



**Çift Cidarlı Cephelerin Akış ve Enerji Modellemesi Yapılarak
Performanslarının Nicel Olarak İncelenmesi ve Sundukları
Mimari Olanakların Nitel Sorgulanması**

Program Kodu: **1001**

Proje No: **112M170**

Proje Yürütücüsü:

Doç. Dr. Tahsin BAŞARAN

Araştırmacı:

Prof. Dr. Aytunç EREK

Danışman:

Yrd. Doç. Dr. Ufuk ERSOY

Bursiyerler:

Araş. Gör. Y. Mimar Tuğba İNAN

Araş. Gör. Y. Mimar Pınar KUTLUAY

MAYIS 2015

İZMİR



ÖNSÖZ

Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 112M170 nolu proje kapsamında desteklenen bu proje kapsamındaki çalışmalar, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Tahsin BAŞARAN yürütücülüğünde 01.01.2013-01.01.2015 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Doç. Dr. Tahsin BAŞARAN, proje ekibi adına sağladığı destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. GİRİŞ	1
1.1 Giydirme Cephe'nin Tarihi	1
1.2 Bir Metafor Olarak Giydirme Cephe	8
1.3 Giydirme Saydam Cam Cephe	12
1.4 Dünya'dan çift cidarlı cephe uygulama örnekleri	23
1.5 Türkiye'den çift cidarlı cephe örnekleri	38
1.6 Enerji ve Bina Kabuğu Etkileşimi	43
1.7 Çift Cidarlı Cephe (ÇCC) Sistemleri	43
1.8 Çift Cidarlı Cephe Sistemlerinin Sınıflandırılması	46
1.8.1 Havalandırma Tipine Göre Çift Cidarlı Cephe Sistemleri	46
1.8.2 Hava Akış Modlarına Göre Çift Cidarlı Cephe Sistemleri	46
1.8.3 Hava Kanalındaki Geometrik Konfigurasyona Göre Çift Cidarlı Cephe Sistemleri	48
2. LİTERATÜR	52
2.1 Çift Cidarlı Cephelerle İlgili Yapılmış Deneysel Çalışmalar	52
2.1.1 Saelens'in Deneysel Çalışması	52
2.1.2 Stec'in Deneysel Çalışması	53
2.1.3. Corgnati, Porino Ve Serra'nın Deneysel Çalışması	53
2.1.4 Zangharella'nın Deneysel Çalışması	54
2.1.5 Gavan'ın Deneysel Çalışması	55
2.2 Çift Cidarlı Cephelerle İlgili Yapılan Diğer Çalışmalar	55
2.3 Çift Cidarlı Cephe Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları	58
2.3.1 Çift Cidarlı Cephelerin Avantajları	58
2.3.2 Çift Cidarlı Cephelerin Dezavantajları	60
2.3.3 Çift Cidarlı Cephe Türlerinin Değerlendirilmesi	62
2.4 Çift Cidarlı Cephelerde Etkili Tasarım Kararları	64
2.4.1 Çift Cidarlı Cephede Bina Geometrisi ve Yönlenme Faktörü	65
2.4.2 Gün Işığı ve Cam	67
2.4.3 Güneş Kırıcı Elemanlar	69
2.4.4 İklimsel ve Mevsimsel Durumlar	71
2.4.5 Hava Kanalının Boyutu	71
2.4.6 Çift Cidarlı Cephe ve Menfez Boyutları	72
3. ÇİFT CİDAR CEPHE DENEYSEL DÜZENİ	76
3.1 Deney Odası İç Ortam	77
3.2 Deney Odası Dış Ortam	79



3.3 Deney Odası Ara Bölmesi (Kavite)	80
3.4 Solar simülatör Ünitesi	81
3.5 Mekanik Havalandırma Sistemi	82
3.6 Solar Simülatörün Havalandırılması	84
3.7 HIOKI Veri Kayıt Cihazı (Data Logger) (LR 8402-20)	85
3.8 Ölçüm Sistemleri	86
3.8.1 EKO MS-410 Pironometre	86
3.8.2 Fark Basınç Ölçümü	87
3.8.3 Çift Cidar Arasında Hız Ölçümü	88
3.8.4 Sıcaklık Ölçümleri	88
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	92
4.1 Kalibrasyon işlemleri	101
4.2 Belirsizlik Analizi	109
5. SAYISAL ÇALIŞMA	112
5.1. Problemin Tanımı	112
5.2 Korunum Denklemleri	113
5.3 Ağ Yapısı ve Çözüm Yöntemi	116
5.4. Çözüm Yönteminin Doğrulanması	117
5.5 Doğal Taşınım İlişkin Elde Edilen Sayısal Sonuçlar	118
5.6 Zorlanmış Taşınım İlişkin Elde Edilen Sayısal Sonuçlar	121
5.6.1 Model Geometrisi ve Problemin Tanımı	121
5.6.2 Kütleli Debi ve Isı Transfer Değerleri	123
5.6.3 Kanal Ortasında Bulunan Düşey Kesitteki Sıcaklık Dağılımları: Kış Durumu	124
5.6.4 Kanal Ortasında Bulunan Düşey Kesitteki Sıcaklık Dağılımları: Yaz Durumu	125
5.6.5 Kanal Ortasında Bulunan Düşey Kesitteki Akım Çizgileri: Kış Durumu	126
5.6.6 Kanal Ortasında Bulunan Düşey Kesitteki Akım Çizgileri: Yaz Durumu	127
5.6.7 Kanal Ortasında Bulunan Yatay Çizgiler Üzerindeki Sıcaklık Değişimleri Kış Durumu	128
5.6.8 Kanal Ortasında Bulunan Yatay Çizgiler Üzerindeki Sıcaklık Değişimleri: Yaz Durumu	130
5.6.9 Kanal Ortasında Bulunan Yatay Çizgiler Üzerindeki Hız Değişimleri: Kış Durumu	131
5.6.10 Kanal Ortasında Bulunan Yatay Çizgiler Üzerindeki Hız Değişimleri: Yaz Durumu	132
5.7 Güneş Işınımı Etkili Zamana Bağlı Analiz	134
5.7.1 Problemin Tanımı	134



5.7.2 Çözüm Yöntemi	135
5.7.3 Güneş Işınımı Etkili Zamana Bağlı Analiz İçin Elde Sayısal Sonuçlar	135
6. SONUÇ	139
REFERANSLAR	143

EK A Isıl Çiftlerin ve PT100 Probların Kalibrasyon İşlemleri

EK B Data Logger-Ölçüm Noktaları



TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. Taranan makalelerdeki anahtar kelimeler (Mayıs 2015 itibariyle)	2
Tablo 2. Çift cidarlı cephe (ÇCC) sınıfları	48
Tablo 3. Çift cidarlı cephelerin avantajları (2001-2008) ve (2009-2015)	59
Tablo 4. Çift cidarlı cephelerin dezavantajları (2001-2008) ve (2009-2015)	61
Tablo 5. Çift cidarlı cephe türlerinin analizi	63
Tablo 6. Çift cidarlı cephede kullanılmış cam örnekleri	69
Tablo 7. Solar simulatorun genel özellikleri	82
Tablo 8. MS-410 Pironometre özellikleri	87
Tablo 9. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar	92
Tablo 10. Farklı perfore saç uygulamasının farklı debilerde yarattığı basınç düşümleri.	96
Tablo 11. Doğal taşınım deneylerine ilişkin elde edilen Rayleigh sayıları.	101
Tablo 12. 3-9 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri	103
Tablo 13. 2-9 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri	103
Tablo 14. Debimetre kalibrasyonu.	104
Tablo 15. Isı akısı ölçüm sonuçları	106
Tablo 16. Piranometrenin pozisyonundan dolayı gerçekleştirilen kalibrasyon	109
Table 17. Deneysel çalışmada kullanılan herbir bağımsız özelliğin belirsizlik değeri	110
Tablo 18. Deneysel ölçüm sonuçları	113
Tablo 19. Yaz ve kış için farklı hız değerleri için kütleli debi ve ısı transfer hız değerleri	123
Table 20. Herbir deney için sayısal sonuçlardan hesaplanan Nusselt sayıları	141

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. Reliance Binası (Merwood, 2001)	3
Şekil 2. Menier Çikolata Fabrikası (http://content.lib.washington.edu/cdm4/item_viewer.php?CISOROOT=/buildings&CISOPTR=9666)	3
Şekil 3. Majolikahaus (Friedrich, Böhringer. (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linke_Wienzeile_40,_Majolikahaus_Otto_Wagner_1.JPG)	4
Şekil 4. Thomas Gantt Binasının Kısmi Kesiti ve Kat Planı (Murray, 2009)	4
Şekil 5. Thomas Gantt Binası (Murray, 2009)	5
Şekil 6. Fagus Ayakkabı Fabrikası (Murray, 2009)	5
Şekil 7. Boley Binası (Murray, 2009)	6
Şekil 8. Hallidie Binası (Murray, 2009)	6
Şekil 9. Kristal Saray (http://library.artstor.org/library/secure/ViewImages?id=8DVEZjl%2FJjs0ljZUej54Rn4rWHAKfQ%3D%3D&userId=hTNEcTon&zoomparams=.))	7
Şekil 10. St. Cuthbert Kooperatif Binası	8
Şekil 11. Karayipler'deki İlkel Kulübe (Semper, 2004)	10
Şekil 12. Çinici, Doruk ve Tokay tarafından tasarlanan DSİ Genel Müdürlük Binası, Ankara (http://www.mimarlikmuzesi.org)	11
Şekil 13. Tokay tarafından tasarlanan Kızılay Emek İş Merkezi, Ankara (http://www.yapi.com.tr)	12
Şekil 14. Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği (Murray, 2009)	13
Şekil 15. Lever House İş Merkezi (Murray, 2009)	14
Şekil 16. Seagram İş Merkezi (Murray, 2009)	15
Şekil 17. Lake Shore Apartmanları (1950) (Leatherbarrow & Mostafavi, 2002)	16
Şekil 18. Seagram İş Merkezi	17
Şekil 19. Corning Cam İşleri Binası ve tiriz plan detayı (Murray, 2009)	18
Şekil 20. Pepsi-Cola Binası ve tiriz plan detayı (Murray, 2009)	19
Şekil 21. Kresge Oditoryumu (Murray, 2009)	20
Şekil 22. Cité de Refuge Binası, aksonometrik görünüşü (1933) (Taylor, 1979)	20
Şekil 23. Cité de Refuge Binası, zemin kat planı (1933) (Taylor, 1979)	21
Şekil 24. Cité de Refuge Binası, bir kesit (1933) (Taylor, 1979)	21
Şekil 25. İstanbul Sapphire Binası (2011) (v2.arkiv.com.tr/p9568-istanbul-sapphire.html)	23
Şekil 26. Düsseldorf Stadttor Binası	24
Şekil 27. Deichtor Ofis Binası	25
Şekil 28. GSW Binası	26
Şekil 29. Debis Binası	28
Şekil 30. Commerzbank Binası	31

Şekil 31. SysOpen Kulesi	33
Şekil 32. ARAG 2000 Kulesi	34
Şekil 33. Moravian Kütüphanesi	35
Şekil 34. Postane Kulesi	37
Şekil 35. İstanbul Sapphire	39
Şekil 36. Küçükçekmece Belediye Binası, İstanbul, dış görünüş	41
Şekil 37. Küçükçekmece Belediye Binası, İstanbul, üç boyutlu görsel	41
Şekil 38. Küçükçekmece Belediye Binası, İstanbul, kesit	42
Şekil 39. Çift cidarlı cephe sistemi	45
Şekil 40. Çift cam cephedeki ısı transfer mekanizması	45
Şekil 41. Çift cidarlı cephelerde hava akış modları	47
Şekil 42. Çift cidarlı cephe türleri (Vaglio, 2012)	48
Şekil 43. Kutu pencere detayı (Tascon, 2008)	49
Şekil 44. Şaft kutu cephe örneği (Tascon, 2008)	50
Şekil 45. Koridor cephe örneği (Bestfacade, 2005)	50
Şekil 46. Çok katlı cephe örneği, Beatham kulesi Londra	51
Şekil 47. Çok katlı panjurlu cephe örneği (Loncour, 2004)	51
Şekil 48. Çift cidarlı cephelerin avantaj yüzdeleri	60
Şekil 49. Çift cidarlı cephelerin dezavantaj yüzdeleri	62
Şekil 50. Çift cidarlı cephelerdeki etkin tasarım kararları	65
Şekil 51. Çift ve tek cidarlı cephenin yönlere göre enerji tüketimleri (Stribling ve Stigge, 2003)	67
Şekil 52. İç ve dış cidarda güneş kontrol camları (Poirazis, 2006)	68
Şekil 53. Hava kanal boyut örneği (Nikolaus, 2007)	72
Şekil 54. Deneysel düzenek.	76
Şekil 55. Deneysel düzeneğin genel yerleşimi.	77
Şekil 56. Deneysel düzenek planı.	78
Şekil 57. Deney odası iç ortamı ve soğutma ısıtma banyosu	79
Şekil 58. Deney odası dış ortamı ve soğutma grubu.	80
Şekil 59. Deney odası ara bölmesi (kavite) ve hareketli mekanizma düzeneği.	80
Şekil 60. Solar simülatör ünitesi.	81
Şekil 61. Sistemde kullanılan fanın karakteristiği.	82
Şekil 62. Fan ve bağlantıları.	83
Şekil 63. Kanal sisteminin genel görünüşü.	83
Şekil 64. Dış ortamı simüle eden kısımda, çift cidar cepheye giriş düzenlemesi.	84
Şekil 65. Kanaldaki hava debisinin belirlenmesi	84

Şekil 66. Solar simülatörün havalandırılması	85
Şekil 67. HIOKI Veri Kayıt Cihazı (Data Logger).	86
Şekil 68. MS-410 Pironometre ve deney düzeneğinde yerleşimi.	86
Şekil 69. Fark basınç ölçümü	87
Şekil 70. Hız ölçüm cihaz bağlantısı	88
Şekil 71. Ara bölme (kavite)'ye bakış yönleri	89
Şekil 72. Ara bölme (kavite)'deki ısı çift yerleşimi.	89
Şekil 73. İç ve dış ortam simülasyon odalarındaki sıcaklık ölçüm noktaları.	90
Şekil 74. İç ortam simülasyon odasındaki sıcaklık ölçüm noktaları.	90
Şekil 75. İç ve dış ortam simülasyon odalarından çift cidar cepheye farklı bakış yönlerine bağlı olarak sıcaklık ölçüm noktaları.	91
Şekil 76. Deneysel düzenekte kaviteye yerleştirilen perfore saç uygulaması.	94
Şekil 77. Üç farklı debi için küçük delikli perfore saçtaki basınç düşümü.	95
Şekil 78. Üç farklı debi için küçük delikli perfore saçtaki basınç düşümü.	95
Şekil 79. Farklı perfore saç kullanımının ve farklı kütleli debilerin yarattığı basınç düşümleri	97
Şekil 80. Doğal taşınım için kavitenin kapatılması.	98
Şekil 81. Kavitedeki sıcaklık değişimi (#55 için).	98
Şekil 82. Kavite yüksekliği boyunca iki iç yüzeydeki sıcaklık değişimleri (#55 için).	99
Şekil 83. Kavitede iki iç yüzeydeki sıcaklık değişimi (#56 için).	99
Şekil 84. Kavitedeki hava sıcaklığının değişimi (#56 için).	100
Şekil 85. Kavitedeki sıcaklığın değişimi (#56 için).	100
Şekil 86. Kalibrasyon düzeneği	101
Şekil 87. Kalibrasyon düzeneği (yakın plan)	102
Şekil 88. 3-9 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi	103
Şekil 89. 2-9 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi	104
Şekil 90. Dış cam yüzey üzerindeki ışıma ölçüm noktaları	105
Şekil 91. Birinci ölçüm sonuçları: ısı akısı dağılımları	107
Şekil 92. İkinci ölçüm sonuçları: ısı akısı dağılımları	107
Şekil 93. Kavitenin 25cm olması durumundaki ısı akısı	108
Şekil 94. Kavitenin 35cm olması durumundaki ısı akısı	108
Şekil 95. Test odası geometrisi ve sınır şartları	112
Şekil 96. Ağ yapısı	116
Şekil 97. Sıcak yüzey üzerindeki hız profili ve Nusselt sayısı değişimi	118
Şekil 98. $z = L/2$ düzlemi üzerindeki hız ve sıcaklık dağılımları	118
Şekil 99. Farklı Ra_H sayıları için $z = L/2$ düzlemi üzerindeki sıcaklık dağılımları	119



Şekil 100. Kavite içerisindeki hız ve sıcaklık değişimleri	120
Şekil 101. Model geometrisi	121
Şekil 102. Model geometrisi-kesit	122
Şekil 103. Düşey kesitteki sıcaklık dağılımları: Kış durumu	125
Şekil 104. Düşey kesitteki sıcaklık dağılımları: Yaz durumu	126
Şekil 105. Düşey kesitteki hız akış çizgileri: Kış durumu	127
Şekil 106. Düşey kesitteki hız akış çizgileri: Yaz durumu	128
Şekil 107. Kanal ortasında bulunan yatay çizgiler üzerindeki sıcaklık değişimleri: Kış durumu	129
Şekil 108. Kanal ortasında bulunan yatay çizgiler üzerindeki sıcaklık değişimleri: Yaz durumu	131
Şekil 109. Yatay çizgiler üzerindeki hız değişimleri:Kış durumu	132
Şekil 110. Yatay çizgiler üzerindeki hız değişimleri:Yaz durumu	133
Şekil 111. Test odası geometrisi ve sınır şartları	134
Şekil 112. Seçilen gün için İstanbul iline ait meteorolojik verilerin zamana bağlı değişimi (Meteonorm Database, 2012)	135
Şekil 113. Isı akısı ve yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi	136
Şekil 114. Farklı çözüm zamanları için kavite içi eş sıcaklık eğrileri	137
Şekil 115. Farklı çözüm zamanları için kavite içi hız dağılımları	137
Şekil 116. Farklı sayısal deneyler için kavitedeki sıcaklık değişimlerinin noktasal olarak ölçülen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması	140

ÖZET



Sürdürülebilir, enerji etkin bina arayışı, mimaride gün geçtikçe belirleyici bir rol kazanmaktadır. Bu yaklaşım ulusal ve uluslararası boyutta bina performans standartlarını tanımlamakta ve dolayısıyla mimari tasarım ve sürecinin gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda enerji kayıplarını minimuma indirmeyi ve kullanılan enerjiden maksimum düzeyde faydalanmayı hedefleyen yapı kabuğu sistem arayışı üzerine yapılan araştırmalar mimari söylemde gittikçe önemli bir yer kazanırken, yapı sektöründe çift cidarlı cam cephe sistemlerinin kullanımı küresel ölçekte yaygınlaşmaktadır.

Bu projede öncelikle çift cidar cepheye ilişkin niteliksel bir kavram sorgulaması, tarihsel gelişme süreci ışığında gerçekleştirilmiştir. Projenin deneysel boyutu ise iç ve dış ortam şartlarının yaratıldığı iki mekân arasındaki çift cidar cephe uygulamasında farklı çalışma koşulları için akış ve ısı transferi analizlerini içermektedir. Bu bağlamda çift cidar cephe kavitesindeki doğal ve zorlanmış taşınım koşulları altında, güneş ışınımı etkilerinin göz önüne alınıp alınmadığı durumlar için, kararlı ve zamana bağlı analizler sayısal ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kavitede farklı perfore saç uygulamasının yarattığı basınç düşümünün etkileri de deneysel olarak incelenmiştir.

Elde edilen deneysel ve sayısal sonuçlara göre, doğal taşınım etkisi altındaki kapalı kavitede görece sıcak ve soğuk yüzeylerdeki kaldırma kuvvetlerinin etkisi gösterilmiş ve artan sıcaklık farkına bağlı olarak ısı transferindeki artış, Nusselt sayıları bağlamında vurgulanmıştır. Zorlanmış taşınım kavitedeki hız değerinin önemi parametrik çalışma sonucu gösterilmiş ve 0.5m/s'lik hava hızının; 0,2m/s ve 1m/s'ye göre, akış ve ısı transferi açısından daha uygun olduğu belirtilmiştir. Zamana bağlı analizde ise güneş yükünün kavitedeki hava sıcaklığı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Kavitedeki basınç düşümü yaratan güneş gölgeleme elemanı veya mazgal gibi elemanların etkilerini modellemek üzere kullanılan farklı kesitlerdeki perfore saçların akış üzerindeki etkisi ve fan kapasitesini artırması irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Saydamlık, cam cephe, çift cidarlı cephe, hafif yapı, havalandırma, sayısal akışkanlar dinamiği, bina enerji performansı, edimsel mimarlık.

ABSTRACT



The search for sustainable and energy-efficient buildings increasingly play an important role in architecture. This attitude defines the building performance standards in both national and international scale; accordingly it requires to revise the architectural design and its process. In this case, while the research on the search for building skin which tries to achieve the maximum benefit from the energy used and minimize the energy losses becomes gradually important, double skin facade systems are used more commonly in global scale.

In this project, firstly a qualitative inquiry of double skin facade has been conducted based on historical development process. The experimental aspect of the project includes the flow and heat transfer analyses for different working conditions in the double skin facade system applied between the spaces where indoor and outdoor conditions have been created. In this respect, under the circumstances of natural and forced convection for the conditions where solar radiation has been neglected, steady state and transient analyses have been conducted numerically and experimentally. Also, pressure losses which have been caused by different perforated plate applications have been examined experimentally.

According to the experimental and numerical results, the effect of the buoyancy on the relatively hot and cold surfaces in the cavity under the effect of natural convection has been shown and the increase in the heat transfer depending on the increasing temperature difference has been pointed out in relation to Nusselt numbers. The importance of the velocity values in the cavity in the forced convection has been shown as a result of parametrical study and it has been stated that the air velocity of 0.5m/s is better than 0.2m/s and 1m/s in terms of flow and heat transfer. In the time-dependent analysis, the effect of the solar load on the air temperature in the cavity has been shown. Also, the effect of perforated plates in different sections used to model the effects of components like crenels or solar shading elements which cause pressure losses in the cavity on the flow and their increasing of the fan capacity have been examined.

Keywords: Transparency, glass façade, double skin façade, light structure, ventilation, computational fluid dynamics, energy performance, performative architecture.



1. GİRİŞ

1.1 Giydirme Cephe'nin Tarihi

Günümüz mimari söyleminde çift cidarlı cepheler 'giydirme cephe—*curtain wall*' kavramının gelişmiş bir şekli olarak ele alınmaktadır. Çalışmamızın başlangıç aşamasında yaptığımız literatür taramasında 'giydirme cephe' anahtar kelimesini içeren 2010 makaleyle karşılaştık. Bu makalelerden 1465'i (%72.89) konuya niceliksel/sayısal yöntemler kullanarak yaklaşırken, 545'i (%27.11) niteliksel/sözel yöntemlerle yaklaşmaktadır. Bu makalelerde geçen başlıklar ve alt-anahtar kelimeler incelendiğinde, son on yılda yayımlanan niceliksel çalışmaların ağırlıklı olarak 'iklim, enerji, maliyet' kavramlarını içine alan 'sürdürülebilirlik' konusuna odaklandıkları gözlenmektedir. Niteliksel çalışmalara bakıldığında, en sık kullanılan alt-anahtar kelimeler 'cam, çelik, iskelet' ve 'işlev'dir. Niteliksel çalışmalar çoğunlukla, endüstriyel reform sonrası üretim ve inşaat tekniklerindeki gelişmeleri ve giydirme cephenin tarihini materyalist bir bakış açısından incelemektedirler (makalelerde geçen anahtar kelimelerin listesi Tablo 1'de görülebilir). 2015 Mayıs itibarıyla Tablo 1'de görülen literatür taramasında 'giydirme cephe' anahtar kelimesini içeren 4787 makaleyle karşılaşmıştır. Bu makalelerden 4096'sı (yaklaşık %85.56) konuya niceliksel/sayısal yöntemler kullanarak yaklaşırken, 691'i (yaklaşık %14.44) niteliksel/sözel yöntemlerle yaklaşmaktadır. Gerek niceliksel, gerekse niteliksel çalışmalarda göze çarpan temel problem, 'giydirme cephe' kavramına zemin hazırlayan teori ve söylemin es geçilerek, sorgulanmamış olmasıdır. Çalışmalarda sıklıkla kökenleri ondokuzuncu yüzyıl mimari söylemine giden, iskelet, işlev gibi biyoloji metaforlarına referans verilmesine rağmen, bu metaforlar ve metaforların giydirme cephe ile olan kuramsal ilişkileri sorgulanmamıştır.

Bu problemleri göz önüne alarak, literatür taramasını izleyen çalışmamız, giydirme cephenin mimarlık tarihindeki yerine odaklanan araştırma ve yayımların taranması olmuştur. Bu çalışma ilk giydirme cephe örnekleri olarak gösterilen binaların hangi tarih ve nerede inşa edildiklerini saptamamızın yanı sıra, söylemde hüküm süren çapraşık iddiaları görmemize yardım etmiştir. Özetle, mimari literatürde giydirme cephenin tarihiyle ilgili olan çalışmaların hemen hepsi, giydirme cephenin orijinini bulmaya yöneliktir. Joseph Rykwert'in altını çizdiği gibi bu alandaki birçok çalışma için, ilk giydirme cephe örneği Daniel Burnham tarafından tasarlanıp 1895'te Chicago'da inşa edilen Reliance Binası'dır (Şekil 1). Ancak, Rykwert'e göre, giydirme cepheli ilk bina, Noisiel-sur-Marne'de 1872'de inşaa edilen Menier Çikolata Fabrikasıdır. Bu bina tuğla ile kaplı olsa bile demir bir iskelet sisteme sahiptir (Rykwert, 1998) (Şekil 2).

Tablo 1. Taranan Makalelerdeki Anahtar Kelimeler (Mayıs 2015 itibariyle)

Niceliksel Yaklaşım İçeren Makalelerde Geçen Anahtar Kelimeler	Niteliksel Yaklaşım İçeren Makalelerde Geçen Anahtar Kelimeler	Her İki Tür Çalışmada Geçen Ortak Anahtar Kelimeler
<ul style="list-style-type: none"> • akustik • bina zarfı • birleşme yeri • boşluk • boşluk derinliği • cam • cam paneller • cephe • çelik • çerçeve • çevre • çevresel etki • çift cidarlı cephe • dış duvar • doğal havalandırma • duman • duvar • enerji • enerji koruması • enerji maliyeti • enerji performansı • enerji verimliliği • gölgeleme • güç • güç üretimi • güneş • günışığı • hava akışı • havalandırma • ısı • ısıtma • ışık • iklim • iklimlendirme • izolasyon • kaplama • koruma • maliyet • maliyet verimliliği • menfez • mesken 	<ul style="list-style-type: none"> • metal • panel • pasif ısıtma • pasif soğutma • pencere • pencere düzeni • rüzgar • sera • sıcaklık • sırlama • siva • sızıntı • simülasyon • sismik davranış • sismik performans • soğutma • spandrel • sürdürülebilirlik • şiddetli rüzgar analizi • teknoloji • termal • termal konfor • termal performans • yalıtım • yanmaz • yüksek bina • seramik 	<ul style="list-style-type: none"> • cam • cephe • çelik • çerçeve • deri • duvar • form • gökdelen • ışık • iskelet • iskelet çerçeve • işlev • kaplama • kemik • metal • modern • Modernizm • panel • teknoloji • tekstil • yapı • yüzey



Şekil 1. Reliance Binası (Merwood, 2001)



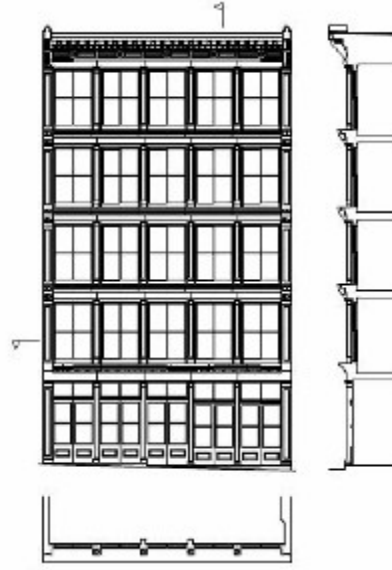
Şekil 2. Menier Çikolata Fabrikası (http://content.lib.washington.edu/cdm4/item_viewer.php?CISOROOT=/buildings&CISOPTR=9666)

Öte yandan, Rebecca Houze için, mimar Otto Wagner tarafından tasarlanan ve Viyana'da 1898 yılında inşa edilen Majolikahaus (Şekil 3) da örtü ile kaplanmış bir yapı izlenimi vermektedir. Houze'a göre bu bina, ayrıca, Yirminci yüzyıl mimarlığının önde gelen figürlerinden Ludwig Mies van der Rohe'un binalarındaki gibi kabuğun yapısal çerçeveye asıldığı ilk örneklerinden biri olarak algılanmalıdır (Houze, 2006).



Şekil 3. Majolikahaus (Friedrich, Böhringer. (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linke_Wienzeile_40,_Majolikahaus_Otto_Wagner_1.JPG)

Scott Murray *Contemporary Curtain Wall Architecture* adlı kitabında, 1877 yılında St. Louis, Missouri'de inşa edilen Thomass Gantt binasından modern giydirme cephenin habercisi olarak bahsetmiştir. Çelik bir çerçeveye sahip olan bina, inşaat alanına prefabrike getirilen hazır parçalardan oluşan bir *assemblage*—birleşimdir (Murray, 2009) (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. Thomas Gantt Binasının Kısmi Kesiti ve Kat Planı (Murray, 2009)



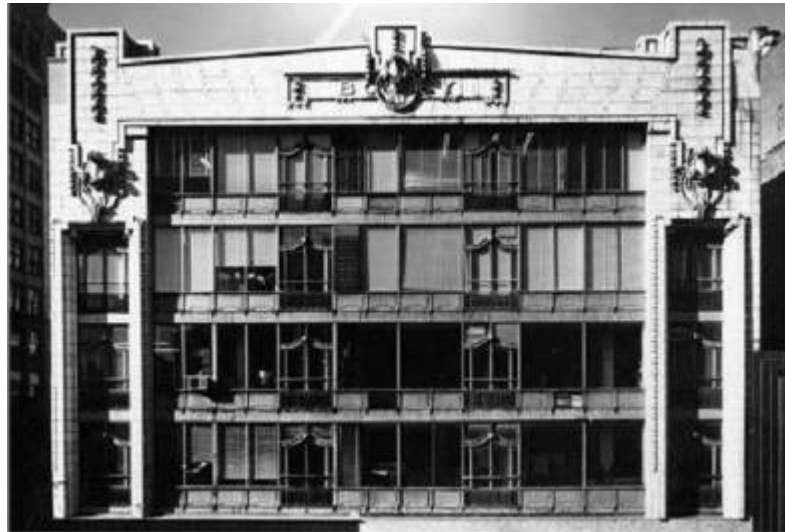
Şekil 5. Thomas Gantt Binası (Murray, 2009)

Murray'a göre, yapısal çerçevenin camla birlikte kullanılmasındaki ilerleminin bir sonraki aşaması Almanya'nın endüstriyel binalarıdır. Bu aşamanın en belirgin örneği Walter Gropius ve Adolf Meyer tarafından tasarlanan ve Alfeld an der Leine'de 1911'de inşa edilen Fagus fabrikasıdır. Binanın yapısal elemanlarının tümü görünür; ancak, hepsi hiç yük taşımayan cam bir duvarın arkasındadır (Murray, 2009) (Şekil 6).



Şekil 6. Fagus Ayakkabı Fabrikası (Murray, 2009)

Fagus Fabrikasının peşi sıra Murray yenilikçi giydirme cephe sistemlerinin orijiniyle ilgili olarak, Amerika'dan çeşitli örnekler vermiştir. Ona göre, bu sistemlerin ayırt edici özelliği asılı bir yüzey gibi duran cephenin arkasında yapısal bir çerçevenin bulunmasıdır. Murray'ın ilk örneği Kansas'ta 1908 yılında inşaa edilen Boley Binasıdır (Şekil 7). İkinci örneği ise San Francisco'da 1918 yılında inşaa edilen Hallidie Binasıdır (Şekil 8). Bu iki bina da giydirme cephenin büyük ölçekteki ilk denemelerinden sayılmaktadır (Murray, 2009). Bazı tarihçilere göre de, yenilikçi özellikleriyle öne çıkan Hallidie binası, cam giydirme cepheye sahip ilk bina olarak gösterilmelidir; çünkü, cephesi perdeye önceki örneklerden daha çok benzemektedir (Woodbridge vd., 1992).



Şekil 7. Boley Binası (Murray, 2009)



Şekil 8. Hallidie Binası (Murray, 2009)

Diğer bir grup çalışma ise, 1851 yılında Büyük Uluslararası Londra Sergisi için inşaa edilen ve cephelerindeki aşırı cam kullanımıyla tanınan Kristal Saray'ı (Şekil 9) giydirme cephe sistemlerin başlangıç noktası olarak gösterir (Salvan, 2000; Smith, 1996; Pelli, 2005). Bu yaygın görüşten farklı olarak, David Yeomans, Kristal Saray ve yirminci yüzyılda inşaa edilen giydirme cepheli binaların taşıyıcı özelliği olmayan duvarlara sahip olmalarına ve seri üretim tekniklerinin sonucu olarak ortaya çıkmalarına rağmen, aynı tanımlayıcı nitelikleri paylaşmadıklarını iddia etmektedir. Kristal Saray, mimarların üzerinde inşaatın organizasyonu açısından etkili olmuştur; ancak, bu binayı yirminci yüzyıldaki giydirme cepheli binaların habercisi olarak düşünmek için yeterli kanıt yoktur. Özellikle Paxton'ın cephenin taşıyıcı sistemden bağımsızlığını vurgulamak gibi bir arayışı olmamıştır. Yeoman Kristal Saray yerine, Edinburgh'da 1937'de inşaa edilen St. Cuthbert Kooperatif Binasını giydirme cepheli ilk binalardan biri olarak görür (Şekil 10). Yeomans'a göre bu bina tamamen cam bir pencere duvara sahiptir (Yeomans, 2001).



Şekil 9. Kristal Saray (<http://library.artstor.org/library/secure/ViewImages?id=8DVEZjl%2FJjs0ljZUej54Rn4rWHAKfQ%3D%3D&userId=hTNEcTon&zoomparams=.>)



Şekil 10. St. Cuthbert Kooperatif Binası

Bahsedilen kaynaklarda gösterildiği gibi, giydirme cephenin ilk örnekleri on dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısı ve yirminci yüzyılın ilk yarısına yayılmaktadır. Ancak bu örneklerde henüz çift cidarlı cam duvardan söz etmek mümkün değildir. Kaynaklardaki önemli bir eksiklik, çift cidarlı cam kullanımını savunan, 1914 yılında Bruno Taut tarafından tasarlanıp, inşa edilen Cam Ev—Glashaus pavyonunun ve aynı binayı açıklamak için şair Paul Scheerbart tarafından 1914'te yazılan *Cam Mimarlık—Glasarchitektur* manifestosunun vurgulanmamış olmasıdır.

1.2 Bir Metafor Olarak Giydirme Cephe

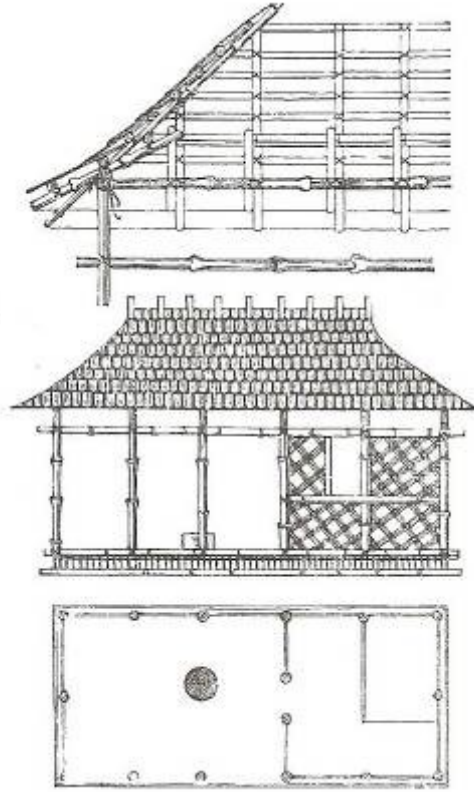
Çalışmanın bu aşamasında 'giydirmeye cephe' terimi bir metafor olarak analiz edilecektir. Bu analiz giydirmeye cephenin İngilizce'deki karşılığı olan '*curtain wall*' söz grubundaki '*curtain*' kelimesinin etimolojik incelemesi ile başlayacak; ondokuzuncu yüzyılın ikinci yarısında mimari söylemde ön plana çıkan 'giydirmeye, tekstil' metafor ve kuramlarının kısa bir incelemesi ile devam edecek ve terimin yirminci yüzyıldaki kullanımındaki değişimi sorgulayarak sonuçlanacak.

Türkçe karşılığı 'perde' olan 'curtain' sözcüğünün kökeni ondördüncü yüzyıl başına kadar gitmektedir. Eski Fransızca'da, Geç Latince'deki *cortina* sözcüğünden türetilmiş perde, duvar halısı, örtü ve battaniye anlamlarına gelen *cortine* sözcüğü kullanılmaktaydı. *Cortina* sözcüğü İtalyanca, İspanyolca ve Portekizce'de hala geçerlidir. Aynı sözcük Klasik Latince'de çevirme ve avlu anlamlarına gelen *cortem* kökünden türetilerek 'dairesel kanal' ve 'kazan' anlamlarında kullanılmıştır. Ancak, *İncil*'in dördüncü yüzyıl sonu Latince çevirisi *Vulgate*'de *cortina* Yunanca perde anlamına gelen *aulaia* nın karşılığı olarak geçmektedir. Bu Yunanca sözcük 'avlu' anlamına gelen *aula* kökünden türetilmiştir; ve, *cortina* nın eski Yunan ve Roma villalarının avluya açılan loggia kapılarını örten perde olduğu tahmin edilmektedir (http://www.etymonline.com/index.php?term=curtain&allowed_in_frame=0) Kısaca, kapı örtülerinin villa avlularının tipik bir özelliği olduğu göz önüne alınarak, *cortina* nın *aulaia* sözcüğünün etkisinde *curtain*/perde anlamını kazandığı düşünülmektedir (Partridge, 2013). Türkçe'de ise 'perde' sözcüğünün kökeni Orta Farsça, yani Pehlevice ve Partça'daki *pardak* sözcüğüdür. Farsça'da *parde* olarak geçen bu sözcük 'her çeşit örtü' anlamına gelmektedir. Bu tanım kapı ve çadır örtülerini de kapsar (<http://etimolojiturkce.com/kelime/perde>). Bu bağlamda, 'curtain/perde' sözcüğün çıkış düşüncesi mekânsal ayırıştırma eyleminden gelmektedir. Perde, soğuk gibi istenmeyen bir durum veya nesneden ayırıcılık görevini görür ("Domestic Etymology," 1904).

Yirminci yüzyıl mimarisinde, '*curtain wall*' kendi ağırlığı ve rüzgar yükü haricinde başka bir yük taşımayan, çelik ya da betonarme olarak inşaa edilmiş yapısal bir iskelet tarafından desteklenen dış duvar olarak tanımlanmaktadır (Ching & Adams, 2001). *Curtain wall* teriminin Türkçe'deki birebir, düz anlamlı çevirisinin içeriği farklıdır. Doğan Hasol'un *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*'nde bu terimin düz anlamlı karşılığı olan perde duvar 'çelik, betonarme gibi taşıyıcı öğeler arasında kalan, taşıyıcı olmayan ince duvar, bölme, pano' olarak tanımlanırken, 'iskeletli yapıda düşey ve yatay yükleri taşıyan betonarme duvar' perde olarak adlandırılmıştır (Hasol, 2005). Hasol '*curtain wall*' terimini Türkçe'ye 'giydirmeye cephe' olarak çevirir (Hasol, 2003) ve şöyle tanımlar: 'çok katlı bir yapıda, döşemelerin önünden geçerek devam eden, bunlara veya kolonlara asılan, taşıyıcı olmayan, çoğu bol camlı dış kabuk. Giydirmeye cephe betonarme veya çelik iskeletin taşıyıcı duvarları gereksiz kılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır' (Hasol, 2005). Bu çeviri İngilizce terimde herhangi bir izi kalmayan giydirmeye kavramını vurgulasa da, Hasol'un pragmatik tanımı kavramın ondokuzuncu yüzyılın ikinci yarsındaki yapıcı kuramsal rolünü ve mimari profesyonel bellekteki yerini göz ardı etmektedir.

Mimarlığı tekstil endüstrisi ve giydirmeye (İngilizce *dressing*, Almanca *Bekleidung*) kavramları ile ilişkilendiren, en önemli figür Modern Mimarlık Teorisi'nde ve ondokuzuncu ve yirminci

yüzyıl Alman Mimarlığı'nda kayda değer izleri olan mimar Gottfried Semper'dir (1803-1879). Semper'e göre, tekstil mimarlığa şekil veren dört ana endüstriden biri ve hatta ilki ve en önemlisidir (Diğerleri marangozluk, seramik sanatı ve duvarcılıktır). Başka bir deyişle, Semper'e göre mimarlık tekstille başlamıştır. Mekan tekstil malzemelerinden yapılan bir duvar ile tanımlandığı zaman mimari bir değer kazanır (Semper, 2004). Duvar taşıyıcı sistemi giydirmek için değil; taşıyıcı sistem duvarı ayakta tutmak için tasarlanır. Semper teorisini ilkel kulübe betimlemesi ile pekiştirerek sunar. Ona göre arketip kulübe 'ocak, çatı, tümsek ve duvar' olmak üzere dört ana öğeden oluşur (Semper, 1989). Bu düşüncesini 1851 Büyük Uluslararası Londra Sergisi'nde gördüğü Trinidad'dan getirilen Karayip Kulübesi ile doğrular (Mallgrave, 2005) (Şekil 11).

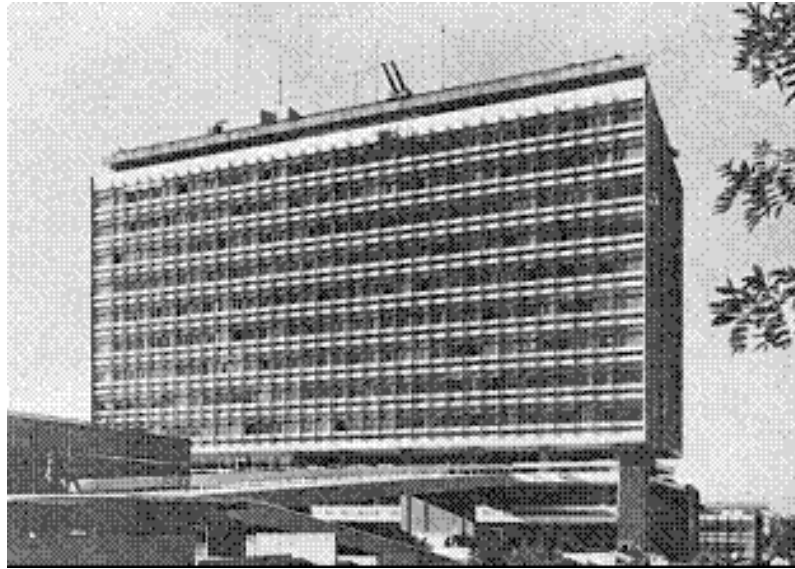


Şekil 11. Karayipler'deki İlkel Kulübe (Semper, 2004)

İlkel Kulübe'yi oluşturan öğelerin her biri Semper için ayrı bir anlam taşır; ancak duvar farklı bir öneme sahiptir. Tekstil ve mimarlık arasında kurduğu ilişkiden yola çıkarak, Semper duvar ve kıyafet arasında metaforik bir bağlantı kurar (Mallgrave, 2005). Semper Almanca 'duvar' anlamına gelen 'Wand' sözcüğünün, 'giysi' anlamındaki 'Gewand' ile aynı kökten türetildiğini iddia eder. Bu bağlamda 'giysi' duvara karakter veren dokuma malzemeyi tanımlamaktadır; ve Semper'e göre düşey bir eleman olarak kullanıldığında halı, mekanı tanımlayan gerçek duvardır. Duvarın özü ise hasır işidir (Semper, 1989).

Semper'in ilkel kulübe ve halıyla ilgili düşüncelerini göz önüne alarak, tekstilin onun için aslında bir 'maske' görevi gördüğünü söylemek mümkündür. Bu durumda, tekstil binayı karakterine uygun bir şekilde temsil eden bir maskedir. Semper'in teorisinde, yapının 'maskelenmesi' mimarının çıkış noktasıdır (Wigley, 1995). Maske kavramı eldeki en eski risalede Romalı mimar Marcus Vitruvius Pollio'un vurguladığı *decorum* (edebî uygunluk) ilkesiyle ilişkilendirilebilir. Giydirme ya da maske, binanın materyal gerçekliği aşarak kendisini daha kalıcı toplumsal bir gerçeklik olarak sunmasını amaçlar. Bina ancak bu şekilde anıtsal bir törensel bir anlam kazanır.

Hasol'un giydirme kavramının geçmişi ile aşına olmaması hiç de şaşırtıcı bir sürpriz değildir. Yirminci yüzyılın faydacı 'fonksiyonel' mimarlık söylemi 1980'lere kadar Semper ve diğer ondokuzuncu yüzyıl teorilerini geri plana itmiştir. Semper'in çalışmalarının henüz Türkçe bir çevirisi yoktur. Oysa ki, bu çalışmalar giydirme cephenin ilk örneklerini inşa eden ve modern mimarlık bayrağını taşıyan Frank Lloyd Wright gibi önemli Chicago mimarlarının ellerinden düşmeyen kullanım kılavuzlarıdır. Sonuç olarak Hasol'u yukarıda bahsedilen tanıma sürükleyen şüphesiz ki yirminci yüzyılın faydacı mimarlık söylemi ve giydirme cephenin 1956'da Behruz Çinici, Teoman Doruk, Enver Tokay ve 1959'da Enver Tokay tarafından tasarlanan Türkiye'deki ilk örnekleridir (Şekil 12 ve 13). Bu iki bina, dönemin uluslararası mimari söyleminin Türkiye'deki yansımaları olarak değerlendirilebilir.



Şekil 12. Çinici, Doruk ve Tokay tarafından tasarlanan DSİ Genel Müdürlük Binası, Ankara (<http://www.mimarlikmuzesi.org>)



Şekil 13. Tokay tarafından tasarlanan Kızılay Emek İş Merkezi, Ankara
(<http://www.yapi.com.tr>)

1.3 Giydirmeye Saydam Cam Cephe

Scott Murray, *Contemporary Curtain Wall Architecture* kitabında, saydam cam cepheli binaları, ilk giydirmeye cephe binalardan ayırarak farklı bir başlık altında işlemektedir (Murray, 2009). Eleştirmen Ada Louise Huxtable'ın değişiyle bu binaları basitçe cam kutular—*glass boxes* olarak tanımlamak uygundur. Bu terim modern mimaride saydam cam ile eşleştirilen basitlik ilkesini ima etmekte ve 1940'ların sonundan 1960'lara kadar dünyanın farklı yerlerinde ve farklı bina tiplerindeki uygulamaları kapsamaktadır. Murray'a göre bu yaklaşım en açık şekilde New York'ta 1950'lerde inşaa edilen üç binada görölmektedir: Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği, Lever House ve Seagram İş Merkezleri (Murray, 2009).

Murray, 1950'de inşaa edilen Birleşmiş Milletler Sekreterliği'ni betimlerken bilinçli olarak giydirmeye metaforu yerine 'deri' (İngilizce 'skin') metaforunu kullanır. Bu metafor dönemin mimarlığında yaygınlaşan 'çıplaklık' ve 'dürüstlük' kavramlarına gönderme yapmaktadır. Binanın saydam cam derisi gerçeği açık bir şekilde gözler önüne sermeyi amaçlamaktadır (Murray, 2009) (Şekil 14).



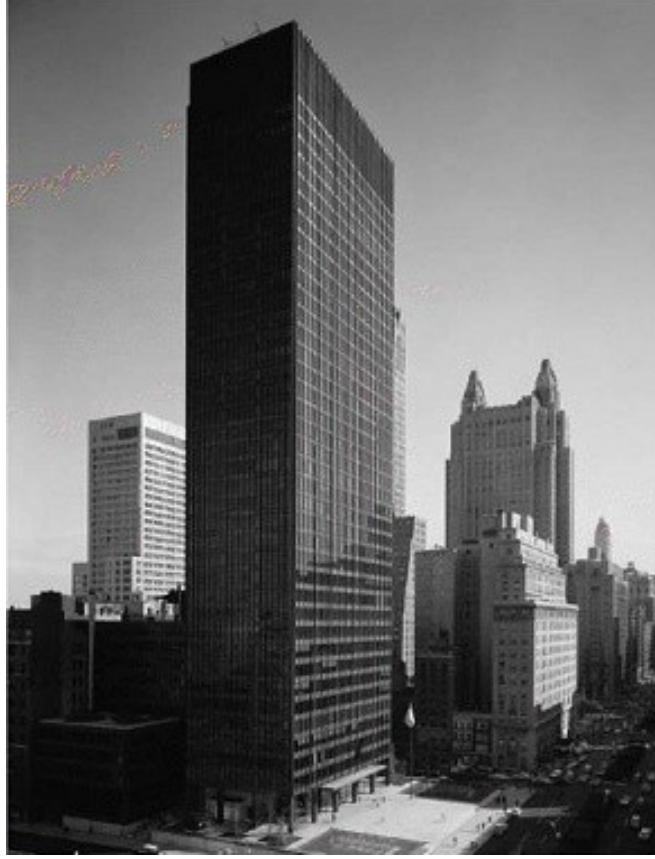
Şekil 14. Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği (Murray, 2009)

1952'de New York Park Bulvarı'nda inşa edilen Lever House binası, Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği binası'na benzer şekilde metal bir çerçevenin taşıdığı sürekli cam bir deriden oluşmaktadır. Ancak Lever House'da yangın yönetmeliğine uygun kullanılan ve duvarı saklayan cam köşelikler sayesinde ilk defa tüm cepheleri kaplayan 'kesintisiz bir cam membran' gözlenmektedir. Cam yüzey, şeffaflığı ile Park Bulvarı'ndaki geleneksel taş ve tuğla kaplı binalardan farklı bir hafiflik etkisi yaratmıştır (Murray, 2009) (Şekil 15).



