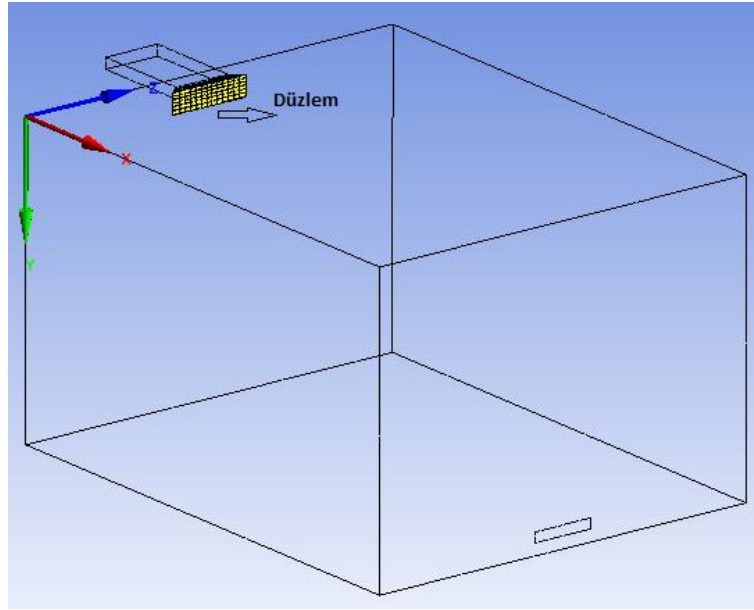


Şekil 4.36. III düzlemindeki hava akım çizgileri($\alpha = 55^0$ için)

4.2. Difüzör Düşey Kanat Açısının Menfez Çıkış Hızına Etkisi

Kapalı hacim içerisine yerleştirilen α düşey kanat açılı difüzörler (Şekil 3.7) için giriş hızları $v=2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5$ m/s olacak şekilde sayısal analizler yapılarak difüzör çıkış ortalama hızlar sayısal olarak ölçülmüştür. Yapılan bu sayısal analizlerde giriş hızı $v=3$ m/s olacak şekilde düşey kanat açısı $\alpha=0$ ve $\alpha=45$ derecelik difüzörlerden ortalama çıkış hızları sayısal olarak ölçülerek, $\alpha=0^0$ için $v=1,92$ m/s $\alpha=45^0$ için $v=1,45$ m/s olduğu sayısal olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.2'deki difüzör düşey kanat açısı (α) arttıkça difüzör çıkış ortalama hızları azalmaktadır (Tablo 4.3).

Kapalı hacim içerisine yerleştirilen difüzörün çıkış yüzeyine y-z ekseninde Şekil 4.37' de görüldüğü gibi bir düzlem atayarak ortalama çıkış hızları sayısal olarak hesaplanıp Tablo 4.3' de sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.37.Difüzör Çıkışı Düzlemi