Şekil 15. Lever House İş Merkezi (Murray, 2009)

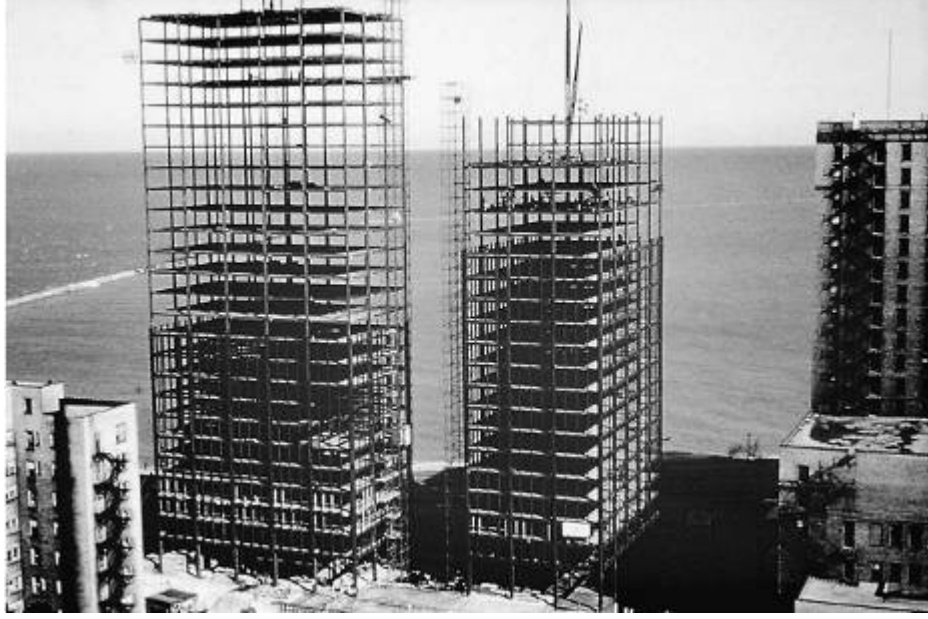
Murray, aynı sınıflandırmaya, Ludwig Mies van der Rohe'nin Philip Johnson ve Kahn & Jacobs firması ile birlikte tasarladığı 1958'de inşa edilmiş Seagram İş Merkezi Binasını da dahil eder (D'Arcy, 2008; Murray, 2009'da alıntılanmış gibi) (Şekil 16).



Şekil 16. Seagram İş Merkezi (Murray, 2009)

Murray'a göre, Seagram İş Merkezi'nin giydirme bir cephesi vardır. Bu cephe lobinin tavanından başlar ve zemin kattaki kolonların açıkta bırakılmasının sonucunda 'yüzen bir kütle' izlenimi verir (Murray, 2009). Oysa, dönemin önemli eleştirmeni Lewis Mumford'a göre, Mies bina cephelerini taşıyıcı sistemi bütün çıplaklığıyla sunmak yerine göze zevk veren birer 'maske' olarak kullanmaktadır.

Murray'ı bu hatalı sınıflandırmaya yönlendiren Mies'in 'indirgenemez, güzel ve doğru' olan 'ilkel' ifadeye olan ilgisi olabilir. Mies ilkel ifadeyi 'çıplak gerçek' kavramıyla ilişkilendirmiştir. Ona göre binalar kendi bedenlerini, en dürüst çıplaklıkla yapım aşamasında, çerçevenin kolonları ve kirişleri görüldüğü zaman sunabilmektedirler (Leatherbarrow & Mostafavi, 2002). Mies için Lake Shore Apartmanları'nın inşası tamamlanmamış çerçevesi bu durumun en iyi örneğiydi (Şekil 17). Ancak Mies çıplak gerçek kavramına bağlı kalarak; asla binalarını soymak istemiyordu. Amacı binayı vücuda getiren elemanları, yani binanın ontolojisini en basit bir şekilde sunabilmektir.



Şekil 17. Lake Shore Apartmanları (1950) (Leatherbarrow & Mostafavi, 2002)

Lake Shore Apartmanları, Mies van der Rohe'un kariyerindeki dönüm noktalarından biri sayılır. Mies bu binalar ile birlikte, gökdelen giydirme cephe jargonunu geliştirmiştir. Cam yüzey bu jargonun oturmuş bir parçası olsa da Mies camı hiçbir zaman çıplaklık kavramı ile ilişkilendirmemiştir. Aksine, camı binaların çevreleri ile görsel ilişki kuran bir sunum aracı olarak ele almıştır (Ersoy, 2015). Dikkatli incelendiğinde Seagram İş Merkezi binası bu yaklaşımı gözler önüne sermektedir. İş Merkezi'nin cephesindeki bronz renkli alüminyum I profiller binanın görünmeyen çerçevesini temsil ederken, hafif renkli cam yüzey gökyüzünü yansıtmaktadır. Yazdığı ilk makalesinde de ima ettiği gibi, Mies camın saydamlığından çok çevreyle görsel ilişki kurmasını sağlayan yansıtıcılığıyla ilgilenmektedir (Neumeyer, 1991).

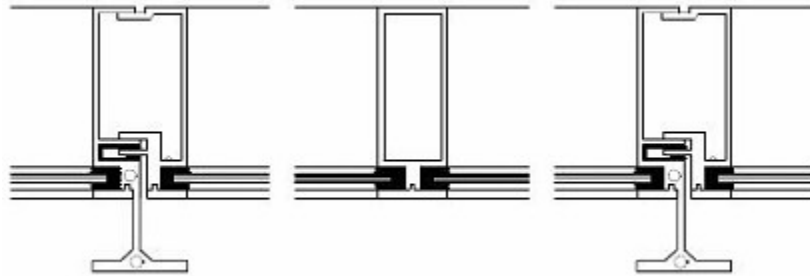
Özetle, dikkatli bir Semper okuru olan Mies van der Rohe, ilkel ifadeye odaklanarak, çerçeve taşıyıcı sistemin 19. yüzyıl Chicago Okulu mimarlarında yarattığı sunum kaygısını 20. yüzyıla taşımıştır (Kutluay, 2013). Diğer bir deyişle, Mies çağdaş teknolojinin sağladığı imkanları birebir uygulamaktan çok, bu teknolojinin görsel sunum kapasitesini sorgulamaktaydı (Neumeyer, 1991). Oysa ki, Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği ve Lever House binaları böyle bir sorgulamadan uzak, ortaya çıkmakta olan yeni eklektisist seçmeci yaklaşımın örnekleridir. Bu binalar günün üretim tekniklerinin pasif ürünleri olan, teknoloji ikonu cam kutulardır.



Şekil 18. Seagram İş Merkezi

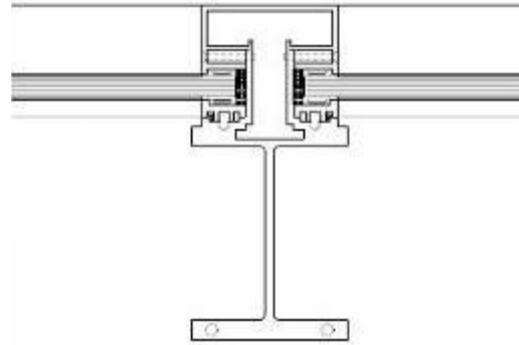
(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seagram_Building.jpg)

Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği binası, Lever House ve Seagram binaları giydirme cephe kavramının farklı örnekleri olarak birçok binaya öncülük etmiştir. Bu binalardan birisi, 1959'da New York'ta inşaa edilen Corning Cam İşleri Binası'dır (Şekil 19). Sekreterlik binasının da mimarı olan Wallace K. Harrison tarafından tasarlanan binada, tirizlerin düzenlenmesinde bir değişiklik gözlenmektedir. Tirizler birleştirilmeden, alüminyum içerisine geçecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 19). Giydirme cephe, altyapı çerçeve ve yüzey tamamen birbiri içinde geçmiştir (Murray, 2009). Ancak bu detay herhangi bir sunum kaygısı taşımamaktadır.



Şekil 19. Corning Cam İşleri Binası ve tiriz plan detayı (Murray, 2009)

Daha az katlı ofis binalarının tasarımlarında da giydirme cephe değişik şekillerde kullanılmıştır. Bu binalara, 1960'da inşa edilen Pepsi-Cola Binası örnek gösterilebilir (Şekil 20). Binada tiriz detayı, camın alüminyum I profilinin arkasında kaldığını işaret etmektedir. Bu durum, Murray'a göre cam giydirme cephenin 'basit' ve 'şeffaf' olarak algılanmasını sağlayarak, onu temel özelliklerine indirgemıştır (Murray, 2009).



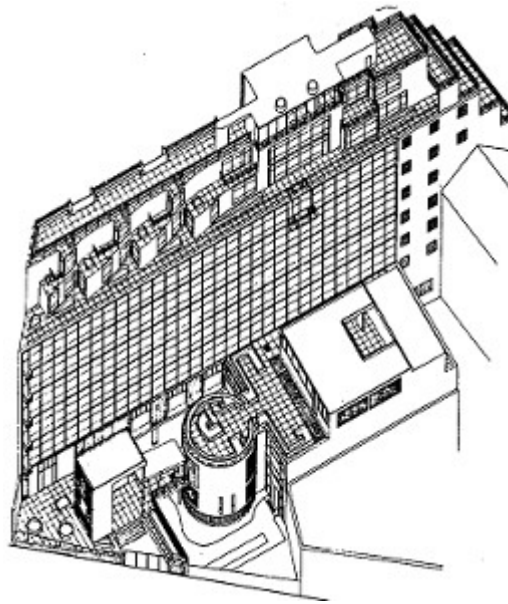
Şekil 20. Pepsi-Cola Binası ve tiriz plan detayı (Murray, 2009)

Cam giydirme cephe kullanımının en belirgin olduğu binalar genelde ticari iken, aynı dönemde başka bina tiplerinde de cam giydirme cephe görmek mümkündür. Örneğin, Eero Saarinen tarafından tasarlanan 1955'te Boston, Cambridge, MIT Kampüsü'nde inşaa edilen Kresge Oditoryumu bunlardan biridir (Şekil 21). Binanın giydirme cephesi onbeş metre yüksekliğe çıkan kubbenin altındaki alını kapatmakta ve ince çelik kolonlar tarafından desteklenmesine rağmen beton kabuktan sarkıyormuş gibi görünmektedir (Murray, 2009).

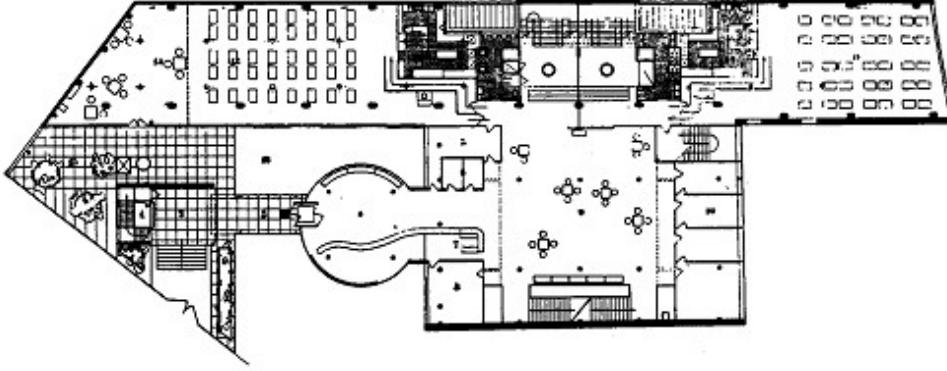


Şekil 21. Kresge Oditoryumu (Murray, 2009)

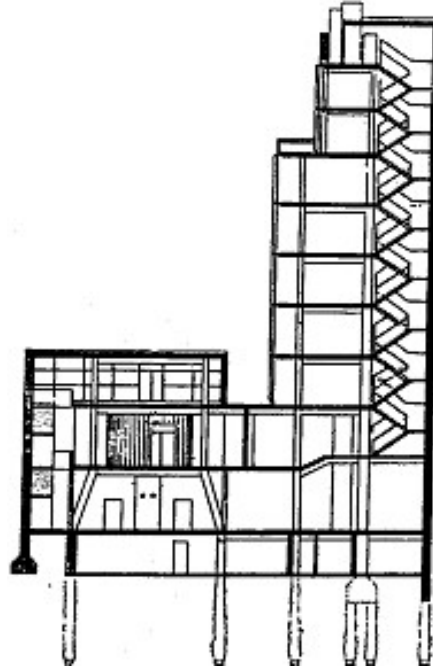
1959'da Enver Tokay tarafından tasarlanan Emek İş Merkezi (Şekil 13) cam deri binaların Türkiye'deki ilk örneğidir. Bu bina ile Harrison'un Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği ve S.O.M. Lever House binaları arasında form ve işlev açısından benzerlikler görmek mümkündür. Bu binalar iş merkezi olarak tasarlanmış ve kullanılmışlardır. Emek İş Merkezi'nin ana kütleleri Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliğine benzer bir şekilde betonarme perdelerle sınırlı iken, Lever House örneğindeki gibi şeffaf cam prizma şeklindeki bir alt kütlelerin üzerinde yükselmektedir. Ve, Lever House nasıl New York'ta bir teknoloji ikonu olarak inşa edildiyse, Kızılay Emek İş Merkezi de tekil ve serbest duruşuyla modern Ankara'nın göbeğinde yükselen ikonik bir cam kutudur (Bozdoğan & Akcan, 2012). Benzer bir şekilde, ilk bakışta, cephe detaylarıyla DSİ Genel Müdürlük binasının da bir teknoloji ikonu olduğu düşünülebilir (Şekil 12). Fakat gerek plan organizasyonu, gerekse mimari elemanları, işlevi farklı olmasına rağmen, giydirme cephe teknolojisi tarihinde önemli bir yere sahip diğer bir binayı, Le Corbusier'in *Cité de Refuge*'ünü çağrıştırmaktadır (Şekil 22-24).



Şekil 22. Cité de Refuge Binası, aksonometrik görünüşü (1933) (Taylor, 1979)



Şekil 23. Cité de Refuge Binası, zemin kat planı (1933) (Taylor, 1979)



Şekil 24. Cité de Refuge Binası, bir kesit (1933) (Taylor, 1979)

Le Corbusier'nin Paris'te düşkünler yurdu olarak tasarladığı bu bina 1933 yılından beri rehabilitasyon merkezi olarak hizmet vermektedir. Ancak, binanın şu andaki hali mimarın ilk tasarımından çok farklıdır. Başlangıçta, deneysel bir yaklaşımla, Le Corbusier binanın güneşe bakan yüzünü çift cidarlı cam bir cephe olarak tasarlamıştır. Çift cidarlı cephenin, iki cam katmanı arasındaki boşluk hava koşullarına bağlı olarak ısıtılacak ya da soğutulacak, ve bu şekilde binanın içi ve dışı arasında bir tampon oluşturulacaktı. Aynı zamanda iç mekanın konfor koşullarını sağlamak için dönemin en gelişmiş iç iklimlendirme sistemi kullanılacaktı (Frampton, 2001). Fakat, ekonomik koşullar bu deneye izin vermedi ve binanın güney cephesi tek katmanlı cam deri olarak inşa edildi. Sonuçlar oldukça kötüydü (Murray, 2009). Tek cidarlı giydirmeye cephe yaz sıcaklığında dayanılmaz bir sera etkisi yarattı. Yetkililer bu sorunu hareketli pencereler ile çözmek istediler (Banham, 1969). Le Corbusier ise mekanik sistemin



başarısızlığını havalandırma sisteminin havayı değiştirme sıklığını arttırmakla gidermeyi önerdi. Her ne kadar pahalı olsa da ilk çözüm denemesi pencere ekleme oldu (Taylor, 1979). Pencerelerle de beklenen sonuçlara ulaşılamayınca, II. Dünya Savaşı sonrasında Le Corbusier güney cephesine yatay ve düşey *brise soleil* güneş kırıcıları yerleşirdi. Başarısızlıkla sonuçlansa da Cité de Refuge binası giydirme cephe literatürüne “sağlık” ve “konfor” kavramlarının girmesine öncülük etmiştir.

Le Corbusier çift cidarlı cephe tasarımının amacını açık bir dille ikamet edenlerin ruhsal sağlığını sağlayacak fiziksel konfor olarak tanımlamıştır. Şüphesiz bina Le Corbusier’in kurguladığı gibi çift cidarlı inşa edilseydi, aynı başarısız sonuçlarla karşılaşılmayacaktı. DSİ Genel Müdürlük Binası benzer bir amaçla, DSİ memurlarına konforlu bir çalışma ortamı sağlamak için tasarlanmıştı ve tek cidarlı giydirme cephesinin sonuçları da Cité de Refuge’den pek farklı değildi. DSİ binası örneğinde Çinici, Tokyay ve Doruk giydirme cephe teknolojisini başarıyla yerel üretim koşullarına uyarlasalar da, yerel iklim koşullarına uygun konforu sağlayamamışlardır. Özetle, DSİ Genel Müdürlük Binası, cephesindeki cam derisi, rampaları, çatı terası ve kolonlar üzerine yükselen gövdesi ile eklektik bir görünüm sergilemektedir (Bozdoğan & Akcan, 2012). DSİ Genel Müdürlük Binası ve Emek İş Merkezi örnekleri Türkiye Mimarisinde günümüze kadar uzanan teknolojiyi estetiğe indirgeyen bir görüntü probleminin habercileridir.

Son yıllarda binaların enerji verimliliğinde etkin rol oynayan yapı kabuğu olan cephe sistemleri Türkiye’de de önem kazanmaya başlamış ve dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan çift cidarlı cephe sistem örnekleri yavaş yavaş Türkiye’de de uygulanmaya başlanmıştır. Türkiye’de uygulanmış olan çift cidarlı cephe sistemlerine örnek olarak İstanbul Sapphire (Şekil 25) gösterilebilir.

İstanbul Sapphire binası 2011 yılında tamamlanmış olup, çift cidarlı cephe sistemlerinin Türkiye’deki ilk örneklerinden biri olarak gösterilebilir. Konut, alışveriş ve eğlence merkezini içinde barındıran İstanbul Sapphire, 10 katı zemin altı olmak üzere 61 katlı olup Türkiye’nin en yüksek binası olma adayıdır. Binanın taşıyıcı sistemi betonarme ve çelik malzemelerden oluşmaktadır. Zemin altındaki tüm bodrum katlar betonarme olarak tasarlanmış, dış cephe ve devamı niteliğindeki alışveriş merkezi çatı örtüsü ise çelik konstrüksiyon olarak inşa edilmiştir. Bina, yukarıya doğru hafif bir şekilde incelerek yükselmekte ve dördüncü kattan itibaren aşağı doğru genişlemektedir. Ayrıca binanın kabuğunu kaplayan cam yüzey hafif bir açıyla yatayda genişleyerek kafe, bar, restoran ve dükkanların yer aldığı alanın üzerini saçağa dönüştürerek örtmektedir.



Şekil 25. Istanbul Sapphire Binası (2011) (v2.arkiv.com.tr/p9568-istanbul-sapphire.html)

Bina cephesi birbirinden bağımsız iki yapı kabuğundan oluşmaktadır. Bina cephesine entegre edilen bu ikincil cam yapı kabuğu sayesinde iç mekanlar dış ortamın olumsuz iklimsel koşullarından, şehrin gürültüsünden ve yüksek rüzgar yüklerinden korunmayı amaçlamaktadır. Bu şeffaf cam cephe binadaki iç mekan ve dış ortam arasında bir tampon bölge oluşturarak yapının enerji performansını olumlu yönde geliştirmeyi hedeflemektedir. Ancak binanın içinde yer aldığı kültürel ve kentsel ekolojiye görselliğin ötesindeki katkısı yanıtlanmayı bekleyen bir sorudur.

1.4 Dünya'dan Çift Cidarlı Cephe Uygulama Örnekleri

Bu bölümde Dünyada uygulanmış olan çift cidarlı cephe uygulama örnekleri araştırılmıştır. Değişen iklimsel koşullara göre farklı çift cidarlı cephe uygulama türlerini görmek mümkündür. Çift cidarlı cephede iki cephe kabuğu arasındaki hava boşluğunun geometrik konfigürasyonu, boşluğun havalandırma şekli, menfezlerin boyutu, konumu, cam türleri, güneş kırıcı elemanların türü, cephedeki konumu ve kullanılan malzeme türü, vb gibi seçilen farklı tasarım kararları ile farklı çift cidarlı cephe tasarım kombinasyonları türetilmiştir. Bu uygulama çeşitliliğini örneklerde görmek mümkündür.



Düsseldorf Stadttor (City Gate)

Mimar: Petzinka, Pink & Partners, 1998

Konum: Düsseldorf, Almanya

a)

b)

a) <http://panoramio.com/photo/9668628>

b) <http://inhabitat.com/dusseldorfs-hi-tech-energy-efficient-gate/>

Şekil 26. Düsseldorf Stadttor Binası

Bina bilgileri: Ofis binası, merkezinde bir atriumu barındıran 16 katlı iki eşkenar dörtgen cam kule ve 3 kat çatı katı olan, 56 metre yüksekliğinde bir binadır.

Hava kanal geometri türü: Koridor cephe, Binada 90 ve 140 cm derinliğinde 20 metre uzunluğunda kat boyunca devam eden koridorlar bulunmaktadır.

Havalandırma türü: Ağırlıklı olarak doğal havalandırma kullanılmaktadır. Yılın % 60'lık periyodunda doğal havalandırmadan yararlanmak mümkündür. Ancak sıcaklığın ve soğğun zirvede olduğu yaz ve kış zaman dilimlerinde mekanik havalandırmadan da yararlanılmaktadır. Ofis odaları soğutulmuş tavan ile donanmıştır. Bu da radyan soğutmayı sağlar.

Cam türü: İç cephe kabuğu ahşap çerçevesi low-e çift camdan oluşurken, dış cephe 12 mm kalınlıkta sabit güvenli camdan oluşmaktadır.

Güneş kırıcı elemanları: Yüksek yansıtıcı özellikli jaluziler iki cam cephe kabuğu arasındaki boşlukta dış cepheye yakın olarak konumlandırılmıştır.

Deichtor Ofis Binası

Mimar: BRT Mimarlık, 2002

Konum: Hamburg, Germany



a)

b)

a) <http://www.panoramio.com/photo/22361320>

b) <http://allegHENY.lunaimaging.com/luna/servlet/view/all/what/double-skin%20facades/>

Şekil 27. Deichtor Ofis Binası

Bina bilgileri: Ofis binası, 4 adet kış bahçesi, 2 adet 4 katlı lobiden oluşan 2 katı zemin altında olmak üzere 12 katlı, atrium barındıran 39 metre yüksekliğinde üçgensel formda bir binadır ve kat yükseklikleri 3.60 metredir.

Hava kanal geometri türü: Bina, yoğun trafik gürültüsüne maruz kalan bir alanda bulunduğu için, akustik ve iklimsel koşullardan dolayı koridor cepheler ve iki kat yüksekliği boyunca devam eden çok katlı çift cidarlı cephe türünde tasarlanmıştır.

Havalandırma türü: Ofis odaları çift cidarlı cephe yönünde yada kış bahçesine bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Bina doğal havalandırmalı çift cidarlı cephe sistemidir.

Cam türü: Bilgi yok

Güneş kırıcı elemanları: İç cephede jaluziler kullanılmıştır.

GSW Binası

Mimar: Sauerbruch Hutton, 1999

Konum: Berlin, Germany



a)

b)

c)

Şekil 28. GSW Binası

a-b) <http://architecturerevived.blogspot.com/2010/04/gsw-headquarters-berlin-germany.html>

c) http://www.betterbricks.com/graphics/assets/documents/GSW_r.pdf?link=graphics/assets/documents/GSW_r.pdf

Bina bilgileri: 22 katlı bir ofis binasıdır. 11 metre enindedir. Doğu ve Batı cephesinde yönlenmiştir.

Hava kanal geometri türü: Bina yüksekliği boyunca devam eden ve yürüme yolları barındıran çok katlı çift cidarlı cephe türündedir. İki cephe arasında kalan boşluk 0.9 metre derinliğindedir. Çift cidarlı cephe batı cephesinde tasarlanmıştır.

Havalandırma türü: Temel olarak doğal havalandırma kullanılmaktadır. Ancak sıcaklığın ve soğğun zirvede olduğu yaz ve kış zaman dilimlerinde mekanik havalandırmadan da yararlanılmaktadır. Yılın %70'lık periyodunda doğal havalandırmadan yararlanmak mümkündür. Doğu cephesinden alınan hava içeri alınarak çapraz havalandırma ile batı cephesine alınarak burdaki çift cidardan dışarı atılmaktadır. Batı cephesi 22 kat yüksekliğinde solar bir baca gibi davranmaktadır. Mevsimsel ve iklimsel konforu sağlamak için havayı otomatik üst ve altta bulunan kontrol klepeleri yardımıyla içeri alarak, ısınarak kaldırma kuvvetlerinin etkisi ile yükselen havanın dışarı atımı sağlanır. Isıtma sezonunda çift cidarlı cephe kabuğu arasında kalan hava



boşluğu, açılabilir pencereler kapalı tutulduğu zaman ısı bir tampon bölge gibi davranır. Sıcak hava ısı geri kazanımı için yükselticiler aracılığıyla merkezi tesise geri döndürülür. Radyant ısıtma ve soğutma sağlanmaktadır. Tavan ve tabanda ısı depolar yaratılmıştır.

Cam türü: Doğu cephesi üç katlı camdan oluşmaktadır. Batı cephesinde ise çift cidarlı cephenin iç cephe kabuğu çift camdan oluşurken, dış cephe kabuğu sızdırmaz özelliği olan tek bir camdan oluşmaktadır.

Güneş kırıcı elemanları: Doğu cephesinde otomatik ve manuel olarak çalıştırılabilen panjurlar kullanılmıştır. Doğu cephesinde dış tarafta bulunan metal panjurlu paneller, pencerelerden bağımsız olarak doğal havaya olanak sağlar. Batı cephesindeki çift cidarlı cephedeki ara boşlukta, güneş enerjisi kazanımı ve doğal aydınlatmayı düzenlemek için düşey renkli delikli alüminyum panjurlar kullanılmıştır. Bu panjurlar otomatik olarak çalıştırılabilirken manuel olarak ayarlanabilmektedir. Bu panjurlar tüm cepheyi gölgelendirmek için tamamen cephe boyunca uzatılabilir.

Debis Binası

Mimar: Renzo Piano, Christoph Kohlbecker, 1998

Konum: Berlin, Germany



a)

b)

c)

a-b-c) <http://www.e-architect.co.uk/berlin/debis-building>

Şekil 29. Debis Binası

Bina bilgileri:

Farklı yükseklikte yapı bloklarından oluşmaktadır. 21 katlı kule, 6 ve 7 katlı bina blokları bulunan bir ofis binasıdır. 44000 m² alana alana sahiptir. Alman bina yönetmeliğine göre çalışanların doğal ışıktan yararlanabilmesi için çalışma ortamının pencereden yaklaşık 7.5 metreden fazla uzakta olmaması gerekmektedir. Bu nedenle binada atrium ile bu problem giderilmiştir. Atriumun üstü cam çatı ile kapatılmıştır. Binada doğal renklendirilmiş pişmiş toprak tuğla kullanılmıştır. Farklı yüksekliklerde bloklardan oluşmaktadır. Kat yüksekliği 3.70 metre olan 106 metre yüksekliğinde bir binadır. Doğu, batı ve güney cepheleri ciddi oranda güneş enerjisi kazanımına maruz kalmaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek için de binanın ana cephesinin önüne tamamen cam panellerden oluşan bir duvar ötelenerek binaya entegra edilmiştir. Bu ikincil cephenin gürültü kirliliğine, doğal havalandırmaya önemli katkıları



bulunmaktadır. Pişmiş toprak tuğla ve camın kullanımı cephede dikkat çekicidir.

Hava kanal geometri türü: Koridor cepheli çift cidarlı cephe sisteminden oluşmaktadır. İki cephe arasında kalan boşluk 0.7 metre derinliğindedir. Bu boşlukta bakım onarım için yürüyüş yolu bulunmaktadır. Güneş kırıcı bir eleman gibi davranan yürüyüş yolu, yangın ve kokunun katlar arasında yayılmasını önlemek için üzeri lamine camla kapatılmıştır. Kulenin doğu, batı ve güney cepheleri yüksek güneş enerjisi kazanımına sahiptir. Bu cephelerde iç duvardan 70 cm dışarıya açılabilir pencereleri olan bir cam panel entegre edilmiştir.

Havalandırma türü: Doğal ısıtma ve soğutma sayesinde binadaki enerji tüketimi normal iklimlendirilmiş binalardan %50 daha kazançlıdır. Soğutma sezonunda binadaki mekanların havalandırılabilmesi için sensörler cam cephe sistemini kontrol eder. Binanın ısı kütlesinin gece soğutması otomasyona geçirilmiştir. Bu sezonda koridor cephelerde üstte bulunan pencereler, geceleyin otomatik olarak açılarak, bina içinde ısı konforun sağlanması için gün içinde binada biriken ısıyı dışarı tahliye edilir. Isıtıcı sistemi radyant tüplü ısıtıcılar ile çalışır. Ofiste kullanıcının bireysel sıcaklık kontrolüne olanak sağlar. Isıtma mevsiminde ısı geri kazanım tekerleri, ısıyı dışarı atılan hava akımlarından kurtarmak için kullanılır ve içeri alınan havayı ısıtma gereksinimi azaltılır. Soğutma mevsiminde soğutulmuş tavan soğutmaya katkı sağlar. Yıl içerisinde %40' lık bir periyoddan da az bir zaman aralığında elektrik aydınlatmasından yararlanılmaktadır. Yaz mevsiminde dış hava sıcaklığı 30°C olana kadar doğal havalandırma sistemi çalışmaktadır. Kış mevsiminde dış hava sıcaklığı 5°C'den aşağı düştüğü zaman yardımcı bir ısıtma sistemi devreye girer. Yani yoğun kış ve yaz dönemlerinde bina mekanik olarak havalandırılmaktadır ($T_o < -5^{\circ}\text{C}$, $T_o > 20^{\circ}\text{C}$). Yıl içerisinde doğal havalandırmadan yaklaşık %40'lık bir periyoddan tüm bina için yeterli olduğu öngörülmektedir.

Cam türü: Çift cidarlı cephenin iç cephe kabuğu çift camlı, alüminyum çerçeveli şerit pencere cepheden oluşmaktadır. Dış cidar 12 mm kalınlığında otomatik pivot lamine cam panjurdan

oluşmaktadır. Dış cidardaki camın görölür geçirgenliği 0.63 iken, iç cidardakinin 0.54'tür. .İç cidar çift camlıdır ve mafsallı asma kullanılabilir pencereler bulunmaktadır. Üst pencereler elektrikle çalıştırılmaktadır. 6-7 katlı olan bloklarda ise pivot cam paneller sabit terrakotta çubuklar yardımıyla cepheye entegre edilmiştir.

Güneş kırıcı elemanları:

Kulede dış alüminyum panjurlar kamaşmayı kontrol edebilmek için çift cidarlı cephenin içteki kabuğunun dış kısmına monte edilmiştir ve içeriden kontrol edilebilmektedir. Dış cephede bulunan cam pivot paneller soğutma mevsiminde havalandırmayı sağlayabilmek için 70°'ye kadar açılabilir. Kullanıcılar elektronik olarak kontrol edilebilmektedir. Isıtma mevsiminde bu paneller kapatılarak bina dış ortamdan bina yalıtılmış olur ve pasif güneş enerjisi kazanımları sağlanır. İç cidarın iç kısmında jaluziler kullanılmıştır.

Commerzbank Binası

Mimar:

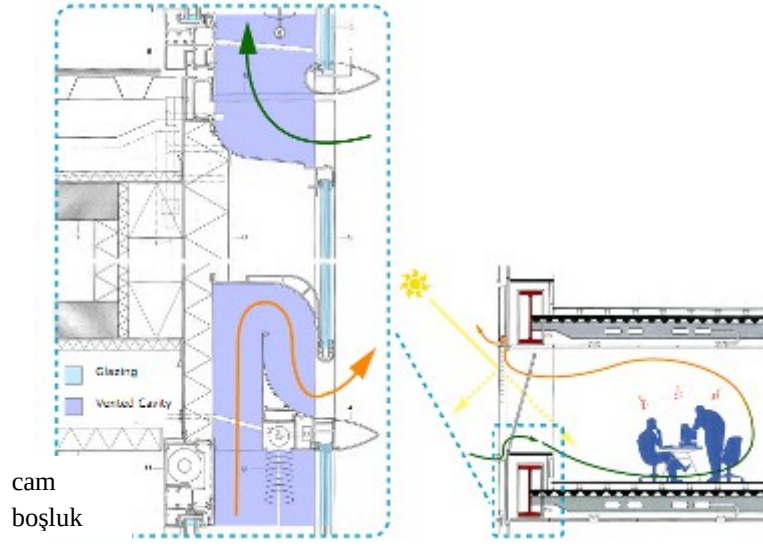
Foster ile ortakları ve Arup, 1997

Konum:

Frankfurt, Almanya



a)



b)

a) <http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>

b) <http://www.mbenkert.com/arend.benkert.defilippis.tillmaand.pdf>

Şekil 30. Commerzbank Binası

Bina bilgileri:

Dünyanın ilk ekolojik ofis binası olma iddiasındadır. 53 katlı 298 m yüksekliğinde ve 120736 m² alana sahiptir. Alüminyum çerçeveli bir bina. Tasarımın dayandığı temel nokta doğal aydınlatma ve doğal havalandırmadır. Optimum gün ışığı ve doğal havalandırmayı sağlamak için bina tasarımında hakim rüzgarlar ve güneşe yönelme dikkate alınmıştır. Üçgensel bir forma sahip olan binanın merkezinde atrium bulunmaktadır. Bu durum negatif basınç bölgesinin yaratılmasına yardımcı olmuştur. Bu da doğal havalandırmanın bina içinden yönlendirilmesine katkı sağlar. Tasarlanan 4 katlı kış bahçeleri bu atriumla bağlantılıdır. Taze hava ve gün ışığını atriuma getirir. Bu kış bahçeleri atriuma bakan ofisler için, bir doğal havalandırma bacası görevini üstlenir. Bahçelerin yönelmesine göre bitkilendirme de Kuzey Amerika, Akdeniz ya da Asya bölgelerinden seçilmiştir. Güneye yönelen bahçelerde Akdeniz, batıya yönelen bahçelerde Kuzey Amerika ve doğuya bakan bahçelerde ise Asya iklim bölgelerine uygun bitkiler kullanılmıştır. Her ofis odası gün ışığından yararlanabilmekte ve her odada açılabilir pencereler bulunmaktadır. Klasik ofis binalarının yarısına eşdeğer enerji tüketim seviyeleri



görülmektedir. Yeşil bina ödülü, RIBA mimarlık ödülü, İngiliz inşaat endüstrisi ödülü gibi pek çok ödül almış ekolojik bir binadır.

- Hava kanal geometri türü: Bina yüksekliği boyunca devam eden çok katlı çift cidarlı cephe
- Havalandırma türü: Bina doğal havalandırmalı çift cidarlı cephe sistemidir. Yılın %60 'lık bir zaman diliminde kış bahçeleri aracılığı ile doğal havalandırmadan yararlanacak şekilde tasarlanmıştır. Fakat binadan beklenenden de fazla yaklaşık %80 'lik bir zaman diliminde doğal havalandırmadan faydalanılması ile elektrik enerji tüketimi %20 oranında azaltımı sağlanmıştır. Mekanik havalandırmadan da diğer zaman diliminde destek alınmaktadır. Bu havalandırma yaklaşımının enerji tüketimini eşdeğer bir ofis binasına göre %50 oranında indirgediği tahmin edilmektedir. Soğutma soğutucu tavanlarla sağlanırken, ısıtma çevre ısıtma ile sağlanmaktadır. Pencereler kapalı iken sadece mekanik havalandırmanın çalışması için pencereler bina kontrol sistemine bağlıdır. Yapay aydınlatma hareket sensörleri ve zamanlayıcılara bağlanır. Ayrıca içilebilir su tüketimini azaltmak için soğutuculardan gelen yoğuşma geri dönüştürülerek WC yıkamada kullanımı sağlandı. Binada kullanılan ısıtma sistem tipi, termostatik kontrollü radyant ısıtma sistemidir. Binayı şartlandırmada hava yerine su kullanılmıştır. Soğutma için ise su soğutmalı, soğutulmuş panel tavan sistemleri kullanılmıştır.
- Cam türü: Dış cidar sızdırmaz sabit 8 mm kalınlığında temperli camdan oluşmaktadır. İç cidar ise açılabilir pencerelere sahiptir. Çift cidarlı cephenin alt ve üst bölümünde 12 cm yüksekliğinde kapatılamayan hava giriş ve çıkış menfezleri bulunmaktadır.
- Güneş kırıcı elemanları: Güneş kırıcı elemanlar, çift cidarlı cephe arasındaki boşluğa yerleştirilmiştir.

SysOpen Kulesi

- Mimar: Arkkitechdit Tommila Oy, 2001
- Konum: Finland, Helsinki, Pitäjänmäki

- a) <http://taloforum.fi/viewtopic.php?t=457> b) <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=257122>

Şekil 31. SysOpen Kulesi

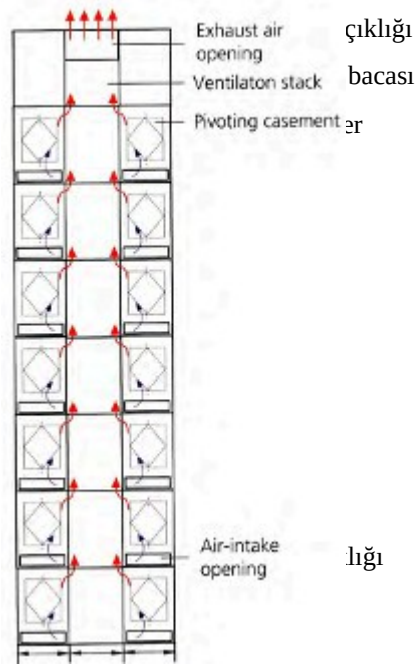
Bina bilgileri:	Ofis binası, 70 metre yüksekliğinde 1 zemin altında olmak üzere toplam 19 katlı bir bina.
Hava kanal geometri türü:	Cephe türü kutu penceredir. İki cephe arasında kalan boşluk 55 cm derinliğindedir.
Havalandırma türü:	Bilgi yok.
Cam türü:	Dış cidarda 8mm kalınlığında temperli cam kullanılmıştır.
Güneş kırıcı elemanları:	Otomatik kontrollü güneş kırıcı jaluziler ara boşluğa yerleştirilmiştir.

ARAG 2000 Kulesi

Mimar:	Foster ve Ortakları ile Rhode Kellermann Wawrowsk (RKW), 2000
Konum:	Düsseldorf, Almanya



a)



b)

a) <http://iris.nyit.edu/~maltwick/BC2/double%20facade%20BC2.pdf>

b) http://gaia.lbl.gov/hpbf/casest_a.htm

Şekil 32. ARAG 2000 Kulesi

Bina bilgileri:

Ofis binası, 33 katlı 120 m yüksekliğinde ve 38100 m² alana sahiptir. Kat yükseklikleri yaklaşık 3.60 m'dir. Alüminyum çerçeveli bir bina. Servis gereksinimlerinden ötürü 8 katlı 4 bölüme ayrılmıştır.

Hava kanal geometri türü:

Şaft Kutu pencere türünde çift cidarlı cephe sistemine sahiptir. Cidarlar arasındaki boşluk 70 cm derinliğindedir.

Havalandırma türü:

Binada doğal havalandırma yılın % 50- 60'lık bir zaman diliminde mümkün olabilmektedir. Aşırı sıcak ve soğuk hava koşullarında mekanik havalandırmadan destek alınmaktadır. Her kutu pencerenin 15 cm yüksekliğinde kapatılabilir kapağa sahip hava giriş açıklığı bulunmaktadır. Her üç açıklıkta bir şaft bulunmaktadır. Hava giriş açıklıklarından alınan hava, üst açıklıklardan şafta aktarılmakta, şafta giren ısınan hava yükselerek şaft aracılığı ile binadan tahliye edilmektedir. Kışın hava tahliye şaftı gereken durumlarda kapatılabilir şekilde tasarlanmıştır.

Cam türü: Çift cidarlı cephe sisteminden oluşan binanın iç cephesi klasik alüminyum düşey pivot çerçevelerden oluşmaktadır. İç cephe camları low-e tipindedir. Şaft eksenindeki pencereler sadece bakım amaçlı açılabilir.

Güneş kırıcı elemanları: Panjur tipinde güneş kırıcı elemanlar, cidarlar arasındaki boşluğun 1/3' ü kadar uzakta çift cidarlı cephe arasındaki boşluğa yerleştirilmiştir.

Moravian Kütüphanesi

Mimar: Bilgi bulunamadı, 2001

Konum: Brno, Çek Cumhuriyeti



a)



b)

c)

a-c) (Poirazis, 2004) b) (IEA-ECBCS Annex 44 Raporu, 2006)

Şekil 33. Moravian Kütüphanesi

Bina bilgileri: Kütüphane binası, cepheler 8 kat yüksekliğinde ve 50 metre uzunluğundadır. Çift cidar yapının güney cephesinde konumlandırılmıştır. Dış cidar 1740 m² yüzey alanına sahiptir.



iç cidar 1170 m²'dir. Binada galvanizli çelik elemanlar kullanılmıştır. Her kat hizasında bakım onarım amaçlı metal yürüyüş yolları bulunmaktadır.

Hava kanal geometri türü: Kutu pencere türünde çift cidarlı cephe sistemine sahiptir. Cidarlar arasındaki boşluk 55 cm derinliğindedir.

Havalandırma türü: Soğutma mevsiminde doğal havalandırmaya olanak sağlayan açılabilir pencerelere sahip olan bir çift cidarlı cephe sistemi. Dış cidar, ısıtma mevsiminde havalandırma havasının güneşle ön ısıtımının yapılmasını sağlar. Ekim ve mayıs ayları arasındaki ısıtma periodunda mekanik havalandırma sisteminden de destek alınır. Cephenin üst kısmı cam bir levha ile kapatılmıştır. Fakat çift cidarlı cephenin arkasında konumlandırılan havalandırma deliği, havanın cephe içinden dışarıya geçişi için uzaktan çalıştırılabilir. Kapalı olduğunda cephedeki hava, merkezi havalandırma ve mekan ısıtma sisteminde soğurulabilir.

Cam türü: Binanın dış cidarı 10 mm kalınlığında sertleştirilmiş tek cam sisteminden oluşurken, iç cidar çift camlı pencereleri olan ve denizliğe kadar poroz betondan oluşmaktadır.

Güneş kırıcı elemanları: İki çeşit güneş kırıcı eleman kullanılmıştır. Bunlar, sabit yatay yük taşıyıcı güneş kırıcılar ve iç cidardaki pencerelerde motorlu düşey güneş kırıcı elemanlardır. Dış cidardaki güneş kırıcılar bakım onarım, temizlik amaçları içinde kullanılabilir. Ayrıca yazın çapraz doğal havalandırmayı sağlar.

Postane Kulesi

Mimar: Murphy/Jahn, 2002

Konum: Bonn, Almanya



a)



b)



c)



d)

a-c-d) <http://www.archdaily.com/231521/flashback-post-tower-murphyjahn/>

b) http://www.dpdhl.com/content/dam/ueber_uns/tower_broschuere_en.pdf

Şekil 34. Postane Kulesi

Bina bilgileri:

Posta hizmetlerinin olduğu bir ofis binası. 5'i zemin kat altında olmak üzere toplam 45 katlıdır. 41 m eninde, 81.1 m boyunda



ve 162.5 m yüksekliğindedir. 7000 m² bir yüzey alana sahiptir. Kule çelik ve cam malzemeden oluşmaktadır. Binada 93000 m² cam kullanılmıştır. Her 9 katta bir gökyüzü bahçeleri tasarlanmıştır.

Hava kanal geometri türü: Çok katlı çift cidarlı cephe sistemine sahiptir. Cidarlar arasındaki boşluk 120 cm derinliğindedir. Cephe, bina yüksekliği boyunca 9 kat yüksekliğinde bölümlendirilmiştir.

Havalandırma türü: Doğal havalandırmadan yararlanılmaktadır. Aşırı sıcak ve soğuk sezonlarda mekanik havalandırmadan da destek alınmaktadır. Merkezi olmayan bir yer altı konvektörü ile dış hava cepheler arasındaki boşluktan emilir,

Cam türü: Binanın iç ve dış cidarında sert kurşunlu cam kullanılmıştır.

Güneş kırıcı elemanları: Binanın kuzey cephesi kapakların eklendiği düz pürüzsüz bir dış cepheye sahiptir. Güneye bakan cephede ise camlar hava akışının iç mekana daha iyi alınmasını sağlayabilmek için hafif eğimli olarak tasarlanmıştır. İç cidarda venedik storu kullanılmıştır. Dış cidardaki tüm ışıklandırma merkezi monitor sistemi tarafından kontrol edilebilen elektrik motorları ile çalıştırılabilir.

1.5 Türkiye'den Çift Cidarlı Cephe Örnekleri

Dünya'da enerjinin yaklaşık neredeyse %50'sinin binalar tarafından tüketilmesinden dolayı, yenilenen AB direktifi olan Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD) kapsamında, tüm ülkelerin binalarında olduğu gibi Türkiye'de de optimum enerji verimli ve optimum maliyeti barındıran tasarımlar yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda binaların enerji verimliliğinde etkin rol oynayan yapı kabuğu olan cephe sistemleri Türkiye'de de önem kazanmaya başlamış ve dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan çift cidarlı cephe sistem örnekleri yavaş yavaş Türkiye'de de uygulanmaya başlanmıştır. Türkiye'de uygulanmış olan çift cidarlı cephe sistemlerine örnek olarak İstanbul Sapphire ve Küçükçekmece Belediye Binası gösterilebilir.

İstanbul Sapphire

Mimar: Tabanlıoğlu Mimarlık, 2010

Konum: İstanbul, Türkiye



a)



b)



c)



d)

a-d) <http://www.arkiv.com.tr/p9568>

Şekil 35. İstanbul Sapphire

Bina bilgileri:

Konut, alışveriş ve eğlence merkezlerini barındırır. Otopark ve akmuya açık alışveriş merkezi zemin kat altındaki katlarda tasarlanmıştır. Bina, yükseldikçe hafifçe incelen bir yapıya sahiptir. Dördüncü kattan itibaren aşağı doğru genişlemektedir. İstanbul Sapphire Türkiye’de inşa edilmiş ilk ekolojik bina özelliğini taşımaktadır ve ayrıca 30 m anteni ile 261 metre yüksekliğiyle Türkiye’deki en yüksek binadır. 54 ‘ü zemin üstünde 10’u zemin altında olmak üzere toplamda 64 katlı bir



binadır. 47 katı konut olarak tasarlanmıştır. Binanın konut kısımlarında 120 m² 1.100 m²'ye kadar değişen farklı büyüklüklerde 177 adet rezidans birimi yer almaktadır. Binada taşıyıcı konstrüksiyon olarak betonarme ve çelik malzeme kullanılmıştır. Bodrum ve alışveriş merkezi katları betonarme olarak tasarlanırken, dış cephe ve dış cephenin devamındaki alışveriş merkezi çatı örtüsü çelik konstrüksiyondur. Bina doğu ve batı doğrultusunda yönelmiştir. Kuzey ve güney cepheleri soğuk cephedir.

Hava kanal geometri türü: Çok katlı çift cidarlı cephe sistemine sahiptir. Residans kısmında 4 konut zonu vardır ve bu zonlar da kendi içerisinde her 3 katta bir gökyüzü bahçesi oluşturacak şekilde kurgulanmıştır. Bu bölümlerde rekreasyon alanları düşünülmüştür. Her 9 katta bir mekanik kat tasarlanmıştır.

Havalandırma türü: Doğal havalandırmadan yararlanılmaktadır. Menfezlerden alınan doğal havalandırma sayesinde "nefes alan bina", daha az enerji tüketmektedir. Dış cephede konumlandırılan hareketli menfezlerden hava bahçeye ve iç cidardan da mekan içine alınabilir. 3 katlı çalışan bir çift cidarlı cephe örneğidir. Hava giriş menfezleri 3 katlı bölümlin en alt kat seviyesinde ve hava çıkış menfezleri de 3 katlı bölümlerin en üst kat (3. Kat) seviyesinde konumlandırılmıştır. Bu doğal havalandırma sayesinde binanın % 30 daha fazla enerji tasarrufu ettiği gözlenmiştir.

Cam türü: Bilgi yok

Güneş kırıcı elemanları: Çift cidarlı cepheli binada dış cidarın iç kısmına yakın olacak şekilde alüminyum güneş kırıcılar konumlandırılmıştır.

Küçükçekmece Belediye Binası

İstanbul'da tasarlanan ve inşaatı 2014 yılında tamamlanan çift cidarlı belediye binası, Türkiye'nin ilk BREEAM yeşil bina sertifikası alan kamu yönetim yapısı olma özelliğindedir. Binanın "yeşil bina" adını almasının temel nedenleri, pasif iklimlendirme ve doğal aydınlatma imkânına yüksek oranda olanak sağlayan çift cidarlı cephe ve galerileşme, geri-dönüşebilir malzeme seçimleri, yeşil çatı uygulaması ve uygun bitki tercihleridir (arkitera, 2014)

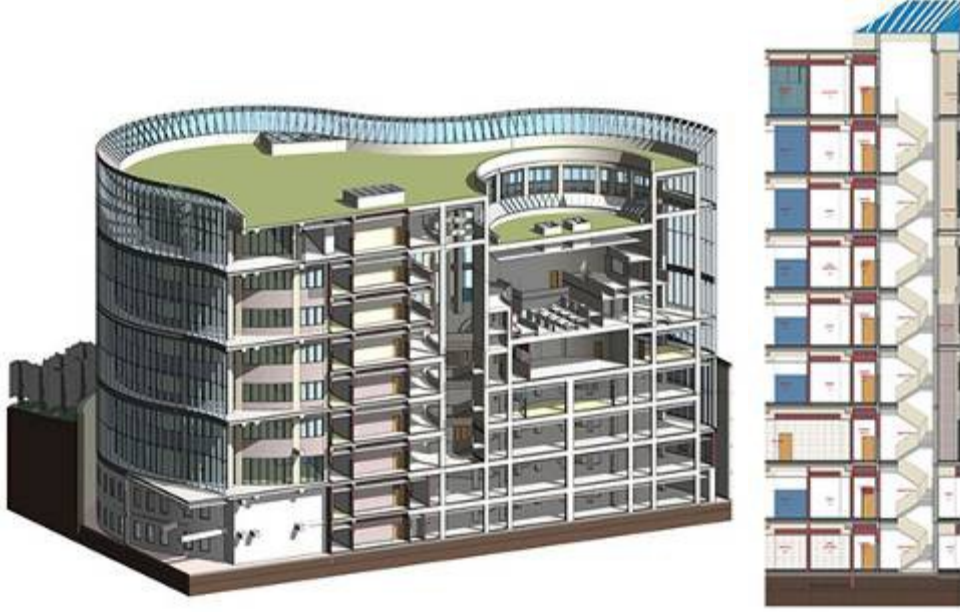


Şekil 36. Küçükçekmece Belediye Binası, İstanbul, dış görünüş (2014),
<http://www.mimarizm.com/KentinTozu/Makale.aspx?id=465&sid=461>

Yapı üç tane daire formun bir araya getirilmesi ile oluşan bir dairesel plan kurgusuna sahiptir. Eğimli bir arazide inşa edilen binanın üç ayrı kotta üç ayrı girişi bulunmaktadır. Binanın tüm cephesi eğrisel cam cepheden oluşmaktadır. Böylece tüm katlar hemen hemen doğrudan güneş ışığından faydalanabilmektedir. 2 katı yer altında olmak üzere toplam 9 katı olan bina, toplam 40000 m² inşaat alanına sahiptir. Ayrıca, belediye meclis binasının bulunduğu alanda bir iç avlu/galeri tasarlanmış ve gün ışığı mekana alınmıştır. Binanın her iki yanında yer alan 7 katlı otopark ve tek katlı teknik hacimler binası gibi ışık alması gerekmeyen alanlar ise yer altında çözülmüştür (Şekil 37).



Şekil 37. Küçükçekmece Belediye Binası, İstanbul, üç boyutlu görsel
(<http://www.ilkdogadostukamubinası.com/images/etc/Kucukcekmece-Yeni-Binası-Tanitim.pdf>)



Şekil 38. Küçükçekmece Belediye Binası, İstanbul, kesit,

(<http://www.ilkdogadostukamubinası.com/tanitim-filmi/fotogaleri.aspx?SectionID=OysLczLCg%2bVRoDyYkyoDgA%3d%3d&ContentID=3q5M8KBonUXuiZxKecE%2fyw%3d%3d#prettyPhoto/6/>)

Şekil 38'de de görüldüğü gibi binanın zemin altında 2 bodrum katı bulunmaktadır ve zemin kattan itibaren her 2 katta bir yatay bölücü elemanlarla katlar ayrılmıştır. İki cidar arasındaki havalandırma ise her iki katta bir bulunan menfezlerle yapılan doğal hava sirkülasyonu ile sağlanabilmektedir. Yapının kesitinde de bu durum görülmektedir.

Küçükçekmece Belediyesi Hizmet Binası Projesi'nin mekanik donanım sistemi, "yeşil bina" konseptinin çok önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Binada kurgulanan "trijenerasyon" sistemi "üçlü" bir enerji kaynağını sağlamaktadır. Bu sistemle doğalgaz kullanılarak elektrik üretilmektedir. Aynı zamanda soğutma suyundan da sıcak su enerji kaynağı olarak yararlanılabilmektedir. Sıcak su kaynağından soğutma sistemine kaynak sağlanmaktadır. Binada kullanılan "buz depolama" sistemiyle, gece saatlerinde buz üretilerek depolanmaktadır. Tanklarda depolanan bu buzlar sıcaklığın yüksek olduğu gündüz saatlerinde binanın soğutulmasında kullanılmaktadır. Dolayısıyla, bu sistem ile gündüz saatlerinde elektrik tüketimi azaltılabilmektedir. Sıcak su gereksiniminin büyük bir kısmı ise "güneş panelleri" ile karşılanması planlanmıştır. Binadaki otomasyon sistemi ile enerjinin etkin yönetimi kontrol altına alınması tasarlanmıştır. Bu sistem sayesinde, ısıtma, soğutma ve havalandırmanın, iklim değişiklikleri ile gün içerisinde ve tüm yıl boyunca, çalışma saatleri içinde ve dışında kontrolü enerjinin verimli kullanılması kurgulanmıştır.

1.6 Enerji ve Bina Kabuğu Etkileşimi

1970 enerji krizinden bu yana dünya çapında sürdürülebilirlik, enerji etkinlik gibi kavramlara eğilim bulunmaktadır. Bu da dünya üzerinde hızla artmakta olan enerji gereksinimlerine rağmen tüketilebilir enerji kaynaklarının hızla azalmasının sonucunda ortaya çıkan bir durumdur. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de toplam enerjinin büyük bir kısmı ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma amaçlı olarak kullanılmaktadır. İklim değişiklikleri birçok sektörü etkilediği gibi inşaat sektörünü de ciddi derecede etkilemektedir. Bina endüstrisi enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Türkiyede yaklaşık toplam enerjinin % 20'si ulaşım, %43'ü endüstri ve %37'si binalarda kullanılmaktadır (Yılmaz, 2006). Bu da binaları yaşam evreleri boyunca daha az enerji tüketen binalar olarak tasarlamayı zorunlu kılmaktadır. Bu yaklaşım mimari tasarım kararlarının gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Dünya üzerinde giderek artmakta olan enerji ihtiyacına rağmen tüketilebilir enerji kaynaklarının yeryüzünde hızla azalması, tasarımcıları, enerji tüketiminde büyük öneme sahip olan bina sektöründe; birtakım yeni “çevre dostu”, “enerji etkin”, “ekolojik”, “sürdürülebilir” olarak adlandırılan tasarımlara yönlendirmektedir (İnan ve Başaran, 2012).

Tipik bir binada enerji kayıplarının büyük bir yüzdesi yapı kabuğu aracılığıyla olmaktadır. Enerji kayıplarını minimuma indirmeyi, kullanılan enerjiden maksimum düzeyde faydalanmayı hedefleyen yapı kabuğu sistem arayışı üzerine yapılan araştırmalar mimari söylemde gittikçe önemli bir yer kazanırken, yapı sektöründe çift cidarlı cam cephe sistemlerinin kullanımı küresel ölçekte yaygınlaşmıştır. Bu sistemler, değişen iklim koşullarına karşı en az enerji kullanabilme ve iç /dış iklim arasında denge kurma özelliğine sahiptir. (Widdington ve Harris 2002). Bu nedenle binalarda mimari tasarım sürecinden itibaren enerji korunumunu sağlayan etkin cephe sistemleri ile beraber binaların enerji performansını arttırmak bir zorunluluk haline gelmektedir. Avrupa ve Kuzey Amerika'da yaygın kullanım alanına sahip olan çift kabuk cephelerin ülkemizde uygulama alanı yok denecek kadar az sayıdadır. Özellikle soğuk iklim bölgelerinde uygulandığında binanın enerji performansını arttırmada etkili rol oynayan çift cidarlı cephe sistemleri ülkemizdeki bazı bölgelerde olduğu gibi sıcak ve ılıman iklim bölgelerinde fazla uygulama alanına sahip değildir.

1.7 Çift Cidarlı Cephe (ÇCC) Sistemleri

Çift cidarlı cephe sistemleri literatürde çeşitli adlarla anılmaktadır. Bunlardan en sık rastlanan ifadeler:

- çift cidarlı cepheler
- çift cam cepheler
- aktif cepheler (mekanik havalandırmalı)

- pasif cepheler (doğal havalandırmalı)
- enerji etkin cepheler
- havalandırmalı cepheler
- dinamik cepheler
- akıllı yapı kabukları
- akıllı cepheler
- çok kabuklu cepheler
- ikiz cepheler 'dir.

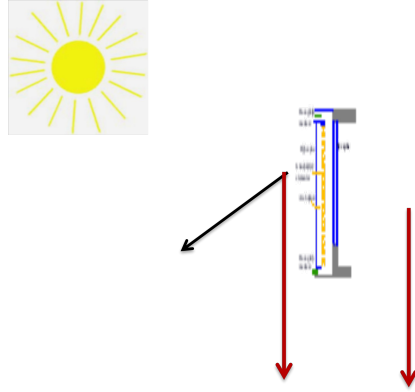
Literatürde farklı adlarla nitelendirilen bu cephe sistemleri çeşitli kaynaklarda farklı şekillerde tanımlanmıştır. Saelens vd. (2008) çift cidarlı cephe sistemini, hava kanalı gibi davranan bir boşluk ile birbirinden ayrılmış, şeffaf iki yüzeyden oluşan bir kabuk olarak ifade etmiştir. Bu hava kanalı içinde güneş kırıcı elemanlarının konumlanabilmesi ile kötü hava koşullarına karşı bu elemanların korunumu sağlanabilmektedir. Bu tanımlamada bina kabuklarının yapımı, yüzeylerdeki şeffaflık ve boşluğun hava akışındaki rolü vurgulanmıştır.

Loncour vd. (2004) havalandırılmış çift cidarlı cephe sistemini, klasik tek cephenin ikinci bir cam cephe yüzeyi ile çift cephe haline gelmesi olarak ifade etmektedir. Bu yüzeyler cidar olarak adlandırılmış ve havalandırılmış boşluk bu iki cidar arasında konumlanmaktadır.

Jiru vd. (2011), çift cidarlı cepheleri iki camdan oluşan ve bu camlar arasında bir hava kanalı olan yapı kabuğu olarak tanımlamıştır. Güneş kırıcı elemanlar bu hava boşluğuna yerleştirilmiştir. Havalandırılmış boşluk bir termal tampon bölge gibi çalışmaktadır. Bu boşluk soğutma döneminde istenmeyen ısı kazançlarını, ısıtma döneminde ise istenmeyen ısı kayıplarını azaltmaktadır. Bu sistemler güneşin neden olduğu kamaşma sorununu kontrol edilebilir hale getirmekte ve gün ışığından maksimum düzeyde yararlanmayı sağlamaktadır.

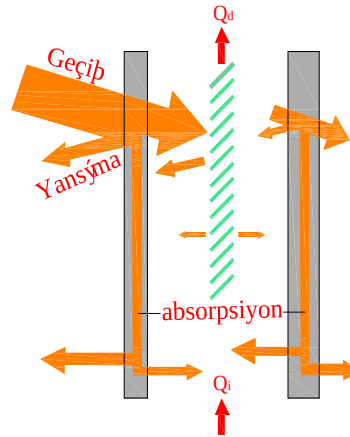
Çift cidarlı cepheler ikinci bir yapı kabuğuna sahiptir ve genellikle bir dış cam cephe ve cam veya kısmen cam malzemedan oluşan bir iç cam cepheden oluşur. Dış cam genellikle tek saydam bir camdan oluşur. İç cam ise genellikle çift camdır ve low-e veya güneş kontrollü camlardan oluşur (Şekil 39). Bu yapı kabukları birbirinden boyutları 20cm ile 2 m arasında değişebilen, literatürde "hava kanalı" veya "hava koridoru" gibi isimlerle adlandırılan bir boşluk ile ayrılır. Bir termal tampon bölge gibi davranan bu boşluk doğal ve/veya mekanik olarak havalandırılabilir. Tampon bölge oluşturan bu hava kanalı binayı yüksek hızdaki

rüzgarlardan ve rahatsız edici gürültüden binayı korur. Güneş kırıcı elemanlar da bu hava boşluğuna yerleştirilerek olumsuz hava koşullarından etkilenmez.



Şekil 39. Çift cidarlı cephe sistemi

Çift cidarlı cephelerde ısı geçişleri; iletim, taşınım ve ışınım yoluyla olmaktadır. Güneş ışınlarının absorbe edilmesi ile boşuğa alınan havadaki sıcaklık yükselir (Şekil 40). Bu hava kanalı olarak da adlandırılan boşlukta hava akımı olduğu sürece ısı hava akışıyla uzaklaştırılır ve aşırı ısınma problemi önlenir (Compagno, 2002). Aksi durumda ise boşluk içindeki sıcaklık artar; binanın termal konforu olumsuz etkilenir ve ilave soğutma yükü oluşur. Isı geçişlerinin kontrolü ile her iki cephenin yüzey sıcaklıkları arasındaki fark azaltılarak bu yapı kabukları ile enerji etkinliğine katkı sağlanabilir.



Şekil 40. Çift cam cephedeki ısı transfer mekanizması

Çift cidarlı cephe sistemleri kışın iç ortamın ısıtma ihtiyacını, iç cam cephenin dış sıcaklığını güneş ışığı ile arttırarak azaltır. Yazın ise hava boşluğundaki havalandırma ile iç ortamdaki soğutma gereksinimleri azaltılır. Hava giriş ve çıkış menfezleri hava boşluğunda aşırı ısınma problemlerinin artmasını önlemek amacı ile yazın açılır. Yaz gecelerinde bu hava kanalında depolanan soğuk hava gün içerisinde binanın soğutma enerjisine katkı sağlar (Oesterle,

2001). Kışın ise hava boşluğunda güneş ışığından gelen ısıyı depolamak için hava giriş çıkış menfezleri kapatılır. Bu ısı, iç cam cephe ile iç ortama aktarılır.

1.8 Çift Cidarlı Cephe Sistemlerinin Sınıflandırılması

Çift cidarlı cephe sistemleri literatürde çeşitli parametrelere bağlı olarak sınıflandırılabilir. Temel olarak literatürde sınıflandırma için ele alınan ana parametreler; havalandırma tipi, hava kanalındaki farklı hava akış modları ve hava kanalının geometrik konfigürasyonlara bağlı olarak sınıflandırılmasıdır.

1.8.1 Havalandırma Tipine Göre Çift Cidarlı Cephe Sistemleri

Çift cidarlı cephe sistemleri hava kanalında kullanılan havalandırma şekillerine göre 3 ana gruba ayrılır. Bunlar; doğal havalandırma, mekanik havalandırma ve hibrid tipi havalandırma. Doğal havalandırmada, yapının dış cephesindeki alt menfezden kanala alınan hava iki cam cephe arasında ısınarak bu kanalda yükselir. Isınarak sıcaklığı arttığı için yoğunluğu azalan ve kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle yükselen havanın yerini dış ortamdan alınan hava alır. Bu hava bir itici kuvvet rolü üstlenir. Isınarak yükselen hava çift cidarlı cephenin dış cephesinin üst noktasında bulunan menfezden dışarı atılır.

Mekanik havalandırmada kanal içindeki hava hareketi bir dış etkiyle sağlanır. Bu tarz cepheler doğal havalandırmanın yapılamadığı binalarda kullanılır. Binanın iç ortamına alınacak olan havanın ısıtılması, soğutulması, nemlendirilmesi gibi koşullar gerektiğinde, dış ortam havasının kirli veya gürültülü olması durumlarında daha çok tercih edilen bir havalandırma türüdür (Essiz ve Özgen, 2004). Bu tür sistemler doğal havalandırmalı sistemlere göre daha çok gürültü kontrolüne imkan sağlarlar (Goksal, 2005).

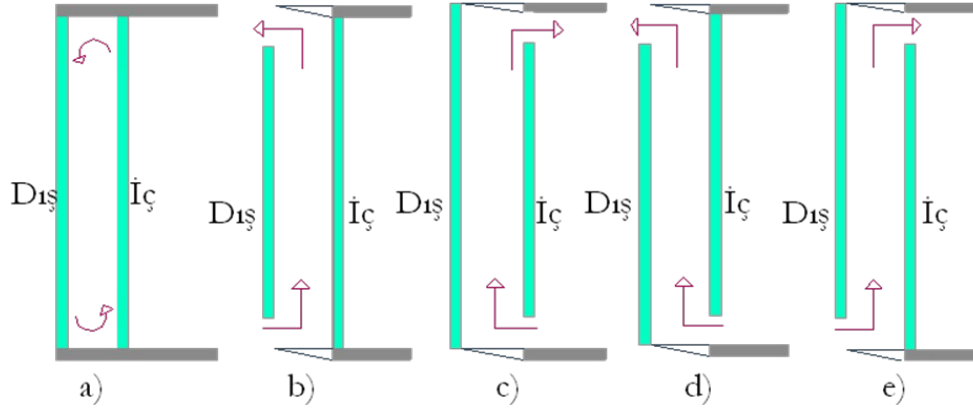
Hibrid havalandırmada doğal ve mekanik havalandırma birlikte kullanılır. Temel olarak kullanılan havalandırma doğal havalandırma. Doğal havalandırmanın gerçekleşmesine yardımcı olan kaldırma kuvvetleri yetersiz olduğunda mekanik sistemden destek alınır. Sistem yüksek dış çevre sıcaklıkları olduğu durumlarda kullanılır. Sıcak iklim bölgelerine daha uygun bir sistemdir (Kragh, 2000). Doğal havalandırmanın yetersiz kaldığı durumlarda mekanik havalandırmadan da yararlanır. Amerika ve Kuzey Avrupa'da yaygın olarak kullanılan bir sistem değildir.

1.8.2 Hava Akış Modlarına Göre Çift Cidarlı Cephe Sistemleri

Çift cidarlı cephe sisteminde iki cam cephe arasındaki havalandırma çeşitli hava akış modlarına göre gerçekleştirilebilir. Bu cephe sistemleri havalandırma çeşitlerine göre 5 grup altında toplanabilir (Loncour vd., 2004).

Tampon Bölge

Bu havalandırma modunda iç ve dış cam cephe yüzeylerinin her ikisi de geçirimsizdir. Yani hava kanalında iç veya dış ortama herhangi bir hava giriş çıkışı söz konusu değildir. Dış mekanla iç mekan arasındaki ısı alışverişi engellenerek dış mekandaki havanın iç mekana olan etkisi engellenir (Şekil 41a).



Şekil 41. Çift cidarlı cephelerde hava akış modları

Dış Hava Perdesi

Dış cephe yüzeyinin alt seviyelerindeki açıklıktan boşluğa alınan hava boşlukta yükselerek dış cephe yüzeyinin üst seviyesindeki açıklıktan dışarı atılır. Hava yükselirken iç cam yüzeyinin boşluğa bakan kısmında güneş ışınımından dolayı oluşan ısı miktarını azaltır. Hava akımı iç cam cephe yüzeyindeki sıcaklıkları azaltır ve bunun neticesinde dış ortamdaki ısı iç ortama geçişi azaltılmış olur. Yaz aylarında etkin bir kullanıma sahiptir (Şekil 41b).

İç Hava Perdesi

İç cephe yüzeyinin alt seviyelerindeki açıklıktan hava kanalına alınan hava yükselirken ısınır ve ısınan hava iç cephe yüzeyinin üst seviyesinde bulunan açıklıktan mekan içine geri gönderilir. Kış aylarında etkin bir kullanım alanına sahip olduğunu söylenebilir (Şekil 41c).

Hava Tahliyesi

Bu hava akış modunda iç cam cephenin alt seviyesindeki açıklıktan hava kanalına alınan hava ısınarak kanal boyunca yükselir ve dış cephe yüzeyinin üst seviyesindeki açıklıktan dışarı atılır (Şekil 41d). Bu hava akış modu ile iç mekanın havalandırılması sağlanır. Binadaki havalandırma içerdeki hava ile sağlanır.

Hava Beslemesi

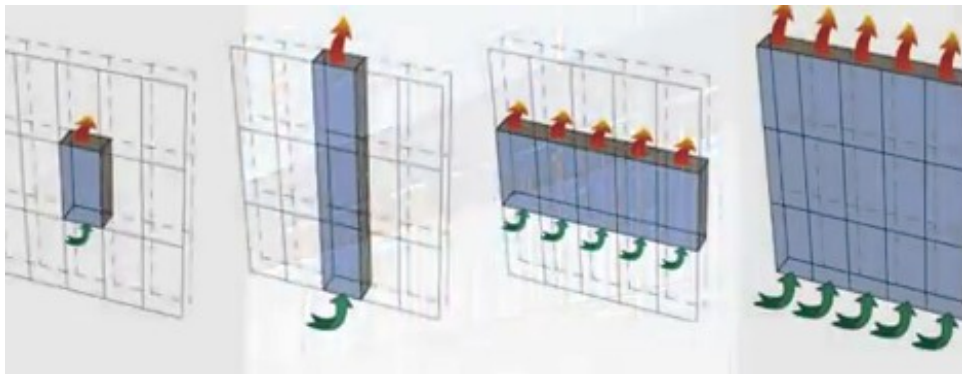
Bu hava akış modunda ise dış cephe yüzeyinin alt seviyesindeki açıklıktan hava kanalına alınan hava kanal boyunca ısınarak yükselir ve ısınan hava iç cephe yüzeyinin üst seviyesinde bulunan açıklıktan içeri alınır (Şekil 41e). Binadaki havalandırma dışardaki hava ile sağlanır.

1.8.3 Hava Kanalındaki Geometrik Konfigürasyona Göre Çift Cidarlı Cephe Sistemleri

Çift cidarlı cephe sistemleri, hava kanalı farklı geometriler oluşturacak şekilde düzenlenebilmektedir. Bu hava boşluğu bina yüksekliği boyunca devam edebileceği gibi kat yüksekliği boyunca da devam edebilir. Kat yüksekliği boyunca devam eden çift cidarlı cepheler kutu pencereler, şaft-kutu cepheler, koridor cepheler olarak üç ana başlıkta toplanabilirken, bina yüksekliği boyunca devam eden çift cidarlı cepheleri; çok katlı çift cidarlı cepheler ve çok katlı panjurlu çift cidarlı cepheler olarak iki ana başlıkta toplamak mümkündür (Tablo 2). Bu farklı türdeki çift cidarlı cephe (ÇCC) sistemleri Şekil 42'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çift cidarlı cephe (ÇCC) sınıfları

Kat yüksekliği boyunca	Bina yüksekliği boyunca
kutu pencereler	Çok katlı ÇCC
şaft-kutu cepheler	Çok katlı panjurlu ÇCC
Koridor cepheler	



Şekil 42. Çift cidarlı cephe türleri (Vaglio, 2012)

Kutu Pencereler

Kutu pencereler çift cidarlı cephe sistemlerinin yapı endüstrisinde uygulandığı ilk örneğidir. İç ve dış cam tabakalar arasında genellikle 200-400 mm bir hava kanalı bırakılmaktadır. Bu boşluk yalnızca her bir pencerede devam eder. Yani cephe modülü bir katla sınırlıdır. Kutu pencereler de iç yüzeyde çift cidarlı dış yüzeyde ise tek camlı iki cepheden oluşur. Cepheye

doğrudan gelen güneş enerjisinin fazla olması durumunda cepheye panjular monte edilerek yapıya gelen güneş ışınımı azaltılır. Bu iki cam yüzeyi arasına genellikle motorize panjurlar konumlandırılır. Bu tip pencereler her kat düzeyinde yatay elemanlarla ve her pencerede dikey elemanlarla bölmelere ayrılmıştır (Şekil 43). Kutu pencerelerde dış cephede doğal havalandırmaya olanak sağlayan hava giriş çıkış menfezleri bulunabilmektedir. Genellikle yüksek dış gürültüyü önlemek ve bitişik mekanlar arasında ses yalıtımını sağlamak için kullanılır (Oesterle vd. 2001, Wong, 2008). Bu cephe türü mevcut binanın enerji performansını geliştirmek için bina iyileştirmelerinde de kullanılmaktadır (Hilmarsson, 2008). Finlandiya'da yaygın olarak kutu pencere türündeki çift cidarlı cepheler görülmektedir (Poizaris, 2006).



Şekil 43. Kutu pencere detayı (Tascon, 2008)

Şaft-Kutu Cepheler

Bu cephe sistemleri kutu pencerelerle benzerlik gösterir. Cepheye yerleştirilmiş bir dizi kutu pencere modülünden oluşur. Kutu pencerelerden farklı olarak cephe boyunca devam eden ve her kat seviyesinde kutu pencerelere bağlanan şaft sistemlerinden oluşmaktadır (Şekil 44). Hava dış cam cephenin alt düzeyindeki menfezden içeri alınır ve ısınarak yükseldikten sonra kutu pencerelerin üst seviyesinde bulunan açıklıklardan şaftta alınır ve şaftta yükselerek binadan atılır (Oesterle, 2001). Hava boşluğuna alınan hava istenildiğinde iç mekana alınarak mekanın şartlandırılmasına olanak sağlar. Bu tür cephelerde kat yüksekliğinin fazla olması, baca etkisi ile ilgili oluşabilecek problemler ve şaftın içindeki hava akımının kontrolünün zor olması nedeni ile tercih edilmez (Wong, 2008). Bu tür cephelerin az katlı yapılarda ve yüksek gürültülü alanlarda kullanımı avantajlıdır (Oesterle 2001).



Şekil 44. Şaft kutu cephe örneği (Tascon, 2008)

Koridor Cepheler

Bu çift cidarlı cepheler her kat düzeyinde yatay elemanlarla ayrılarak koridor oluşturulur (Şekil 45). Her katın hava boşluğu birbirinden ayrılmıştır. Dış cephe yüzeyinin alt seviyelerindeki açıklıktan hava kanalına alınan hava ısınarak yükselir ve her katın kendi üst seviyesinde bulunan menfezden dışarı atılır. Yapılardaki ses, ısı ve yangın korunumu diğer cephelerden daha iyi performans sergilemektedir (Poirazis, 2006).



Şekil 45. Koridor cephe örneği (Bestfacade, 2005)

Çok Katlı Çift Cidarlı Cepheler

Bu cephede yatay ve düşey bölücü elemanlarla hava kanalı sınırlandırılmamıştır. Hava boşluğu bina yüksekliği boyunca tek bir hava kanalı olarak devam eder (Şekil 46). Tüm bina yüksekliği boyunca dış cam cephe yüzeyinde tek bir hava giriş ve hava çıkış menfezi bulunmaktadır. Yalnızca kat hizalarında temizlik ve cephenin bakımı amacı ile havalandırmaya engel olmayan yürüme yolları konumlandırılabilir. Bu tip cepheler dış ortamın gürültüsüne karşı çok iyi bir ses yalıtımı sağlar (Loncour, 2004; Wong 2008). Diğer yandan yangın ihtimali bakımından büyük tehlike potansiyeline sahiptir (Chow, 2012). Danimarka ve İsveç'te yaygın olarak çok katlı çift cidarlı cephe türleri kullanılmaktadır (Poizaris, 2006).



Şekil 46. Çok katlı cephe örneği, Beatham kulesi Londra
(Kaynak: <http://www.skyscrapernews.com/buildings.php?id=1524>)

Çok Katlı Panjurlu Çift Cidarlı Cepheler

Bu cepheler çok katlı çift cidarlı cephe ile benzer özellik göstermektedir. Bu iki cephe arasındaki fark çok katlı panjurlu cephelerde dış cephenin cam giydirmeye yerine hareketli panjurlara sahip olmasıdır. Bu cephelerde güneş ışınlarının çok olduğu durumlarda panjurlar kapalı duruma getirilebilir veya dış çevre ile doğrudan görsel etkileşimi sağlamak amacıyla panjurlar yatay konuma getirilebilir (Şekil 47).

Şekil 47. Çok katlı panjurlu cephe örneği (Loncour, 2004)



2. LİTERATÜR

2.1 Çift cidarlı cephelerle ilgili yapılmış deneysel çalışmalar

Çift cidarlı cephe sistemleri ile ilgili olarak uluslararası ölçekte birçok çalışma yapılmasına rağmen, yapılan deneysel çalışmalar kısıtlı sayıda bulunmaktadır. Ayrıca bu yapılan deneysel çalışmaların birçoğu da mevcut çift cidarlı binadan alınan verilerin gözlemlenmesine dayanmaktadır. Binaya etki eden çevresel faktörleri kontrol altına almak dış ortamda neredeyse imkansız olduğu gibi, bina kullanıcı davranışlarının öngörülememesine bağlı olarak gerçek bir binadan alınan ölçüm verileri ile sayısal simulasyon sonuçlarının karşılaştırılması güvenilir sonuçlar verememektedir. Laboratuvar ortamında, çevresel etmenlerin kontrol altına alınabildiği, kontrollü bir ortamda kurulan deney düzeneğinden alınan veriler daha esnek ve güvenilir verilerin elde edilmesine imkan sağlamaktadır.

2.1.1 Saelens'in deneysel çalışması

Saelens (Saelens, 2002), doktora tezinde Belçika'da kurulmuş olan kavite ortasında konumlandırılmış olan güneş kırıcı çift cidarlı deney düzeneğinde, doğal ve mekanik havalandırma etkilerini analiz etmiştir. Deneysel düzenek dış çevre koşullarına açık konumdadır. Bu nedenle güneş ışınımı ve hava sıcaklığı kontrol edilememekte fakat açık olarak gözlemlenebilmektedir. Çift cidarlı kanal, (0.5 m x 1.2 m x 2.7 m) iç kısmı çift cam, dış kısmı tek camdan oluşmakta ve iki cam yapı kabuğu arasındaki kanalın ortasına makaralı güneş kırıcı eleman bulunmaktadır. Bu güneş kırıcı eleman otomatik kontrol sistemine sahiptir. Güneş ışınımı 150 W/m^2 'yi geçtiği zaman güneş kırıcılar otomatik olarak tamamen kapanmaktadır. Mekanik havalandırma için deneysel düzende iç hava perdesi akış modu kullanılırken, doğal havalandırmada ise dış hava perdesi akış modu kullanılmıştır.

Deneysel düzenek üzerinde sıcaklık ve hava akış ölçümleri yaz ve kış dönemi boyunca alınmıştır. Kavitedeki hava akış debisi, izleyici gaz methodu ile gözlemlenmiştir. Bütün konfigürasyonlar için hava akış debisi $20 \text{ m}^3/(\text{h.m}) - 80 \text{ m}^3/(\text{h.m})$ arasında değişmektedir. Yüzey sıcaklıkları tek camın sadece kaviteye bakan yüzeyinde ölçülürken çift camın her iki yüzeyinde de ölçülmüştür. Kavite ortasına konumlandırılmış olan güneş kırıcı elemanın her iki yüzeyinde de düşeyde 3 farklı yükseklikte sensörler konumlandırılarak düşey sıcaklık profilleri ölçülmüştür. Güneş kırıcı elemanının hem iç cama hem de dış cama bakan kısmındaki kanaldaki hava sıcaklıkları incelenmiştir. Hava giriş, hava çıkış sıcaklığı ve iç oda sıcaklığı ölçülmüştür.

Kış mevsiminde yapılan ölçümlerde dış hava perdesinde içteki camın dıştakinden daha sıcak olduğu gözlemlenmiştir. Saelens kavitedeki havanın iç mekanda ön ısıtılmış hava olarak kullanabileceğini ifade etmiştir. Güneş ışınımı ile birlikte hava giriş ve çıkış sıcaklık farkı çoğunlukla 10°C'den fazla olmakta hatta 20°C'ye bile ulaşabildiği görülmüştür. Hava giriş sıcaklık farkı dış hava ile hava girişindeki sıcaklık farkı olarak tanımlanırken hava çıkış sıcaklık farkıda dış hava ile üst hava çıkış sıcaklığı arasındaki farkı ifade etmek için kullanılmıştır. Kış döneminde kavitide dış hava perdesi akış modunda havalandırma yapılırken kavitideki sıcaklığın dış ortamdaki havadan 2.8°C yüksek olduğu görülmüştür. Kavitede tüm hava giriş ve çıkış açıklıkları kapatılarak tampon bölge konumunda ise kavitideki hava sıcaklığının dış ortamdaki havadan 6.4°C yüksek olduğu görülmüştür. Yaz mevsiminde yapılan ölçümlerde ise kavitideki sıcaklıklarda iç ortama göre oldukça yüksek artışlar olduğu hatta gün içerisinde bu artışların 28°C kadar olabildiği gözlemlenmiştir.

2.1.2 Stec'in deneysel çalışması

Stec (Stec, 2006), Tu Delft Hollanda'da dış ortamda kurulmuş olan çift cidarlı deney odasında çalışmasını gerçekleştirmiştir. Çift cidarlı kanal, (0.15 m x 1 m x 2.2 m) da dış cidar tek bir camdan oluşurken iç cam açılabilir motorlu cam pencerelere sahip opak bir duvardan oluşmaktadır. Kavite ortasında venedik storu bulunmaktadır. Hava beslemesi ve hava tahliyesi akış modları kullanılmıştır. Güneş ışınımı, yüzey sıcaklıkları, rüzgar hızı ölçülmüş, kavitideki hava akışı gaz izleme methodu ile analiz edilmiştir. Hava akışının kalibrasyonu için yazar tarafından ölçümler geliştirilerek değişik senaryolar türetilerek; değişik ölçülerdeki farklı cam türlerinin, hava giriş/çıkış açıklıklarının güneş kırıcı sistemlerin etkileri incelenmiştir. Deneysel düzeneğin dış ortam koşullarında yapılmasından ötürü test edilebilen parametreler sınırlı sayıdadır. Simulasyonlar ölçümlerle kıyaslanarak özetlenmiş, dış hava sıcaklığı, güneş ışınımı, duvar yüzey sıcaklıkları gibi herhangi bir sınır koşulu ile ilgili sonuçlar sunulmamıştır.

2.1.3. Corgnati, Porino ve Serra'nın deneysel çalışması

İtalya'da cephesi güneye konumlandırılmış olan mekanik havalandırma çift cidarlı cepheye sahip mevcut bir ofis binası, (0.14 m x 1.2 m x 2.7 m) dış cidarı çift camdan oluşurken iç cidar tek camdan oluşmaktadır. Kavitenin tam ortasında venedik storu bulunmaktadır. Cepheye iç hava perdesi akış modu kullanılmıştır. Sıcaklık, hava akışı, ısı akısı ve güneş ışınımı ölçülmüştür. Camlardaki her iki yüzeyde de ısı çiftleri arasındaki ısı ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Hava sıcaklığı kavitide bulunan güneş kırıcı elemanın her iki tarafında da ölçülmüştür. Kanalda üç farklı yükseklikte konumlandırılan sensörler aracılığı ile hava sıcaklıkları ölçülerek kanal yüksekliğince sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Hava giriş, hava çıkış sıcaklıkları ve iç ortamdaki sıcaklıklar ölçülmüştür. Kavitedeki enerji dengesi kontrolü için

ayrıca cam yüzeyine ısı akı ölçerler konumlandırılmıştır. Güneş ışınımı için 2 pironometreden yararlanılmıştır. Bu pironometrelerden biri çift cidarlı cephenin dış yüzeyine konumlandırılırken diğeri içteki cephenin ofis kısmındaki cam yüzeyine yerleştirilmiştir. Kanaldaki hava debisi ısıl anemometre ile ölçülmüştür. Güneş ışınımı düşük olduğunda çift cidarın içinde ve dışındaki havanın sıcaklığının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Öğlen saatlerinde çift cidarlı cephedeki hava sıcaklığının iç mekandan daha sıcak olduğu ve güneş kırıcı eleman sıcaklığının tüm sıcaklık değerlerinden yüksek değerler alarak 52°C'ye kadar çıktığı görülmüştür. Kış ve yaz dönemlerinde hava akış debilerinin 50 m³/(h.m) – 75 m³/(h.m) olduğu gözlenmiştir. Bu değerler kış döneminde çift cidarlı cephenin enerji performansı açısından sorun yaratmazken, yaz döneminde kavitedeki aşırı ısınmadan dolayı binaya ekstra soğutma yükü gerektirmektedir (Corgnati, Porino ve Serra, 2007).

2.1.4 Zanghirella'nın deneysel çalışması

İtalya'da kurulmuş olan bu deney düzeneği, yan yana TWINS adı ile iki benzer düzeneden oluşmaktadır. Düzeneklerden biri sadece 8/12/6 mm klasik çift camdan oluşurken, diğeri çift cidarlı cepheye sahiptir. Klasik sadece çift camdan oluşan kavitsiz düzenek çift cidarlı cepheli düzeneği test etmek amacıyla tümüyle benzer özelliklere sahip olacak şekilde kurulmuştur. Çift cidarlı cephenin (0.28 m x 1.6 m x 2.6 m) havalandırılmasında dış hava perdesi ve hava beslemesi akış modları kullanılmıştır. Çift cidarlı cephede kavite içerisinde güneş kırıcı eleman bulunmaktadır. Kış dönemi için istenen değer 20°C, yazın 26°C ve ara dönem için ise 23°C olarak kurgulanmıştır. Sıcaklık, ısı akısı, güneş ışınımı ve kavitede hava akış ölçümleri yapılmıştır. Sensörler kavite yüksekliği boyunca üç farklı noktaya yerleştirilmiştir. Doğal havalandırma hava akış debisini ölçmek için bir fark basınç manometresi monte edilmiş fakat Zanghirella'ya göre beklenen sonuçlar sağlanamamıştır. İki zaman aralığı sürecinde ölçümler alınmıştır. Birincisi 2005 Mart'dan 2006 Ocak, İkincisi ise 2006 Mayıs'dan 2007 Şubat aralığını kapsamaktadır. İlk deneysel ölçüm sürecinde hava akış debileri 17.5 m³/(m.h) – 63 m³/(m.h) aralığında iken, ikinci deneysel çalışma evresinde hava akış debileri 146m³/(h.m) – 316 m³/(h.m) aralığında olduğu tespit edilmiştir. Cam tipi ve güneş kırıcı eleman seçimi ile ilgili olarakta enerji performansına etkisi bu parametrelerin incelenmiştir. Çift cidarlı cephenin yaz döneminde güneş ışınımından klasik kavitsiz cepheye göre %38- %46 oranlarında düşüşe neden olduğu ve ara bölmedeki güneş kırıcıda ölçülen tüm sıcaklık değerlerinden de yüksek sıcaklıklar olduğu (43°C- 50°C) görülmüştür. En iyi performansı ise hava akış debisi yüksek olan çift cidarlı cepheli konfigürasyonda olduğu belirtilmiştir (Zanghirella, 2008).

2.1.5 Gavan'ın deneysel çalışması

Laboratuvar ortamında kurulmuş olan, Minibat adı verilen bir deney düzeneği üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir, İki benzer ölçülerde deney odanın yan yana kurulmasından oluşmuştur. 3.1 m en ve boyundaki deney odası 2.5 m yüksekliğinde tasarlanmıştır. Labaratuvar ortamında dış ortam özelliklerini sağlayan bir iklimlendirme jeneratörü ve solar simülatöre sahiptir. Kanaldaki hava akış debisi, yüzey sıcaklıkları ve güneş kırıcı elemanların açılarının performans üzerinde belirleyici etkileri olduğu çalışmada vurgulanmıştır.

2.2 Çift cidarlı cephelerle ilgili yapılan diğer çalışmalar

Mimaride camın ve cephe sistemlerinin kullanımı konusundaki yayınları iki kategori altında toplamak mümkündür. Camın tarihçesiyle ilgili yayın sayısı oldukça kısıtlıdır. Eldeki sayılı yayınlar ise camın kullanımını teknolojik bir kaçınılmazlık olarak kabullenip, camın arkasındaki söylemi göz ardı ederek, güçlü bir sav ortaya atmaksızın sadece mimari örnekleri belgelemekle yetinmekte yada camın üretim tarihini incelemektedir (Wigginton, 1996; Hix, 1996; Krewinkel, 1998; Elkadi, 2006). Annette Fierro'nun 20. yüzyılın son yirmi yılında Paris'te inşa edilen cam cepheli kurumsal yapıları inceleyen çalışması bu konuda çığır açar (Fierro, 2003). Bu çalışmada Fierro, Paris'te cam cephelerin genellikle, enerji kaygısından uzak, dönemin politik yaklaşımını destekleyen sembolik bir değer peşinde, pahalı ve verimsiz bir şekilde kullanıldığını gözler önüne sermektedir. Fierro'nun çalışmasının peşi sıra, cam konusu farklı bir şekilde ele alınmaya başlanmış; bazı sosyolog ve antropologların konu üzerindeki düşüncelerine mimari söylemde yer verilmiştir (Sennett, 1999; Douglas, 2002). Bu değişimin sonucunda, cam cephenin kentsel yaşamdaki yeri ve yaşam mekânı üzerine etkileri sorgulanmaya başlanmıştır (Bell & Kim, 2008). Ancak cam cephe konusundaki yayın sayısı hâlâ çok kısıtlıdır. Özellikle de, ekonomik yapısı hızla gelişmekte olan ve teknoloji transferi yapan ülkeler üzerine odaklanan hemen hemen hiçbir çalışma bulunmamaktadır. Cam cephe üzerine yapılan yayınların ikinci kategorisi ise yapı fiziği anabilim dalındaki çalışmalardır. Cam cephenin niceliksel özelliklerini ön plana çıkaran bu alandaki yayınlar daha çok mühendislik alanlarındaki bilimsel dergilerde yer alır. Bu kategorideki araştırmacıların bazılarının mimar olmalarına rağmen yayınlarının mesleki ve kavramsal bir sorgulamadan yoksun bir şekilde güncel mimarlık söyleminden kopuk olduğu aşikârdır (Oesterle, 2001). Bu bağlamda, çift cidar cephelerde akış ve enerji analizleri, yapı fiziğinin çalışma alanlarından birisi olarak, literatürde birçok çalışmada değerlendirilmiştir. Bu çalışmaların genel olarak sınıflandırılmasındaki temel parametreler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:



Çift cidar cephe içerisindeki akışa odaklanan çalışmalar. Bu çalışmalarda akışın doğal ve/veya zorlanmış olmasına bağlı olarak farklı davranışları, deneysel ve/veya bilgisayar ortamında sayısal olarak incelenmiştir.

Havalandırma durumlarına göre çift cidarlı cepheler; mekanik havalandırılmalı, doğal havalandırılmalı ve hibrid (doğal ve mekanik havalandırılmalı) sistemler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar. Temel olarak mekanik havalandırmaya sahip çift cidarlı cephelerin uygulamada yaygın olarak karşılaşılan üç türü bulunmaktadır. Bunlar; dahili hava sirkülasyonlu, hava beslemeli ve hava tahliyeli çift cidarlı cephelerdir. Her birinin ısı davranışı farklıdır ve her çift cidarlı cephe bunlardan birine sahip olacak şekilde düzenlenebilir (Loncour, vd., 2004). Mekanik havalandırılmalı çift cidarlı cephelerle ilgili yapılmış çalışmalardan Marques da Silva vd. (2009)'nin çalışması; bir binanın ısı davranışının gözlemlenmesi ve yüksek hava sıcaklığı ve yüksek güneş ışınımının çakışması ile aşırı ısınmanın meydana gelmesi ve bu ısıyı uzaklaştırmak için etkili olan çözüm önerisinin de hava kanalındaki havalandırma hızının artırılma gerekliliğinin vurgulanması üzerinedir. Ayrıca beyaz bir panjur kullanımının hava kanalındaki ve iç pencere camındaki sıcaklığı azaltması ile enerji kullanımını azaltıcı katkısı irdelenmiştir. Haddad ve Elmahdy (1998, 1999) hava besleme ve hava tahliyeli pencerelerinin termal performans etkileri üzerine çalışmalara yoğunlaşmış ve sıradan pencerelerle karşılaştırmasını yapmışlardır. Bu kıyaslama ile hava tahliyeli pencerelerin özellikle soğuk mevsimlerde yüksek net ısı kazancına yol açtığı sonucuna ulaşmışlardır. Isıl konfor gereksiniminden ötürü hava tahliye penceresinin hava besleme penceresinden daha öncelikli olduğu sonucuna varmışlardır. Park vd., (2004) çift cidar cephe sisteminin performansını optimize etmek için boşluğa yerleştirilmiş dönen bir motorize jaluzi latesi ve içerdeki ve dışarıdaki camın üstünde ve altında havalandırılmalı bir tasarım geliştirilmişlerdir. Sistemin önemli bir özelliği çevresel girdi verilerine gerçek zamanlı optimizasyonlar aracılığı ile enerji, görsel ve termal konfor bakımından dinamik reaksiyon göstermesidir. Chen (2009) binalardaki enerji performansını ölçmek için kullanılan araçları analiz etmiş ve sayısal akışkanlar dinamiğinin %70 oranında literatüre katkı sağladığını kaydetmiştir. sayısal akışkanlar dinamiğinin model uygulamalarının çoğu iç hava kalitesi, doğal havalandırma gibi parametreleri analiz etmeye yöneliktir. Bunları yapmak ve akış değerlendirmesini gerçekleştirmek sadece enerji analizi yapan hazır kodların kullanımı ile mümkün değildir. Bu bağlamda sayısal akışkanlar dinamiğinin sağladığı avantajlar bu önerilen projede de değerlendirilecektir.

Mekanik havalandırılmalı cephelerin aksine doğal havalandırılmalı cepheler meteorolojik duruma (rüzgâr, sıcaklık farkları vb) bağlı olarak karakterize edilir. Bu değişkenler, hem



cephe tasarımını hem de ısı ve havalandırma performansının tahminini önemli derecede karmaşık hale getirmektedir. Mekanik havalandırma sistemlerinin performanslarının belirlenmesi öngörü dahilindeyken, aynı durum doğal havalandırma sistemleri için geçerli değildir. Çünkü doğal havalandırma performansı meteorolojik durumlara bağlıdır (Loncour, vd. 2004). Doğal havalandırma çift cidarlı cephelerin fan gücüne ihtiyaçları olmamakta fakat mekanik havalandırılmış çift cidarlı cepheler, kullanım yerine bağlı olarak yaz aylarında daha iyi performans sergilemektedirler. Mekanik havalandırma çift cidarlı cephelerin doğal havalandırma çift cidar cephelerden %25 daha fazla ısı yüküne sahip olduğu (Li, 2001)'nin çalışmasında vurgulanmıştır. Bu çalışmada bir çift cidarlı cephenin performansı deneysel olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, tek katlı çift cidarlı bir deney modelinin güney cephesine uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Doğal veya mekanik havalandırma destekli çift cidar modellerin deneysel düzeneklerinde, bu iki sistemin performansı gözlemlenip analiz edilerek yukarıda bahsi geçen orana ulaşılmıştır. Ayrıca pasif sistemlerde, iç cam yüzeyi ile iç hava arasında, aktif sistemlere göre daha yüksek sıcaklık farklarının olduğu görülmüştür. Zerefos (2007) farklı iklimlerdeki ısıtma ve soğutma yüklerini bir çift cidarlı ve tek cidarlı cephe için karşılaştırmıştır. Çalışma ECOTECH simülasyon programında uygulanarak WINDOW ile kombine edilmiştir. Çift cidarlı cephenin doğal havalandırma olduğu ve jaluzinin hava kanalındaki iki cam arasında olduğu farz edilmiştir. Çift cidarlı cephelerin Akdeniz iklim bölgesinde soğutma mevsiminde daha iyi olduğu düşünülmektedir (yıllık %29-%35 kazanç). Bu koşulların aksine, Moskova gibi soğuk karasal iklimin olduğu ve Londra gibi ılıman iklimin görüldüğü yerlerde; çift cidarlı ve tek cidarlı cephelerin performansı arasındaki fark özellikle ısıtma mevsimi sürecinde azalmaktadır. Bu çalışmanın da vurguladığı gibi farklı coğrafyalardaki çift cidar uygulamalarının ısı davranışları farklılıklar göstermektedir.

Çift cidar cephenin bina enerji performansına etkilerinin, enerji analizi yapan çeşitli hazır kodların kullanımıyla araştırıldığı çalışmalar. Bu hesaplamalar için çoğunlukla mevcut çift cidar uygulamalarının olduğu yapılar değerlendirilmiştir.