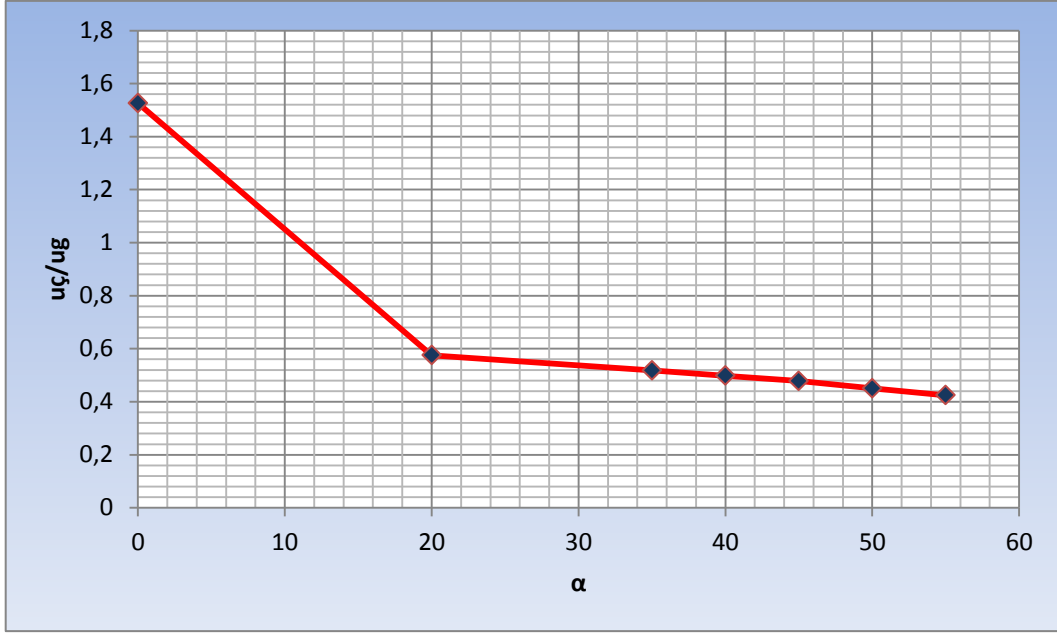
Tablo 4.3. α Düşey kanat açısına göre difüzör çıkışı ortalama hızları

Giriş Hızı (m/s)	Ortalama Difüzör Çıkış Hızları (m/s)						
	$\alpha=0^0$	$\alpha=20^0$	$\alpha=35^0$	$\alpha=40^0$	$\alpha=45^0$	$\alpha=50^0$	$\alpha=55^0$
2	1,32	1,15	1,04	1,00	0,96	0,89	0,80
2,5	1,65	1,44	1,30	1,25	1,20	1,13	1,07
3	1,92	1,73	1,55	1,49	1,43	1,35	1,32
3,5	2,30	2,01	1,81	1,74	1,67	1,58	1,49
4	2,63	2,3	2,07	1,99	1,91	1,80	1,70
4,5	2,95	2,59	2,33	2,24	2,15	2,03	1,91
5	3,28	2,88	2,59	2,48	2,39	2,26	2,13

Çıkış hızlarının giriş hızlarına oranı ile boyutsuz hale getirerek difüzör düşey kanat açıları ile grafiği Şekil 4.38' de oluşturulmuştur. Difüzör açılara göre çıkış hızlarının giriş hızlarına oranı Tablo 4.4' de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Difüzör düşey kanat açılara göre çıkış hızlarının giriş hızlarına oranı

	Difüzör Açıları						
	$\alpha=0^0$	$\alpha=20^0$	$\alpha=35^0$	$\alpha=40^0$	$\alpha=45^0$	$\alpha=50^0$	$\alpha=55^0$
Çıkış hızı/Giriş hızı	1,515152	0,575	0,52	0,5	0,48	0,445	0,4
	1,515152	0,576	0,52	0,5	0,48	0,452	0,428
	1,5625	0,576667	0,516667	0,496667	0,476667	0,45	0,44
	1,521739	0,574286	0,517143	0,497143	0,477143	0,451429	0,425714
	1,520913	0,575	0,5175	0,4975	0,4775	0,45	0,425
	1,525424	0,575556	0,517778	0,497778	0,477778	0,451111	0,424444
	1,52439	0,576	0,518	0,496	0,478	0,452	0,426
Ortalama	1,526467	0,575501	0,518155	0,49787	0,478155	0,45022	0,424166



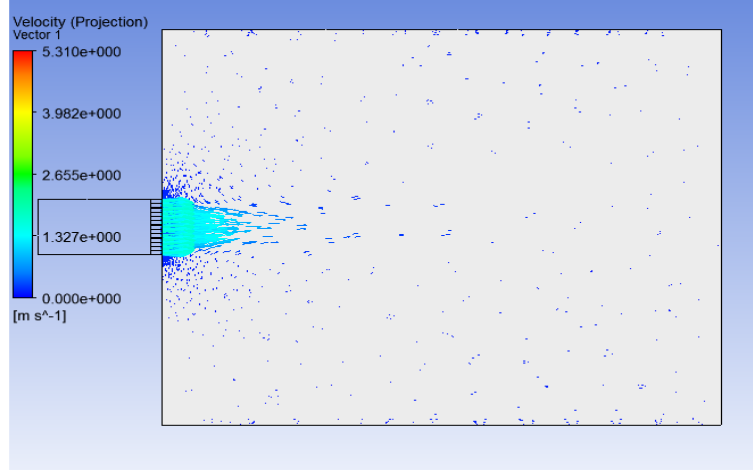
Şekil 4.38. Çıkış hızının giriş hızına olan oranının difüzör düşey kanat açısı ile değişimi