Gratia vd. (2007) sıcak bir yaz gününde, bir ofis binasında, doğal havalandırmanın nasıl sağlanabileceğini araştırmışlardır. Çalışmada, çift cidarın yönü, rüzgârın hızı ve yönü ile ilişkilendirilerek, gün içerisindeki doğal havalandırma olasılıkları üzerine odaklanılmıştır. TAS adı verilen bir ısı simülasyon programı aracılığı ile analizler yapılmıştır. Çift cidarlı cephe pencerelerinin hangi koşullarda açılması gerektiği ve çeşitli rüzgar koşulları altında saatteki hava değişiminin 4 olduğu bir havalandırma oranı elde etmek için olması gereken yeterli açıklığı belirlemişlerdir. Sun vd. (2008) Çin'deki yüksek orandaki camlı binaların enerji etkinliği için çift cidarın bir çözüm olabilme ihtimalini araştırmışlardır. Bu çalışmada, çift cidarlı

bir ofis odasının ısıtma ve soğutma yüklerinin, tek cidarlı ve geleneksel pencere duvarlı cepheye sahip ofis odası ile Şanghay'daki iklim koşulları için karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarından, ısıtma ve soğutma enerji kazançlarının, yansıtıcı bir çift cidarlı cephenin, uygun havalandırma metodunun seçilmesi şartıyla, elde edilebileceği kaydedilmiştir. Haase vd. (2009)'nin çalışmasında ise bir binanın ısı simülasyonu ve ölçüm verileri karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Çift cidarlı cephedeki boşlukta yüzey sıcaklıklarının, farklı tip jalüzilerin kullanılması ile düşürülebildiği belirtilmiştir. Çift cidarlı cephedeki; boşluk derinliği, güneş kırıcılar, cam tipi, doğal/mekanik havalandırma vb. yapının enerji performansı üzerinde etkili parametrelerdir. Bu parametreler, çift cidarlı cephelerde farklı performanslara yol açmaktadır. Bu bağlamda, çift cidarlı cephelerin enerji etkinliği ile ilgili, özellikle Türkiye metropollerinde, kapsamlı bir çalışma farklı çift cidarlı cephe konfigürasyonları bağlamında gerçekleştirilecektir.

Çift cidar cephe içerisinde kullanılan güneş kırıcıları ve bitkiler gibi farklı uygulamaların özellikle enerji performansına etkilerini inceleyen çalışmalar da ayrı bir kategori olarak değerlendirilebilir.

Gratia vd. (2007) çift cidarlı bir ofis binasında jalüzünün konumunun ve renginin soğutma yükü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ayrıca çift cidarlı cephedeki açıklıkların önemini de vurgulamışlardır. Jalüzünün uygun konumlandırılması, sıcak bir yaz gününde tüm binadaki soğutma tüketiminden %14.1'e kadar kazanç sağlayabilirken; doğru renk seçimi de %3.5 kazanç sağlayabilmektedir. Kapağın açıklık oranı da %7.4 ile %12.6 arasında enerji tüketimini azaltmaktadır. Çift cidar cephe arasına yerleştirilen farklı bitki uygulamalarının enerji performansına etkisi, deneysel ve hazır bir enerji analiz kodunun kullanımı ile Stec vd. (2005)'nin çalışmalarında irdelenmiştir.

2.3 Çift Cidarlı Cephe Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Çift cidarlı cephe sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda, araştırmacıların bu sistemlerle ilgili belirttiği çeşitli avantajlar ve dezavantajlar bulunmaktadır. Bu sistemlerin çalışma prensiplerini anlamak ve mimari tasarımın başlangıç evresinde problem odaklı çözümler üretebilmek için bu sistemlerin avantajlarının ve literatürdeki araştırmalar sonucunda karşılaşılan dezavantajlarının bilinmesi gerekmektedir.

2.3.1 Çift Cidarlı Cephelerin Avantajları

Çalışmada son on yılda literatürde yapılmış olan araştırmalar doğrultusunda, çift cidarlı cephe sistemlerinin avantajları Tablo 3'de ve Şekil 48'de kapsamlı bir şekilde aktarılmıştır.

Tablo 3. Çift cidarlı cephelerin avantajları (2001-2008)

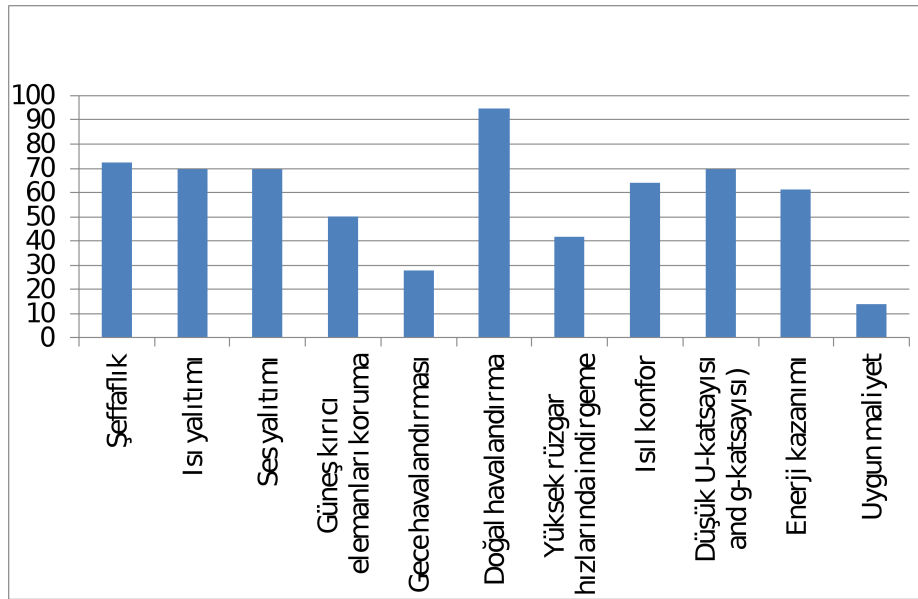
Avantajlar	Oesterle vd.,(2001)	Li,(2001)	Hendriksen vd.,(2002)	Zöllner vd.,(2002)	Saelens vd.,(2003)	Jager (2003)	Loncour vd.,(2005)	Yilmaz ve Çetintaş,,(2005)	Safer, vd.,(2005)	Ding vd.,(2005)	Faggembaum,(2006)	Poizaris,(2006)	Brestfacade (WP5),2007	Gratia and Herde,(2007)	Haase vd.,(2007)	Asdrubali ve Baldinelli (2007)	Gavan vd.,(2007)	Huseggen vd.,(2008)
Şeffaflık	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Isı yalıtımı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ses yalıtımı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Güneş kırıcı elemanları koruma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gece havalandırması	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Doğal havalandırma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yüksek rüzgar hızlarında indirgeme	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Isıl konfor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Düşük U-katsayısı and g-katsayısı)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Enerji kazanımı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Uygun maliyet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tablo 3. Çift cidarlı cephelerin avantajları (2009-2015) (devamı)

Avantajlar	Haase vd.,(2009)	Tanaka vd.,(2009)	Chou vd.,(2009)	Chan vd.,(2009)	Guardo vd.,(2009)	Haase ve Amato,(2009)	Gavan vd.,(2010)	Serra vd.,(2010)	Zhou ve Chen,(2010)	Azarbayjani ve Anderson(2010)	Jiru vd.,(2011)	Annex44,(2011)	Mingotti vd.,(2011)	Zang ve Altan,(2011)	Stameri vd.,(2011)	He vd.,(2012)	Chow.,(2012)	Zhou ve Xue,(2012)	Radhi vd.,(2013)	Stameri vd.,(2013)	Moon vd.,(2014)	Joe vd.,(2014)	Andeković vd.,(2015)	Lopez vd.,(2015)
Şeffaflık	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Isı yalıtımı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ses yalıtımı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Güneş kırıcı elemanları koruma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gece havalandırması	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Doğal havalandırma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yüksek rüzgar hızlarında indirgeme	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Isıl konfor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Düşük U-katsayısı and g-katsayısı)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Enerji kazanımı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Uygun maliyet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Yapılan literatür çalışmasının sonucunda çift cidarlı cephe sistemlerinin en çok vurgulanan başlıca avantajları sırasıyla; doğal havalandırmaya imkan sağlaması, şeffaflık oranı yüksek

olan cephe sayesinde bina ile çevre etkileşiminin artmasına olanak sağlaması, yapının ısı yalıtımını desteklemesi, aşırı gürültülü bölgelerde ses yalıtımına katkı sağlaması, ısı iletim katsayısı ve güneş ısı kazanç katsayısını düşürmesi, iç mekanın ısıl konforunu artırması, enerji tasarrufu sağlaması, güneş kırıcı elemanların hava kanalında tasarlanmasına olanak sağlayarak, güneş kırıcı elemanları rüzgar ve olumsuz hava koşullarından koruması, yapıyı yüksek rüzgar hızlarından ve hava koşullarına karşı koruma sağlaması, ve gece havalandırması yaparak yazın gün içerisinde yapı kütlelerinin depoladığı ısıl enerjinin azaltılmasını sağlaması olduğu tespit edilmiştir (Şekil 48).



Şekil 48. Çift cidarlı cephelerin avantaj yüzdeleri

2.3.2 Çift Cidarlı Cephelerin Dezavantajları

Çift cidarlı cephe sistemlerinin dezavantajlarının bilincinde olmak enerji performansının etkinliği bakımından büyük öneme sahiptir. Bu dezavantajlardan haberdar olmak mimari tasarım evresinde bu sistemleri etkileyen tasarım parametrelerinin algılanmasını ve problem odaklı çözümlerin üretilmesini kolaylaştıracaktır. Son on yılda literatürde yapılmış olan araştırmalar doğrultusunda, çift cidarlı cephe sistemlerinin dezavantajları Tablo 4'de ve Şekil 49'da kapsamlı bir şekilde aktarılmıştır.

Tablo 4. Çift cidarlı cephelerin dezavantajları (2001-2008)

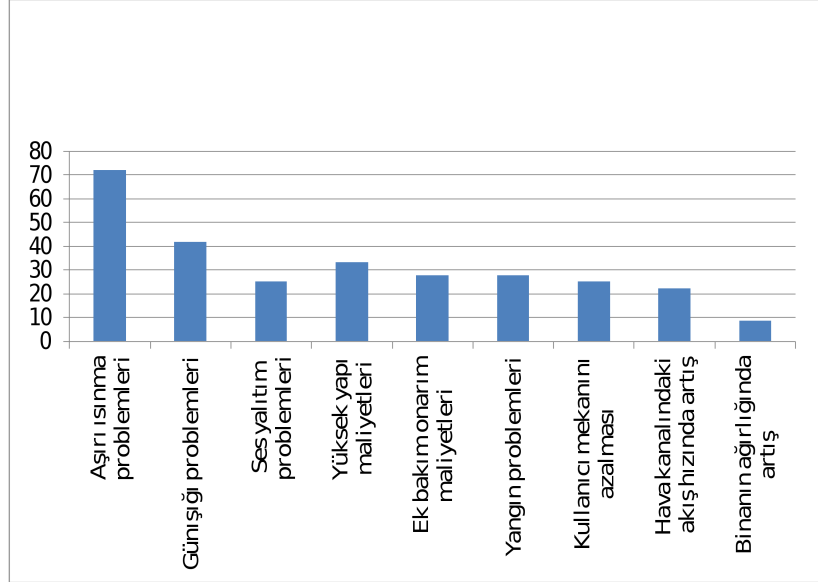
Dezavantajlar	Oosterle vd.,(2001)	Li, (2001)	Hendriksen vd.,(2002)	Zöllner vd., (2002)	Saelens vd., (2003)	Jager (2003)	Loncour vd., (2005)	Yılmaz ve Çetintaş, (2005)	Safer, vd., (2005)	Ding vd. (2005)	Faggembaau (2006)	Poizaris (2006)	Bestfacade (WPS),2007	Gratia and Herde, (2007)	Hase vd. (2007)	Asdrubali ve Baldinelli (2007)	Gavan vd.(2007)	Haseggen vd. (2008)
Aşırı ısınma problemleri	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Güneş problemi	√	-	√	-	-	-	√	-	-	-	-	-	√	√	-	√	-	√
Ses yalıtım problemleri	√	√	√	-	-	√	-	-	-	-	-	-	√	√	√	-	-	-
Yüksek yapı maliyetleri	√	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	√	√	√	√	-	√	√
Ek bakım onarım maliyetleri	√	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	√	√	√	-	-	√	√
Yangın problemleri	√	-	√	-	-	√	√	-	-	-	-	-	√	√	-	-	√	-
Kullanıcı mekanını azalması	√	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	√	√	√	-	√	√	-
Hava kanalındaki akış hızında artış	-	-	√	-	-	-	√	-	-	-	-	-	√	√	-	-	-	-
Binanın ağırlığında artış	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	√	√	-	-	-	-

Tablo 4. Çift cidarlı cephelerin dezavantajları (2009-2015) (devamı)

Avantajlar	Hase vd., (2009)	Tanaka vd., (2009)	Chou vd., (2009)	Chan vd., (2009)	Giardo vd., (2009)	Hase ve Amato, (2009)	Gavan vd., (2010)	Serra vd., (2010)	Zhou ve Chen, (2010)	Azarbayani ve Anderson (2010)	Jiru vd., (2011)	Annex 44, (2011)	Mingotti vd., (2011)	Zang ve Altan, (2011)	Shameri vd., (2011)	He vd., (2012)	Chow, (2012)	Zhou ve Xue, (2012)	Padhi vd., (2013)	Shameri vd., (2013)	Moon vd., (2014)	Joe vd., (2014)	Andekoviç vd., (2015)	Lopez vd., (2015)
Seffaflık	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Isı yalıtımı	√	-	-	√	√	-	√	-	√	-	√	√	√	√	√	√	√	-	√	-	√	√	√	-
Ses yalıtımı	√	-	-	√	√	-	√	-	√	-	√	√	√	√	√	√	√	-	√	-	√	√	√	-
Güneş kırıcı elemanları koruma	√	-	-	-	-	-	-	-	√	-	√	√	√	√	√	√	√	-	√	-	√	√	√	-
Gece havalandırması	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Doğal havalandırma	√	√	-	√	√	-	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	-	-	-	√	√
Yüksek rüzgar hızlarında indirgeme	-	-	-	-	√	-	-	√	-	√	-	√	-	-	-	-	-	-	√	-	√	-	√	√
Isıl konfor	√	-	-	-	√	-	-	√	√	√	-	√	√	√	√	√	√	-	√	-	√	√	-	√
Düşük U-katsayısı and g-katsayısı)	√	√	√	√	√	√	-	√	√	-	√	√	√	√	-	√	-	√	-	√	-	-	-	-
Enerji kazanımı	√	-	√	√	√	-	√	-	√	-	√	√	√	√	-	√	-	√	-	√	-	√	√	√
Uygun maliyet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-

Son on yılda yapılmış olan çalışmaların incelenmesi sonunda çift cidarlı cephe sistemlerinin en çok vurgulanan başlıca dezavantajları sırasıyla; çift cidarlı cephe arasındaki hava kanalında aşırı ısınma problemlerinin oluşabilmesi, yapının dış cam cephelerinden geçip binaya giren gün ışığı miktarını azaltması, yüksek yatırım maliyetlerinin olması, yapıda ekstra

bakım, onarım, işletme ve temizlik maliyetlerine neden olması, yangın dayanımı bakımından olumsuzluklar oluşturabilmesi, akustik sorunlara neden olabilmesi, kullanıcı mekanını azaltması olduğu tespit edilmiştir (Şekil 49).



Şekil 49. Çift cidarlı cephelerin dezavantaj yüzdeleri

Araştırmacıların %95 gibi büyük bir yüzdeyle hemfikir olduğu en büyük avantaj, bu sistemlerin doğal havalandırmaya olanak sağlaması iken; bu sistemlerin en çok vurgulanan dezavantajlarının başında %72 oranla hava kanalındaki aşırı ısınma problemleri gelmektedir. Bu sorun tasarım aşamasında dikkate alınması gereken önemli bir dezavantajdır. Güneş ışınlarının çok fazla geldiği durumlarda özellikle soğutma döneminde hava kanalındaki aşırı ısınmanın önüne geçebilmek için bu boşluk çok iyi havalandırılmalıdır.

2.3.3 Çift Cidarlı Cephe Türlerinin Değerlendirilmesi

Projede çift cidarlı cepheler, kat yüksekliği boyunca ve bina yüksekliği boyunca devam eden cepheler olarak iki ana başlıkta toplanmıştır. Kat yüksekliği boyunca devam eden çift cidarlı cepheler kutu pencereler, şaft-kutu cepheler, koridor cepheler olarak üç ana başlıkta toplanırken, bina yüksekliği boyunca devam eden çift cidarlı cepheler; çok katlı çift cidarlı cepheler ve çok katlı panjurlu çift cidarlı cepheler olarak iki ana başlıkta toplanmıştır. Bu bölümde farklı çift cidarlı cephe türleri; doğal havalandırma performansı, akustik yalıtım, ısı yalıtım, yangın korunumu ve şeffaflık bakımından kapsamlı irdelenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Çift cidarlı cephe türlerinin analizi

ÇCC türleri	Kutu pencereler	Şaft kutu cepheler	Koridor cepheler	Çok katlı çift cidarlı cepheler
Doğal havalandırma	√	√	√	√
	Cephe modülü tek katla sınırlanmış pencerelerden oluşur. Herbir pencerenin kendi hava giriş ve çıkış menfezi aracılığı ile doğal havalandırma yapılır.	Her kat seviyesinde kutu pencerelere bağlanan şafttan oluşur. Kutu pencereden farkı; her bir pencere modülünde alınan hava, hava çıkış menfezinden şaftta aktarılarak, şaftta yükselerek binadan atılır. Baca etkisi ile oluşabilecek problemlerden dolayı şaft içindeki hava akışının kontrolü önemlidir.	Hava boşluğu her kat düzeyinde yatay elemanlarla ayrılmıştır. Her katın kendi hava giriş ve çıkış menfezleri bulunmaktadır. Bu cephelerde herhangi bir kattan tahliye edilen havanın, üst katın menfezinden içeri alınmasına dikkat edilmelidir. Menfezlerin diyagonal tasarımları bir çözüm olabilir.	Bina yüksekliği boyunca dış cam cephe yüzeyinde tek bir hava giriş ve hava çıkış menfezi bulunmaktadır.
Akustik yalıtım	√	√	√/-	√/-
	Dış ortamın fiziksel koşullarından kaynaklı gürültüyü önler. Ayrıca bitişik mekanlar arasındaki ses yalıtımını sağlamada da etkindir.	Bu cephenin az katlı yapılarda ve gürültünün çok olduğu alanlarda kullanımı avantajlıdır.	Aynı katta yanyana dizilmiş olan odalar arasında ses yalıtım problemleri oluşabilmektedir.	Yapıyı dış ortamdan kaynaklı gürültüden yalıtırken, bina yüksekliği boyunca yekpare devam eden hava boşluğu binanın katları arasında gürültü kirliliği yaratabilir.
Isıl yalıtım	√	√	√	√
	Çift cidarlı cephe hava kanalında yapılan havalandırma ile yazın güneş ısı kazanımları azaltılabilmekte; kışın ise binaya entegre edilmiş bu ikincil cephenin ısı iletim direncini düşürmesi ile binanın ısı yalıtımına katkı sağlanabilmektedir. Ayrıca çift cidarlı cephe boşluğunda veya dışında kullanılan güneş kırıcı elemanlar ısı yalıtımına katkı sağlamaktadır. Fakat yazın güneş ışınımının etkisi ile bu elemanlarda oluşabilecek aşırı ısınmanın iç mekan ısı konforu önlemesine engel olunmalı özellikle güneş kırıcı elemanının kanal içinde konumlandırıldığı çift cidarlı cephelerde elemanlar üzerindeki güneş kazanımı doğru hava akış modu ile tahliye edilmelidir. Çift cidarlı cephe sisteminin, cepheleri arasında kalan boşluktaki hava akış modlarından tampon bölge ve iç hava perdesi akış modları özellikle kışın kullanılırken, dış hava perdesi yazın tercih edilen bir hava akış modudur. Bu akış modları ile hava boşluğunda yazın aşırı ısınma problemi yada kışın dış ortamdaki olumsuz soğuk hava koşulları giderilerek kullanıcının mekan içindeki termal konforu artırılabilir. Dış ortamla çift cidarlı cephe hava boşluğu arasındaki sıcaklık farkı sistemin çalışması için önemlidir. Özellikle sıcak iklim bölgesindeki yerlerde güneş kazanımları kontrol altında tutulmalıdır. Çift cidarın iç cephesindeki yüzey sıcaklığı ile iç mekan sıcaklığı kullanıcı konforunu sağlayacak şekilde birbirine yakın değerlerde tutulmalıdır.			
Yangın korunumu	√	√	√/-	-
	Düşük risk faktörü taşır. Katlar ve katlardaki mekanlar birbirinden bağımsızdır.	Düşük risk faktörü taşır. Katlar havalandırma şaftıyla sadece birbirine bağlıdır.	Orta risk faktörü taşır. Her kat koridorunda birbirine bağlı olan mekanlar yangın riskini artırır.	Yüksek risk faktörü taşır. Hava boşluğu bina yüksekliği boyunca devam ettiği için olası bir yangında binanın tüm katları etkilenebilir.
Şeffaflık	√	√	√	√
	Bina cephesindeki şeffaflık oranının yüksek olması mimaride hep istenen bir tasarım öğesidir. Çift cidarlı cephe türleri de cephede sağladığı geniş cam oranı ile kullanıcı ile dış mekan arasındaki etkileşimi desteklemiştir. Şeffaflık oranının yüksek olması aydınlık düzeyini artırırken öte yandan kamaşma problemleri yaratabilmektedir.			

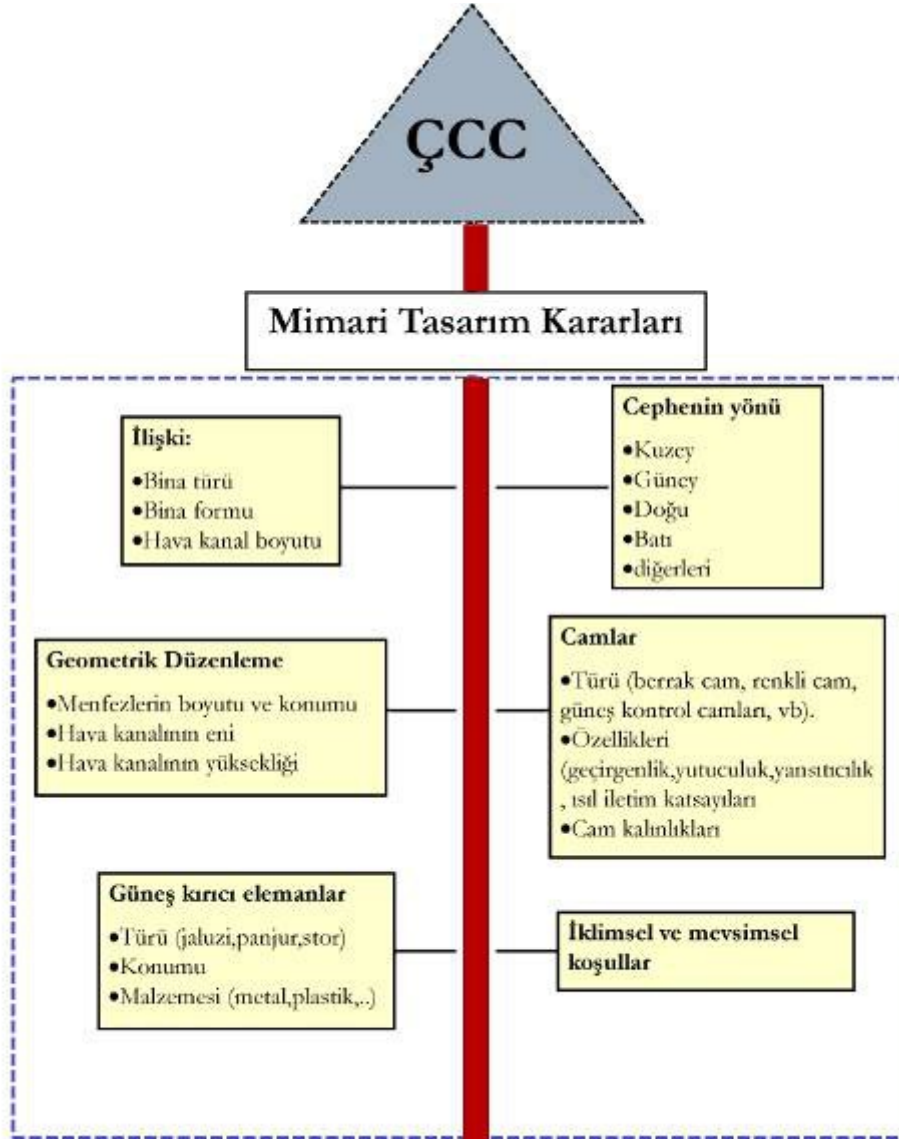


Yapılan analiz sonucunda; bu sistemlerin baz alınan değerlendirme ölçütleri bakımından olumlu ve olumsuz yanlarının olduğu görülmüştür. Tüm çift cidarlı cephe türleri doğal havalandırmaya olanak sağlarken, doğru tasarlanmayan hava akış modunun kanalda aşırı ısınma problemine neden olabileceği aşıkardır. Kutu ve şaft-kutu pencereler akustik yalıtım bakımından olumlu davranış sergilerken; koridor cephelerde aynı katta mekanlar arası gürültü kirliliği oluşmaktadır. Bina yüksekliği boyunca devam eden çift cidarlı cepheler dış ortamın gürültüsüne karşı yapıyı gürültüden yalıtırken, binanın katları arasında oluşabilecek gürültü kirlilikleri kullanıcı konforunu tehdit edebilmektedir. Yangın konusunda da bu cephe türü en olumsuz davranış sergilemekte, yüksek yangın risk faktörü taşımaktadır. Herhangi bir katta çıkan yangın, tüm yapıya ulaşabilme potansiyeline sahiptir (Tablo 5).

2.4 Çift Cidarlı Cephelerde Etkili Tasarım Kararları

Çift cidarlı cephelerin enerji performansı üzerinde aktif rol oynayan birçok parametre bulunmaktadır. Problem odaklı çözümler üretebilmek için bu parametrelerin bilinmesi önem teşkil etmektedir. Mimari tasarımın ilk evrelerinden itibaren bu enerji etkin tasarım kararlarının seçiminde dikkatli olunmalıdır. Bu tasarım kararları da ısı, güneş ışığı, ses, rüzgar, yangın, estetik vb. gibi birçok tasarım etmenine bağlıdır. Bu etmenlere bağlı olarak çift cidarlı cephelerin enerji performansını desteklemek için mimari tasarımın ilk evrelerinde verilmesi gereken bazı tasarım kararları bulunmaktadır (Şekil 50).

Çift cidarlı cephelerdeki enerji etkinliğinde rol oynayan bu tasarım kararları kontrollü ortamda kurulmuş olan bir deney düzeneğinden elde edilen ölçümler ve detaylı simulasyonlarla tüm faktörlerin aynı anda düşünülmesi gereken komplike bir işlemdir. Bu mimari tasarım kararlarının alınmasında, kavitedeki hava akışı, hava sıcaklıkları ve cam yüzeyindeki sıcaklıkların ölçümleri ile enerji etkinliğinde rol oynayan belirleyici tasarım faktörlerinin farklı kombinasyonları ile oluşturulan çift cidarlı cephe varyasyonlarının detaylı araştırılması gerekmektedir.



Şekil 50. Çift cidarlı cephelerdeki etkin tasarım kararları

2.4.1 Çift Cidarlı Cephe Bina Geometrisi Ve Yönlenme Faktörü

Çift cidarlı cephe sistemleri komplike bir yapıya sahiptir. Çünkü tasarım sürecini, çift cidarlı cephe sistemlerinin geometrik, termofiziksel, ışıksal ve aerodinamik özellikler gibi çeşitli bileşenlerinin özellikleri belirler. Binanın geometrisi başlı başına önemli bir etkendir (Hensen vd., 2002). Mimari tasarım kararları binaların performansında belirleyici bir role sahiptir.

Binanın yönlenmesinde düşünülmesi gereken temel faktör binanın ısıtma döneminde maksimum düzeyde faydalanabilecek şekilde konumlanması, soğutma döneminde ise aşırı ısınma gibi binanın termal konforunu, enerji tüketimini olumsuz yönde etkileyebilecek durumlardan maksimum düzeyde korunabilecek şekilde yönlenmesini sağlamaktır. Biçimlendirmede ise güneş ışınımının geldiği yön dikkate alınmalı ve geniş olan cephe en uygun yöne bakacak şekilde düzenlenmelidir (Oesterle ve Lieb, 2001).



Çift cidarlı cephenin yönlenmesinin yıllık soğutma yükleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Güney, güneydoğu ve güneybatı yönlerinin en etkili yönler olduğunu belirten çalışmalar bulunmaktadır (Haase vd., 2009; Chan vd, 2009). Öte yandan doğu yönüne uygulanan çift cidarlı cephe sistemlerinin klasik tek cam cepheli sistemlere göre ısıtma enerjisi gereksinimlerini yaklaşık %16 oranında düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca soğutma enerjisi gereksinimlerinin de artmadığı bulunmuştur (Høseggen vd.,2008). Wong vd. (2008), binanın doğu ve batı yönlerine yerleştirilen çift cidarlı cephe sistemlerinin, binayı güneş ışınımından koruyarak ve doğal havalandırma ile ısıyı hava kanalından uzaklaştırarak soğutma enerjisi gereksinimlerini arttırmadığını belirtmiştir. Gratia ve Herde (2007) yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephede, iki cephe arasında kalan boşlukta oluşan hava sıcaklıklarını incelemiş ve çift cidarlı cephenin güneye yönlendirildiğinde sera etkisinin oluştuğunu ve diğer yönlerde ise bu etkinin görülmediğini belirtmiştir. Bu durum tüm dünyada olduğu gibi özellikle kuzey yarım kürede de geçerli bir durumdur. Bu iki cephe arasındaki boşlukta oluşabilecek aşırı ısınma problemleri çift enerji performansını kötü yönde etkileyebileceği için özellikle kuzey yarım kürede bu cephe sistemlerinin dikkatli tasarımı büyük önem teşkil etmektedir.

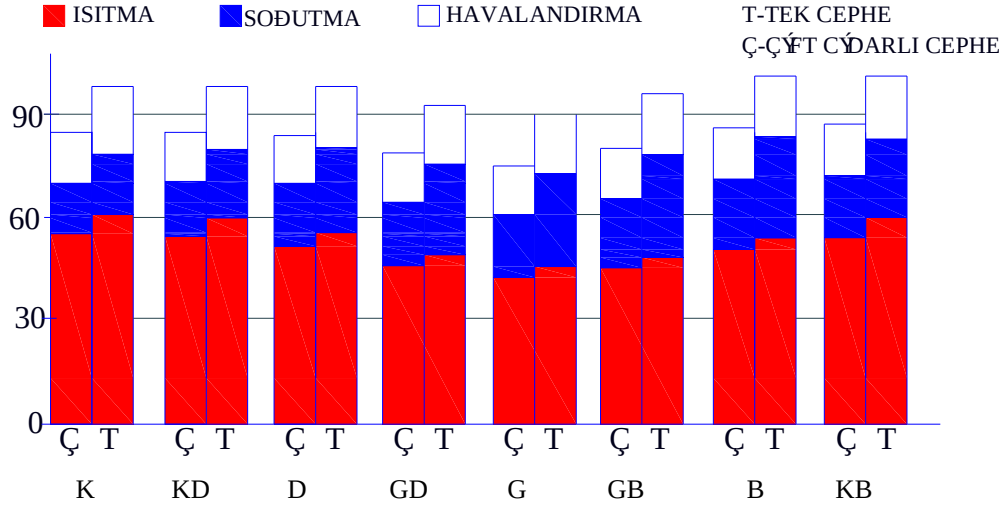
Bina yüksekliğinin havalandırma stratejilerinde ve hava kanalı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır (Loncour vd., 2004). Binanın bulunduğu dış ortam koşulları da tasarımı etkiler. Örneğin bir bina trafik yoğunluğuna sahip bir yerde olsa akustik önlemler göz önüne tasarım evresinde mutlaka alınmalıdır. Diğer yandan kırsal alanda bu önemli bir sorun teşkil etmez.

Uygun bir cephe tasarımı ile yazın ısı kazançlarında maksimum %40 gibi bir indirgeme görülürken, kışın ise %80 ısı kazanımı sağlarlar. Bu da çift cidarlı cephelerin enerji performansının, kış döneminde yaz dönemine göre iki kat daha iyi olduğunu gösterir (Hamdan, 1994).

Kim ve Song (2007) çift cidarlı cephelerin ısıtma enerji kazanımında, cephenin yön faktörünün ve doğal havalandırmanın bu kazanıma olan etkilerini araştırmışlardır. 3 katlı bir binanın doğu ve batı cephelerine çift cidarlı cepheler uygulanmış ve kış mevsimi için ölçümler ve simulasyonlar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda batı cephesinde doğal havalandırma ile boşluktan binanın içine hava beslemesi yapıldığında enerji kazanımı sağlandığı görülmüştür. Doğru cephesinin ise düşük güneş ışınımına maruz kalmasından dolayı doğal havalandırma yoluyla enerji kazanımına katkı sağlanmadığı görülmüştür.

David Stribling ile Byron Stigge (2003), Londra'daki bazı çift cidarlı cepheli binalarda cephenin 8 farklı yöne göre ısıtma, soğutma ve havalandırma (işletim giderleri) için olan

enerji tüketimlerini karşılaştırdığında çift cidarlı cepheli sistemlerinin enerji tüketimlerinin klasik tek cepheli sistemlerden daha az olduğu görülmüştür (Şekil 51). Ayrıca yönlere bakıldığında güney, güneydoğu ve güneybatı yönlerinin daha avantajlı yönler olduğu görülür.



Şekil 51. Çift ve tek cidarlı cephenin yönlere göre enerji tüketimleri (Stribling ve Stigge, 2003)

Bu cephe sistemleri enerji etkinlik ve termal konfor bakımından diğer cephelere nazaran daha iyi performans göstermektedirler. Fakat yine de opak cephelerle yarışamazlar. Çift cidarlı cephe sistemlerinde soğutma döneminde gözlenen aşırı ısınma problemleri ile ilgili olarak önlemler alınması gerekmektedir (Perino vd., 2006).

2.4.2 Gün Işığı ve Cam

Çift cidarlı cephelerin enerji kazanımı ile ilgili yararları dışında önemli özelliklerinden biri de doğal ışıktan yararlanabilme olanağıdır. Aydınlatma için gerekli olan enerji miktarlarından kazanç sağlarlar (Gratia, ve Herde, 2007). Öte yandan Hoseggen vd. (2008) ise çift cidarlı cephe sistemlerinin, ilave cepheden dolayı mekan içinde günışığı aydınlık düzeylerini düşürdüğünü belirtmiştir.

Çift cephe sistemleri iç mekanın görsel konforuna katkı sağlar. Fakat, gün ışığının temel gereksinimi sadece doğal ışığın miktarını maksimum düzeye getirmek değil, aynı zamanda mekana alınan ışığın kalitesini arttırmaktır (Asdrubalı, ve Baldinelli, 2007). Bu durum göz önüne alındığında, iç mekana alınan ışığın parlaklık düzeyinin konfor koşullarını bozmaması gerekir (Çetiner, 2002). Tasarımcılar cam seçerken camın sadece güneş ışığına ilişkin, fiziksel ve termofiziksel özelliklerini düşünerek değil, aynı zamanda güneş ışığının etkisi altındaki malzemenin iç mekana verdiği ısı miktarını göz önünde bulundurması gerekmektedir (Eşsiz, 2004).

Tek klasik cephelerle çift cidarlı cephe sistemleri karşılaştırıldığında; gün ışığının bina içine alınması ek cam cepheden dolayı çift cidarlı cephelerde daha az orandadır. Eğer eklenen dış cam cephe tek camdan oluşuyorsa azalma en az %10 oranındadır. Saydamlığı yüksek bir camsa azalma yaklaşık %7-8 oranındadır (Oesterle, 2001). Ayrıca iki cephe arasındaki boşluğa yerleştirilen güneş kırıcı elemanlar oda içindeki ışık düzeyini azaltabilir (Haase vd., 2009).

Çift cidarlı cephe sistemleri güneş ışığından ısı kazanımını düşürmeye olanak sağlayabilir. Bina kabuğundaki ısı kazanımı binanın saydam bileşenleri olan cam yüzeylerinden ısının geçişi ile olur (Chan vd., 2009). Çift cidarlı cephelerdeki uygun cam seçimleri ile soğutma yükleri önemli derecede düşürülebilir (Singh vd., 2008). Türkiye’de üretilen ve kullanılan camların başlıcaları; berrak camlar, renklendirilmiş camlar, yansıtıcı camlar, güneş kontrol camları, low-E camlar, temperlenmiş camlar ve enerji üreten fotovoltaik camlardır (Şekil 52).



Şekil 52. İç ve dış cidarda güneş kontrol camları (Poirazis, 2006)

Çift cidarlı cephelerde dış cephe genelde tek camdan oluşurken iç cephe çift camlıdır. Camdaki yansımalarından dolayı oluşabilecek ışığın istenmeyen etkilerini azaltmak için dış cephe genelde renksiz şeffaf temperli veya lamine tek camdan oluşur (Zhou ve Xue, 2012). İçteki cephede ise genellikle low-E cam türleri kullanılır. Bu cam düzenlemelerinin aksine bazı çalışmalarda içteki cephede tek cam kullanılırken dıştaki cephede çift cam kullanılmıştır (Jiru vd., 2011; Chan vd., 2009; Park vd., 2004). Hatta bu düzenlemenin binanın soğutma enerji yüklerini düşürdüğü de görülmüştür. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada iç cepheye tek berrak cam, dışarıdaki cepheye ise çift yansıtıcı cam yerleştirmişlerdir. Bunu klasik tek emici camlı cephe ile karşılaştırdıklarında çift cidalı cephenin binanın soğutma enerji

gereksinimlerini %26 azalttığını bulmuşlardır (Chan vd., 2009). Haase vd. (2009) güney cephesine yerleştirilmiş bir çift cidarlı içinyaptıkları çalışmada pencere-duvar oranının da soğutma yüküne olan önemli katkısına değinmişler ve iç cepheye yerleştirdikleri berrak camlar soğutma yükü bakımından en yüksek değerleri aldığını göstermişlerdir. Yansıtıcı camlarla güneş camları arasında benzer özellikler görülmüştür.

Poizaris ve Rosenfeld (2003) çift cidarlı cephede kullanılan çift ve tek camdan oluşan bir çift cidarlı cephede, kavitideki hava akışı, farklı yüksekliklerdeki sıcaklık değerleri gibi ölçümleri 4 farklı örnekte farklı cam tipi kombinasyonlarını kullanarak incelemişlerdir (Tablo 6).

Tablo 6. Çift cidarlı cephede kullanılmış cam örnekleri (Poizaris ve Rosenfeld, 2003)

örnek	1	2	3	4
dış cam	8 mm renksiz düz cam	8 mm renksiz düz cam	8 mm renksiz düz cam	6mm güneş kontrol camı
orta cam	8 mm renksiz düz cam	4 mm renksiz düz cam	6 mm güneş kontrol camı	4mm renksiz düz cam
iç cam	8 mm renksiz düz cam	4 mm low-e cam	4 mm renksiz düz cam	4 mm low-e cam

Tablo 6'da, örnek 1'deki çift cidarlı cam cephe kombinasyonu en yüksek U değerini göstermiştir. 3. örnek'te 1.'dekine nispeten daha az U değeri görülmüştür. Örnek 2 ve 4 hemen hemen aynı U değerine sahiptir ve bu U değeri örnek 1 ve örnek 3'tekine göre düşüktür. Bu U değerleri örnek 2 ve 4 ile kıyaslandığında, örnek 1'de ortalama %39.6, örnek 3'de ise %34.3 kadar daha fazladır. Örnek 1 ve örnek 3 'te ısı kayıpları (Q_{loss} örnek 2 ve 4 'ten fazla olduğu görülmüştür (Poizaris ve Rosenfeld, 2003).

2.4.3 Güneş Kırıcı Elemanlar

Güneş kırıcı elemanlar, güneşten gelen ışınlar karşı binayı aşırı ısınmadan koruyan, özellikle yaz döneminde yapının dış kabuğundan bina içine geçmesi istenmeyen güneş ışınlarını yansıtarak veya bir kısmını absorbe ederek binadan uzaklaştıran elemanlardır. Binanın soğutma yüküne olumlu yönde etki etmektedirler. Genel olarak panjur, jaluzi ve stor olarak üç çeşit güneş kırıcı eleman kullanılmaktadır. Bunlar boşluğun iç yüzeyinde, dış yüzeyinde veya ortasında kullanılabilir. Jaluziler genellikle içteki cephenin dış veya iç yüzeyine konumlandırılır. Binanın kullanım ömrü boyunca bakım ve onarımının daha rahat olabilmesi için genellikle bu elemanlar iç ya da dış cepheye daha yakın konumlandırılırlar (Özler, 2003).

Bazı tasarımcılara göre güneş kırıcı elemanların cephenin dışına konumlandırılması bakım ve estetik kaygılar yönünden olumsuzdur. Güneş kırıcı elemanların iç cepheye yerleştirilmesi, güneş enerjisi kazanımlarının kontrolü bakımından etkili bir çözüm olarak görülmemektedir (Loncour, 2004). Bu elemanların iki cephe arasındaki boşluğa yerleştirilmesi durumunda absorbe edilmiş güneş enerjisi ısı kazanımlarının uzaklaştırılmasında zorluklar oluşabilmektedir (Saelens vd., 2003). Bu görüşün aksine Haase (2008) güneş kırıcı elemanların dış cepheye veya boşluğun ortasına yerleştirilmesinin güneş enerjisinden olan ısı kazanımlarını azalttığını belirtmiştir.

Güneş kırıcı elemanlar ile dış cephe arasındaki mesafe, çift cidarlı cephe arasındaki boşluk içindeki hava hız profilleri bakımından önemli bir etkiye sahiptir (Safer vd., 2005). Güneş kırıcı elemanların konumu çift cidarlı cephenin ısı performansını üzerinde belirleyici role sahiptir. Eğer güneş kırıcı elemanlar dış cepheye daha yakın konumda yerleştirilirse, bu durum doğal havalandırmaya katkıda bulunur ve iki cephe arasındaki boşlukta oluşabilecek aşırı ısınma problemlerini azaltır. Güneş kırıcı elemanlar en az dış cepheden 150 mm mesafe bulunacak şekilde boşluğun dış cephe yönünde ilk 1/3'lük kısmına yerleştirilmelidir (Oesterle, 2001).

Güneş kırıcı elemanların rengi ve açısı çift cidarlı cephelerin performansını belirleyen diğer önemli parametrelerdir. Siyah renkli güneş kırıcı elemanlar boşlukta aşırı ısınmaya neden olur. Beyaz renkli olanlar boşluktaki sıcaklığı düşürür ve aşırı ısınma sorununu azaltmaya katkı sağlar (Haase, 2008). Gavan vd. (2010) yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephe içerisindeki sıcaklık profillerini bir deney düzeneği aracılığıyla incelemişlerdir. Çalışmaların sonucunda hava boşluğu içerisindeki sıcaklığın ve cephelerdeki yüzey sıcaklığının güneş kırıcı elemanların açısına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Güneş kırıcı elemanlar tamamen kapalı olduğu durumda, elemanların açık olduğu duruma göre güneş kırıcı elemanın dış cepheye bakan hava boşluğunda ve güneş kırıcı elemanlarda aşırı yüksek sıcaklıklar görülmüştür. Bir başka çalışmada ise hava boşluğunda iç cam cepheye daha yakın yerleştirilen güneş kırıcı elemanların yazın olan ısı kazanımını %40 oranında azalttığı görülmüştür (Yuan, 2007). Bu da çift cam cephe arasındaki hava boşluğunda gözlenebilecek aşırı ısınma problemlerine doğal havalandırmanın olumlu etkileri olduğunu göstermektedir.

Güneş kırıcı elemanlarla ilgili bir diğer önemli konuda malzeme seçimidir. Güneş kırıcı elemanların yüzeyleri güneş ışınımından dolayı yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Güneş kırıcı elemanların yüzey sıcaklıklarını azaltmak için alüminyum profiller yerine fotovoltaik paneller kullanılabilir. Bu çift cidarlı cephenin enerji performansına katkı sağlar

(Infield vd., 2004). Stec vd. (2005) yaptıkları çalışmada bitkileri güneş kırıcı olarak kullanmışlar ve iki cephe arasında kalan boşluk sıcaklığında ve binanın soğutma enerji gereksinimlerinde azalma sağlamışlardır.

2.4.4 İklimsel ve Mevsimsel Durumlar

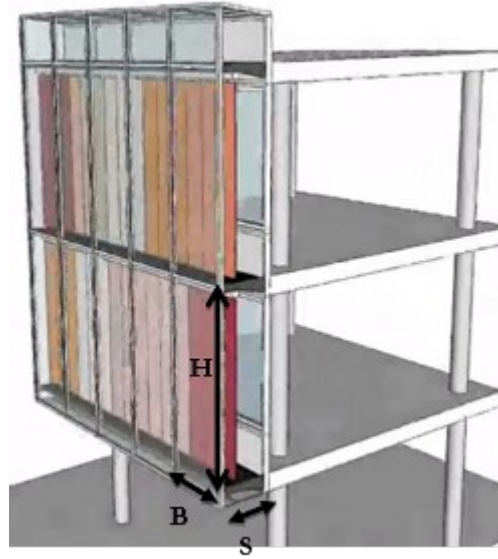
Çift cidarlı cephelerin her iklim koşulundaki bölgelerde inşa edilebilmesi için tasarımının dikkatli yapılması gereklidir. Fakat bu cephe sistemlerinin her binada ve her konumda en iyi seçim olmadığını belirten çalışmalar da bulunmaktadır (Pasquay, 2004). Her binanın birbirinden bağımsız düşünülmesi gerektiği durumu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde ise çift cidarlı cephe sistemleri ile ilgili yapılan araştırmalar sadece soğuk iklim bölgeleri için değil; sıcak-nemli, sıcak-kuru, ılıman-nemli gibi diğer iklim bölgeleri içinde yapılmaktadır.

Mimari tasarım kararları çift cidarlı cephenin enerji performansını belirlemede büyük önem arz etmektedir. Özellikle yaz mevsiminde sıcak nemli iklimlerde soğutma yüklerini azaltmak çok önemlidir. Bu da ancak çift cidarlı cephenin enerji etkinliğini sağlayacak tasarımlarla olmaktadır (Haase vd., 2009). Çift cidarlı cephe sistemleri sert kış mevsim koşullarının olduğu soğuk iklim bölgelerinde binayı dış ortam koşullarından yalıtarak ısıtma için olan enerji tüketimlerini azaltırlar (Park vd., 2004). Yılmaz ve Çetintaş (2005) yaptıkları çalışmada tek klasik cepheler ile çift cidarlı cepheleri karşılaştırmış ve çift cidarlı cephenin kış mevsiminde binanın ısıtma enerji gereksinimini azalttığını belirtmiştir. Saelens vd. (2003) yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephe sistemlerinin İstanbul için kış mevsiminde binanın enerji performansını olumlu yönde etkilediğini; yaz mevsiminde ise kullanışlı olmadığını vurgulamıştır. Bu çalışmanın aksine, Asdrubalı ve Baldinelli (2007) çift cidarlı cephe sistemleri ile hem kış hem de yaz mevsiminde enerji kazanımı sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Kış mevsiminde %28'lere kadar bir ısıtma enerjisinden kazanç söz konusu olabilirken; yaz mevsiminde ise soğutma yüklerinde %14 civarında bir indirgemenin olabildiğini yaptıkları çalışmalar sonucunda gözlemlemişlerdir. Çift cidarlı bir cephenin enerji performansı ısıtma kazanç ve kayıplarına bağlı olmakla birlikte bunların haricinde de önemli faktörler bulunmaktadır. Cephe yüzeyleri arasında kalan havadaki entalpi değişimi ve tüm binanın enerji analizi çift cidarlı cephenin enerji performansını belirleme bakımından önemlidir (Saelens vd., 2008).

2.4.5 Hava Kanalının Boyutu

Çift cidarlı cephede, iki cephe arasında kalan boşluğun boyutu birçok parametreye bağlı olarak genelde 20 cm ile 200 cm arasında değişebilmektedir. Bunlardan bazıları, estetik faktörler, güneş kırıcı eleman türleri, temizlik/bakım gibi ihtiyaçlar ve havalandırma stratejileridir.

Havalandırma ve çift cidarlı cephe içindeki sıcaklık üzerinde iki cephe arasında kalan boşluğun boyutunun önemli etkileri bulunmaktadır (Balocco, 2002). Boşluğun eni daraldıkça boşlukta önemli basınç kayıpları oluşmaktadır. Bu durum boşluktaki hava akışının cephenin boyutu ve formu ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Zöllner vd. (2002) yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephedeki kanal boyutunun eninin 0.3-1.5 m arasında değişebileceğini belirtmiştir. Ayrıca tipik kat yüksekliği 4 m olarak kabul ederek boyutsuz oranlar belirlemiştir. Kat yüksekliği (H) ile iki cephe arasında kalan boşluğun eni (S) arasında ilişki kurularak $3 < H/S < 15$ aralığında olan bir boyutsuz aralık belirlenmiştir. Boşluğun bölümlere ayrımı ile bu bölüm boyutları (B) ile boşluğun eni arasında $0.5 < B/S < 500$ aralığında olan boyutsuz bir oran belirlenmiştir (Şekil 53).