Yapılan bu çalışmalar ile $\alpha=0^0$ ve $\alpha=45^0$ lik difüzörlerin çıkışındaki hız vektör dağılımları Şekil 3.7' de görüldüğü gibi D,E,F düzlemlerinde aşağıda gösterilmiştir.

4.2.1. Düz Difüzör İçin Hız Dağılımı

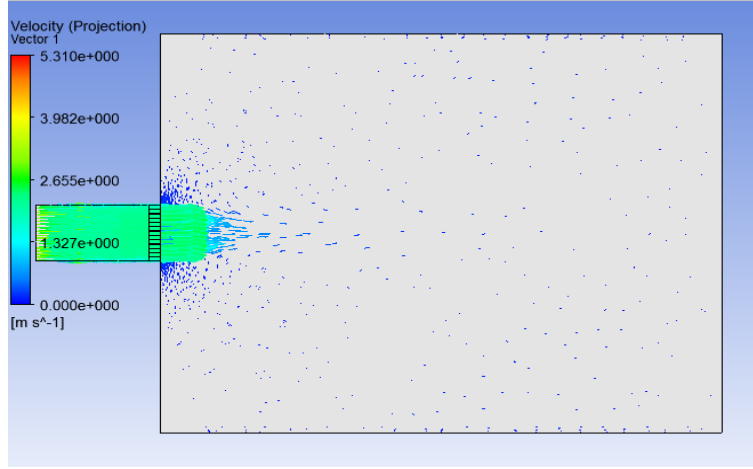
Giriş hızı $v=3$ m/s olan, oda içerisine yerleştirilen $\alpha=0^0$ lik düşey kanat açılı difüzör ile yapılan analizlerde oda içerisindeki difüzör çıkışındaki D,E,F düzlemlerinde (Şekil 3.7) hız vektör dağılımı incelenmiştir.

D düzlemi (x-z), $y=0,32$ m olacak şekilde yerleşmiştir. Kapalı hacim içerisindeki D düzlemi üzerindeki hız vektör dağılımları Şekil 4.39' de verilmiştir.



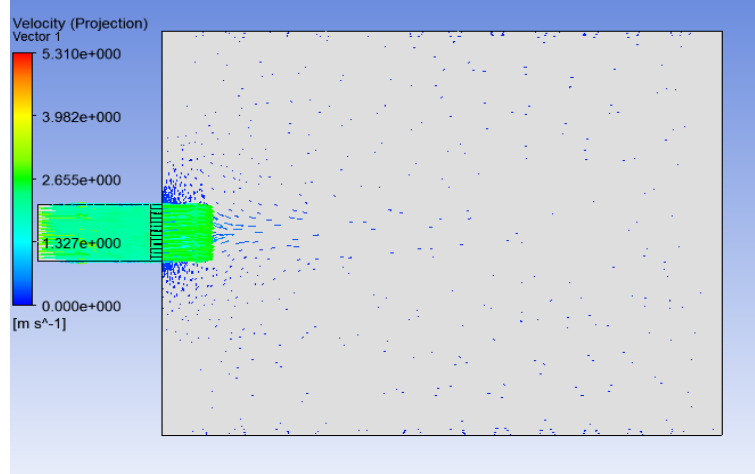
Şekil 4.39. D düzlemindeki hız vektör dağılımı

E düzlemi (x - z), $y=0,224$ m olacak şekilde yerleşmiştir. Kapalı hacim içerisindeki E düzlemi üzerindeki hız vektör dağılımları Şekil 4.40' de verilmiştir.