Şekil 53. Hava kanal boyut örneği (Nikolaus, 2007)

Yuan vd. (2007), çift cidarlı cephenin enerji performansına katkısını arttırmak için eğer boşluğun eni 1 m'den küçükse bunun arttırılması gerektiğini ya da havalandırılan yüksekliğin azaltılması gerektiğini belirtmişlerdir. Diğer yandan yangın faktörü göz önüne alındığında bazı deneysel incelemeler sonucunda boşluğun eninin önemli bir faktör olduğu gözlenmiştir (Chow ve Hung, 2006). Boşluğun yatayda bölümlere ayrılması kadar boşluğun eni de binanın yangın güvenliği bakımından önem teşkil etmektedir.

2.4.6 Çift Cidarlı Cephe ve Menfez Boyutları

Binanın dışında bulunan ikincil cephe, dışardan gelen gürültüye karşı sesi sönümleyici bir perde görevi görür. Dış cephede bırakılan boşluklar bu duruma önemli derecede etki eder. Dış cephede düzenlenen doğal havalandırmaya katkı sağlayan menfezler, diğer yandan binanın ses yalıtımını olumsuz etkileyebilir. Bu durumlar göz önüne alınarak, binanın

bulunduğu yerin gereksinimine göre dış cephenin ses yalıtımı sağlanmalıdır. Dış cephede sağlanan bu ses yalıtımı sayesinde içteki cephede bulunan pencereler dış ortamın gürültüsüne maruz kalınmadan açılabilir (Oesterle, 2001). Cam cephenin sağlaması gereken ses yalıtımı bölgenin gürültü durumuna ve binanın kullanımına göre değişebilmektedir. Gerekli ses yalıtımı camın kalınlığının artırılması yada çift camın kullanılması ile sağlanmaktadır (Ünal, 2006).

Binanın ana cephesinin önüne yerleştirilen hava giriş çıkış açıklıkları olan cam cephe basınç dalgalanmalarını azaltır ve 10 m/s rüzgar hızlarına kadar dış cephedeki açıklıklar yoluyla doğal havalandırmaya olanak sağlar (Zöllner vd., 2002). Mingotti vd. (2011) cephe yüksekliği ve menfez boyutlarına ilişkin yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephenin her bir akış moduna göre optimize edilebileceği sonucuna varmıştır. Deneysel çalışmalar ve sayısal model analizleri sonucunda; küçük menfezlerin kış mevsiminde ısı kayıplarını azaltması bakımından etkili olduğu, öte yandan geniş menfezlerin özellikle yaz döneminde oluşabilecek aşırı ısınma problemlerini gidermede etkili olacağını tespit etmişlerdir. Ayrıca çift cidarlı cephenin alt kısmına yaz mevsiminde faaliyette bulunması şartı ile hava giriş menfezleri ilave edilebilir.

Hava giriş ve çıkış menfezlerinin boyutları ve cephedeki konumları çift cidarlı cephenin enerji performansını ciddi oranda etkilemektedir (Oesterle, 2001). Zhou ve Xue (2012) yaptıkları çalışmada 2 hava giriş menfezi ve 3 hava çıkış menfezi olan cephenin 3 hava giriş menfezi ve 2 hava çıkış menfezi olan cepheye göre daha iyi enerji performansı sergilediği sonucuna varmışlardır. 2 hava giriş menfezi bulunan modelde ters akış alanı daha fazladır. Her iki tarafta da olan ters akış bölgesi iç mekanın ısıtımını azaltmaya yardımcı olur. Böylece enerji kazanımına katkı sağlanmış olur. Menfez boyutları genişledikçe havalandırma hızı artmasına rağmen bu durum üst katlarda oluşan basınç farklılıkları bakımından elverişsizdir. Üst katlarda uygun bir havalandırma sağlamak için açıklıklar 2 m²'den az olmamalıdır (Ding vd., 2005). Compagno (2002) yaptığı çalışma sonucunda hava giriş-çıkış menfezlerinin cephedeki konumları, bina cephesindeki rüzgar basınç durumlarına ve açıklıkların baca etkilerine bağlı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca iki boşluk arasındaki hava akışını belirlemede en önemli etkenin hava giriş ve çıkış menfezleri arasındaki basınç farkı olduğunu vurgulamışlardır.

Mevsimsel ve iklimsel koşullara göre ayarlanabilir hava menfezleri daha işlevseldir. Yazın iki cephe arasında kalan boşluk mümkün olduğunca havalandırılmalıdır. Bu durum ısı geçişleri ile olan kazanımı azaltır ve dolayısıyla soğutma yüklerini düşürür. Eğer cephelerin arasındaki bu boşlukta havalandırma olmazsa soğutma yükleri artar (Saelens vd., 2003).

Genel olarak özetlenecek olursa:

- 1990'lı yıllardan günümüze kadar uzanan süreçte çift cidarlı cephe sistemleri giderek artan bir ivme ile farklı disiplinler tarafından birçok çalışmaya konu olmuştur ve olmaya da devam etmektedir. Bu bakımdan, özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika'da enerji etkin yapı kabuğu olarak önerilen çift cidarlı cephe sistemlerinin ülkemizin iklim koşulları göz önünde bulundurularak, enerji etkinliği sorgulaması gereken önemli bir konudur.
- Çift cidarlı cephe sistemlerinin enerji performansı üzerinde belirleyici rol oynayan ve tasarımın başlangıç aşamasında mutlaka dikkate alınması gereken mimari tasarım kararları büyük önem teşkil etmektedir (çift cidarlı cephenin geometrik konfigürasyonu, cephenin yönü, cephede kullanılan cam türleri, iki cephe arasında kullanılan hava kanalının boyutu, hava kanalı içindeki akış mod türleri, menfezlerin cephedeki konumu ve boyutları vb) (Şekil 50)
- Bina geometrisinin tasarımı ve bu geometriye göre şekillenen çift cidarlı cephe sistemi başlı başına enerji performansını etkileyen önemli bir mimari tasarım kararıdır. Bina geometrisi ve çift cidarlı cephe etkileşimi belirlenen mimari tasarım faktörleri (Şekil 50) ile varyasyonları geliştirilerek analiz edilmelidir.
- Son on yılda çift cidarlı cephe sistemleri ile yapılan tüm çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların bu sistemler hakkında hemfikir oldukları ortak avantaj doğal havalandırmaya olanak sağlamasıdır. Araştırmacıların büyük bir yüzde ile kabul gördükleri dezavantaj ise çift cidarlı cephe arasında oluşan aşırı ısınma probleminin mekanın ısıl konforunu olumsuz etkilemesidir (İnan ve Başaran, 2012).
- Çift cidarlı cephe yüzeylerinde uygun cam seçimi ve güneş kırıcı elemanların bu iki cephe arasında kalan hava kanalına yerleştirilmesi ile bu elemanların enerji etkinliği üzerinde olan belirleyici rolünün dışında, dış ortamın olumsuz iklim koşullarından korunması da sağlanabilmektedir. Ayrıca literatürde yapılan araştırmalarda, güneş kırıcı elemanların çift cidarlı cephede bulunan hava kanalında uygun şekilde konumlandırılması durumunda, araştırmacıların çoğunluğunun en büyük dezavantaj olarak kabul ettikleri aşırı ısınma probleminin önüne geçilebileceği görülmektedir.
- Çift cidarlı cephe arasında bulunan hava kanalı tampon bir bölge görevindedir. Isıtma döneminde istenmeyen ısı kayıplarını önlemektedir. Soğutma döneminde ise cephede konumlandırılan hava menfezleri ile doğal havalandırmaya olanak sağlayarak istenmeyen ısı kazançlarını dışarıya tahliye edebilmektedir. Yüksek yapılarda bile rüzgar hızlarını sönmüleyerek doğal havalandırmaya olanak sağlayabilmesi çift cidarlı cephe sistemlerinin önemli bir avantajıdır.



- Çift cidarlı cephe sistemleri her ne kadar doğal havalandırmaya olanak sağlayarak soğutma döneminde istenmeyen ısı kazançlarını dışarı tahliye edebilme özelliğine sahip olsa da, çift cidarlı cephe sisteminin yapıldığı ülkenin iklim koşullarına göre mimari tasarımında etkili olan parametrelerin seçimine (Şekil 50), özellikle sıcak-nemli ülkelerde dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü incelenen literatür taraması sonucunda özellikle sıcak-nemli ülkelerde hava kanalındaki doğal havalandırmanın yetersiz olmasından dolayı iki cephe arasında aşırı ısınma problemleri görülebilmektedir. Çift cidarlı cephelerde en büyük tehlike oluşturan sorun aşırı ısınma problemidir. Aşırı ısınma problemi kullanıcının ısı konforunu olumsuz etkilemekle beraber yapının enerji maliyetini de olumsuz etkilemektedir. Doğal havalandırma ile bu aşırı ısınma probleminin önüne geçilmeye çalışılması gerekmektedir. Bunun etkin olabilmesi için çift cidarlı cephedeki hava menfezlerinin boyutu ve cephedeki konumu irdelenmesi gereken önemli bir mimari tasarım kararıdır.
- Isıtma döneminde enerji tüketiminde kazanım sağlayarak enerji etkin yapı kabuğu olarak önerilen çift cidarlı cephe sistemlerinden, soğutma döneminde de aşırı ısınmadan dolayı olan enerji tüketiminde artışın uygun mimari tasarım kararları ile önüne geçilmesi gerekmektedir. Yani ısıtma sistemindeki kazançtan ziyade özellikle sıcak nemli bölgelerde soğutma enerji tüketimindeki kazançlar tasarım aşamasında dikkate alınması gereken önemli bir tasarım kararıdır.
- Isıtma döneminde ısı kayıplarını azaltma, soğutma döneminde ısı kazançlarını azaltma iddasında olan çift cidarlı cepheli sistemleri için belirlenen tek bir tasarım modeli olamaz. Yani mimari tasarım parametlerinin (Şekil 50) kombinasyonları ile çeşitli varyasyonlar türetilbilir ve bunlarında biri diğerinden farklı bir iklim bölgesi için daha uygun olabilir. Bu nedenle bu projede, çift cidarlı cephe sistemlerinin tasarımında etkin olan tasarım kararları (Şekil 50) deneysel ölçümler ve simülasyonlarla kapsamlı bir biçimde irdelenmelidir.

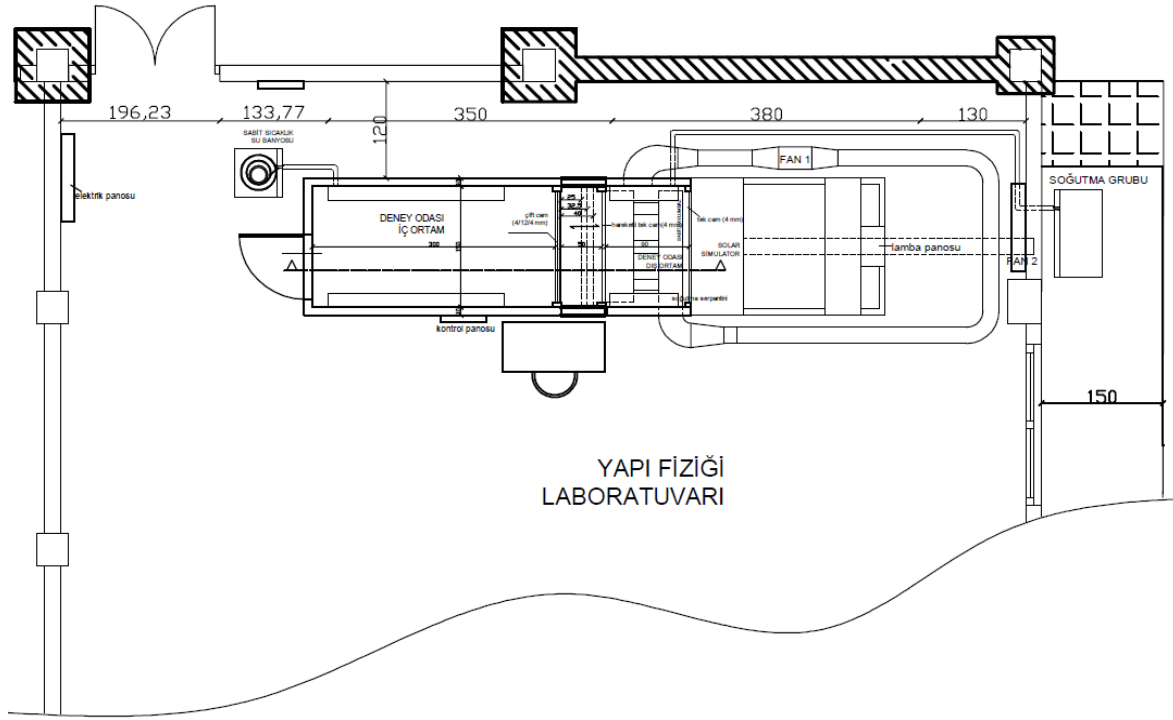


3. ÇİFT CİDAR CEPHE DENEYSEL DÜZENEGİ

Projenin deneysel boyutu, Şekil 54'da görülen, iç (I) ve dış (II) ortam şartlarının yaratıldığı iki mekân arasındaki çift cidar cephe (III) uygulamasında farklı çalışma koşulları için akış ve ısı transferi analizlerini içermektedir. İç ortam ısıtma/soğutma banyosu (IV), dış ortam ise, binanın dışına terleştiren bir soğutma grubu (V) ile şartlandırılmakta; solar simülatör (VI) ve hava akış fan ve kanal sistemi (VII) de deneysel çalışmada istenen koşulları sağlamada kullanılmaktadır. Veri kayıt sistemi (VIII) farklı noktalardaki sıcaklık, fark basınç, hız ve ısı akısı ölçümlerini kaydetmektedir. Hareketli olarak tasarlanan çift cidar ara bölgesinin (III) boyutsuz karakteristik uzunluğunun (derinlik/yükseklik oranı) ve ara bölgede yer alan basınç düşümü yaratan elemanların kullanımının akış üzerindeki etkisi; doğal ve zorlanmış (VII) taşınım koşulları yaratılarak irdelenmektedir. Böylece ayrıntılı akış analizi yapılarak mimari tasarımda önemli olan boyutsuz karakteristik uzunluğun ve damper, güneş kırıcısı, mazgal gibi basınç düşümü yaratan elemanlarının etkileri deneysel olarak gözlemlenerek; enerji tüketimine olası etkileri belirlenmektedir.

Şekil 54. Deneysel düzenek.

Deneysel düzenek, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, B Blok giriş katında bulunan, 11,9m eninde, 17.8m boyunda ve yüksekliği 4m olan Yapı Fiziği Laboratuvarı'nda yer almaktadır. Şekil 55'de deneysel düzeneğin laboratuvardaki yerleşimi görülmektedir.

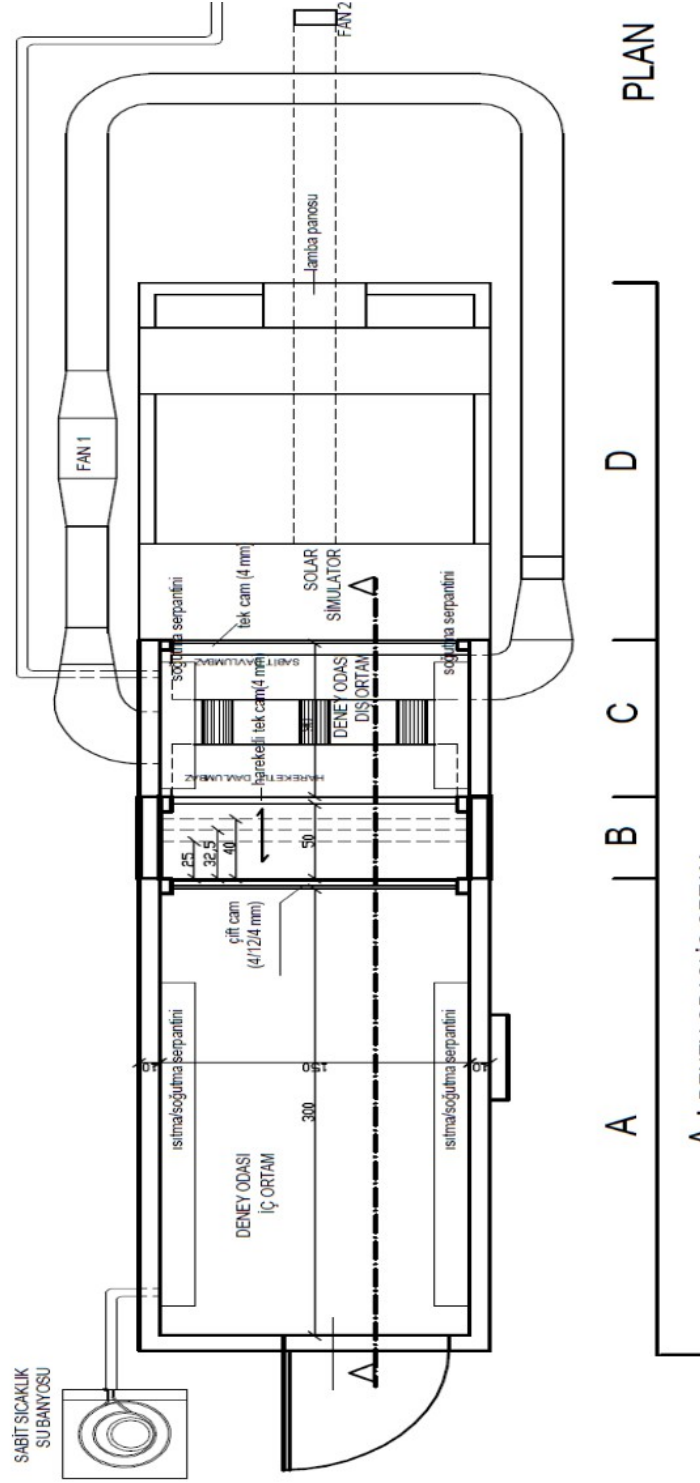


Şekil 55. Deneysel düzeneğin genel yerleşimi.

Şekil 56'da deneysel düzeneğin genel planı görülmektedir. Buna göre sistem şekilde A'dan D'ye kodlanmış 4 ana kısımdan oluşmaktadır: A: iç ortam, B: kavite, C: dış ortam ve D: güneş simülatörü.

3.1 Deney Odası İç Ortam

Şekil 56'da A ile gösterilen (Şekil 54'de I), 1.5m genişliği, 3m uzunluğu ve 3m yüksekliği olan iç ortam simulasyon düzeneği, 10cm kalınlığında poliüretan ısı yalıtım panelleri kullanılarak imal edilmiştir. Kısa kenara sahip bir duvarı 4–12–4mm ölçülerinde standart çift cam ile kapanmıştır. Büyük boyutlu bir cam kullanıldığından, camın mukavemetini artırmak için, çift cam arasındaki boşluğa saydam mesnetler yerleştirilmiştir. Düzeneğin uzun duvarlarına, karşılıklı olarak, bakır borular etrafında alüminyum ince yapraklardan oluşan, 2.5m uzunluğunda soğutma-ısıtma banyosundan gelen suyun dolaşabileceği serpantinler yerleştirilmiştir. İç ortam düzeneğinin diğer kısa duvarında hem dışarıdan hem de içeriden açılabilen ısı yalıtımlı kapı bulunmaktadır. Bu sayede ölçüm problemlerinin yerleştirilmesi ve diğer olası müdahaleler için oda içine girilebilmektedir. Isı yalıtımlı kapı, içeride çalışma yaparken kapının kapanması veya dışarıdan kilitlemesi durumunda dahi içeriden de açılabilir şekilde imal edilerek güvenlik sağlanmıştır.



Şekil 56. Deneysel düzenek planı.

İç ortam simülasyon odasının soğutulması ve ısıtılması için soğuk-sıcak su radyatör panellerde gezdirilerek sağlanmıştır (Şekil 54'de IV). Suyun sıcaklığı oda içinde bulunan bir termostat ile istenilen derecede tutulabilmektedir. Suyun giriş/çıkış sıcaklıkları ve debisi, odanın hemen dışında konumlandırılan bir düzenek (sıcaklık ölçerler ve debimetreden oluşan) yardımıyla ölçülerek veri kaydedicide depolanmıştır. Böylece iç ortam ünitesinden çekilen veya üniteye aktarılan ısı miktarı belirlenebilir. Suyun soğutulması veya ısıtılması için odanın dışında bulunan bir soğutma ısıtma banyosu kullanılmıştır (Şekil 57). Soğutma ısıtma banyosunun kazanı 50x50x50cm boyutlarındadır ve oda içinde dolaşan su miktarı ve borulardaki su miktarı ile birlikte 50 litreye yakın bir akışkanı sürekli devir daim yapabilmekte ve haznesinde barındırmaktadır. Çok düşük sıcaklıklarda kazanda buzlanmayı önlemek için su devir daimi sürekli tutulmuştur. Deneyler süresince ısıtma soğutma su banyosu akışkan hacimsel debisi, sıcaklığa bağlı olarak, saatte 350-380 litre mertebelerinde, ölçülmüştür.

Şekil 57. Deney odası iç ortamı ve soğutma ısıtma banyosu

3.2 Deney Odası Dış Ortam

Şekil 56'da C ile gösterilen (Şekil 54'de II), 1.5m genişliği, 0.9m uzunluğu ve 3m yüksekliği olan dış ortam simülasyon düzeneği, iç ortamda olduğu gibi, 10cm kalınlığında poliüretan ısı yalıtım panelleri kullanılarak imal edilmiştir. Güneş simülatörü tarafındaki yüzeyi 4mm kalınlığında standart tek cam ile kapamıştır. Diğer yüzey ise deney odasının iç ve dış ortamını birbirinden ayıran kavite(ara bölge) çift cidar cephe ile temas halindedir. Mekânın soğutması, karşılıklı iki duvar yüzeyine asılacak soğutma serpantinleri ile gerçekleştirilmiştir. Soğutma sisteminin dış ünitesi bina dışında yer almaktadır ve serpantinlerden direkt soğutucu akışkan dolaştırılarak mekânın istenen sıcaklıkta kalması sağlanmaktadır (Şekil 54'de V). Burada çekilen ısının ölçümü yapılmamış, otomasyonla istenen sıcaklığın sabit kalması sağlanmıştır (Şekil 58).

Şekil 58. Deney odası dış ortamı ve soğutma grubu.

3.3 Deney Odası Ara Bölmesi (Kavite)

Şekil 56'da B ile gösterilen (Şekil 54'de III), çift cidar cepheyi benzetimlemek üzere tasarlanan deney odası ara bölgesi Şekil 6'da görülmektedir. Deney odası dış ve iç ortamları arasında konumlanan bu sistemin hareketli mekanizması üzerine, çift cidar cephenin dış yüzeyindeki 4mm kalınlığındaki tek cam eleman monte edilmiştir. Ara bölgenin diğer yüzeyi ise boştur ve iç ortamın çift cam yüzeyi ile örtüşmektedir. Ara bölge de ısı transferine karşı, iç ve dış ortamlarda olduğu gibi izole edilmiştir. Tek cam elemanın alt ve üst kısımlarında 20cm

yüksekliğinde, aynı tip camdan oluşan, açılıp/kapanabilen açıklıklar bırakılmıştır. Böylece çift cidar cephe içerisindeki hava akış modları üzerinde çalışma imkânı yaratılmıştır (Şekil 59).

Şekil 59. Deney odası ara bölmesi (kavite) ve hareketli mekanizma düzeneği.

3.4 Solar Simülatör Ünitesi:

Şekil 56'da D ile gösterilen (Şekil 54'de VI), solar simülatör ünitesi, otomatik hava soğutmalı kapalı matris tipindedir. Tüm taşıyıcı yapı alüminyum malzemeden oluşturulmuştur. Alüminyum malzeme seçilmesi ile ısıya dayanıklı bir yapı elde edilmiş ve herhangi bir fırınlı boya kullanmadan sistemin üretimi sağlanmıştır. Sistemde ağırlık dengeli bir şekilde dağıtılmış ve devrilme açısı yaklaşık 45 dereceye yakın hale getirilmiştir. Tasarım olarak tamamen modüler bir sistem seçilmiştir. Bu modüler sistem sayesinde istenilen her parçanın boyutları değiştirilebilir ve taşınması söz konusu olduğunda her bir parçası lego şeklinde sökülerek tekrar toplanabilir. Sistem, düşey doğrultuda kumanda panelinden kontrol edilen motor ile 40cm aşağı yukarı doğru hareket ettirilebilmektedir. Elektriksel korumalıdır ve herhangi bir hata durumunda sistemin enerjisini keserek kendini otomatik olarak kapatabilmekte ve güvenliği sağlamaktadır. Sistemin sağlam olmasının yanında hafif ve kolay hareket edilebilirliği sabitlenebilir tekerlek ayaklar aracılığıyla sağlanmıştır. Sistem 12 adet lambadan, 3 adet fan, bir adet scissor jack tipi kriko, hareketli bölme ve kontrol panosundan oluşmaktadır. Lambalar 3x4 matris oluşturacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 60). Toplam elektriksel güç 13kW mertebesinde. Bunun 12kW'ını lambalar harcarken, geri kalanını ise fanlar ve kontrol paneli tüketmektedir. Deney düzeneğinin kurulacağı laboratuvarında elektriksel yükün yüksek oluşundan dolayı herhangi bir olumsuzluğun önüne geçmek için, bina elektrik tesisatına imkanlar dahilinde İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı ile işbirliği yapılarak bina elektrik tesisatının kaldırabileceği maksimum yüke yakın ek iyileştirmeler yapılmıştır. Sistem başlatıldıktan sonra fanlar otomatik olarak devreye girmekte veya el ile devreye alınabilmektedir. Lambalarda kullanılan duylar E40 tipindedir. Sisteme ilişkin genel özellikler Tablo 7'de verilmiştir.

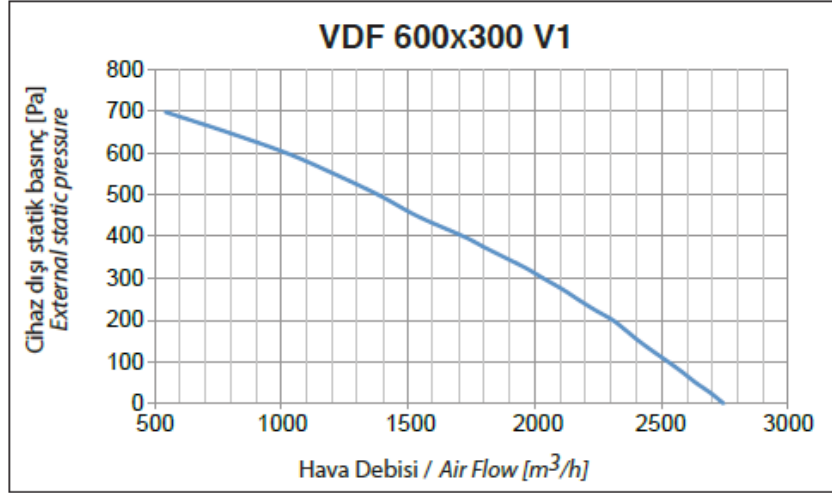
Şekil 60. Solar simülatör ünitesi.

Tablo 7. Solar simulatorun genel özellikleri

Genel Özellikleri	
Sistem türü	Otomatik hava soğutmalı – kapalı matris tipi
Toplam elektrik gücü	13 kW
Lamba sayısı	12
Fan	Otomatik veya el ile başlatılabilir
Motor hareketi	40cm yukarı ve aşağı doğru
Lamba gücü	1000W (her biri)
Lamp Türü	Metal Halide
Lamba Duyu	E40 standardına uygun
Ortalama lamba ömrü	9000 saat
Armatür tipi	Açık simetrik reflektörlü
Soğuktan kararlı çalışmaya başlama süresi	4 dakika (normal koşullar altında ortalama değer)
Sıcak iken kapatıp tekrar açmak için bekleme süresi	15 dakika (en az)
Ana sistem besleme gerilimi	400V 3 fazlı, 50 hz sistem
Başlangıç lümenleri	85000 (each)
Renk sıcaklığı	7250K
Renk indeksi	90Ra
Yapı	Alüminyum
Ölçüler	3000mm X 1500mm X 2000mm (HxWxD)
Ağırlık	~450Kg

3.5 Mekanik Havalandırma Sistemi:

Şekil 54’de VII ile gösterilen fan ve kanal sistemi, çift cidar cephenin havalandırılması için sisteme entegre edilmiştir. Bunun için Venco marka, 500W gücünde dikdörtgen kanal tipi raydal bir fan kullanılmıştır. Fan karakteristiği Şekil 61’de verilmektedir. Bu kapasite, basınç düşümlerinin etkisi ve çift cidar cephe içerisindeki istenen ortalama hız değerlerini karşılamaktadır.



Şekil 61. Sistemde kullanılan fanın karakteristiği.

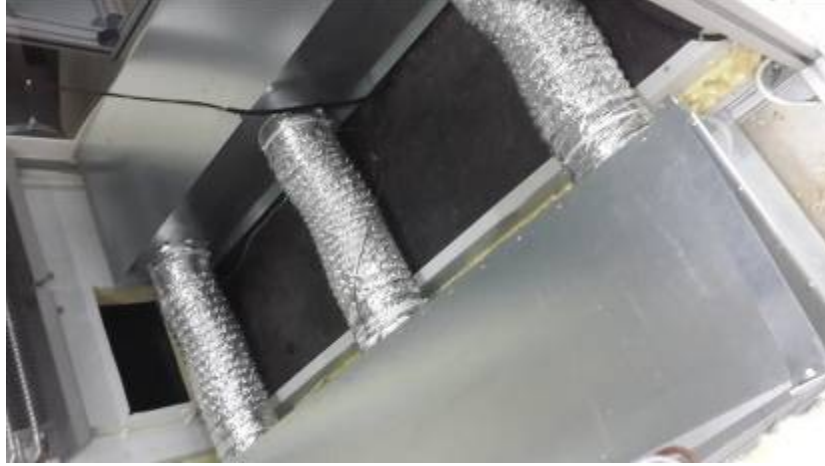
Fan, deney düzeneğinin dış ortamı simüle eden kısmından havayı emmekte (Şekil 62) ve 315mm'lik spiral kanal sistemi ile yeniden aynı kısma dönmektedir. Dış ortamı simüle eden kısma giriş ve çıkışlarda, ayrıca fan sistemi giriş ve çıkışında dörtgen (sırasıyla 400*250mm ve 600*300mm) kesitten dairesel kesite geçiş parçaları kullanılmıştır (Şekil 63). Dış ortamı simüle eden bölümden bir görüntünün yer aldığı Şekil 64'de sol altta görülen kısımdan emiş yapılmakta ve çift cidar cepheye giriş de dağıtıcı davlumbazlar ile gerçekleştirilmiştir. Çift cidar cepheye bağlanmış hareketli davlumbazdan dolayı, 150mm çapındaki şekil değiştirebilen (flexible) kanallar kullanılmıştır. Ayrıca davlumbazın çıkış ağzına (çift cidar cepheye giriş) da perfore saç ilavesi ile akışın mümkün olabileceğince homojen olması sağlanmıştır.



Şekil 62. Fan ve bağlantıları.



Şekil 63. Kanal sisteminin genel görünüşü.



Şekil 64. Dış ortamı simüle eden kısımda, çift cidar cepheye giriş düzenlemesi.

Şekil 63'de ön kısımda görülen çapın yaklaşık sekiz katı düz kanal akışkan debisinin sağlıklı belirlenebilmesi için bırakılmıştır. Şekil 65'de gösterildiği şekilde yerleştirilen pitot tüpü çalışma prensibine göre ölçüm alan düzenele oluşan hız basıncı elde edilmektedir. Bunun için HK Instruments firmasına ait DPT (Differential Pressure Transmitter) 2500 – R8 modeli kullanılmaktadır (Şekil 65'de dış ünite duvarına monte edilmiş). Bu fark basınç ölçüm sistemi, 0 – 100 Pa aralığında çalışmaktadır. Fark basınçölçer ile oluşan bu hız basıncı ölçülmekte ve veri kayıt sistemine voltaj olarak kaydetmekte ve sonrasında değer fark basınca ve oradan da Bernoulli Denklemi'nden hıza dönüştürülebilmektedir.

Şekil 65. Kanaldaki hava debisinin belirlenmesi .

3.6 Solar Simülatörün Havalandırılması:

Solar simülatörden açığa çıkan enerjinin önemli bir kısmı da deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği laboratuvar ortamına geçmekte ve kısa zaman içerisinde iç ortam sıcaklığını kayda değer şekilde yükseltmektedir. Bu da çalışma koşullarını kötüleştirmesinin ötesinde, sistemdeki olası ısı kazançları ve elektrik sistemlerinde aşırı ısınma gibi problemler dolayısıyla deneysel ölçümlerin sağlıklı bir şekilde alınması bağlamında da olumsuz etki yaratmaktadır. Açığa çıkan enerjinin atılması için duvar tipi bir fan sistemi kullanılmıştır ve fan 315mm çapında bir kanal sistemi aracılığıyla yüksek sıcaklıktaki havayı dışarıya atmaktadır (Şekil 66). Burada 284W gücünde, Fanline marka yuvarlak duvar tipi radyal bir fan kullanılmıştır (KV 315 C). Ayrıca Solar simülatör ünitesinde yer alan iki fan da bu sisteme katkı sağlamaktadır. Dış ortama yerleştirilen hareketli menfez ağzı, sistem çalışıp dışarıya hava atarken açılmakta solar simülatör devrede değilken (fan, elektriksel olarak da solar simülatör ile ilişkilendirilmiştir ve beraber devreye girmektedir) ise kapalı kalmaktadır (Şekil Şekil 54'de V ile gösterilen soğutma grubunun üstünde yer alan hareketli kapak).



Şekil 66. Solar simülatörün havalandırılması

3.7 HIOKI Veri Kayıt Cihazı (Data Logger) (LR 8402-20)

Şekil 54'de VIII ile gösterilen veri kayıt cihazı (data logger) ile T-tipi ısı çiftler ve PT-100 problemleri ile deney düzeneğinin farklı noktalarından alınan sıcaklık ölçümleri kayıt edilmiştir. Ayrıca kavitedeki farklı noktalardan hız ölçümü, kavitedeki basınç farkı ölçümü ile Şekil 58'de görülen hava kanalındaki hava hızı ve debisini belirlemek için basınç farkı ölçümü (hız basıncı) ve piranometre ile ölçülen ısı akısı değerleri de kayıt altına alınmıştır (Şekil 67).



Şekil 67. HIOKI Veri Kayıt Cihazı (Data Logger).

3.8 Ölçüm Sistemleri

3.8.1 EKO MS-410 Pironometre

Solar simülatörden elde edilen enerjinin, çift cidar cephenin dış yüzeyindeki (deney odası dış ortam bölümünde) ısı akısı Şekil 68'de görülen pironometre ile ölçülecektir. Cihaz, 10 dakikalık ortalama ile güneş ışınımı ölçüm örneklemesine uyum göstermektedir. Cihazın mV cinsinden analog çıkışı, W/m^2 'ye çevrilerek veri kaydedici tarafından kayıt altına alınacaktır. Cihaza ilişkin genel bilgiler Tablo 8'de aktarılmıştır.

Şekil 68. MS-410 Pironometre ve deney düzeneğinde yerleşimi.

Tablo 8. MS-410 Pironometre özellikleri

Özellikler	MS-410
ISO 9060 sınıfı	Birinci sınıf
Tepki süresi 95% (sn)	18
Non-stabilite (değişme/yıl)	< 1.5 %
Non-linerite ($1000W/m^2$ de)	< 1 %
Yönsel tepki ($1000W/m^2$ de)	< 20 W/m^2
Spektral seçicilik (0.35-1.5 μ m)	< 1 %
Sıcaklık tepkisi (50°C bandı için)	< 2 %
Tilt tepkisi ($1000W/m^2$ de)	< 2 %

Dalgaboyu aralığı
(>50% geçirgenlik)

285- 2800 nm arası

3.8.2 Fark Basınç Ölçümü

Çift cidar içerisinde 120 cm aralıklı olarak yerleştirilen iki kanal aracılığıyla fark basınç ölçümü gerçekleştirilmektedir (Şekil 69'da sarı bayraklar ile işaretlenmiştir – yanlışlıkla olabilecek teması önleme amaçlı). Bunun için HK Instruments firmasına ait DPT (Differential Pressure Transmitter) 250 – R8 modeli kullanılmaktadır (Şekil 69'da duvara monte edilmiş iki küçük boyutlu aparatın üstte yer alanı ve şeklin yanında da büyütülmüş hali verilmiştir).

Şekil 69. Fark basınç ölçümü

Bu fark basınç ölçüm sistemi, minimum 0 – 25 Pa, maksimum ise 0 – 250 Pa aralığında çalışmaktadır. Sisteme entegre edilen bu fark basınç ölçer, çift cidar cephe içerisine yerleştirilen, basınç düşümü yaratacak elemanların kullanımına ilişkin deneysel çalışmada devreye alınmış ve 0 – 25 Pa aralığında çalıştırılmıştır. Ayrıca Şekil 65'de gösterilen diğer fark basınç ölçer ile de (HK Instruments firmasına ait DPT-Differential Pressure Transmitter 2500 – R8 modeli) hava kanalındaki fark basınç ölçümleri, 0 – 100 Pa aralığında gerçekleştirilerek hacimsel debi değerlerine ulaşılmıştır. Ölçümler veri kayıt cihazına volt olarak kaydedilip fark basıncına çevrilmiştir.

3.8.3 Çift Cidar Arasında Hız Ölçümü

Hız ölçümü için çift cidar cephe içerisine yerleştirilen Delta Ohm HD 4V3T S1 cihazı (Şekil 70), akışın mümkün olabildiğince gelişmesinden sonra, hız ölçümlerini gerçekleştirmek üzere kullanılmıştır. Cihaz Şekil 70'de duvara monte edilmiş iki küçük boyutlu aparatın altta yer alanı ile veri kayıt cihazına bağlanmıştır ve diğer fotoğrafta yer alan probu kavite içine konumlandırılarak, deneysel düzeneğin dışından elle pozisyonlandırılarak hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

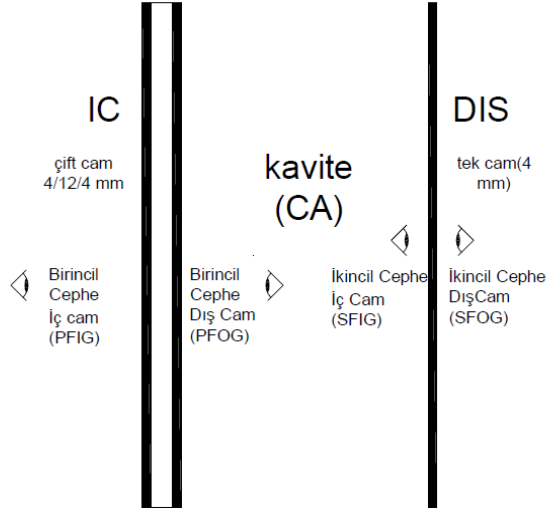
Şekil 70. Hız ölçüm cihaz bağlantısı.

3.8.4 Sıcaklık Ölçümleri

Deneysel düzeneğin farklı yüzey ve ortamlarındaki sıcaklık ölçümleri için T tipi ısı çiftleri ve PT100 problemleri kullanılmıştır. Birer T tipi ısı çifti ve PT100 probu deney yapılan ortamın sıcaklığını ölçmektedir. Deney düzeneğinde ise PT 100 problemleri ısıtma soğutma su banyosunun giriş çıkış sıcaklıklarını ölçmenin dışında, iç ortamın sıcaklık ölçümlerinde kullanılmışlardır. Diğer kısımlarda ise T tipi ısı çiftleri kullanılmıştır. Buna göre Şekil 71'de, kavite kesiti göz önüne alındığında, farklı bakış yönleri belirtilmiştir.

Birincil Cephe

İkincil Cephe

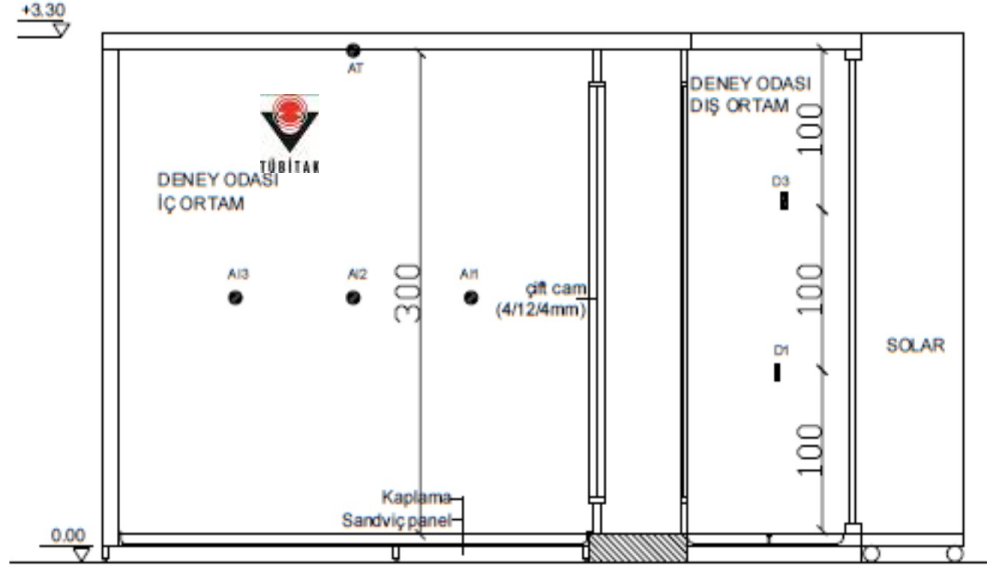


Şekil 71. Ara bölme (kavite)'ye bakış yönleri.

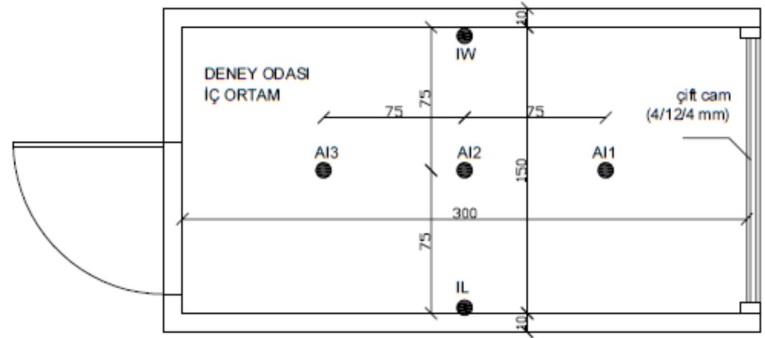
Sekiz adet ısıtıcı çift ise akışkan sıcaklığının değişimini belirlemek üzere kavitenin içine yerleştirilmiştir. Isıtıcı çift yerleşimi Şekil 72'de gösterilmiş ve CA1'den CA8'e kadar numaralandırılmıştır.

Şekil 72. Ara bölme (kavite)'deki ısıtıcı çift yerleşimi.

Dış ortamı simüle eden ortamın içindeki hava sıcaklığı, Şekil 73'de, D1 ve D3 olarak numaralandırılmış ısı çifti ile 2 farklı noktadan



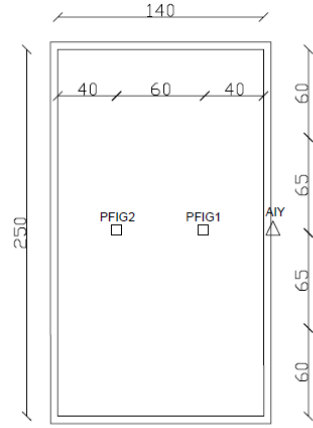
ölçülmektedir. İç ortamı simüle eden kısımdaki hava sıcaklığı da 3 farklı noktadan ölçülmekte (Şekil 73'de A11, A12 ve A13) ve ayrıca bu ortamın iç yüzey sıcaklıkları da ölçülerek kayıt altına alınmaktadır. Burada AT ile kodlanmış gösterim üst yüzeye ilişkindir. Şekil 74'de ise odanın diğer iki yüzeyine yerleştirilen sıcaklık ölçüm noktaları görülmektedir.



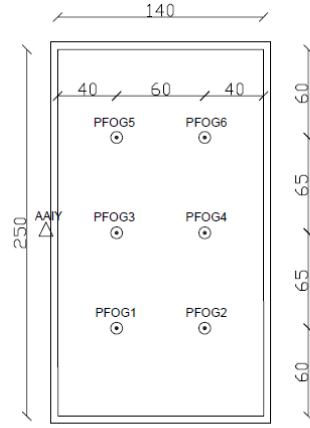
Şekil 73. İç ve dış ortam simülasyon odalarındaki sıcaklık ölçüm noktaları.

Şekil 74. İç ortam simülasyon odasındaki sıcaklık ölçüm noktaları.

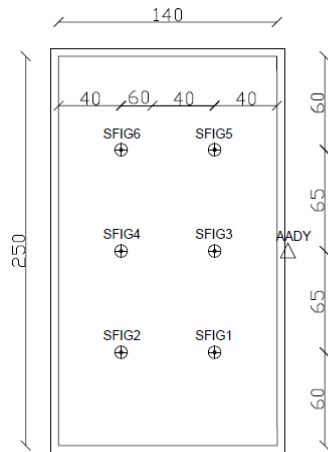
Çift cidar cephenin iç yüzey sıcaklıklarını ölçmek için iki farklı yüzeye altışar T tipi ısı çift yerleştirilmiştir. Bu ısı çiftler Şekil 75’de, kavitenin iç odaya bakan kısmı için PFOG1’den 6’ya kadar, dış odaya bakan kısımları içinse SFIG1’den 6’ya kadar kodlanmışlardır. Çift cidarın bu iki cam yüzeyinin iç ortamı simüle eden kısma ve dış ortamı simüle eden kısma bakan yüzeylerinde de ikişer probta sıcaklık ölçümleri yapılmaktadır (PFIG1 ve 2 ile SFOG1 ve 2). Ayrıca camların oturtulduğu alüminyum çerçevelerden olan ısı transferlerinin belirlenebilmesi için bu elemanların da iç ve dış yüzey sıcaklıkları ölçülmektedir (AIY, AAIY, AADY ve ADY). Isıl ışınım etkisine karşılık problemler ya alüminyum folyo (hava sıcaklığı ölçümlerinde) ile örtülmüş, ya da ısı iletkenliği yüksek özel bir macun (yüzeylerde) ile kapatılmıştır. Kaviteye giren (AI) ve çıkan (AO) akışkan sıcaklıkları da ayrı problemlerle ölçülmektedir. Tüm T tipi ısı çiftler ve PT100 problemleri veri kayıt cihazına bağlanmıştır. Şekil 67’de bu bağlantılar ve veri kayıt cihazı görülmektedir.



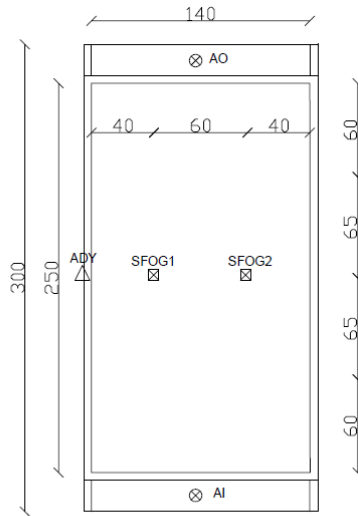
BİRİNCİL CEPHE İÇ CAM (PFIG)



BİRİNCİL CEPHE DIŞ CAM (PFOG)



İKİNCİL CEPHE İÇ CAM (SFIG)



İKİNCİL CEPHE DIŞ CAM (SFOG)



Şekil 75. İç ve dış ortam simülasyon odalarından çift cidar cepheye farklı bakış yönlerine bağlı olarak sıcaklık ölçüm noktaları.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel düzenek üzerinde farklı tarihlerde, farklı koşullarda deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tablo 9, tüm deneysel çalışmalara ilişkin genel özellikleri tanımlamaktadır. Buna göre ilk sütun numaralandırma ikinci sütun ise deneylere ilişkin kullanılan kodlamadır. Üçüncü sütunda deneylerin yapıldığı tarihler görülmektedir. Dörtte ve beşte ise çalışmanın doğal (DT) veya zorlanmış taşınım (ZT) olduğu belirtilmiştir. Altıncı ve yedinci sütunlarda deneylerin kararlı (K) mı yoksa zamana bağlı (ZB) mı olduğu belirtilmiştir. Sekizinci sütunda 3 farklı kütleli debi isimlendirilmiştir. Dokuzda ise solar simülatör (SS)'ün kullanıldığı deneylerde, toplam sayısı 12 olan lambalardan, farklı ısı akısı değerlerine ulaşmak için kaçar tanesinin kullanıldığı belirtilmiştir. Onuncu sütunda kavite içinde basınç düşümü oluşturmak için kullanılan farklı delik çaplarına sahip iki farklı perfore saça ilişkin bilgilendirme yapılmıştır. Onbirinci ve son sütunda ise kavitenin derinliğine ilişkin değer verilmiştir.

Tablo 9. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№	Kod	Zaman	DT	ZT	K	ZB	Akış	SS	dP	Kavite
1	DEN1.1	11/09/2014	-	√	√	-	low	-	-	25cm
2	DEN1.2	11/09/2014	-	√	√	-	medim	-	-	25cm
3	DEN1.3	11/09/2014	-	√	√	-	high	-	-	25cm
4	DEN2.1	11-12/09/2014	-	√	√	-	low	-	-	32.5cm
5	DEN2.2	11-12/09/2014	-	√	√	-	medim	-	-	32.5cm
6	DEN2.3	11-12/09/2014	-	√	√	-	high	-	-	32.5cm
7	DEN3.1	12/09/2014	-	√	√	-	low	-	-	40 cm
8	DEN3.2	12/09/2014	-	√	√	-	medim	-	-	40 cm
9	DEN3.3	12/09/2014	-	√	√	-	high	-	-	40 cm
10	sol4lu 1 35cm	17/09/2014	-	√	√	-	low	4 lamp	-	35 cm
11	sol4lu 2 35cm	17/09/2014	-	√	√	-	medim	4 lamp	-	35 cm
12	sol4lu 3 35cm	17/09/2014	-	√	√	-	high	4 lamp	-	35 cm
13	sol8li 4 35cm	18/09/2014	-	√	√	-	low	8 lamp	-	35 cm
14	sol8li 5 35cm	18/09/2014	-	√	√	-	medim	8 lamp	-	35 cm
15	sol8li 6 35cm	18/09/2014	-	√	√	-	high	8 lamp	-	35 cm
16	sol4lu 7 25cm	23/09/2014	-	√	√	-	low	4 lamp	-	25 cm
17	sol4lu 8 25cm	23/09/2014	-	√	√	-	medim	4 lamp	-	25 cm
18	sol4lu 9 25cm	23/09/2014	-	√	√	-	high	4 lamp	-	25 cm
19	sol8li 10 25cm	23/09/2014	-	√	√	-	low	8 lamp	-	25 cm
20	sol8li 11 25cm	23/09/2014	-	√	√	-	medim	8 lamp	-	25 cm
21	sol8li 12 25cm	23/09/2014	-	√	√	-	high	8 lamp	-	25 cm
22	sol4lu 13 25cm	25/09/2014	-	√	√	-	low	4 lamp	-	25 cm
23	sol4lu 14 25cm	25/09/2014	-	√	√	-	medim	4 lamp	-	25 cm
24	sol4lu 15 25cm	25/09/2014	-	√	√	-	high	4 lamp	-	25 cm
25	sol4lu 16 25cm	26/09/2014	-	√	√	-	low	4 lamp	-	35 cm
26	sol4lu 17 25cm	26/09/2014	-	√	√	-	medim	4 lamp	-	35 cm
27	sol4lu 18 25cm	26/09/2014	-	√	√	-	high	4 lamp	-	35 cm
28	MENK1	19/11/2014	-	√	√	-	low	-	small	25 cm
29	MENK2	19/11/2014	-	√	√	-	medim	-	small	25 cm
30	MENK3	19/11/2014	-	√	√	-	high	-	small	25 cm
31	MENK4	20/11/2014	-	√	√	-	low	4 lamp	small	25 cm

32	MENK5	20/11/2014	-	√	√	-	medim	4 lamp	small	25 cm
33	MENK6	20/11/2014	-	√	√	-	high	4 lamp	small	25 cm
34	MENK7	21/11/2014	-	√	√	-	low	8 lamp	small	25 cm
35	MENK8	21/11/2014	-	√	√	-	medim	8 lamp	small	25 cm
36	MENK9	21/11/2014	-	√	√	-	high	8 lamp	small	25 cm
37	MENB1	23-24/11/2014	-	√	√	-	low	-	big	25 cm
38	MENB2	23-24/11/2014	-	√	√	-	medim	-	big	25 cm
39	MENB3	23-24/11/2014	-	√	√	-	high	-	big	25 cm
40	MENB4	24/11/2014	-	√	√	-	low	4 lamp	big	25 cm
41	MENB5	24/11/2014	-	√	√	-	medim	4 lamp	big	25 cm
42	MENB6	24/11/2014	-	√	√	-	high	4 lamp	big	25 cm
43	MENB7	25/11/2014	-	√	√	-	low	8 lamp	big	25 cm
44	MENB8	25/11/2014	-	√	√	-	medim	8 lamp	big	25 cm
45	MENB9	25/11/2014	-	√	√	-	high	8 lamp	big	25 cm
46	BZONS2_1	03/12/2014	√	-	√	-	-	2 lamp	-	25 cm
47	BZONS4_1	03-04/12/2014	√	-	√	-	-	4 lamp	-	25 cm
48	BZONS6	10/12/2014	√	-	√	-	-	6 lamp	-	25 cm
49	BZONS8	04/12/2014	√	-	√	-	-	8 lamp	-	25 cm
50	BZONS10	11/12/2014	√	-	√	-	-	10 lamp	-	25 cm
51	BZONS12	04/12/2014	√	-	√	-	-	12 lamp	-	25 cm
52	BZONS2_2	10/12/2014	√	-	√	-	-	2 lamp	-	25 cm
53	BZONS4_2	03-04/12/2014	√	-	√	-	-	-	-	25 cm
54	BZON_2C	02/12/2014	√	-	√	-	-	-	-	25 cm
55	BZON_23C	09/12/2014	√	-	√	-	-	-	-	25 cm
56	BZON_28C	01/12/2014	√	-	√	-	-	-	-	25 cm
57	BZON_33C	09/12/2014	√	-	√	-	-	-	-	25 cm
58	BZON_38C	12/12/2014	√	-	√	-	-	-	-	25 cm
59	BZON_43C	15/12/2014	√	-	√	-	-	-	-	25 cm
60	BZON_48C	16/12/2014	√	-	√	-	-	-	-	25 cm
61	BZON_53C	17/12/2014	√	-	√	-	-	-	-	25 cm
62	BZTRA15	19/12/2014	√	-	-	√	-	0-12-0 L	-	25 cm
63	BZTRA30	08/01/2015	√	-	-	√	-	0-12-0 L	-	25 cm
64	BZTRA45	12/01/2015	√	-	-	√	-	0-12-0 L	-	25 cm
65	BZTRA60	13/01/2015	√	-	-	√	-	0-12-0 L	-	25 cm

Tablo 9'da verilen deneyler, genel olarak 5 ana başlık altında toplanabilir. Buna göre, tarih sırası göz önüne alınarak, sırasıyla,

1. Birden dokuza kadar olan ilk kısımda, solar simülatör kullanılmadan hava kanalı devreye alınarak farklı kavite derinlikleri için farklı hava debilerindeki deneysel çalışmalar yapılmıştır.
2. İkinci kısım ise 10'dan 27'ye kadar olan solar simülatörlü kısmı içermektedir ve lamba konfigürasyonlarına bağlı olarak, farklı kavite derinliklerinde, farklı hava debileri için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.
3. 28'den 45'e kadar olan deneysel çalışmalarda kavitede basınç düşümü yaratma amaçlı iki farklı perfore saç kullanımı söz konusudur ve solar simülatörlü ve solar simülatörsüz deneyleri içermektedir.

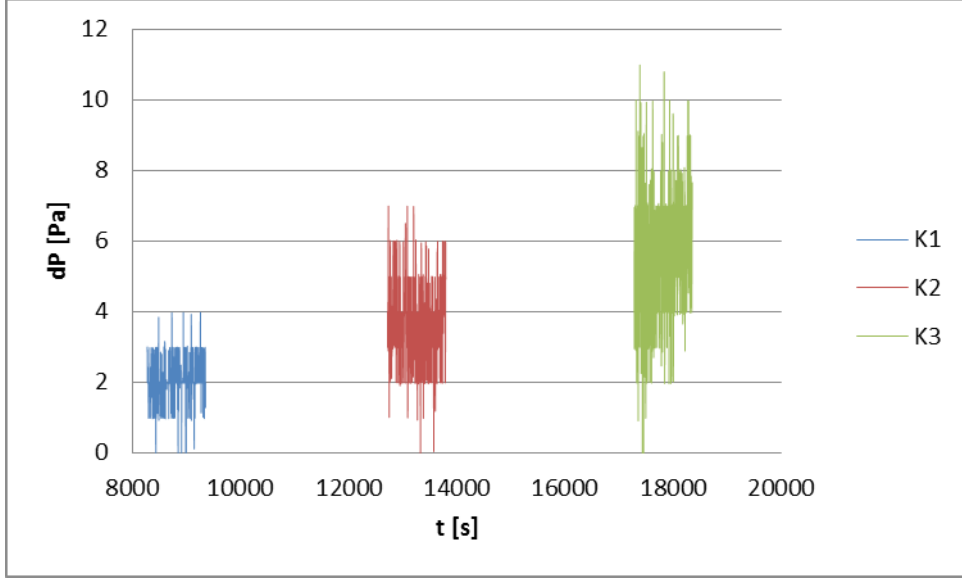
4. Hava kanalının devrede olduğu, zorlanmış taşınımlı bu ilk üç bölümden sonra, dördüncü ve beşinci kısımlarda kavite hava akışına kapatılmış ve ilk önce kararlı durum için 46'dan 61'e kadar deneyler yapılmıştır.
5. 62'den 65'e kadar olan beşinci ve son çalışmalar ise proje başvurusunda öngörülmeleyen zamana bağılı deneysel çalışmaları içermektedir. Burada, tanımlanan farklı zaman aralıkları için (15, 30, 45 ve 60 dakika) solar simülatör lambaları kademeli olarak açılmış ve sonrasında kapatılmıştır.

Deneysel çalışmaların tümünde, sistemin tamamı, istenilen koşullarda dengeye gelmesi için çalıştırılmış ve denge sağlandıktan sonra ölçümler kararlı durumda gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık sadece yukarıdaki beşinci grup çalışmada, başlangıçta kararlı durum söz konusu iken deney boyunca sistemin denge hali değişimi kayıt altına alınmıştır. Bu beş gruba ait elde edilen deneysel çalışmalara ilişkin sonuçlardan bazıları aşağıda verilmiş ve irdelenmiştir:

Üçüncü Grup Deneyler, Tablo 9'da 28'den 45'e kadar numaralandırılmış deneysel sonuçlar kavitede basınç düşümü yaratma amaçlı iki farklı perfore saç kullanımına ilişkindir. Bunun için Şekil 76'da görülen perfore saç kaviteye yerleştirilmiştir. Burada saç üzerindeki dairesel deliklerin boyutları diğer kullanılan saça göre daha büyüktür ve deneysel sonuçların da gösterdiği gibi yarattığı basınç düşümü de daha düşüktür.

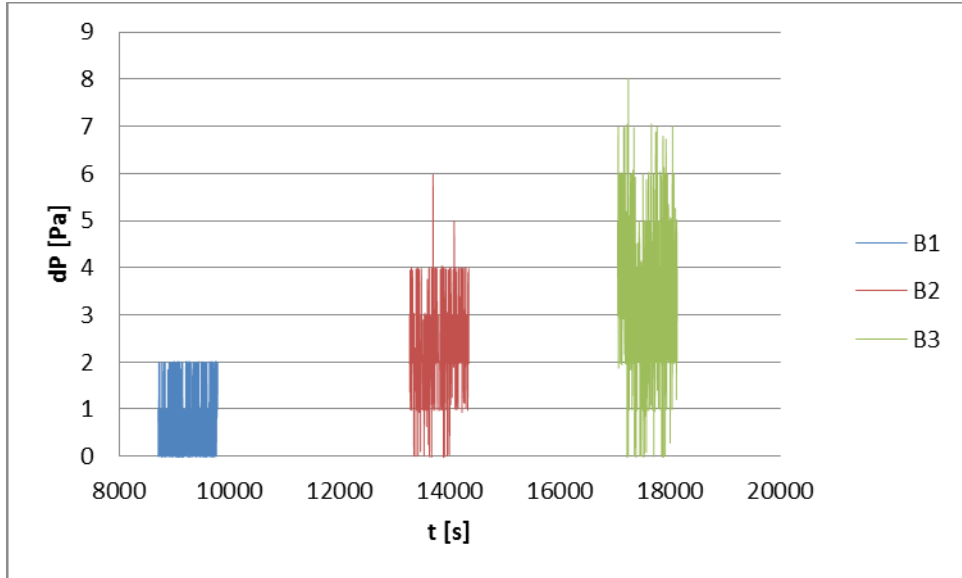
Şekil 76. Deneysel düzenekte kaviteye yerleştirilen perfore saç uygulaması.

Tablo 9'da 28, 29 ve 30 numara ile kodlanmış, küçük delikli perfore saç için, deneysel çalışmalarda uygulanan farklı debilere karşılık elde edilen basınç düşümlerinin, deney kararlı hale geldikten sonraki zamana bağılı değişimleri Şekil 77'de gösterilmiştir. Debi değeri arttıkça basınç düşümü de doğal olarak artmaktadır.



Şekil 77. Üç farklı debi için küçük delikli perfore saçıdaki basınç düşümü.

Büyük delikli perfore saçıdaki basınç düşümü ise Şekil 78'de verilmiştir. Buradaki değerler Tablo 9'da 37, 38 ve 39 ile numaralandırılmış deneylere aittir. Şekil 77'ye göre basınç düşümü Şekil 78'de büyük deliklelerden dolayı bir miktar azalmıştır. Ortalama değerler bu azalmayı daha belirgin olarak göstermektedir.



Şekil 78. Üç farklı debi için büyük delikli perfore saçıdaki basınç düşümü.

Tablo 9'da 28'den 45'e kadar numaralandırılmış deneysel sonuçlar, farklı perfore saç kullanımının kavitede yarattığı basınç düşümünün kütleli debiye göre değişimi Tablo 9'da verilmiştir. Burada kütleli debi dairesel kanalda ölçülüp kayıt edilen basınç düşümü değerlerinin her bir durum için kararlı hallerdeki ortalaması alınıp Bernolli denkleminde elde

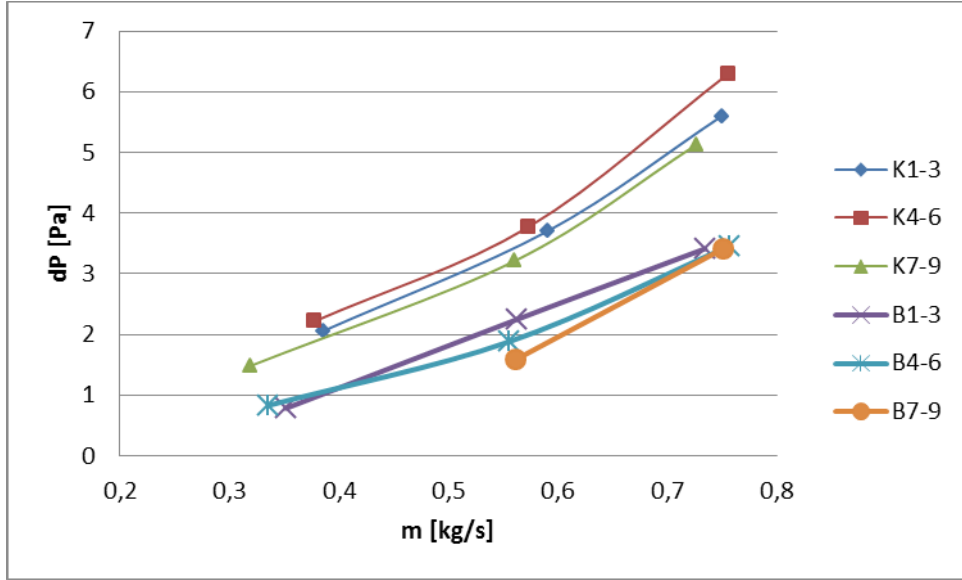
edilen ortalama hız değeri kullanılarak elde edilmiştir. Havanın yoğunluğu sıcaklık değerine karşılık gelen değer için ayrı ayrı alınmıştır.

Tablo 10. Farklı perfore saç uygulamasının farklı debilerde yarattığı basınç düşümleri.

		<i>Düşük debi</i>				
		dPhız [Pa]	yoğ. [kg/m ³]	V [m/s]	m [kg/s]	dP [Pa]
Büyük menfez	MENB1-2-3	8,590	1,185	3,81	0,352	0,784
	MENB4-5-6	7,382	1,255	3,43	0,335	0,831
	MENB7-8-9	6,879	1,229	3,35	0,321	0,122
Küçük menfez	MENK1-2-3	10,371	1,184	4,19	0,386	2,061
	MENK4-5-6	9,414	1,249	3,88	0,378	2,219
	MENK7-8-9	6,877	1,225	3,35	0,320	1,488
		<i>Orta debi</i>				
		dPhız [Pa]	yoğ. [kg/m ³]	V [m/s]	m [kg/s]	dP [Pa]
Büyük menfez	MENB1-2-3	22,098	1,181	6,12	0,563	2,251
	MENB4-5-6	20,239	1,254	5,68	0,555	1,880
	MENB7-8-9	21,156	1,225	5,88	0,561	1,584
Küçük menfez	MENK1-2-3	24,364	1,179	6,43	0,591	3,705
	MENK4-5-6	21,755	1,246	5,91	0,574	3,778
	MENK7-8-9	21,232	1,220	5,90	0,561	3,215
		<i>Yüksek debi</i>				
		dPhız [Pa]	yoğ. [kg/m ³]	V [m/s]	m [kg/s]	dP [Pa]
Büyük menfez	MENB1-2-3	37,756	1,177	8,01	0,735	3,415
	MENB4-5-6	37,656	1,255	7,75	0,758	3,465
	MENB7-8-9	37,965	1,224	7,88	0,751	3,415
Küçük menfez	MENK1-2-3	39,392	1,175	8,19	0,750	5,599
	MENK4-5-6	37,802	1,245	7,79	0,756	6,301
	MENK7-8-9	35,659	1,219	7,65	0,727	5,129

Tablo 10'da verilen değerlere ilişkin grafik gösterim ise Şekil 79'da verilmiştir. Buna göre farklı perfore saç kullanımının ve farklı kütsel debilerin yarattığı basınç düşümleri 28'den 45'e

kadar kodlanan deneyler için görülmektedir. Küçük delikli saçın yarattığı basınç düşümü büyüğe göre oldukça yüksektir ve kütleli debinin artması ile de makasın açılma eğilimi bariz olarak görülmektedir.



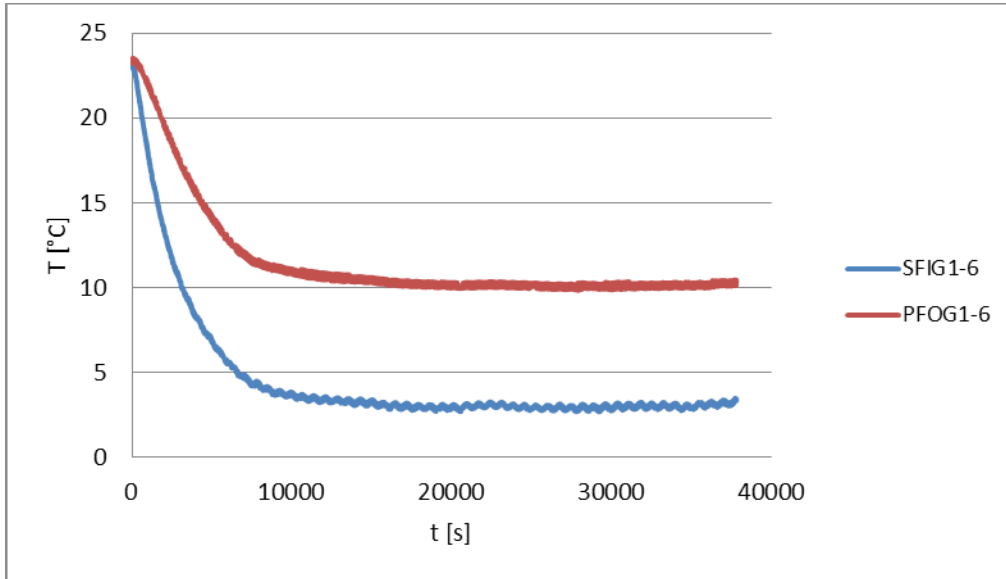
Şekil 79. Farklı perfore saç kullanımının ve farklı kütleli debilerin yarattığı basınç düşümleri

Dördüncü Grup Deneylerde, deneysel düzenek bu çalışmalar için yeniden elden geçirilmiştir. Buna göre ara kavite zorlanmış akışa kapatılmış ve boyutları değiştirilmiştir. Böylece kapalı bir dikdörtgen hacim sadece doğal taşınımın göz önüne alınması için elde edilmiştir. Hacimin dört yüzeyi cam yünü izolasyon malzemeleri ile oldukça kalın bir şekilde izole edilmiştir. Diğer iki yüzey ise Şekil 80'de görüldüğü gibi kavitenin cam yüzeyleridir.

Tablo 9'da 55'den 61'e kadar numaralandırılmış deneysel sonuçlardan ilki (#55) için kavitenin iç yüzeylerindeki ortalama sıcaklık değişimleri Şekil 81'de verilmiştir. Buna göre başlangıçta ısı denge halinde olan sistem, iç ve dıştaki farklı sıcaklıklara bağlı olarak zamana bağlı olarak değişim göstermekte ve bir süre sonra denge haline gelmektedir. Dış ortamı simüle eden kısmın görece daha soğuk olmasından dolayı kavitenin iç iki yüzeyi arasında sıcaklık farkı oluşmaktadır. Kavitenin dış odaya bakan yüzeyinin iç kısmındaki sıcaklık değerleri 6 adet ısı çift (SFIG1-6)'in, denge oluştuktan sonraki ortalamasını yansıtmaktadır. PFOG1-6 numaralı ısı çiftler ise kavitenin iç odaya bakan yüzeyinin iç kısmındaki sıcaklık değerlerinin ortalamasını vermektedir.



Şekil 80. Doğal taşınım için kavitenin kapatılması.



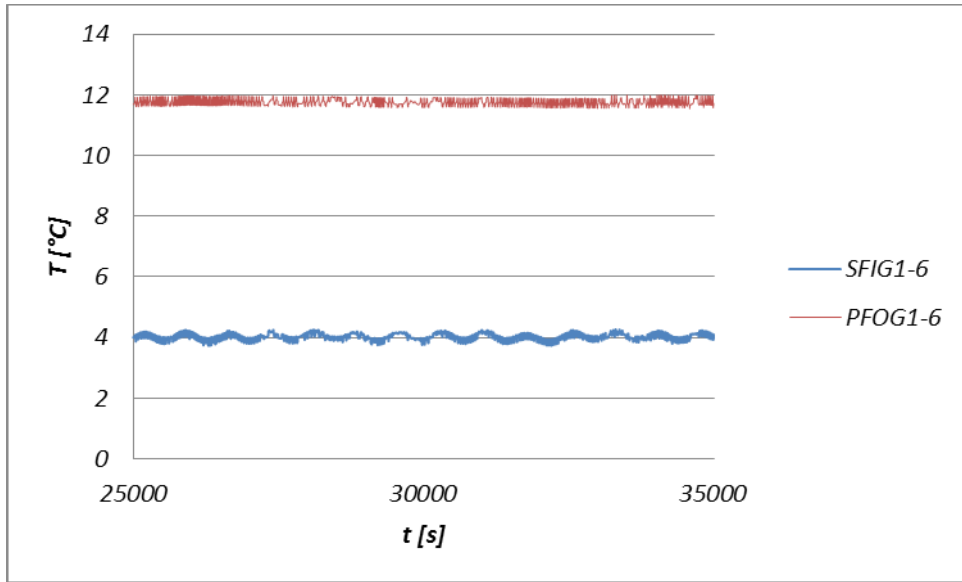
Şekil 81. Kavitedeki sıcaklık değişimi (#55 için).

Şekil 81'de verilen yüzey sıcaklık ortalamaları 6 adet ısı çiftin ortalamasıdır ve Ra sayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Buna karşılık kavitenin iç cam yüzeyleri boyunca sıcaklık değişimleri meydana gelmektedir. Bu değişim ise Şekil 82'de verilmiştir. Her bir nokta, kavitenin aynı yükseklik kesitindeki iki adet ısı çiftin sıcaklık ortalamasını vermektedir. Şekil 82'de görüldüğü gibi sıcaklık değerleri yüksekliğe bağlı olarak artış göstermektedir. Şekilde ayrıca bu değişimi oldukça iyi yansıtan doğrusal eşitlik de görülmektedir. Sayısal çalışmada

sınır koşulu olarak sıcaklıktaki bu değişimler göz önüne alınmış ve bu doğrusal bağlantılar kullanılmıştır.

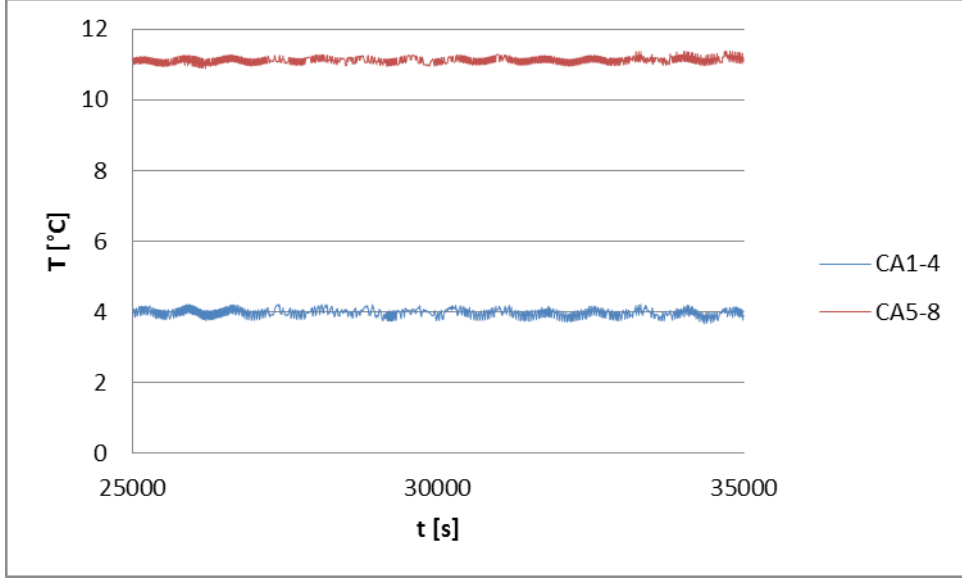
Şekil 82. Kavite yüksekliği boyunca iki iç yüzeydeki sıcaklık değişimleri (#55 için).

Aynı grup deneysel sonuçlardan ikincisi (#56) için kavitenin iç yüzeylerindeki ortalama sıcaklık değişimleri Şekil 83'de verilmiştir. Fakat bu sefer, Şekil 81'den farklı olarak, kararlı hale geldikten sonra göz önüne alınan değerler özellikle gösterilmiştir. Şekil 83'den de görüldüğü üzere sıcaklıklar oldukça stabil olarak elde edilmiştir ve her iki sıcaklık ortalaması için de standart sapma sadece 0.1°C 'dir.



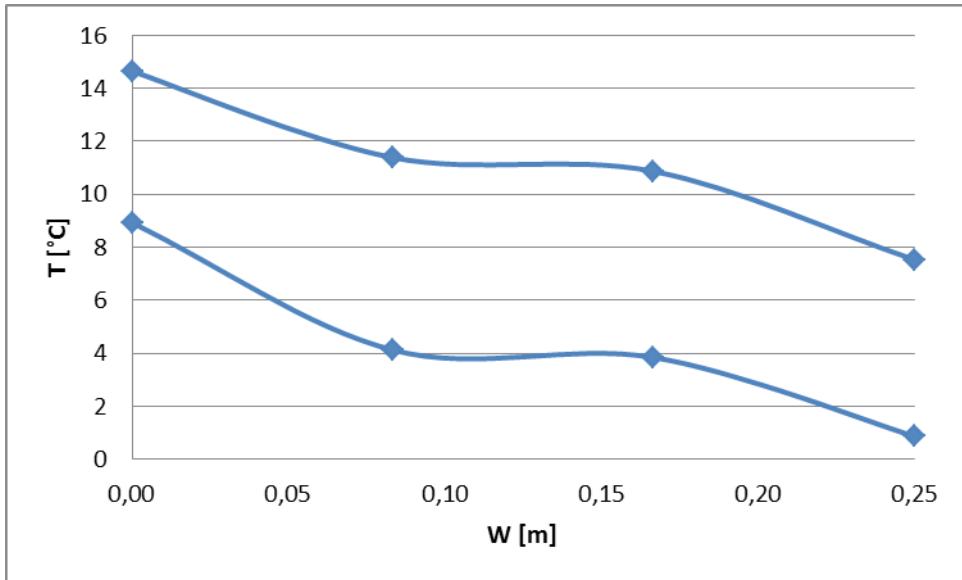
Şekil 83. Kavitede iki iç yüzeydeki sıcaklık değişimi (#56 için).

56 numaralı deneysel çalışmaya ilişkin, kararlı hale geldikten sonraki diğer bir zamana bağlı sıcaklık değişimi de Şekil 84'de verilmiştir. Doğal taşınım etkisi ile yüksek sıcaklıktaki hava üst tarafta olmaktadır. CA1-4, alttaki dörtlü kalibre edilmiş ısı çiftinin ortalama sıcaklığını gösterirken, CA5-8 ise üstte yer alan diğer dörtlü ısı çift grubunun ortalama sıcaklığıdır.



Şekil 84. Kavitedeki hava sıcaklığının değişimi (#56 için).

56 numaralı deneysel çalışmada, kararlı hale geldikten sonra, kavitenin iki farklı yükseklik kesitindeki ortalama sıcaklık dağılımı da Şekil 85’de verilmiştir. Ortadaki ikişer nokta hava sıcaklığını, yanlardaki sıcaklıklar da ısıl çiftlerin ölçtüğü ortalama yüzey sıcaklıklarını vermektedir. Akışkanla yüzey arasında bu sıcaklık farklarına bağlı olarak ısı transferi meydana gelmektedir. Ayrıca yüksekliğe bağlı ısınan havanın sıcaklığındaki değişim de görülmektedir.



Şekil 85. Kavitedeki sıcaklığın değişimi (#56 için).

55-61 arası numaralandırılmış deneysel çalışmalar sonunda elde edilen değerler Tablo 11'de verilmiştir. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak Rayleigh sayılarındaki artış görülmekte, bu da doğal akışta kaldırma kuvvetlerini baskın hale getirmektedir.

Tablo 11. Doğal taşınım deneylerine ilişkin elde edilen Rayleigh sayıları.

#	SFIG1-6 ort. [°C]	PFoG1-6 ort. [°C]	T _{ort} [K]	Isı yayılım katsayısı [m ² /s]	Kinematik viskozite [m ² /s]	Ra [-]
55	3,02	10,1	280,08	1,9070E-05	1,4048E-05	9,3263E+09
56	4,03	11,75	280,72	1,9146E-05	1,4058E-05	1,0104E+10
57	4,83	12,82	280,99	1,9184E-05	1,4085E-05	1,0407E+10
58	4,94	14,38	282,44	1,9363E-05	1,4207E-05	1,2006E+10
59	5,33	15,58	283,25	1,9480E-05	1,4290E-05	1,2846E+10
60	5,87	16,96	284,1	1,9480E-05	1,4290E-05	1,3873E+10
61	7,14	18,89	284,76	1,9674E-05	1,4420E-05	1,4387E+10

4.1 Kalibrasyon İşlemleri

Deney düzeneğinde kullanılan tüm PT-100 ve termokuplların herbirinin kalibrasyon işlemi İzmir Makine Mühendisleri Odası'nın kalibrasyon laboratuvarında (KALMEM)'de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 86. Kalibrasyon düzeneği

Kalibrasyon banyosuna yerleştirilen PT-100 ve termokupl örneği Şekil 86'da görülmektedir. Bu yerleşimler de belli kurallara bağlı olarak yapılmıştır. Tüm kalibrasyonu yapılacak PT-100 ve termokupllar tabandan minimum 1 cm yukarda olacak şekilde yerleştirilmiş ve kalibre edilen multimetreye bağlı sıcaklık değerini gösteren kablo ile kalibre edilen PT-100 ve termokupllar arasında minimum 1 cm bırakılmasına dikkat edilmiştir (Şekil 87).



Şekil 87. Kalibrasyon düzeneği (yakın plan)

Kalibrasyon işlemi bir kalibrasyon banyosuna yerleştirilen kalibre edilmesi istenen PT-100 ve termokupllardan ve bu değerlerin okunmasını sağlayan bir multimetreden oluşmaktadır (Şekil 87-87). Kalibrasyon banyosunda 24°C'ye kadar alkol, sonrasındaki daha yüksek set sıcaklık değerleri için alkolün uçuculuğundan dolayı banyo içindeki alkol boşaltılarak yerine su konularak kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır.

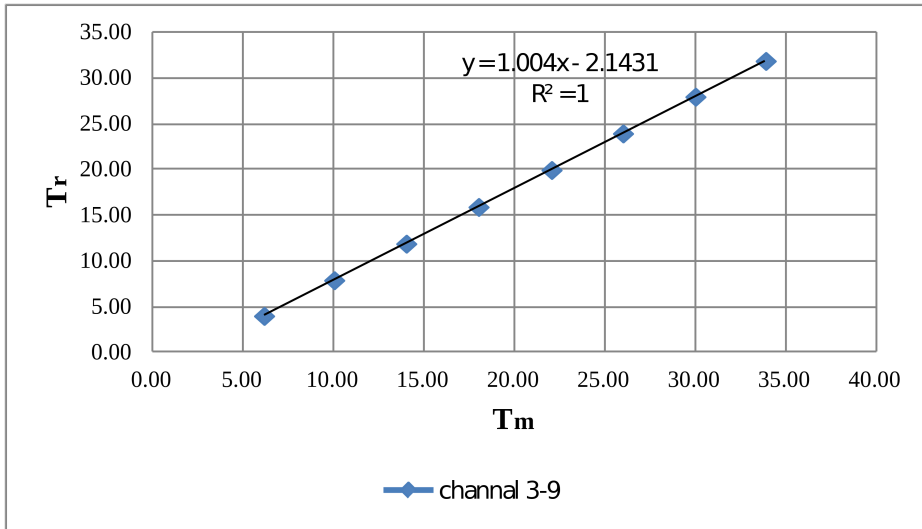
Yapılan deneysel ölçümler sonucunda, deneylerde elde edilen sıcaklıklar göz önünde bulundurulduğunda referans sıcaklık değer aralıkları belirlenmiş ve bu belirlenen set sıcaklık değerlerinin PT-100 ve termokuplda okunan değerleri referans set sıcaklık değerlerine göre sapması saptanarak kalibre edilmiştir (Tablo 12-13) Tablo 12'de 3-9 kanalındaki PT-100 referans ve ölçüm değerlerini, Tablo 13'de ise 2-9 kanalındaki termokupl için referans ve ölçüm değerleri görülmektedir. PT-100 sensörlerde termokupllara göre daha yüksek bir sapma olduğu görülmüştür. Seçilmiş olan PT-100 sensöründe $y=1.004x-2.1431$ gibi bir sapmanın eğrisi görülürken, seçilen termokuplda ise $y=0.9954x-0.0219$ sapma eğrisi hesaplanmıştır. Yani örneğin 4.06 gibi bir referans sıcaklık değeri termokuplda hemen hemen yaklaşık aynı olan 4.13 gibi bir değer okunurken, PT-100 sensöründe ise 6.18 gibi PT-100 sensörüne oranla daha yüksek bir oranda sapma olduğu görülmüştür. Şekil 88 ve 89 buna ilişkin grafikleri içermektedir.

Tablo 12. 3-9 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

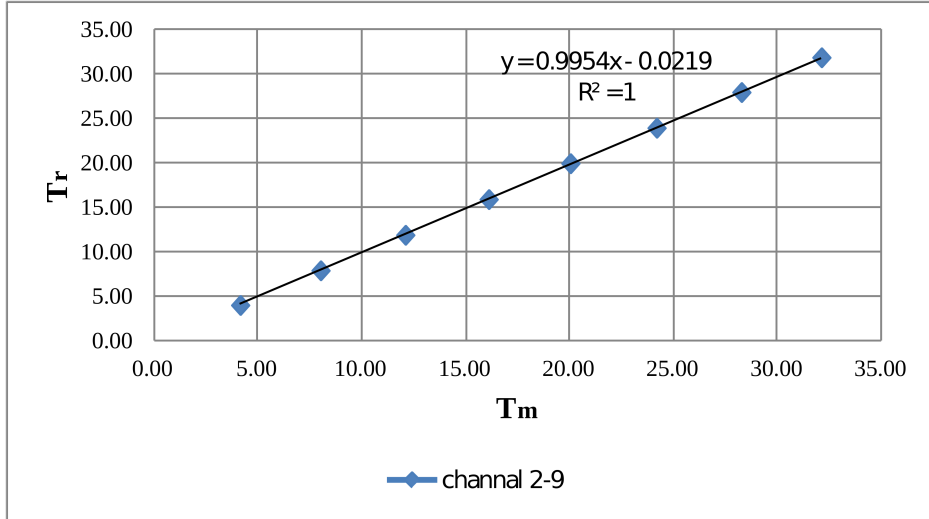
Channel	referans	measurement
3-9	4.06	6.18
	7.96	10.06
	11.95	14.04
	15.97	18.04
	20.00	22.08
	24.00	26.03
	28.01	30.03
	31.92	33.92

Tablo 13. 2-9 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-9	4.06	4.13
	7.96	7.99
	11.95	12.07
	15.97	16.07
	20.00	20.00
	24.00	24.15
	28.01	28.23
	31.92	32.07



Şekil 88. 3-9 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi



Şekil 89. 2-9 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Isıtma soğutma su banyosunun debi ölçümler de değişken kesitli bir debi ölçer ile gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm sisteminin kalibrasyonu da, klasik, belirli bir zaman dilimindeki akış kütesinin belirlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Buna göre gerçekleştirilen işlem Tablo 14'de gösterilmiştir.

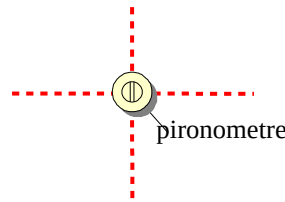
Tablo 14. Debimetre kalibrasyonu

su sıcaklığı 19°C yoğunluk 998,2 kg/m ³ debimetre: 350 litre/saat					
ölçüm no	zaman[s]	hacim[cc]	litre	debi[l/h]	
1	42,11	4200	4,2	359,1	
2	42,39	4290	4,29	364,3	
3	42,34	4295	4,295	365,2	
4	46,25	4695	4,695	365,4	
5	43,44	4420	4,42	366,3	
6	36,3	3680	3,68	365,0	
7	36,3	3680	3,68	365,0	
8	32,07	3290	3,29	369,3	
9	31,15	3195	3,195	369,2	
10	38,94	3990	3,99	368,9	küt. debi [kg/s]
			ort.	365,8	0,101

Fark basınç ölçüm sistemleri kendinden kalibrasyonludur ve basınç farkının ölçüldüğü iki ağızdaki basıncın aynı olduğu, herhangi bir basınç yaratıcı etkinin olmadığı durumda, ölçüm sistemi sıfırlanmaktadır.

Hava hızı ölçüm sistemi bu çalışma için yeni alınmıştır ve kalibrasyon sertifikasına göre yapılan ölçümler kalibre edilmiştir. Benzer olarak Piranometre de kalibre edilmiş olarak kullanılmıştır. Buna karşılık öncelikle piranometrenin konuşlandırılacağı pozisyon belirlenmiştir. Bunun için dış cam yüzey ve iki cam yüzey arasındaki mesafenin solar simülatöre olan uzaklığı değiştirilerek, dış cam yüzey üzerinde Şekil 90'da belirlenen noktalarda iki farklı ölçüm yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 15'de belirtilmiştir.

Birinci ölçümde hareketli olan dış cam ile iç cam arasındaki mesafe, minimum değeri olan 15 cm'dir. İkinci ölçümde ise dış cam solar simülatöre daha fazla yaklaştırılarak, iki cam arasındaki mesafe 40 cm'ye çıkarılmıştır. Ölçüm esnasında pironometrenin ölçüm yapan kısmı cam yüzeyinden 13 cm önde olduğu için, yapılan ölçümler de belirtilen mesafeden 13 cm daha önde olmaktadır. İki farklı mesafede ölçüm yapılarak, ısı akısının cam yüzey üzerindeki değişimi belirlenmiş ve asıl olarak da ortalama ısı akısı her iki durum için de hesaplanarak pironometrenin dış cam yüzey üzerindeki pozisyon tespiti yapılmıştır (Şekil 90).

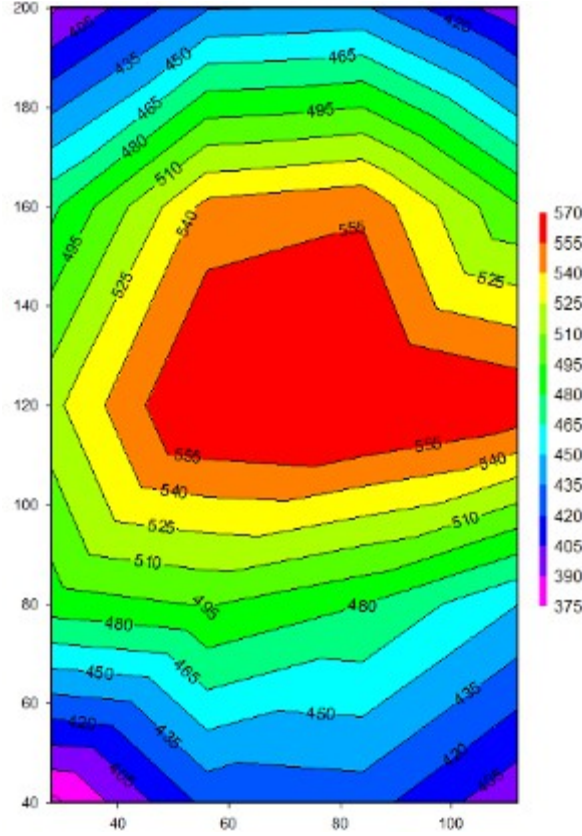


Şekil 90. Dış cam yüzey üzerindeki ışınım ölçüm noktaları

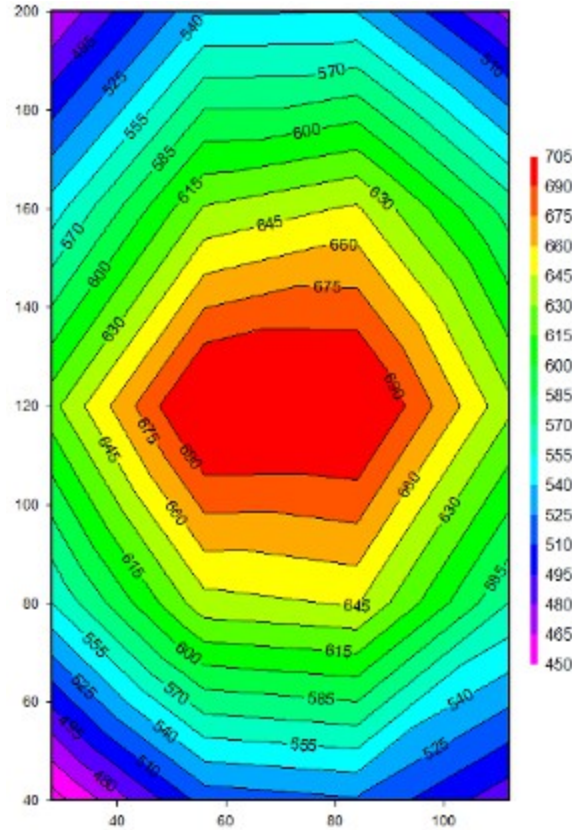
Tablo 15. Isı akısı ölçüm sonuçları

Ölçüm noktası	Ölçüm no 1	Ölçüm no 2
1	387,437	464,824
2	433,668	538,693
3	437,186	539,196
4	393,970	474,372
5	475,879	546,734
6	544,221	631,658
7	551,759	647,236
8	495,980	577,889
9	520,101	624,623
10	577,286	717,085
11	581,106	716,583
12	567,940	633,668
13	487,940	554,774
14	496,382	639,698
15	480,704	646,734
16	450,352	569,849
17	370,854	442,211
18	423,618	515,578
19	426,633	523,116
20	392,965	484,925

Birinci ölçüm durumunda tüm dış cam yüzeyi göz önüne alındığında, pironometreye gelen ortalama ışınım değeri 474.8 W/m^2 'dir. Standart sapma değeri ise 66.8 W/m^2 'dir. İkinci ölçüm durumunda ise pironometreye gelen ortalama ışınım değeri 574.5 W/m^2 iken, standart sapma değeri ise 80.1 W/m^2 olarak bulunmuştur. Standart sapmalar ve cam yüzey üzerindeki ortalama ısı akısı değerleri her iki ölçümde de farklı olmasına rağmen her ikisi içinde üst cam yüzeyinin 55 cm altında ve tam orta aksına pironometrenin yerleştirilmesi uygun bulunmuştur (Şekil 90). Her iki ölçüm için de bu nokta ortalama ısı akısı değerlerini yansıtmaktadır. Yapılan her iki ölçüme ait yüzeydeki ısı akısı dağılım eğrileri Şekil 91 ve Şekil 92'de gösterilmiştir.

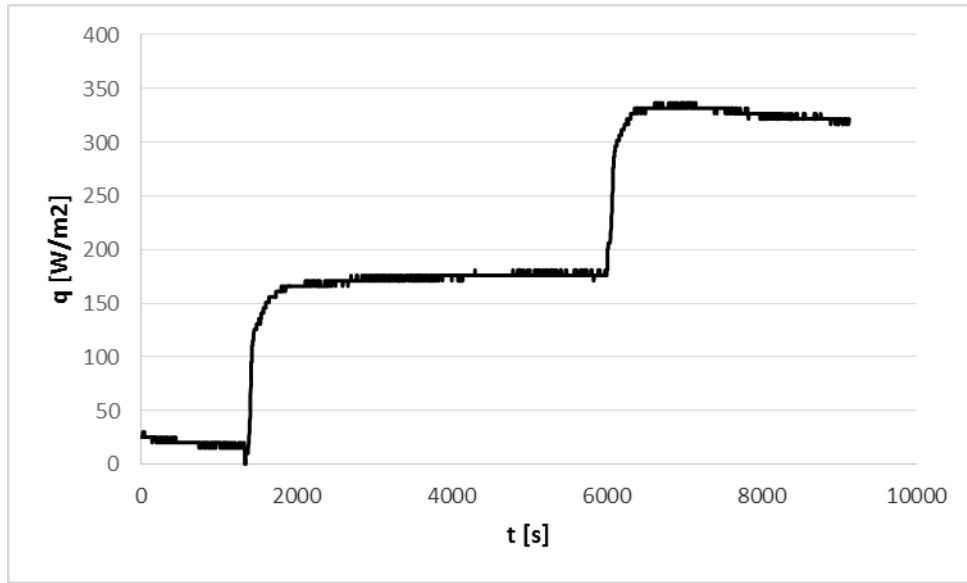


Şekil 91. Birinci ölçüm sonuçları: ısı akısı dağılımları

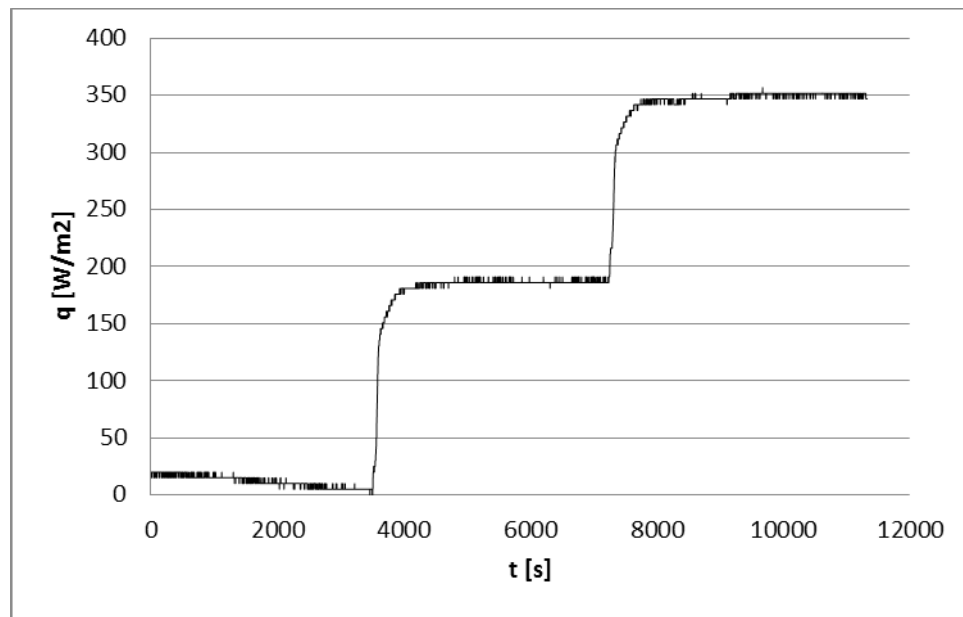


Şekil 92. İkinci ölçüm sonuçları: ısı akısı dağılımları

Bu ön çalışmanın dışında solar simülatörün kullanıldığı tüm deneylerde piranometre ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Piranometrenin ölçüm noktası cam yüzeyinin önünde yer aldığı için okunan değerlerin kalibre edilmesi gerekmektedir. Bunun için 25cm ve 35cm'den oluşan iki farklı kavite açıklığı için birer deney gerçekleştirilmiş ve deneylerde kullanılan iki farklı lamba konfigürasyonu için ölçümler yapılmıştır. Buna göre kavitenin 25cm olması durumu için ilk deney Şekil 93'de verilmiştir. Zamana göre yaklaşık 2000 saniyeden sonraki sabit ısı akısı 4 adet lambanın çalışması durumu içindir ve yaklaşık 6500 saniyeden sonra da 8 lamba çalıştırılmıştır. Benzer ölçüm 35cm için Şekil 94'de verilmiştir. Buradaki değerlerin görece büyük olması piranometrenin solar simülatöre daha yakın olmasından dolayıdır.