Şekil 4.40.E düzlemindeki hız vektör dağılımı

F düzlemi (x - z), $y=0,130$ m olacak şekilde yerleşmiştir. Kapalı hacim içerisindeki F düzlemi üzerindeki hız vektör dağılımları Şekil 4.41' de verilmiştir.

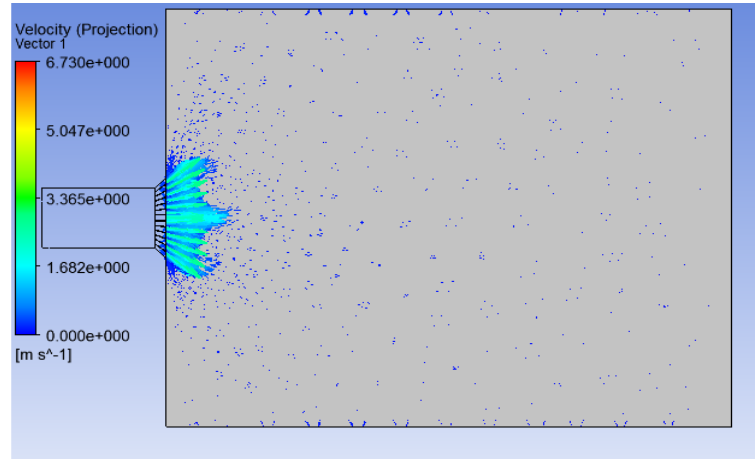


Şekil 4.41: F düzlemindeki hız vektör dağılımı

4.2.2. $\alpha=45^\circ$ Düşey Kanat Açılı Difüzör için Hız Dağılımı

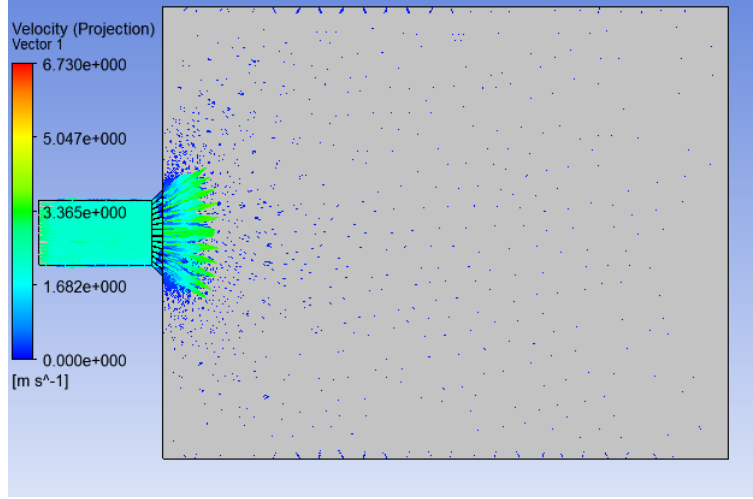
Giriş hızı $v=3$ m/s olan, oda içerisine yerleştirilen $\alpha=45^\circ$ lik düşey kanat açılı difüzör ile yapılan analizlerde oda içerisindeki difüzör çıkışındaki D,E,F düzlemlerinde (Şekil 3.7) hız vektör dağılımı incelenmiştir.

D düzlemi (x-z), $y=0,32$ m olacak şekilde yerleşmiştir. Kapalı hacim içerisindeki D düzlemi üzerindeki hız vektör dağılımları Şekil 4.42' de verilmiştir.



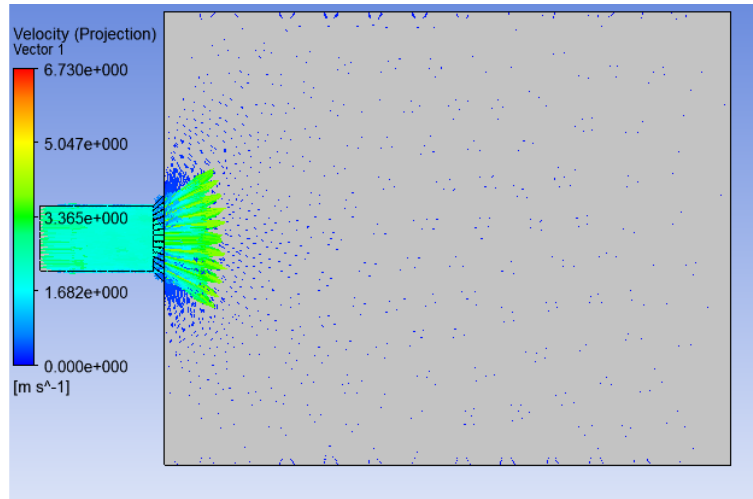
Şekil 4.42. D düzlemindeki hız vektör dağılımı

E düzlemi ($x-z$), $y=0,224$ m olacak şekilde yerleşmiştir. Kapalı hacim içerisindeki E düzlemi üzerindeki hız vektör dağılımları Şekil 4.43’ de verilmiştir.



Şekil 4.43. E düzlemindeki hız vektör dağılımı

F düzlemi ($x-z$), $y=0,130$ m olacak şekilde yerleşmiştir. Kapalı hacim içerisindeki F düzlemi üzerindeki hız vektör dağılımları Şekil 4.44’ de verilmiştir.



Şekil 4.44. F düzlemindeki hız vektör dağılımı

4.3. Difüzördeki Basınç Düşümü

Kapalı model için yapılan sayısal analizlerde giriş hızlarına göre α düşey kanat açılı difüzörlerdeki basınç düşümleri (ΔP) sayısal olarak ölçülmüştür. Giriş hızlarına göre α düşey kanat açılı difüzörlerin giriş ve çıkışındaki ortalama basınç farkı olan ortalama basınç düşümleri Tablo 4.5' de verilmiştir.

Tablo 4.5. Giriş Hızlarına Göre Basınç Düşümleri

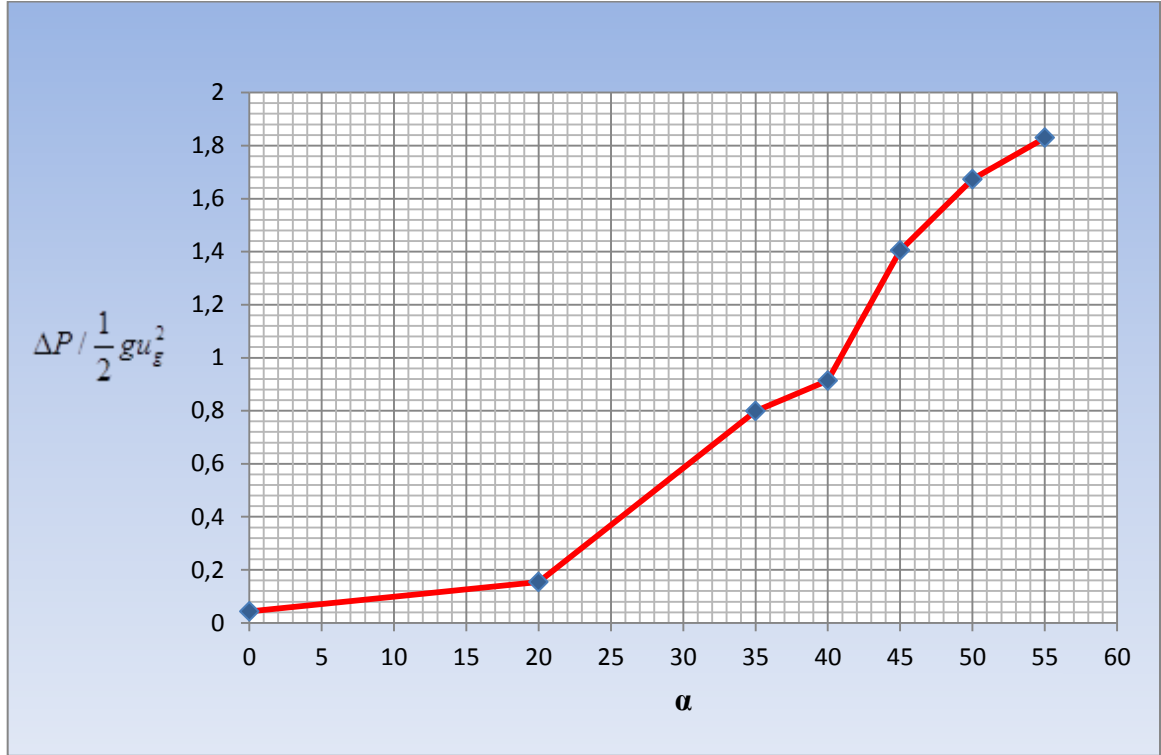
Giriş Hızı (m/s)	Ortalama Basınç Düşümleri (Pa)						
	$\alpha=0^0$	$\alpha=20^0$	$\alpha=35^0$	$\alpha=40^0$	$\alpha=45^0$	$\alpha=50^0$	$\alpha=55^0$
2	0,18	0,33	2,33	2,82	3,196	3,42	6,35
2,5	0,46	0,5	3,15	4,05	5,112	6,12	7,22
3	0,14	0,75	3,85	4,26	7,52	9,18	8,79
3,5	0,23	1,08	5,4	5,96	10,4	12,63	12,04
4	0,16	1,53	7,3	7,97	13,75	16,67	15,83
4,5	0,18	2,11	9,46	10,25	17,56	21,22	20,13
5	0,23	2,8	11,88	13	21,72	26,29	24,89