Şekil 93. Kavitenin 25cm olması durumundaki ısı akısı



Şekil 94. Kavitenin 35cm olması durumundaki ısı akısı

Şekil 93 ve 94'de elde edilen sonuçlara göre elde edilen ortalama değerler Tablo 16'da gösterilen diğer deneylerde ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır. Buna göre deneylerde gerçekleştirilen ölçümlerin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Tablo 16. Piranometrenin pozisyonundan dolayı gerçekleştirilen kalibrasyon

	4 lamba		8 lamba	
Kavite açıklığı	25 cm	35 cm	25 cm	35 cm
Gerçek	175,0	186,5	322,7	350,7
Deney	184,8	200,9	337,7	365,6

4.2 Belirsizlik Analizi

DeneySEL belirsizlik hesaplamaları Holman (2011) ve Tokuç vd. (2015) tarafından izlenen yöntem kapsamında gerçekleştirilmiştir. Buna göre ölçüm yapılan her bir cihazın belirsizliği, bu cihazların kullanılması ile elde edilecek bir değer (R) toplam belirsizliğine etkiyecektir. R değeri, Eşitlik 1'de verilen $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ bağımsız değişkenlerin belirsizliğine bağlı olarak ifade edilirse:

$$R = R(x_1, x_2, x_3 \dots x_n) \quad (1)$$

ω_R hesaplanan değer belirsizliği olarak tanımlanırsa, belirlenen tüm bağımsız değişkenlerin belirsizlikleri göz önüne alınarak 2 numaralı bağıntı elde edilmektedir:

$$\omega_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \omega_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \omega_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \omega_n \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\omega_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \omega_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \omega_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \omega_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Gerçekleştirilen kararlı durumdaki deneysel çalışmalar için çift cidar cepheden sisteme aktarılan veya çekilen birim zamandaki enerji miktarı ile birlikte ısıtma soğutma banyosunda kullanılan su aracılığıyla iç ortama aktarılan veya çekilen birim zamandaki enerji miktarlarının belirsizlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre hava veya su tarafından sisteme birim zamanda aktarılan veya çekilen enerji miktarı Eşitlik 3'te tanımlanmıştır:

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta T \quad (3)$$

Eşitlik 3'e ilişkin belirsizlik, havanın ve suyun termofiziksel özelliklerinden (ρ ve c_p), havanın hızından (V_a), havanın geçtiği kesit alanından (A_c), suyun hacimsel debisinden (\dot{V}_w) ve

akışkanların giriş-çıkış sıcaklık farkından (ΔT) dolayı olmaktadır. Buna göre ısı transferine etkileyen parametreler Eşitlik 4 ve 5'te, hava ve su için ayrı ayrı ifade edilmişlerdir:

$$\dot{Q}_a = f(\rho_a, c_{pa}, V_a, A_c, \Delta T_a) \quad E_w = E(t, \rho_w, \dot{V}_w, c_w, \Delta T_w) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_w = f(\rho_w, c_{pw}, \dot{V}_w, \Delta T_w) \quad E_w = E(t, \rho_w, \dot{V}_w, c_w, \Delta T_w) \quad (5)$$

Herbir bağımsız özelliğin belirsizlik değerleri Tablo 17'de verilmiştir. Buna göre hava ve su için Eşitlik 4 ve 5'te tanımlanan parametrelere bağlı olarak hesaplanacak enerji transfer hız değerlerinin belirsizlikleri, Eşitlik 2'deki kısmi diferansiyel denklemin çözülmesi ile belirlenmiştir. Buna göre hava ve su için enerji transfer hızındaki toplam belirsizlikler, sırasıyla, %3.2 ve %2.5 olarak, Tablo 17'deki değerlerin göz önüne alınmasıyla hesaplanmıştır. Ayrıca fark basınç ölçere ilişkin belirsizlik $\pm\%1.5+1\text{Pa}$ olarak tanımlanmıştır. Piranometrenin belirsizliği ise $7.00\mu\text{V/Wm}^{-2}$ olarak verilmiştir.

Table 17. Deneysel çalışmada kullanılan herbir bağımsız özelliğin belirsizlik değeri

Değişkenler	Değer	Belirsizlik	Açıklama
Havanın yoğunluğu, ρ_a	1.184kg/m ³ @25°C	$\pm\%0.02$	Isı transfer akışkanının seçilen termofiziksel özelliklerinden gelen belirsizlikler
Havanın özgül ısısı, c_{pa}	1007J/kg K @25°C	$\pm\%0.3$	
Havanın hızı, V_a	0.1-10 m/s	$\pm 0.2\text{m/s}$	Hacimsel debi ölçümünden gelen belirsizlik
Havanın geçtiği kesit alanı, A_c	0.37-0.66m ²	$\pm\%2$	Havanın aktığı kesit alanının ölçümünden gelen belirsizlik
Hava için sıcaklık farkı, ΔT_a	0-100°C	$\pm 0.034^\circ\text{C}$	Isılçiftlerle gerçekleştirilen ölçümlerden gelen belirsizlik
Suyun yoğunluğu, ρ_w	997 kg/m ³ @25°C	$\pm\%0.02$	Isı transfer akışkanının seçilen termofiziksel özelliklerinden gelen belirsizlikler
Suyun özgül ısısı, c_{pw}	4180 J/kg K @25°C	$\pm\%0.3$	
Suyun hacimsel debisi, \dot{V}_w	10-1000 litre/saat	$\pm\%2.5$	Hacimsel debi ölçümünden gelen belirsizlik
Su için sıcaklık farkı, ΔT_w	0-100°C	$\pm 0.018^\circ\text{C}$	Pt-100 probları ile gerçekleştirilen ölçümlerden gelen belirsizlik

Tablo 17'de yer alan ısı çiftler ve Pt-100 probları için belirsizlik değerlerinin hesaplanmasında, kalibrasyon işlemi de göz önüne alınarak, kullanılan cihazların da belirsizliği ile birlikte toplam belirsizlik değerlendirilmiştir. Buna göre Pt-100 probları için belirsizlik değerleri,

$$\sqrt{\left(\frac{refPt\ 100}{2}\right)^2 + \left(\frac{T_{cc}/2}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{refmm}{2}\right)^2} + St^2 + B_{sta}^2 = \pm 0.018\ ^\circ\text{C}$$

(6)

Eşitlik 6'da, kalibrasyonda kullanılan referans Pt-100 probu için $refPt100$ değeri olarak maksimum çözünürlük 0.02°C alınmıştır (0°C için 0.01°C ve 100°C için ise 0.02°C). Test cihazı, Hioki LR 8401-20'nin çözünürlüğü, T_{cc} , Pt-100 problemleri için maksimum 0.01°C 'dir (ısı çiftleri için bu değer 0.1°C 'dir). Kalibrasyonda kullanılan referans multimetrenin çözünürlük değeri, $refmm$, 0.0024°C 'dir. St , Standart sapma en fazla 0.01°C ve banyo stabilitesi, B_{sta} ise yine 0.01°C olarak alınmıştır.

Eşitlik 6'ya göre ısı çiftleri için ise belirsizlik değeri $\pm 0.034^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.



5. SAYISAL ÇALIŞMA

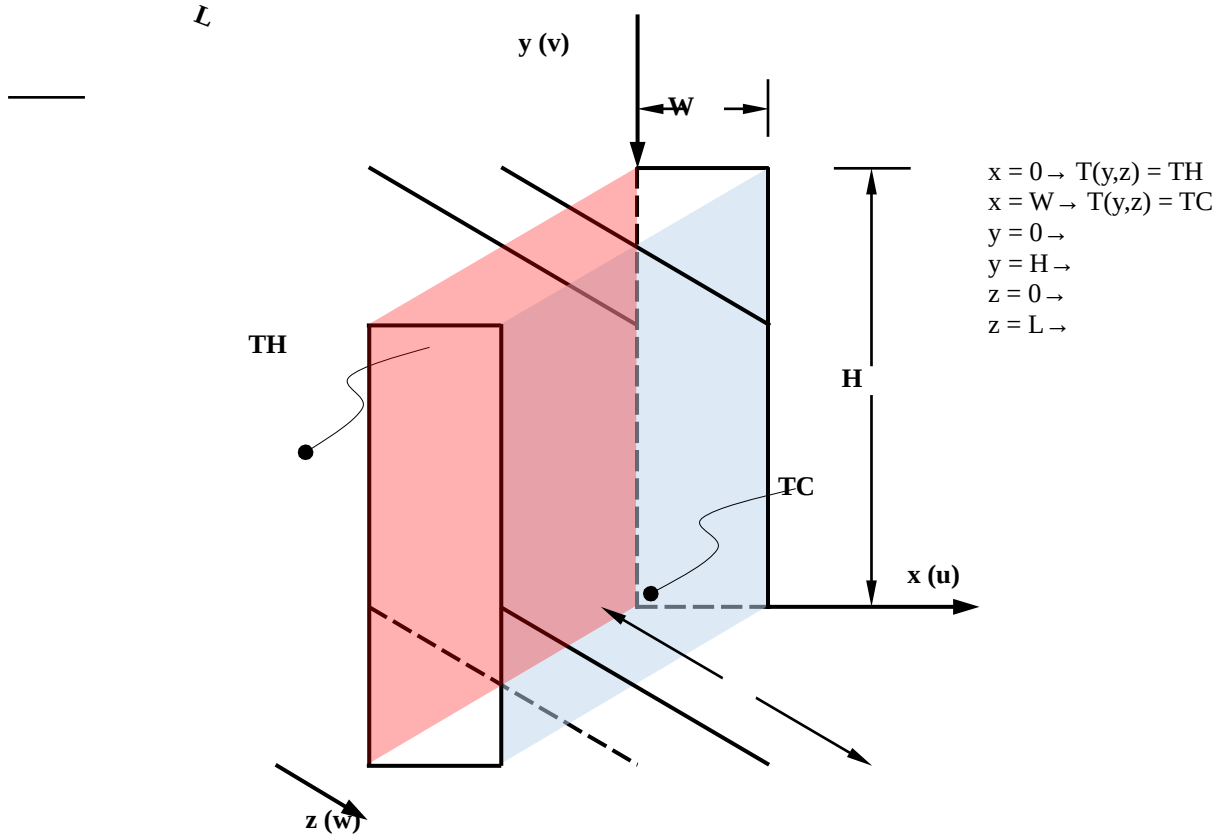
Projede üç farklı matematiksel modelle çift cidar cephedeki ısı transferi ve akış problemi incelenmiştir:

- Doğal taşınım etkisi altında, sabit yüzey sıcaklıkları için kararlı durum analizi,
- Zorlanmış taşınım etkisi altında, sabit yüzey sıcaklıkları için kararlı durum analizi,
- Doğal taşınım altında, güneş ışınımı etkili zamana bağlı analiz.

Sabit yüzey sıcaklıklı kararlı durum analizine ait matematiksel modelin ve çözüm yönteminin doğrulanması amacıyla literatürden alınan benzer bir problem tekrarlanmış ve elde edilen sayısal sonuçların literatürdeki deneysel ölçümlerle uyum içinde olduğu görülmüştür. Çözüm yönteminin doğrulanmasından sonra, mevcut test odası için farklı sınır koşulları altında akış ve sıcaklık dağılımları karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir. Daha sonra çift cidar cephe kavitesindeki farklı hız değerlerinde ve farklı yüzey sıcaklıkları için akış ve ısı transferine ilişkin değerlendirmeler parametrik olarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak İstanbul iline ait 24 saatlik ışınım ve dış sıcaklık verileri kullanılarak zamana bağlı analiz gerçekleştirilmiştir.

5.1 Problemin Tanımı

Test odasının indirgenmiş geometrisi Şekil 95'de sınır koşullarıyla birlikte gösterilmektedir.



Şekil 95. Test odası geometrisi ve sınır şartları

Test odasının yükseklik, genişlik ve derinliği sırasıyla $H = 2.16$ m, $W = 0.25$ m ve $L = 1.18$ m olarak tanımlanmıştır. T_H ve T_C sabit sıcaklıklarında tutulan yanal yüzeyler dışında kalan diğer tüm yüzeyler adyabatik olarak kabul edilmiştir. Öncelikle, proje kapsamında gerçekleştirilen yedi farklı deney için sistem matematiksel olarak incelenmiş ve kavite içerisindeki hız/sıcaklık dağılımları karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir. Deneysel

çalışmalarda kavite yanal yüzeyleri üzerinde belirlenen üç hat boyunca ($y = 0.6$ m, 1.08 m ve 1.56 m) sıcaklık değerleri ısı çiftleri yardımıyla ölçülerek kavite yüksekliği boyunca sıcaklık değişimleri her bir deney için elde edilmiştir. Deneysel ölçüm sonuçları ve hesaplanan Rayleigh sayıları Tablo 18’de sunulmaktadır.

Tablo 18. Deneysel ölçüm sonuçları

D deney #	$T_{c,1}$	$T_{c,2}$	$T_{c,3}$	$T_{h,1}$	$T_{h,2}$	$T_{h,3}$	$T_{c,a}$ v	$T_{h,av}$	Ra
1	-	2.7	6.41	8.21	9.66	12.4	3.0	10.1	9.33E+0
	0.1	4					2		9
2	0.8	3.7	7.52	8.92	11.7	14.6	4.0	11.7	1.01E+1
	6	2					4		0
3	0.9	4.3	9.13	9.37	12.4	16.6	4.8	12.8	1.04E+1
	6	9					3		0
4	1.5	4.8	8.47	11.0	14.0	18.0	4.9	14.3	1.20E+1
	4	2					4		0
5	1.6	5.2	9.08	11.8	15.1	19.7	5.3	15.5	1.28E+1
	7	5					3		0
6	2.0	5.7	9.77	12.8	16.4	21.5	5.8	16.9	1.39E+1
	4	9					7		0
7	3.0	7.0	11.3	14.5	18.2	23.8	7.1	18.8	1.44E+1
	2	7					2		9

Diğer taraftan, kavite içerisinde değişken sınır koşulları altında oluşan doğal taşınım ısı transferinin incelenmesi için İstanbul iline ait güneş ışınımı ve dış ortam sıcaklık değerleri kullanılarak zamana bağlı analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde iç (sol) ve dış (sağ) yüzeyler üzerindeki cam kalınlıkları ve camlara ait ısı özellikleri göz önüne alınmıştır.

5.2 Korunum Denklemleri

Matematiksel modelin çözümünde kullanılacak korunum denklemlerinin indirgenmesinde aşağıda belirtilen temel kabuller yapılmıştır,

- Akış türbülanslı, sıkıştırılmaz, Newtonyen, üç boyutlu ve kararlıdır,
- Havanın ısı özelliklerinin sıcaklıkla değişimi ihmal edilmiştir. Yoğunluğun sıcaklıkla değişimini modellemek için ise Boussinesq yaklaşımı uygulanmıştır.
- Viskoz ısınma ve ışınım etkileri ihmal edilmiştir,

bu kabuller altında kütle, momentum ve enerji korunumundan elde edilen Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki formlara indirgenebilir,

Kütle



x-momentum (7)

y-momentum (8)

z-momentum (9)

Enerji (10)

(11)

Momentum denklemlerinde bulunan son terimler türbülanslı akışı temsil eden Reynolds gerilimleridir. Benzer şekilde enerji denkleminin son teriminde hız ve sıcaklık salınımlarını temsil eden ilave bir terim bulunmaktadır. Bu terimlerin çözümü için çeşitli türbülans modelleri önerilmektedir. Boussinesq tarafından önerilen *girdap-vizkosite* konseptini temel alan yöntemler (*k-epsilon*, *k-omega* vb.) türbülans gerilimi terimlerini zaman ortalamalı hız gradyanları cinsinden tanımlamaktadır,

(12)

burada μ_t girdap vizkositesi, k kinetik enerji, δ_{ji} ise Kronecker deltadır. Türbülanslı ısı akışı da benzer şekilde zaman ortalamalı sıcaklık gradyanları cinsinden tanımlanmaktadır,

(13)

burada Γ türbülanslı ısı yayılımı belirtmektedir. Girdap viskozitesi ve türbülanslı ısı yayılımı değerleri akışla ilgili olup akışkana ait bir özellik değildir. Bu iki değeri bir arada değerlendirmek için türbülans Prandtl sayısı tanımlanmaktadır. Deneysel çalışmalar ışığında μ_t ve Γ değerlerinin akışa bağlı olarak kendi içlerinde değiştiği ancak türbülans Prandtl sayısının (σ_t) sabit olarak alınabileceği kabul edilmektedir

(14)

Eşitlik 12 ile 14 arasında verilen denklemler korunum denklemleri (Eş. 7 ile 11) içerisinde düzenlendiğinde korunum denklemleri içerisinde yer alan anlık hız ve sıcaklık değerlerinin yerine ortalama hız gradyanları ve türbülans yayılım değerleri yazılabilir. Buna göre yeniden düzenlenmiş korunum denklemleri aşağıdaki şekilde elde edilir,

Kütle

(15)

x-momentum

(16)

y-momentum

(17)

z-momentum

(18)

Enerji

(19)

Elde edilen bu yeni denklemlerde türbülans etkileri ortalama hız ve sıcaklık değişimleriyle ilişkilendirilmiştir. Türbülans veya girdap viskozitesi daha önceden belirtildiği gibi akışa ait bir özelliktir ve hesaplama bölgesi içerisindeki her bir çözüm noktası için yerel türbülans enerjisi (k) ve yayılım hızı (ϵ) cinsinden elde edilebilir,

(20)

Bu çalışmada türbülans enerjisi ve yayılım hızı terimlerinin çözümünde *k-epsilon* türbülans modeli ailesinden Realizable *k-epsilon* modeli uygulanmıştır. Realizable modelin klasik *k-epsilon* yöntemine göre en önemli avantajı ayrılma, yeniden birleşme ve karmaşık ikincil akışların olduğu problemlerin yüksek doğrulukta çözümlenebilmesidir (ANSYS, 2009). Realizable *k-epsilon* yönteminde yukarıda verilen transport denklemlerinin yanı sıra türbülans kinetik enerjisi ve yayılım hızının belirlenmesi için aşağıdaki diferansiyel denklemler çözülmektedir,

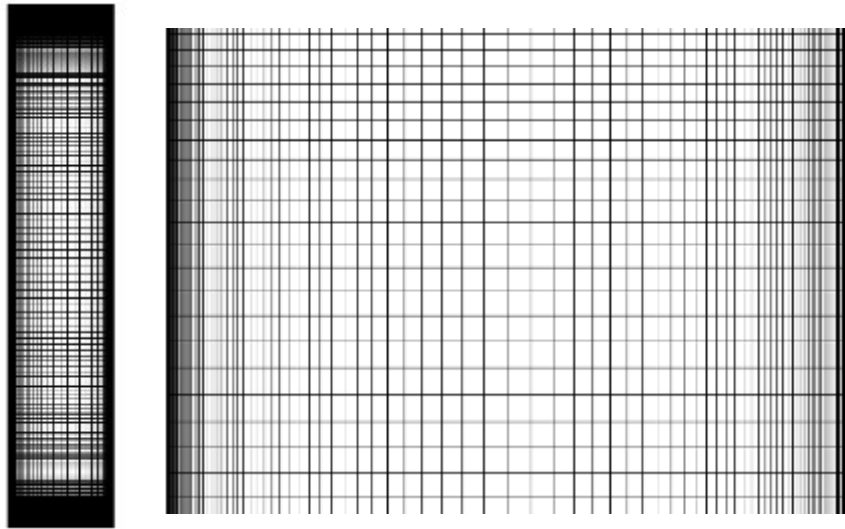
(21)

(22)

Denklemlerde yer alan terimlerin ve sabitlerin detayları ANSYS-FLUENT teori kitabında bulunmaktadır (ANSYS, 2009).

5.3 Ağ yapısı ve Çözüm Yöntemi

Hesaplamalar kontrol hacimleri yaklaşımını temel alan ANSYS-FLUENT paket programıyla gerçekleştirilmiştir. Hesaplama bölgesi toplamda 1.25E+6 kontrol hacmine ayrılmıştır. Şekil 96'da oluşturulan ağ yapısı gösterilmektedir.



(a) x-y düzlemi genel görünüm, (b) y-z düzlemi yakın görünüm

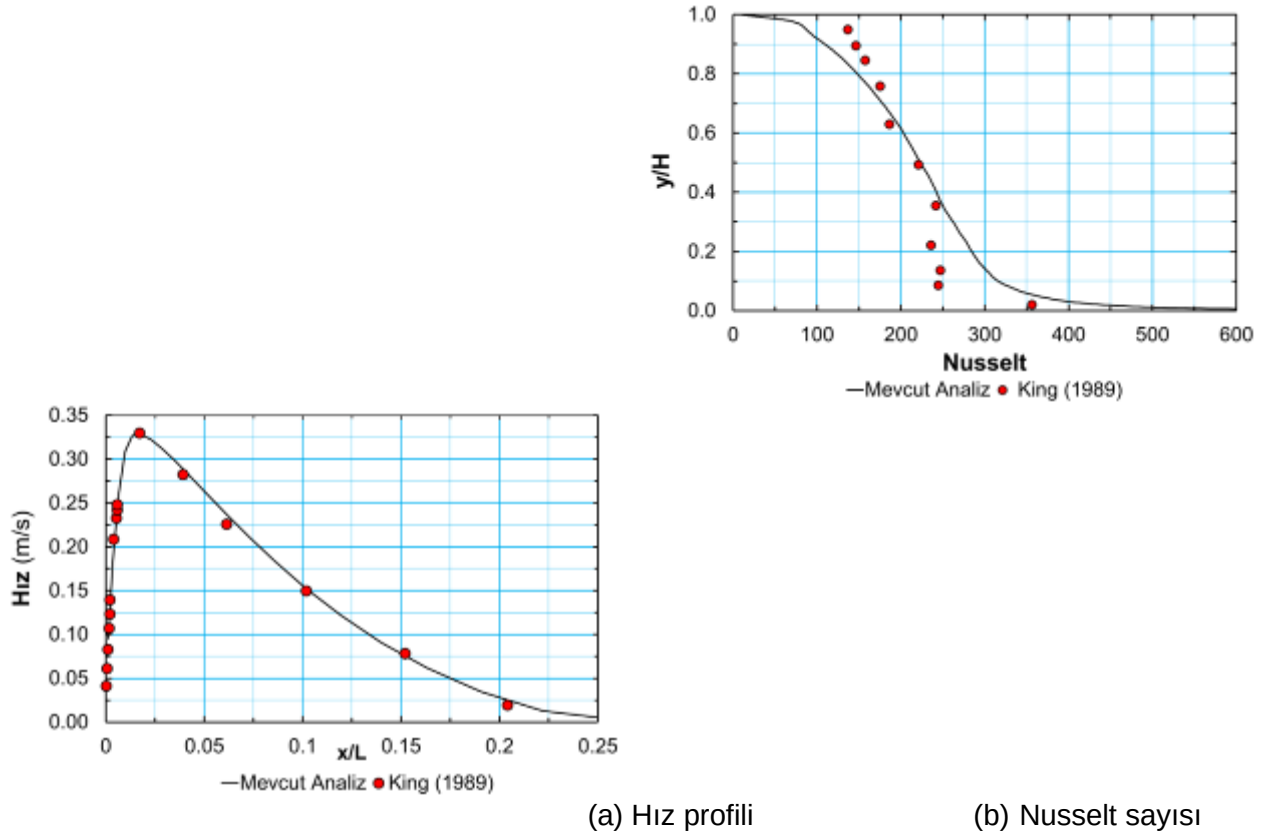
Şekil 96. Ağ yapısı

Katı yüzeyler üzerinde meydana gelecek yüksek gradyanları tespit edebilmek amacıyla bu bölgelerde kontrol hacimleri sayıları arttırmıştır. Kavite yanal yüzeylerinde düşey yönde sıcaklık değişiminin tanımlanması amacıyla program içerisinde konuma bağlı sıcaklık profilleri tanımlanmıştır. Korunum denklemlerinin çözümünde Patankar (1980) tarafından önerilen SIMPLE çözüm algoritması uygulanmıştır. Basınç teriminin ayrıştırılmasında PRESTO yöntemi kullanılmış, diğer transport denklemleri için ise QUICK (Leonard ve Mokhtari, 1990) ayrıştırma şeması uygulanmıştır. Çözümlemelerde tüm transport parametreleri için yakınsama kriteri 10^{-5} olarak belirlenmiştir.

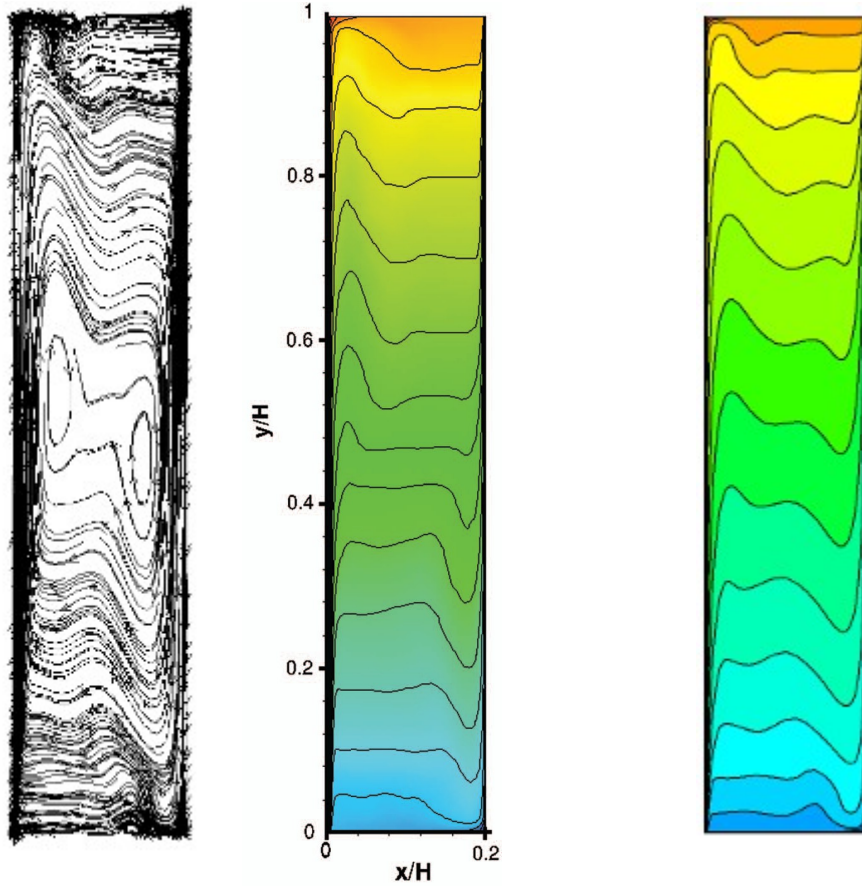
5.4. Çözüm Yönteminin Doğrulanması

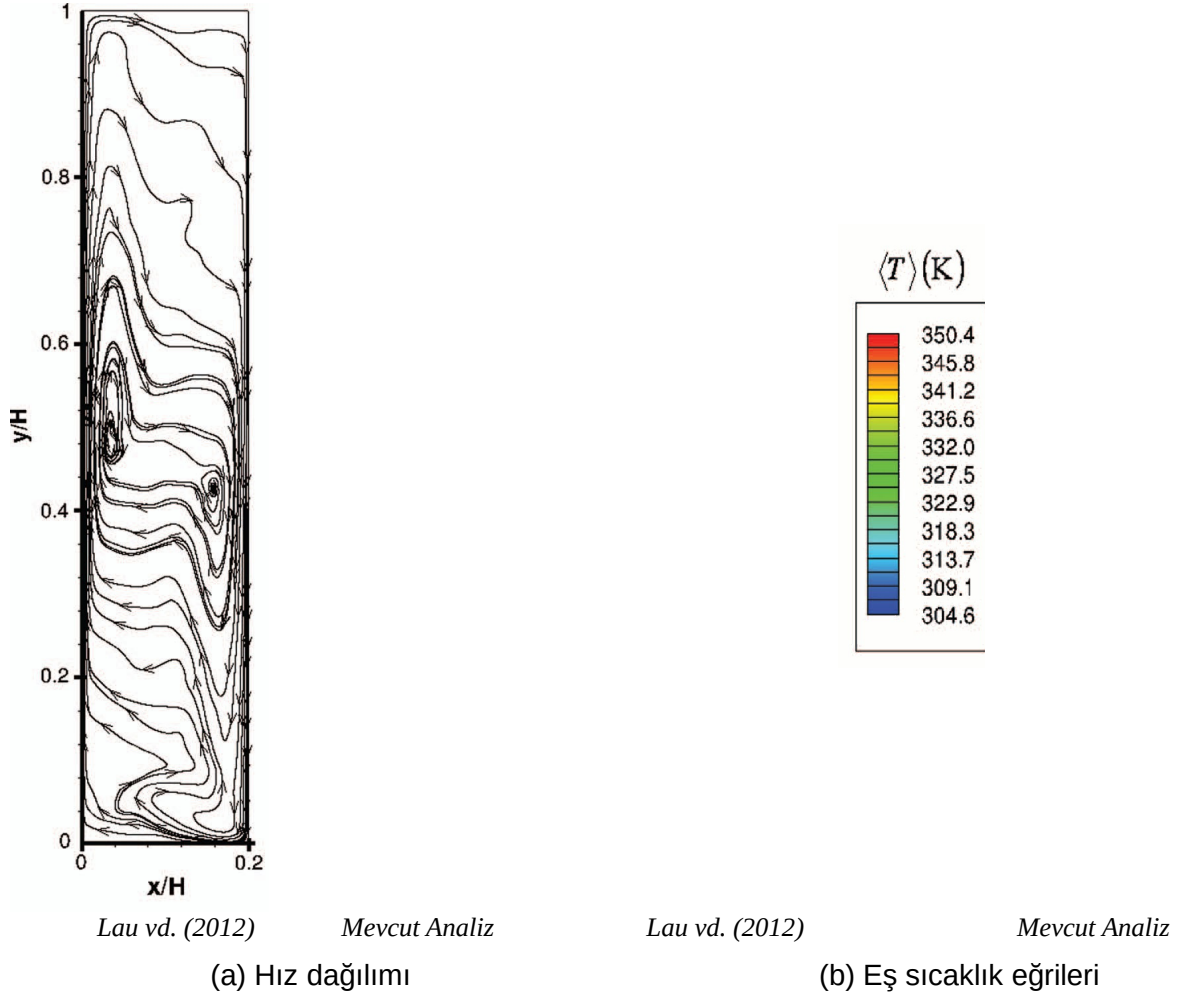
Mevcut geometri için çözümlene yapmadan önce uygulanan çözüm yönteminin doğrulanması amacıyla literatürden benzer bir deneysel çalışma tekrarlanmıştır. King (1989) tarafından kurulan test düzeneği için yükseklik, genişlik ve derinlik sırasıyla $H = 2.5$ m, $W = 0.5$ m ve $L = 1.0$ m'dir. Deneysel çalışmada sıcak ve soğuk yüzeyler sırasıyla $T_H = 77.2^\circ\text{C}$ ve $T_C = 31.4^\circ\text{C}$ sıcaklıklarında tutulmuştur. Tanımlanan bu geometri ve sınır şartları için $Ra_H = 4.6 \times 10^{10}$ olarak elde edilmektedir. Sistem içerisindeki noktasal sıcaklık değerleri hareketli bir termokupl mekanizması yardımıyla elde edilmektedir. Kullanılan sıcaklık ölçüm sensörleri için ölçüm hassasiyeti 0.2 K olarak belirtilmiştir. Hız dağılımını elde etmek için ise Laser Doppler Anemometer (LDA) sistemi kullanılmıştır. Hız ölçümleri için belirtilen belirsizlik ise 0.02 m/s'dir. King (1989) tarafından gerçekleştirilen bu kapsamlı deneysel çalışma çeşitli araştırmacılar tarafından matematiksel modellerin doğrulanmasında tercih edilmektedir (Choi vd., 2004 ve Lau vd., 2012).

Öncelikle sıcak yüzey üzerindeki hız profili ve yerel Nusselt sayısı değişimleri karşılaştırılmıştır. Şekil 97 (a)'da $z = L/2$ ve $y = H/2$ için sıcak duvar üzerinde oluşan hız profili deneysel ölçümlerle karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Şekil 97 (b)'de ise yine $z = L/2$ için sıcak duvar boyunca elde edilen yerel Nusselt sayısı değişimi referans çalışmayla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Her iki karşılaştırma da mevcut sayısal sonuçların deneysel ölçümlerle uyumluluğunu göstermektedir. Bir diğer karşılaştırma ise $z = L/2$ düzlemi üzerinde elde edilen hız ve sıcaklık dağılımları için gerçekleştirilmiştir. Şekil 98'de Lau vd. (2012) tarafından elde edilen dağılımlar mevcut çalışmada elde edilen sonuçlarla bir arada sunulmaktadır. Lau vd. (2012) türbülans modeli olarak Large-Eddy-Simulation (LES) kullanarak zamana bağlı analiz gerçekleştirmiştir. Mevcut modelde ise zaman ortalamalı korunum denklemleri üzerinden kararlı durum analizi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan modeller arasındaki fark da göz önünde tutulduğunda hız ve sıcaklık dağılımlarının benzerlik gösterdiği söylenebilir.



Şekil 97. Sıcak yüzey üzerindeki hız profili ve Nusselt sayısı değişimi

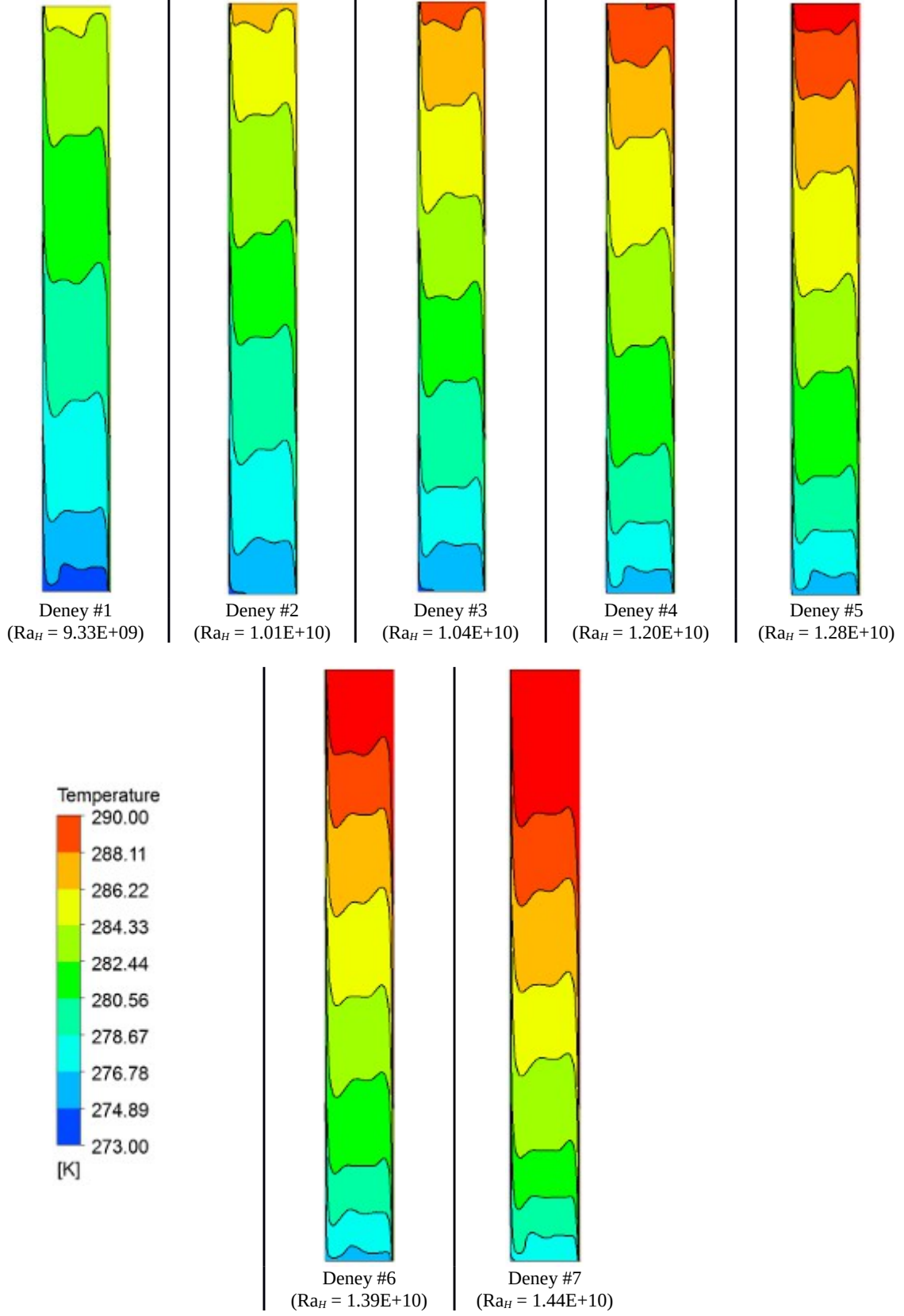




Şekil 98. $z = L/2$ düzlemi üzerindeki hız ve sıcaklık dağılımları

5.5 Doğal Taşınım İlişkin Elde Edilen Sayısal Sonuçlar

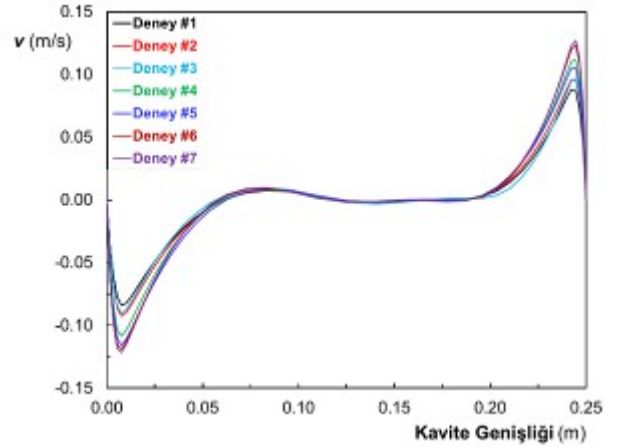
Sabit yüzey sıcaklı kavite analizlerinde tanımlanan sınır koşulları Tablo 18'de verilmektedir. Buna göre Rayleigh sayısı $9.33E+09$ ila $1.44E+10$ arasında değişmektedir.

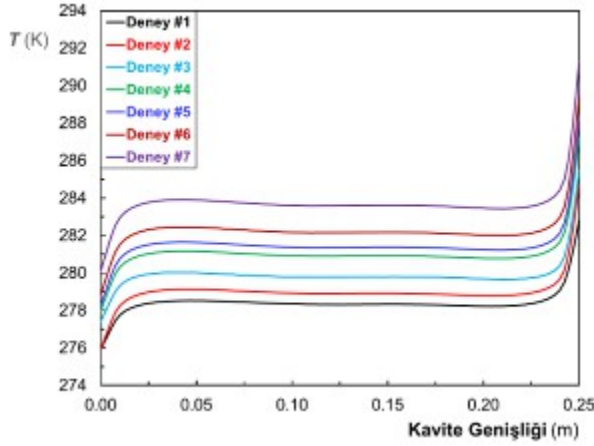
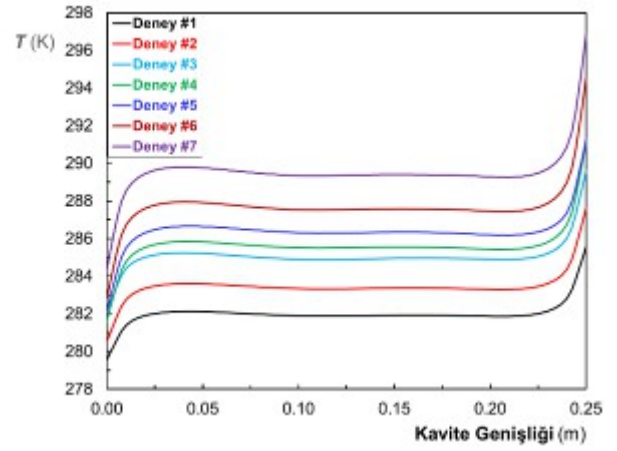
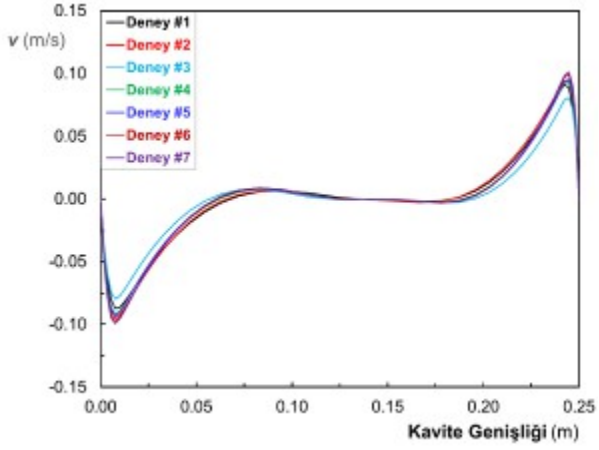


Şekil 99. Farklı Ra_H sayıları için $z = L/2$ düzlemi üzerindeki sıcaklık dağılımları

İlk olarak $z = L/2$ düzlemi üzerinde oluşan eş sıcaklık eğrileri Şekil 99'da sunulmuştur. Rayleigh sayılarının birbirine yakın olmasından dolayı sıcaklık dağılımlarında belirgin bir farklılık oluşmamakta, ancak yüzey sıcaklıklarının artmasıyla birlikte kavite içerisinde sıcak bölgelerin büyüdüğü gözlenmektedir.

Şekil 100 a ve b'de ise $y = 0.6$ m ve $y = 1.56$ m konumları içinde kavite içerisindeki hız ve sıcaklık değişimleri karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Farklı deneylere ait simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, değişen sıcaklıklara rağmen hız değerlerindeki dağılımların benzer bir form izlediği ve hız değerleri arasındaki maksimum farkın %5 mertebesinde olduğu saptanmıştır. Diğer taraftan, deneylerde farklı yüzey sıcaklıklarının elde edilmesinden dolayı, kavite içerisinde farklı sıcaklık-konum eğrileri oluşmuştur. Boyutsuz sıcaklık değerleri göz önüne alındığında ise, hız dağılımlarına benzer şekilde sıcaklık dağılımlarının da benzer tek bir formda olduğu anlaşılmaktadır.





(a) $y = 0.6$ m

(b) $y = 1.56$ m

Şekil 100. Kavite içerisindeki hız ve sıcaklık değişimleri

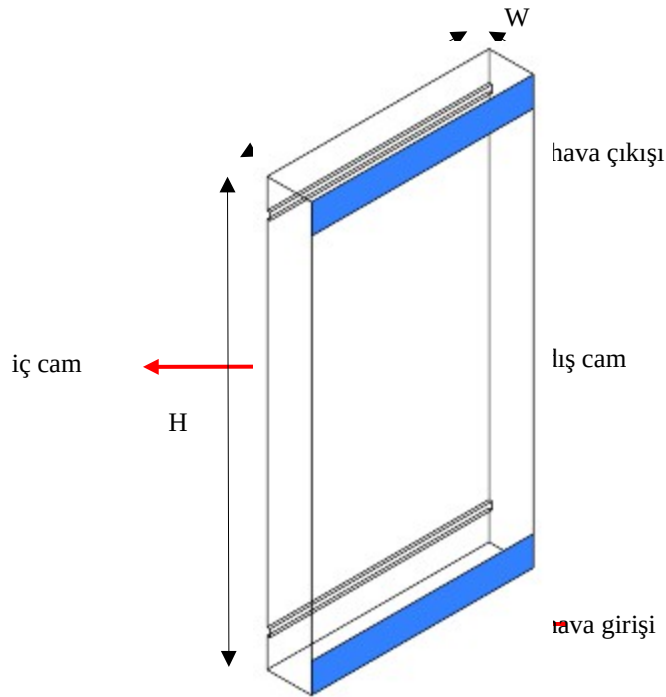
5.6 Zorlanmış Taşınım İlişkin Elde Edilen Sayısal Sonuçlar

5.6.1 Model Geometrisi ve Problemin Tanımı

Sayısal çalışması yapılan, çift cidarlı cepheye sahip olan test odasındaki kanal geometrisi Şekil 101'de gösterilmiştir. Kanal geometrisinin yükseklik, derinlik ve genişliği sırasıyla; $H = 2.90$ m, $W = 0.3$ m ve $L = 1.50$ m'dir. Dış cam 4 mm kalınlığında saydam tek camdan

oluşurken, iç cam ise 4-12-4 mm kalınlığında standart çift camdan oluşmaktadır. İç camda, camın mukavemetini arttırmak için yatay alüminyum profiller kullanılmıştır. Dış ve iç camda 0.2 m yüksekliğinde kanal genişliğince uzanan hava giriş ve çıkış açıklıkları bulunmaktadır. İki cam yüzey arasında bulunan 0.30 m derinliğindeki bu kanalda (derinlik ayarlanabilmektedir), farklı hava akış modlarının etkileri detaylı olarak analiz edilmiştir.

Bu matematiksel modelde literatürde dış hava perdesi olarak adlandırılan, iç camdaki hava giriş ve çıkış açıklıklarının kapalı olduğu, sadece dış cam cephe yüzeyindeki hava giriş ve çıkış açıklıklarının kanal içerisindeki hava etkileşimini sağladığı hava akış modu analiz edilmiştir.

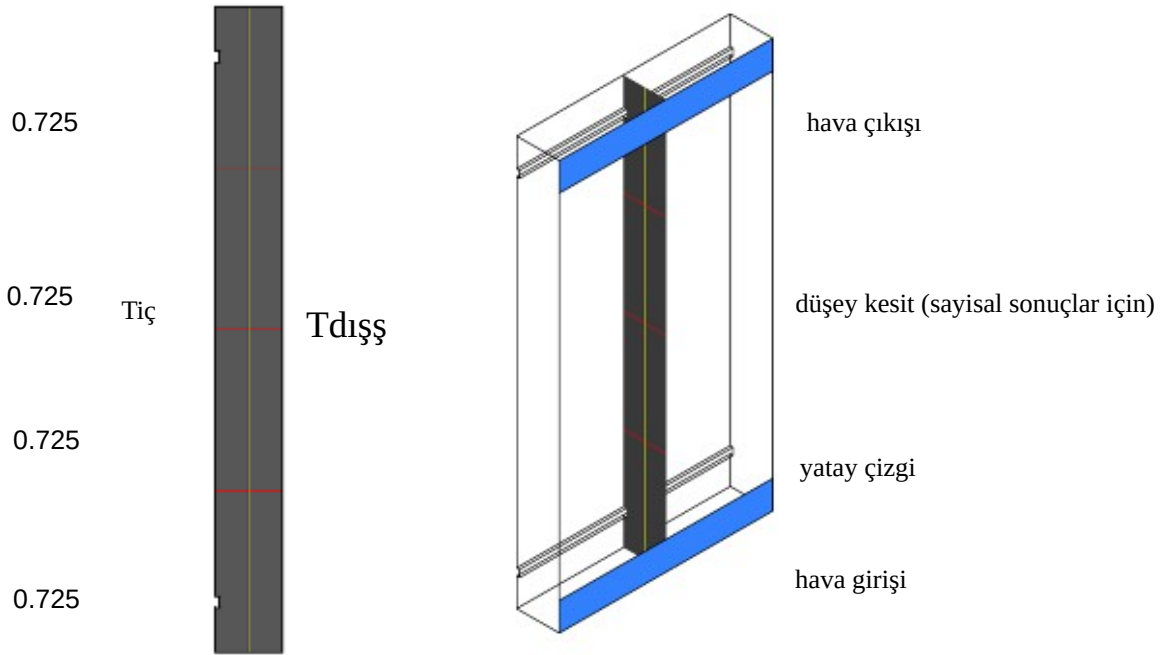


Şekil 101. Model geometrisi

İç ve dış cam yüzeyleri dışında kalan tüm yüzeyler adyabatik olarak kabul edilmiştir. İç ve dış cam yüzey sıcaklıkları için ise yaz ve kış koşulları için farklı sabit yüzey sıcaklıkları tanımlanmıştır. Kış koşulları için dış cam yüzeyi ($T_{dış}$) 8°C ve iç cam yüzeyi ($T_{iç}$) ise 18°C olarak tanımlanırken; yazın ise dış cam yüzeyi 40°C iç cam yüzeyi ise 30°C olarak ele alınmıştır. Bu değerler İzmir bölgesi için, yaklaşık olarak iç ve dış ortam tasarım sıcaklıkları olarak kabul edilmiştir. Deneysel çalışmalara müteakip farklı sıcaklık parametreleri de çalışılacaktır. Kış koşulunda ara kanala hava giriş sıcaklığı 13°C , yaz koşulunda ise 35°C olduğu varsayılmıştır. Dış cam cephenin alt yüzeyindeki menfezden hız uniform olarak kanal içerisine alınmakta ve dış cephede bulunan üstteki menfezden, atmosfer basıncındaki dış

ortama atılmaktadır (Şekil 102). Ara kanala hava giriş hızı 0.2 m/s, 0.5 m/s ve 1 m/s olmak üzere üç farklı üniform hız değeri için, yaz ve kış koşullarında kanalda oluşan hız, sıcaklık, basınç değişimleri detaylı olarak incelenmiştir.