Tablo 4.5' de görüldüğü gibi α difüzör düşey kanat açısı ve giriş hızları artıkça ortalama basınç düşümünün de arttığı gözükmemektedir. Basınç düşümlerinde boyutsuz hale getirerek ($\Delta P / \frac{1}{2} \rho u_g^2$) difüzör açılara göre verileri Tablo 4.6'de verilmiştir (u_g giriş hızı, ρ : havanın yoğunluğu=1,2 kg/m³).

Tablo 4.6. Giriş hızlarına göre boyutsuz veriler

	Difüzör Açıları						
	$\alpha=0^0$	$\alpha=20^0$	$\alpha=35^0$	$\alpha=40^0$	$\alpha=45^0$	$\alpha=50^0$	$\alpha=55^0$
$\Delta P / \frac{1}{2} g u_g^2$	0,075	0,1375	0,970833	1,175	1,331667	1,425	2,645833
	0,122667	0,133333	0,84	1,08	1,3632	1,632	1,925333
	0,025926	0,138889	0,712963	0,788889	1,392593	1,7	1,627778
	0,031293	0,146939	0,734694	0,810884	1,414966	1,718367	1,638095
	0,016667	0,159375	0,760417	0,830208	1,432292	1,736458	1,648958
	0,014815	0,173663	0,778601	0,843621	1,445267	1,746502	1,65679
	0,015333	0,186667	0,792	0,866667	1,448	1,752667	1,659333
Ortalama	0,0431	0,153766	0,798501	0,91361	1,403998	1,672999	1,828874

Tablo 4.6 daki ortalama verilere göre difüzör düşey kanat açısı ile boyutsuz basınç düşümü grafiği Şekil 4.45 de verilmiştir.



Şekil 4.45. Difüzör düşey kanat açısı ile boyutsuz basınç düşümü

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında; piyasada mevcut olan standart difüzörlerin hava dağıtıcılık özelliğinin geliştirilmesi amacıyla difüzör kenarlarına doğru gidildikçe üzerinde genişleyen açılarda düşey ve yatay kanatların yer aldığı yeni bir difüzörün, ANSYS-Fluent ile sayısal olarak modellenmesi yapılmıştır. Bu amaçla 5x3x4 m boyutlarındaki kapalı bir hacmin (ofis) tavanına yakın bir yere yerleştirilmiş olan difüzör ve hacmin karşı duvarında zemine yakın bir yere yerleştirilmiş olan egzoz menfezinin yer aldığı hacimdeki hava akış yörüngeleri belirlenmiştir. α düşey kanat açısı değiştirilen difüzörün ortamdaki hava dağılımı, difüzörden hava çıkış hızı ve difüzörde meydana gelen hava basıncı düşümü üzerinde düşey kanat açının etkisi incelenmiştir. Difüzörün α düşey kanat açısındaki değişmeye bağlı olarak bu tez çalışmasından elde edilen sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- 1- A düzleminde elde edilen akım çizgilerinin davranışından görülmektedir ki; difüzörün α düşey kanat açısı arttıkça difüzörden ortama çıkan hava, hacmin ortalarına doğru daha fazla karışma davranışı göstermektedir.
- 2- B düzleminde (hacim düşey simetri düzlemi) elde edilen akım çizgileri göstermektedir ki; α düşey kanat açısı arttıkça odanın köşelerinde oluşan girdapların büyüdüğü görülmüştür. Bu durum difüzörden çıkan havanın artan düşey kanat açısı ile birlikte daha fazla hacme yayılma davranışı içerisinde olduğunu göstermektedir.
- 3- I düzleminde (üstteki yatay düzlem) elde edilen akım çizgileri sonuçlarına göre; difüzörün α düşey kanat açısı arttıkça, odada oluşan girdap çifti büyüyerek odanın tamamına yayılmaktadır. Bu etki; ortam içerisindeki hareketli havanın odanın kenar bölgelerine doğru daha homojen bir dağılım sağlamakta olduğunu göstermektedir.
- 4- II düzleminde (ortadaki yatay düzlem) elde edilen akım çizgilerinden görülmektedir ki; difüzörün α düşey kanat açısı arttıkça odanın ortasında oluşan büyük girdap çiftleri dağılarak odanın farklı yerlerinde küçük girdapçıklara dönüşmektedir. Ayrıca ortalama insan ölçüleri içerisinde kalan bu düzlemdeki hava hızı düzeylerinin standart konfor koşulları düzeylerinde olduğu görülmüştür.

- 5- III düzleminde (en alttaki yatay düzlem) elde edilen akım çizgileri bulgularına göre; difüzörün α düşey kanat açısı arttıkça, diğer düzlemlerde olduğu gibi hava hızı düzeyleri standart konfor koşullarında kalmaktadır. Bu da difüzörden çıkan havanın ortama iyi bir şekilde dağılarak hızını kaybetmekte olduğunu ve odanın her tarafına yayıldığını göstermektedir.
- 6- Ortam içerisindeki uygun noktalarda elde edilmiş olan hız kayıtlarından da görülmektedir ki; difüzörün α düşey kanat açısı arttıkça difüzörden gelen havanın ortamdaki hız değerleri standart konfor koşullarına uygun olmaktadır.
- 7- Difüzör α düşey kanat açısı arttıkça direncin de artması nedeniyle difüzörlerde ortaya çıkan basınç düşümleri de artmaktadır. Ancak basınç düşümündeki bu artışında 50 Pa standart değerinin altında kalmaktadır.
- 8- Difüzör çıkışında α düşey kanat açısındaki artıştan dolayı oluşan kesit büyümesi sonucunda difüzör çıkış hızı da beklendiği gibi düşmektedir.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki; havalandırılan ortamlarda bir konfor koşulu olan hava hızı havanın oda içerisindeki dağılımına bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Ayrıca standart difüzörlerin havaya iyi bir dağıtıcılık kazandırmadığı ve buna bağlı olarak hem gerekli konfor koşullarının dışına çıkılmakta olduğu hem de otomatik kontrol sisteminde yer alan algılayıcıların sistemi uygun olmayan değerlerde çalıştıracağı anlaşılmıştır. Bu nedenle dağıtıcılık özelliği yüksek difüzörlerin havalandırma yapılan ortamlarda kullanılması ile hem gerekli konfor koşullarının sağlanması hem de kontrol sisteminin uygun değer aralıklarında, gerçekçi ve enerji verimliliğini esas alan bir şekilde çalışması mümkün olacaktır.

Bu çalışmanın devamı olarak; farklı geometriye sahip mahallerin içerisinde cisimlerin ve insanların olduğunu düşünerek sayısal hesaplamalar yapılabilir. Bu sayısal hesaplamalar yapılırken difüzörlerin giriş ve çıkış yerleri, difüzör geometrisi ve sayısı, farklı hava hızları, kapı ve pencereler gibi parametreler göz önünde bulundurulabilir. Bu parametrelere dayalı olarak mahal içerisindeki havalandırmanın konfor şartlarına etkileri, sıcaklık değişimlerini ve ses seviyelerini sayısal olarak hesaplanabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Hjertger, K. ve Magnusen, T, Wall-jet Velocity Profiles Resulting from a Ventilation Inlet, ASE Transactions, (1986).
2. Awbi, H. B., Ventilation of Buildings, E & FN Spon, London, 1991.
3. Nielsen, P. V., Restivo, A. and Whitelaw, J. H., The Velocity Characteristics of Ventilated Rooms, Journal of Fluids Engineering, 100 (1978) 291-298.
4. Kuas, G. ve Başkaya, S., Havalandırılan Bir Ofis Odasında Hava Hareketinin Sayısal Analizi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 17 (2002) 35-32.k
5. Pulat, E., Oda Klima Cihazı ile Havalandırılan Bir Odada Hava Dağılımının Sayısal Olarak Araştırılması, http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler. 16.01.2012.
6. Chung, K. C. ve Hsu, S. P., Effect of Ventilation Pattern on Room Air and Contaminant Distribution, Building and Environment, 36 (2001) 989-998.
7. Deevy, M., Sinai, Y., Everitt, P., Voigt, L and Gobeau, N., Modelling the Effect of an Occupant on Displacement Ventilation with Computational Fluid Dynamics, Energy and Buildings, 40 (2008) 1334-1343.
8. Kavgiç, M., Mumovic, D., Stevanovic, Z. ve Young, A., Analysis of Thermal Comfort and Indoor Air Quality in a Mechanically Ventilated Theatre, Energy and Buildings, 40 (2008) 255-264.
9. Costa, J.J., Oliveira, L.A. ve Blay, D., Test of Several Versions for the k- ϵ Type Turbulence Modelling of Internal Mixed Convection Flows, International Journal of Heat and Mass Transfer, 42 (1999) 4391-4409.
10. Genceli, O. F. (Çeviren), İç Hacimlerde Havanın Yayılması, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Teknik Yayın No:2, İstanbul, 1997.
11. Karaoğlu, E., Mekân İçi Hava Hareketlerinin Sonlu Farklar Yöntemi ile Modellenmesi, Mühendis ve Makine, 48 (2007) 564.
12. Başkaya, Ş. ve Alpay, E., , “Yatay Kapalı Bir Ortamda Ayrık Isı Kaynaklarından Olan Doğal Taşınım Akışının Sayısal İncelenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 18,2 (2003) 49-62.

13. ISISAN Çalışmaları No:305, Klima Tesisatı, 1997.
14. Genceli, O. F. (Çeviren), Fizyolojik İlkeler ve Isıl Konfor, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Teknik Yayın No:5, İstanbul, 1997.
15. Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi. Sayı:63,2009.
16. <http://geolab.larc.nasa.gov/APPS/YPlus/>. 14.02.2012

ÖZGEÇMİŞ

Cengizhan SUNGURLU 1985 yılında Trabzon'da doğdu. 2002 yılında Affan Kitapçıoğlu Lisesi'nden mezun olup 2003 yılında ZKÜ Mühendisli Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2007 yılında mezun olduktan sonra 2008 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Bugüne kadar ulusal ve uluslararası projelerin hazırlık ve yürütme aşamalarında görev alan Cengizhan SUNGURLU bu görevine devam etmekte olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.