Çift cidarlı hava kanal genişliğinin tam orta bölgesine, kanal yüksekliği ve derinliği boyunca uzanan düşey bir kesit alınarak bu düşey kesitteki sayısal sonuçlar irdelenmiştir. Bu düşey kesit Şekil 102'de görülmektedir. Bu düşey kesitin tam orta noktası olan 1.45 m yüksekliğinde kanal derinliği boyunca uzanan yatay bir çizgi hattı belirlenmiştir. Bu çizgi hattının 0.725 m üstü ve 0.725 m altında 2 yatay çizgi hattı daha belirlenerek, bu çizgi hatları üzerindeki sıcaklık ve hız değişimleri incelenmiştir (Şekil 102). Bu düşey kesit üzerinde bu yatay çizgi hatları belirlenirken, kararlı durumun daha net gözlemlenebilmesi adına hava giriş ve çıkış doğrultusundan mümkün olduğunda uzak yatay çizgi hatlarının belirlenmesine dikkat edilmiştir. Şekil 102'de görüldüğü gibi bu yatay çizgi hatların dışında kanal yüksekliği boyunca basınç değişimini gözlemleyebilmek adına, düşey kesit derinliğinin tam orta noktasına, kanal yüksekliği boyunca uzanan bir düşey çizgi hattı belirlenerek basınç değişimleri analiz edilmiştir (Şekil 102).



Şekil 102. Model geometrisi-kesit

Geometrinin ANSYS ortamında üç boyutlu olarak matematiksel modeli oluşturularak hesaplamalar kontrol hacimleri yaklaşımını baz alan ANSYS-FLUENT ortamında gerçekleştirilmiştir. Akış türbülanslıdır, üç boyutlu ve kararludur. Sayısal çözümde realizable k-epsilon turbülans model yaklaşımı kullanılmıştır. Yoğunluğun sıcaklıkla değişimini modellemek için Boussinesq yaklaşımından yararlanılmıştır. Korunum denklemlerinin

çözümünde SIMPLE çözüm algoritması uygulanmıştır. Basınç teriminin ayrıştırılmasında Standard yöntemi kullanılmış, diğer transport denklemleri için ise QUICK ayrıştırma şeması uygulanmıştır. Model de hexahedra türünde 3632000 mesh elemanını bulunmaktadır. 0 ile 1 arasında olması gereken ortogonal mesh nitelik aralığının modelde 1 değerinde olduğu mesh niteliğinin iyi değerde olduğunu göstermektedir. Minimum mesh hacmi $1.620117e-09 \text{ m}^3$ iken, maksimum mesh hacminin $9.479694e-06 \text{ m}^3$ olduğu görülmüştür. Toplam hacim ise $1.302000e+00$ 'tür. Hava giriş ve çıkış menfezlerinin olduğu yerde meydana gelen değişimleri daha hassas analiz edebilmek adına mesh sayıları bu bölgelerde arttırılmıştır.

5.6.2 Kütleli Debi ve Isı Transfer Değerleri

Giriş parametreleri ve elde edilen sonuçlar Tablo 19'da verilmiştir. Kütle ve enerji dengesinin korunduğu görülmüştür. Giren ve çıkan kütleler eşittir. Hava giriş menfezindeki basınç değerleri kış durumunda yaz durumundan daha yüksek mertebelerde olduğu ve hız değerlerinin artışı ile basınç değerlerinde de artışın olduğu görülmektedir. Kütleli debi değerleri de hız artışı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Çıkış hava menfezindeki basınç atmosfer basıncına eşittir.

Tablo 19. Yaz ve kış için farklı hız değerleri için kütleli debi ve ısı transfer hız değerleri

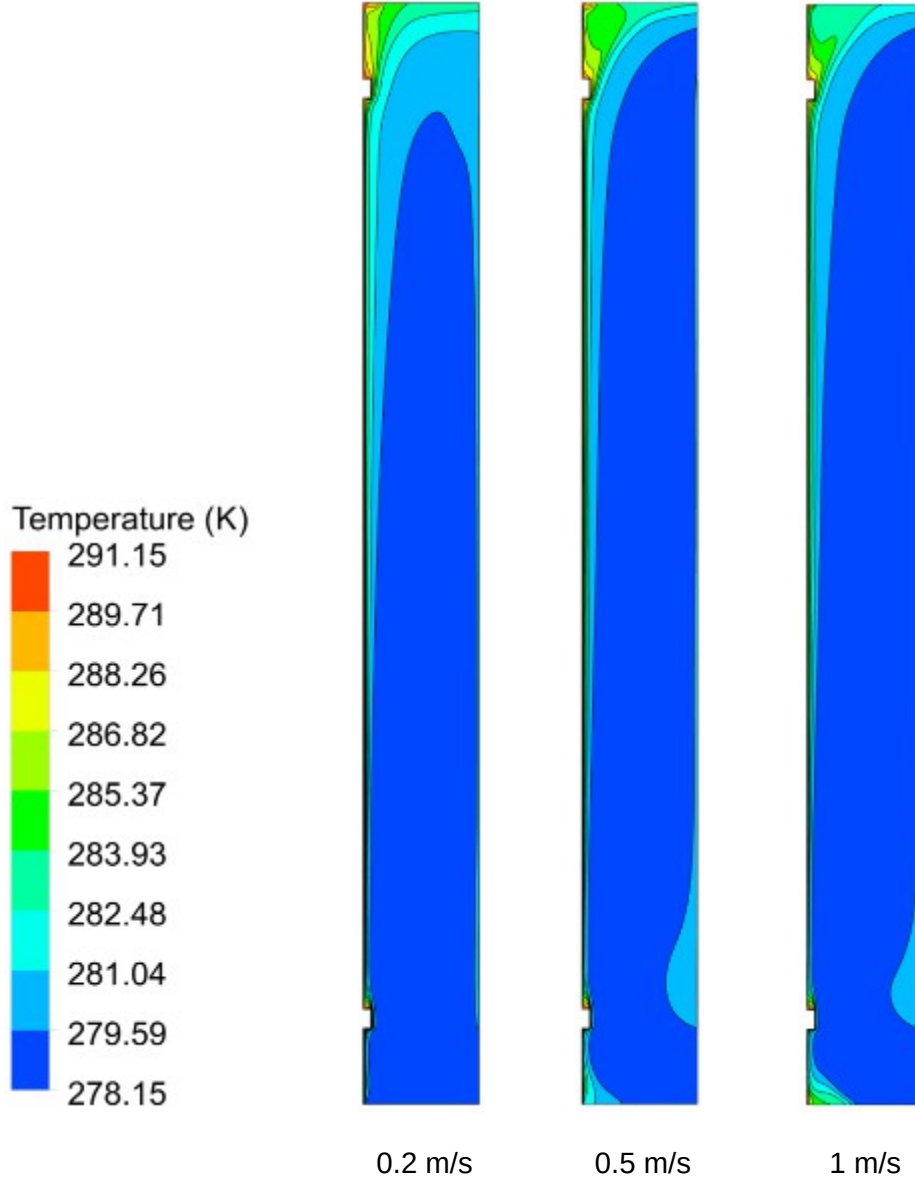
	V (m/s)		T (K)			P (Pa) inlet	m (kg/s)	Q				
	inlet	outlet	T _g	T _ç	ΔT			inlet	outlet	outer-wall	inner wall total	Total h.tr. rate (W)
Kış durumu	0,2	0,20	278,15	281,19	3,038	0.8199	0,07	-1473,43	1249,6	21,63	203,01	0,8103
	0,5	0,60	278,15	280,06	1,910	1,0156	0,18	-3683,55	3331,9	59,43	292,27	0,0002
	1	1,29	278,15	279,82	1,671	1,7857	0,37	-7367,08	6751,6	111,41	504,07	0,0029
Yaz durumu	0,2	0,34	308,15	308,03	-0,124	0,1715	0,07	736,69	-727,6	77,09	-86,20	0,0008
	0,5	0,75	308,15	307,96	-0,187	0,3641	0,18	1841,75	-1807,3	101,34	-135,80	0,0019
	1	1,38	308,15	308,11	-0,038	1,1180	0,37	3683,51	-3669,5	189,97	-204,00	-0,0095

Sıcaklık farkları yaz ve kış koşulları için farklıdır. Yaz koşulunda giriş hava sıcaklığı 35°C iken dış cam yüzey sıcaklığı 40°C , iç cam yüzey sıcaklığı 30°C 'dir. Hava giriş sıcaklığı cam yüzey sıcaklıklarının arasında bir değerdedir. Yazın havadan iç cam yüzeyine ısı transferi söz konusudur. Bu nedenle - sıcaklık farkı değerlerini yaz koşullarında görmek mümkündür (Tablo 19). Kış koşulunda hava giriş sıcaklığı 5°C değerinde iken, dış cam yüzey sıcaklığı 8°C ve iç cam yüzey sıcaklığı ise 18°C 'dir. Hem dış hem iç cam yüzey sıcaklığı giriş hava sıcaklığından daha yüksek olduğu için, kış koşulunda sıcaklık değişiminin ve ısı transfer oranları yaz koşulundan fazla olduğu Tablo 19'da görülmektedir. Kış koşulunda iç ve dış

yüzeyden ara kanaldaki akışkana ısı transferi söz konusudur. Yüksek hızlarda dış cam cephenin alt menfezinden kanal içerisine alınan akışkan hava sıcaklığı yeterince artmadan hızla dış cam cephenin üst yüzeyinde bulunan menfezden dışarı atılmaktadır. Düşük hızlarda ise tam tersi olarak hava giriş ve çıkış menfezleri arasındaki sıcaklık farkı daha fazla olmaktadır. Böylece akışkana olan ısı transferi de düşük hızlarda daha fazla olmaktadır. Örneğin, Tablo 19'da kış koşulunda 0.2 m/s hız değeri için giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkı değeri 3.038 K iken, 1 m/s hız değeri için sıcaklık farkının 1.671 K değerinde olduğu, hız artışı ile modellerdeki sıcaklık değişiminin ve ısı transferinin azaldığı görülmektedir. Toplam ısı transfer değerlerine baktığımızda, 0.2 m/s hız değerine sahip olan, kış koşulundaki modelde toplam ısı transfer değerinin 0.81W gibi küçük bir değer almasına rağmen diğerlerinden daha fazla 0 değerinden uzaklaştığı görülmüştür. Bunun nedeninin süreklilik denkleminin yakınsama değerlerinin, diğerlerinden daha yüksek oranda çıkmasının önemli bir etken olduğu düşünülmektedir.

5.6.3 Kanal Ortasında Bulunan Düşey Kesitteki Sıcaklık Dağılımları: Kış Durumu

Akış içerisindeki sıcaklık farkı düşük hızlarda daha iyi okunmaktadır (Tablo 19). Şekil 103'de görüldüğü gibi hava çıkış menfezine yakın olan kesitte daha yüksek sıcaklık gradyanlarının olduğu görülmektedir. Hız artışı ile üst kısımda sıcaklık gradyanlarının olduğu bölge, alüminyum profilin olduğu iç cam cephede bulunan köşede iyice yoğunlaşırken, çıkış menfezinin olduğu dış cam cephede iyice azalmaktadır. Çünkü yüksek hızlarda gelen akışkan, hava çıkış menfezinde daha geniş alanı süpürmektedir. Alüminyum profillerin akışı engelleyen bir unsur olduğunu söylemek mümkündür. Kış koşullarındaki sıcaklık dağılım grafiğini gösteren Şekil 103'e baktığımızda, akışkan hızının artması ile birlikte sıcaklık gradyanlarının iç cam cephede yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca hız artışı ile tavanda oluşan sıcaklık gradyanlarının azaldığı görülmektedir. Dış cam cephede yer alan hava giriş ve çıkış menfezlerinin üst kısmında, iç cam cephede ve hava giriş menfezinin bulunduğu yerin karşı köşesinde, hız artışı ile beraber kış koşullarında sıcaklık gradyanlarının arttığı görülmektedir. Düşük hızlarda bu sıcaklık gradyanları hava çıkış menfezinin karşısındaki köşede ve tavanda yoğunlaşmıştır. Hız artışı ile bu bölgelerde sıcaklık gradyanlarının azaldığı gözlemlenmiştir.

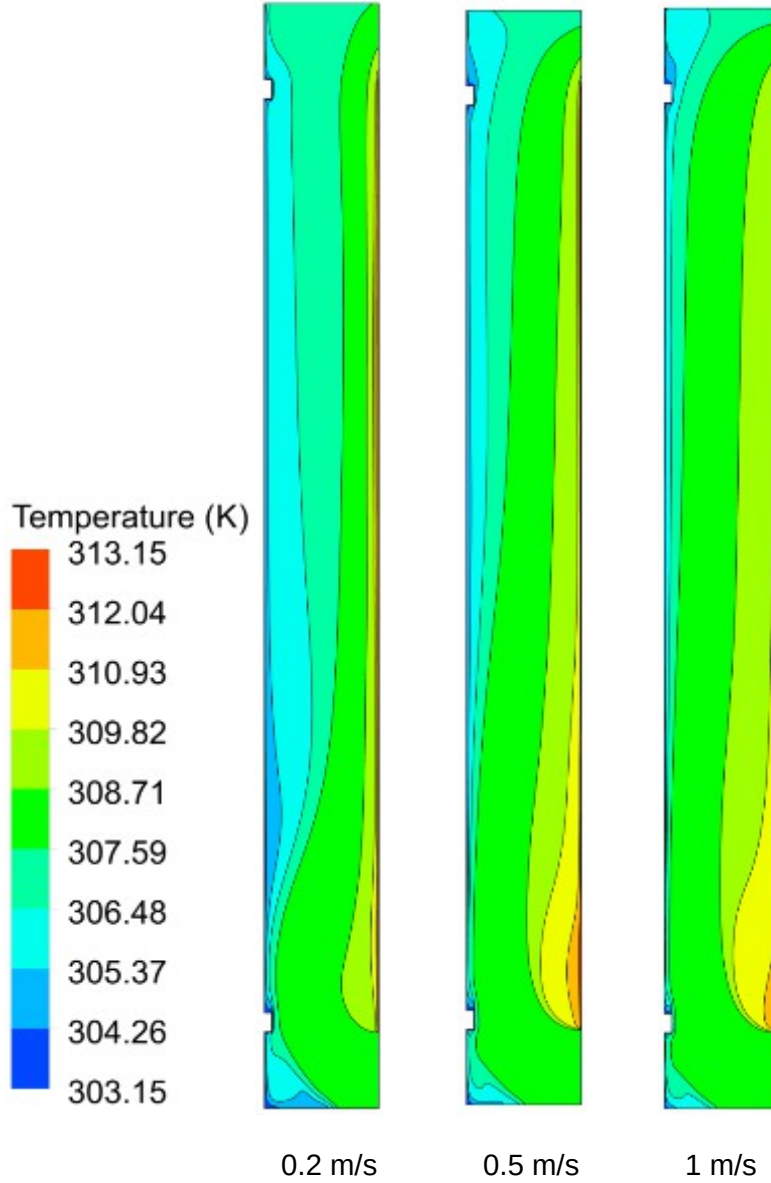


Şekil 103. Düşey kesitteki sıcaklık dağılımları: Kış durumu

5.6.4 Kanal Ortasında Bulunan Düşey Kesitteki Sıcaklık Dağılımları: Yaz Durumu

Isı transferini etkileyen önemli parametreler yüzey sıcaklığı ve taşınım katsayısıdır. Isı taşınım katsayısı düşük hızlarda daha düşük, yüksek hızlarda daha yüksektir. Buna bağlı olarak ısı transferi artmaktadır. Hava giriş menfezinden içeri alınan hava, daha geniş bir alanı süpürdüğü için sıcaklık farkları 1 m/s hızda, yaz koşulunda giriş menfezinin karşısındaki sol alt köşede daha azdır (Şekil 104). Hız azaldıkça menfez karşısında bulunan alan daha az süpürülerek, hava kanal içinde yükselme eğilimi göstermektedir. Ayrıca hız arttıkça hava giriş menfezinin alt köşelerinde sıcaklık gradyanları azalırken, hava giriş menfezinin bulunduğu dış cam yüzeyinin üst bölgesinde sıcaklık gradyanlarının arttığı görülmüştür. 0.2 m/s hız değeri için genel olarak dış cephede sıcaklık gradyanları fazla iken, 1 m/s hızda iç cam

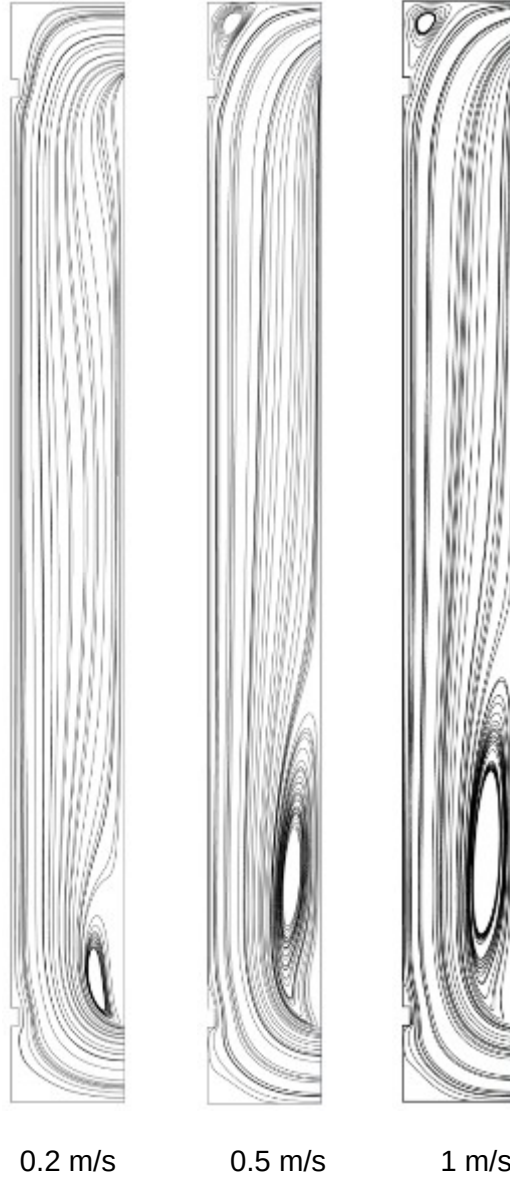
yüzeyinde daha fazladır. 40°C olan dış cam yüzeyinden 35°C olan alt menfezden içeri alınan akışkana ve 30°C olan iç cam yüzeye ısı transferi olmaktadır. Hız artışı ile sıcaklık gradyanlarının iç cam cephenin üst yüzeylerine doğru yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 104. Düşey kesitteki sıcaklık dağılımları: Yaz durumu

5.6.5 Kanal Ortasında Bulunan Düşey Kesitteki Akım Çizgileri: Kış Durumu

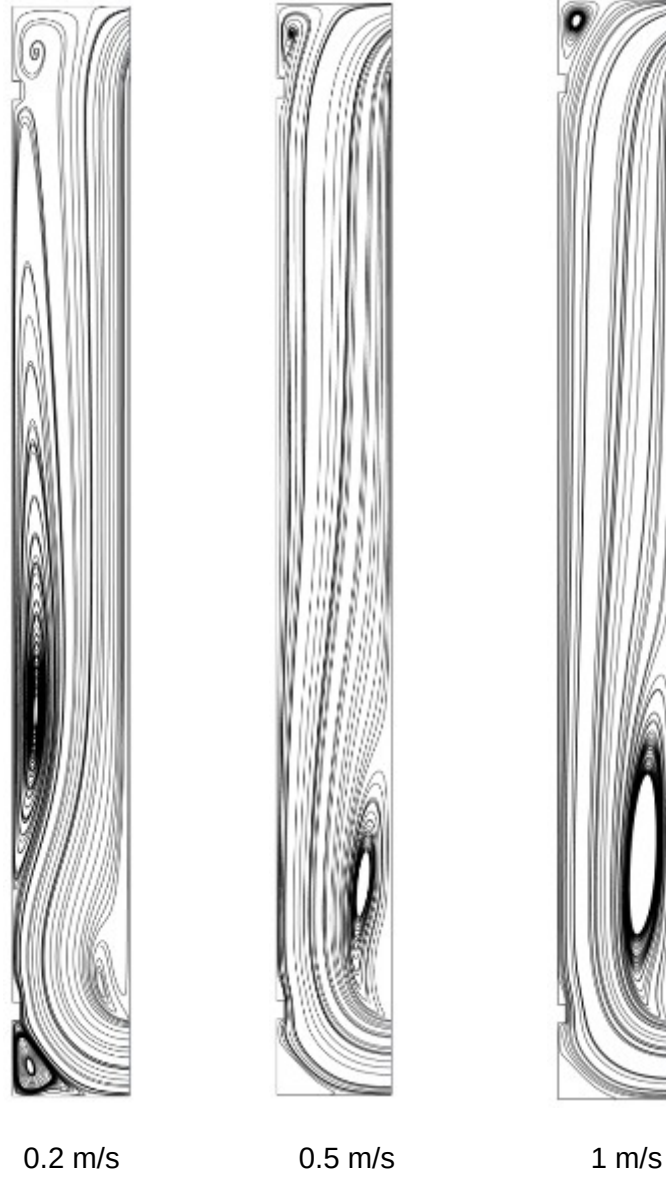
0.2, 0.5 ve 1 m/s akım çizgilerinin düşey kesitte sergilediği davranış Şekil 105'de görülmektedir. Akışkanın alt menfezden içeri alındığı yerde, dış yüzeye yakın menfezin üst bölümünde bir sirkülasyon bölgesi oluşmaktadır. Bu sirkülasyon bölgesi, hız değerlerinin artması ile daha geniş bir döngü halini almaktadır. Ayrıca hız değerleri arttıkça, hava çıkış menfezinin karşısında bulunan köşelerde döngüler oluşmaktadır.



Şekil 105. Düşey kesitteki hız akış çizgileri: Kış durumu

5.6.6 Kanal Ortasında Bulunan Düşey Kesitteki Akım Çizgileri: Yaz Durumu

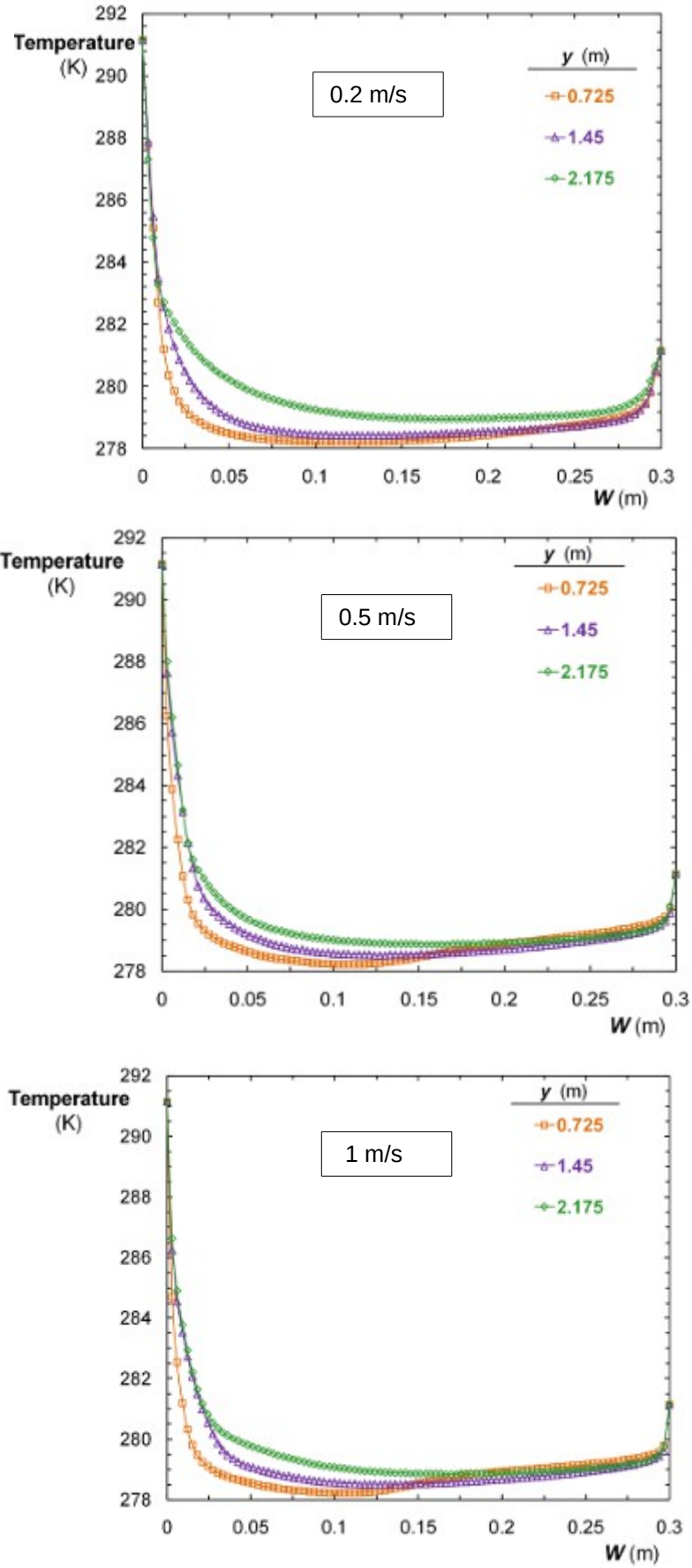
Dış cam yüzey sıcaklığı yaz koşulunda iç cam yüzeyinden yüksek ve akışkan giriş sıcaklığı da dış cam yüzeyinden düşük olduğu için, dış camdan akışkana sıcaklık gradyanları oluşmaktadır. Kaldırma kuvvetinin etkileri ile ısınan hava yükselmektedir. Doğal taşınım etkilerinin baskınlığını 0.2 m/s hız değerinde gözlemlemek mümkündür (Şekil 106). Dış cam ve hava giriş sıcaklığından düşük sıcaklıkta olan iç cam yüzeyine yakın bölgede, hava aşağı doğru yönelmekte, ters akışlar oluşmaktadır.



Şekil 106. Düşey kesitteki hız akış çizgileri: Yaz durumu

5.6.7 Kanal Ortasında Bulunan Yatay Çizgiler Üzerindeki Sıcaklık Değişimleri: Kış Durumu

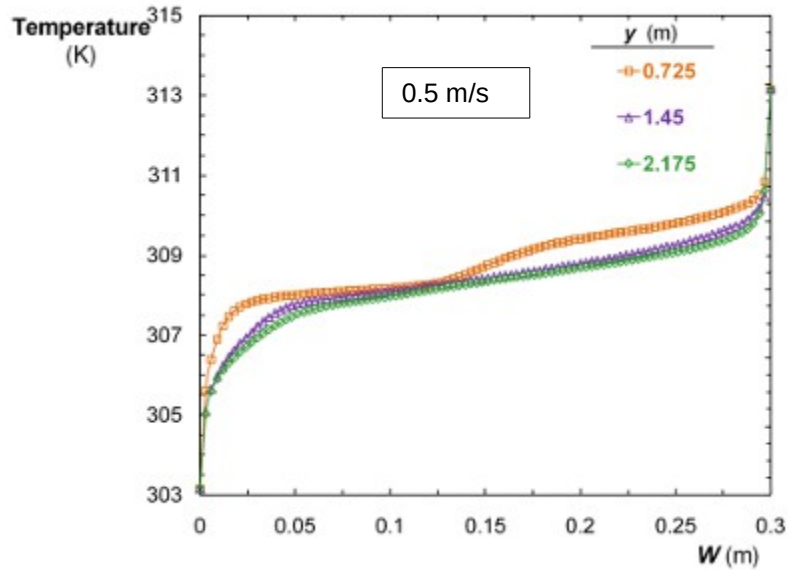
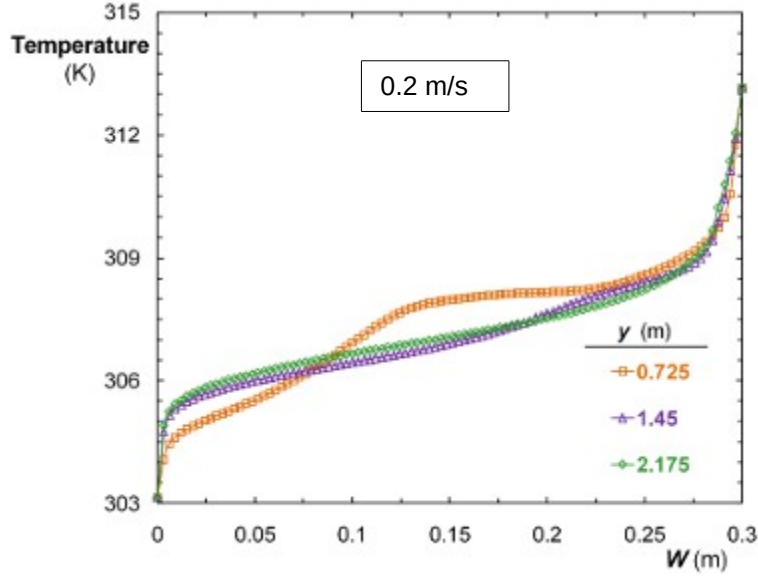
Şekil 107'de farklı hız değerlerinin kış koşullarında cam yüzeyler üzerindeki sıcaklık değişimine etkileri irdelenmiştir. Bunun için tek bir yükseklikten ziyade 3 farklı yükseklik koşulu için bu değişim incelenmiştir. Hava giriş menfezinin olduğu dış cam yüzeyinde, sıcaklık değerlerinde azalma gözlemlenirken; iç cam yüzeyinde tüm yükseklik koşullarında da sıcaklıkta artışın olduğu görülmektedir (Şekil 107).

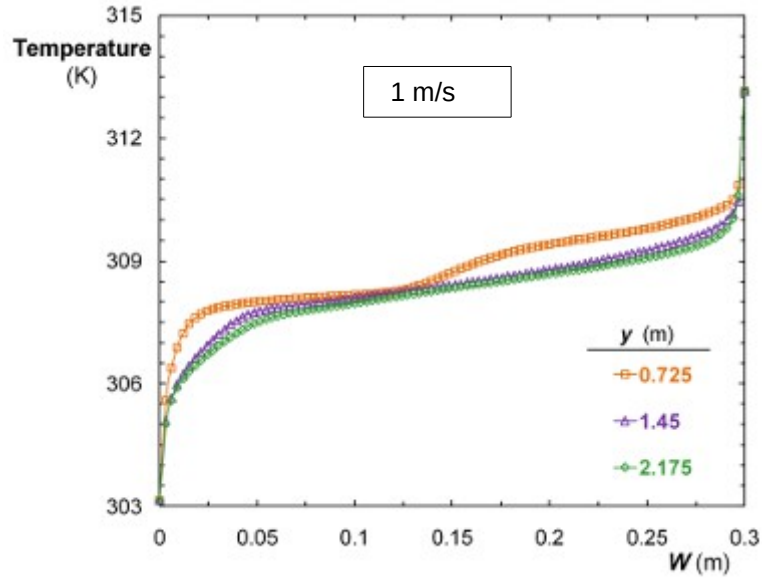


Şekil 107. Kanal ortasında bulunan yatay çizgiler üzerindeki sıcaklık değişimleri: Kış durumu

5.6.8 Kanal Ortasında Bulunan Yatay Çizgiler Üzerindeki Sıcaklık Değişimleri: Yaz Durumu

Şekil 108'de farklı hız değerlerinin yaz koşullarında, cam yüzeyler üzerindeki sıcaklık değişimine etkileri irdelenmiştir. Yaz koşulu için akışkan giriş sıcaklığı 35°C, dış cam yüzey sıcaklığı ve iç cam yüzey sıcaklığı arasında bir değerde olduğu için kış koşulundan farklı sıcaklık profilleri sergilenmiştir (Şekil 108).

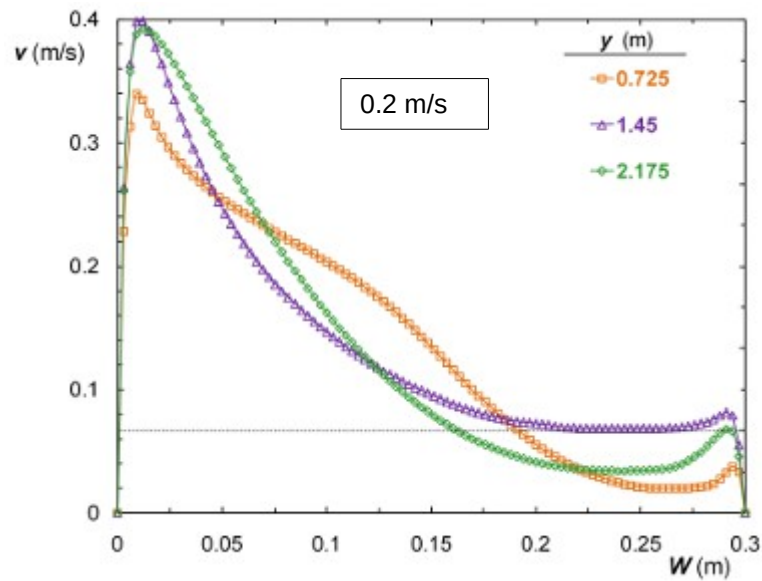


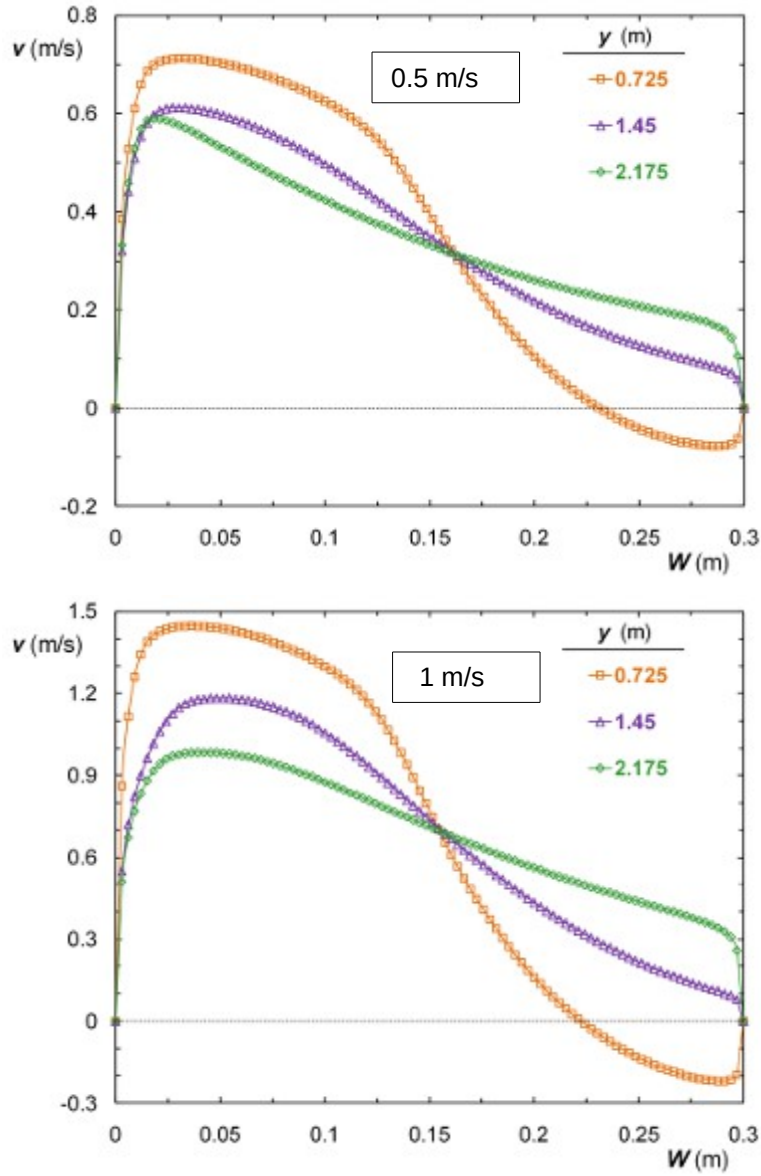


Şekil 108. Kanal ortasında bulunan yatay çizgiler üzerindeki sıcaklık değişimleri: Yaz durumu

5.6.9 Kanal Ortasında Bulunan Yatay Çizgiler Üzerindeki Hız Değişimleri: Kış Durumu:

Düşey kesit üzerinde farklı yüksekliklerde bulunan yatay çizgiler üzerindeki hız değişimleri, kış koşulu için incelenmiştir (Şekil 109). Yüzey sıcaklıkları ve akışkan sıcaklığına bağlı olarak, kaldırma kuvveti etkilerinin, iç cam yüzeyine yakın kesitte daha fazla olduğu, dış cam yüzeyine yakın kesitte ise daha az olduğu görülmektedir. Düşük hızlarda kaldırma kuvveti etkileri daha fazla olmaktadır. Bu da doğal taşınımın daha baskın olduğunu göstermektedir. Burada diğer hızlara göre 0.2 m/s hız değerine sahip olan modelde kaldırma kuvveti etkileri daha baskın görülmektedir.

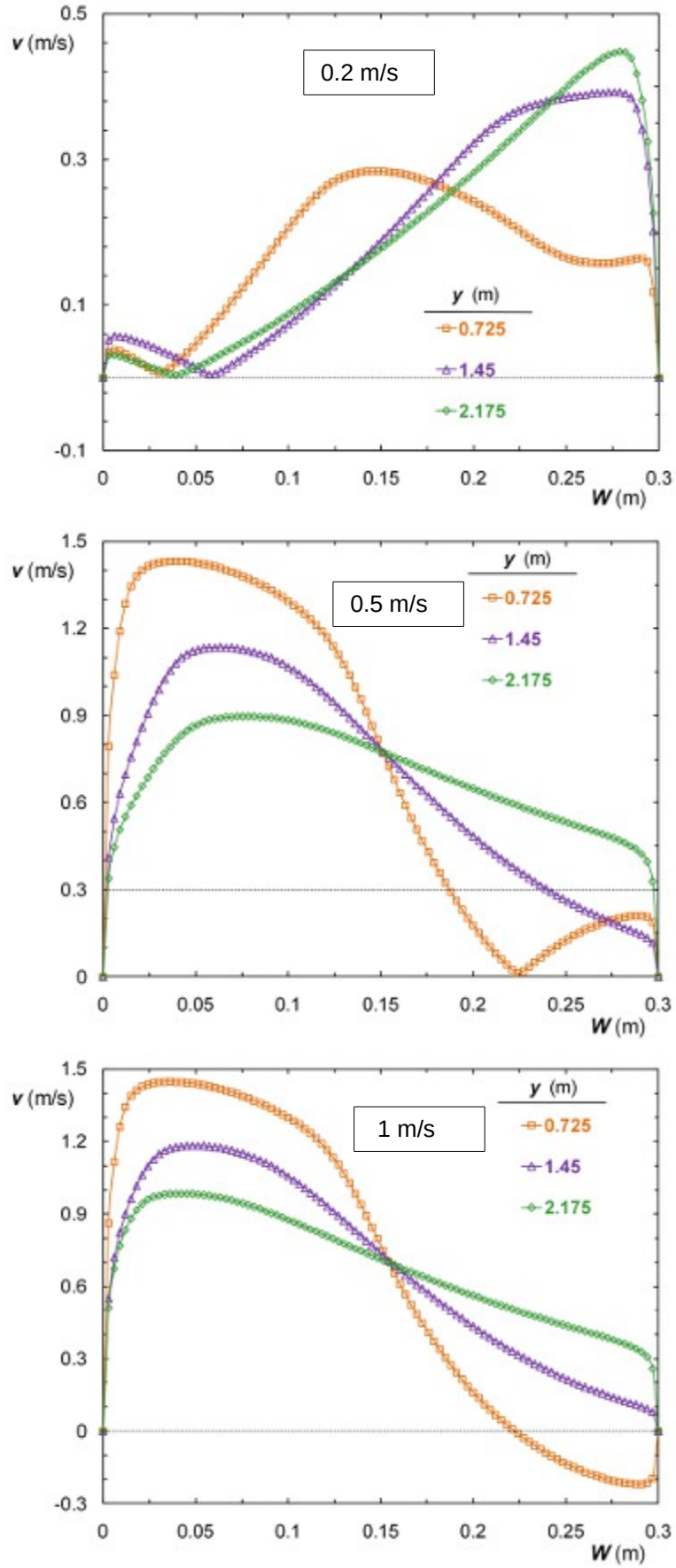




Şekil 109. Kanal ortasında bulunan yatay çizgiler üzerindeki hız değişimleri: Kış durumu

5.6.10 Kanal Ortasında Bulunan Yatay Çizgiler Üzerindeki Hız Değişimleri: Yaz Durumu

Hız profillerine bakıldığında, akışın sürekli gelişim bölgesinde kaldığı görülmektedir. Yüzey sıcaklık farklılıklarına bağlı olarak, kış koşulunda iç cam yüzeyinde baskın olarak görülen kaldırma kuvveti etkileri, yaz koşulunda dış cam yüzeyinde daha baskın olarak görülmektedir. Kaldırma kuvveti etkilerinin hız artışı ile beraber azaldığı görülmektedir. 1 m/s hız değerinde iç cam yüzeyine yaklaştıkça hız değerlerinde artış olmaktadır. Ara kanal derinliğinin tam orta noktasına yakın kesitten (0.15 m) dış cam yüzeyine gidildikçe hız değerlerinde azalmanın olduğu ve hatta kanalın 0.725 m yüksekliğinde ters akışların oluştuğu görülmektedir (Şekil 110).



Şekil 110. Kanal ortasında bulunan yatay çizgiler üzerindeki hız değişimleri: Yaz durumu

5.7 Güneş Işınımı Etkili Zamana Bağlı Analiz

5.7.1 Problemin Tanımı

Güneş ışınımı etkili zamana bağlı analizlerde test odası boyutları kararlı durum analizlerindeki gibi $H = 2.16$ m, $W = 0.25$ m ve $L = 1.18$ m'dir (Şekil 111). Kararlı durum analizlerinden farklı olarak $x = W$ yüzeyi üzerinde 20 mm kalınlığında (4 mm cam – 12 mm hava – 4 mm cam) hava boşluklu bir cam tabakası tanımlanmıştır. İç ($x = 0$) ve dış ($x = W + t$) yüzeyler üzerindeki ısı sınır koşullar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$x = 0 \quad \rightarrow \quad (23)$$

$$x = W + t \quad \rightarrow \quad (24)$$

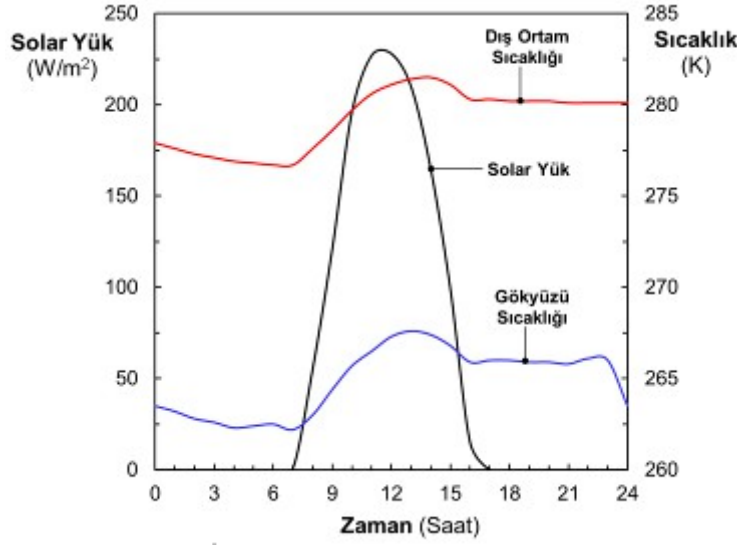
burada, iç ortam için serbest akış sıcaklığı ve taşınım katsayısı sırasıyla $T_{iç} = 295$ K ve $h_{iç} = 10$ W/m²K olarak kabul edilmiştir. Dış yüzey üzerindeki taşınım katsayısı sabit ($h_{dış} = 40$ W/m²K) olduğu kabul edilirken, dış ortam sıcaklığı, gökyüzü sıcaklığı ve yüzeye etki eden güneş ışınımı değerleri İstanbul ili Ocak ayı meteoroloji verilerine göre tanımlanmıştır. Şekil 112'de seçilen gün için dış ortam sıcaklığı, gökyüzü sıcaklığı ve yüzey üzerine etki eden güneş ışınımı değerinin zamana bağlı değişimi sunulmaktadır (Meteonorm Database, 2012). Başlangıç sınır koşulu olarak ise, sistemin 278 K'de olduğu kabul edilmiştir.

|

t



Şekil 111. Test odası geometrisi ve sınır şartları



Şekil 112. Seçilen gün için İstanbul iline ait meteorolojik verilerin zamana bağlı değişimi (Meteonorm Database, 2012)

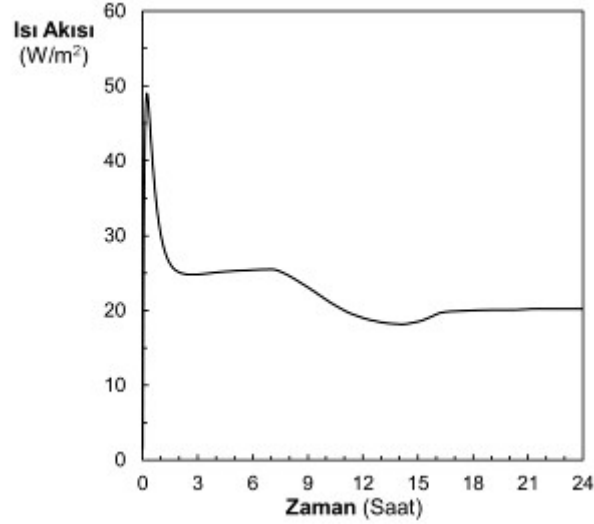
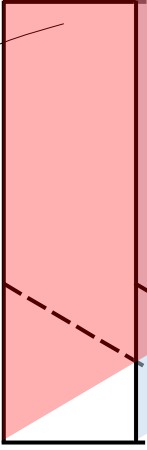
5.7.2 Çözüm Yöntemi

Zamana bağlı analizlerde Bölüm 5.2'de verilen korunum denklemlerine zamana bağlı değişim terimi ilave edilmiş ve korunum denklemleri Patankar (1980) tarafından önerilen SIMPLE çözüm algoritması uygulanmıştır. Basınç teriminin ayrıştırılmasında PRESTO yöntemi kullanılmış, diğer transport denklemleri için ise QUICK (Leonard ve Mokhtari, 1990) ayrıştırma şeması uygulanmıştır. Çözümlemelerde tüm transport parametreleri için yakınsama kriteri 10^{-5} olarak belirlenmiştir.

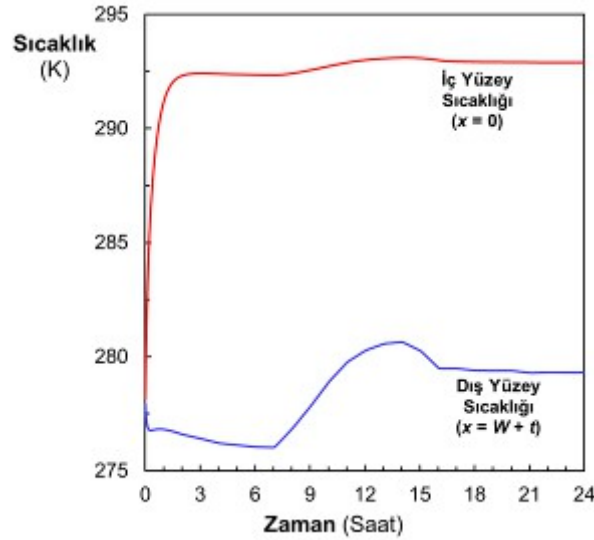
5.7.3 Güneş Işınımı Etkili Zamana Bağlı Analiz İçin Elde Sayısal Sonuçlar

Kavite iç yüzeyinden geçen ısı akısının zamana bağlı değişimi Şekil 113(a)'da verilmiştir. Sistemin başlangıç ve dış ortam sıcaklıkları arasındaki farkın yüksek olmasından dolayı ısı kaybının ilk bir saat için yüksek değerlere çıktığı görülmektedir. Daha sonra, yaklaşık olarak iki saat boyunca sabit kalan ısı kaybı değeri yüzey üzerine etkiyen güneş ışınımı şiddetinin artmasıyla birlikte azalmaktadır. 18:00 ila 24:00 arasında dış ortam sıcaklığının az bir değişim göstermesinden dolayı, bu saatler arasında ısı kaybı değerinde de belirgin bir değişim gözlenmemektedir. Şekil 113(b)'de ise kavitenin iç ve dış yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı değişimleri sunulmaktadır. İç ortam sıcaklığının 295 K'de sabit tutulmasından dolayı iç yüzey sıcaklığının kısa sürede başlangıç değerinden (278 K) uzaklaşarak 14 K artışla 292 K civarına yükseldiği görülmektedir. İlk iki saat içinde gerçekleşen bu sıcaklık artışı ısı akış-zaman eğrisindeki ani yükselmeyi de açıklamaktadır. İlerleyen saatlerde dış ortam sıcaklığının artması ve güneş ışınımının kavite üzerine etkimesiyle birlikte iç yüzeyde 1

K'lik bir artış meydana gelmektedir. Diğer taraftan, kavitenin dış ortama komşu yüzeyindeki sıcaklığın zamana bağlı değişimi sınır koşullarından çok daha fazla etkilenmektedir. Başlangıçtan itibaren güneşin doğuşuna kadar (7:00) dış yüzey sıcaklığı azalırken, güneşin doğmasıyla birlikte yüzey sıcaklığının arttığı görülmektedir. Saat 14:00 civarında en yüksek değerine ulaşan (280.6 K) dış yüzey sıcaklığı ışınım şiddetinin azalmasına paralel olarak düşmekte ve ilerleyen zamanlarda yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.



a) Isı akısının zamana bağlı değişimi

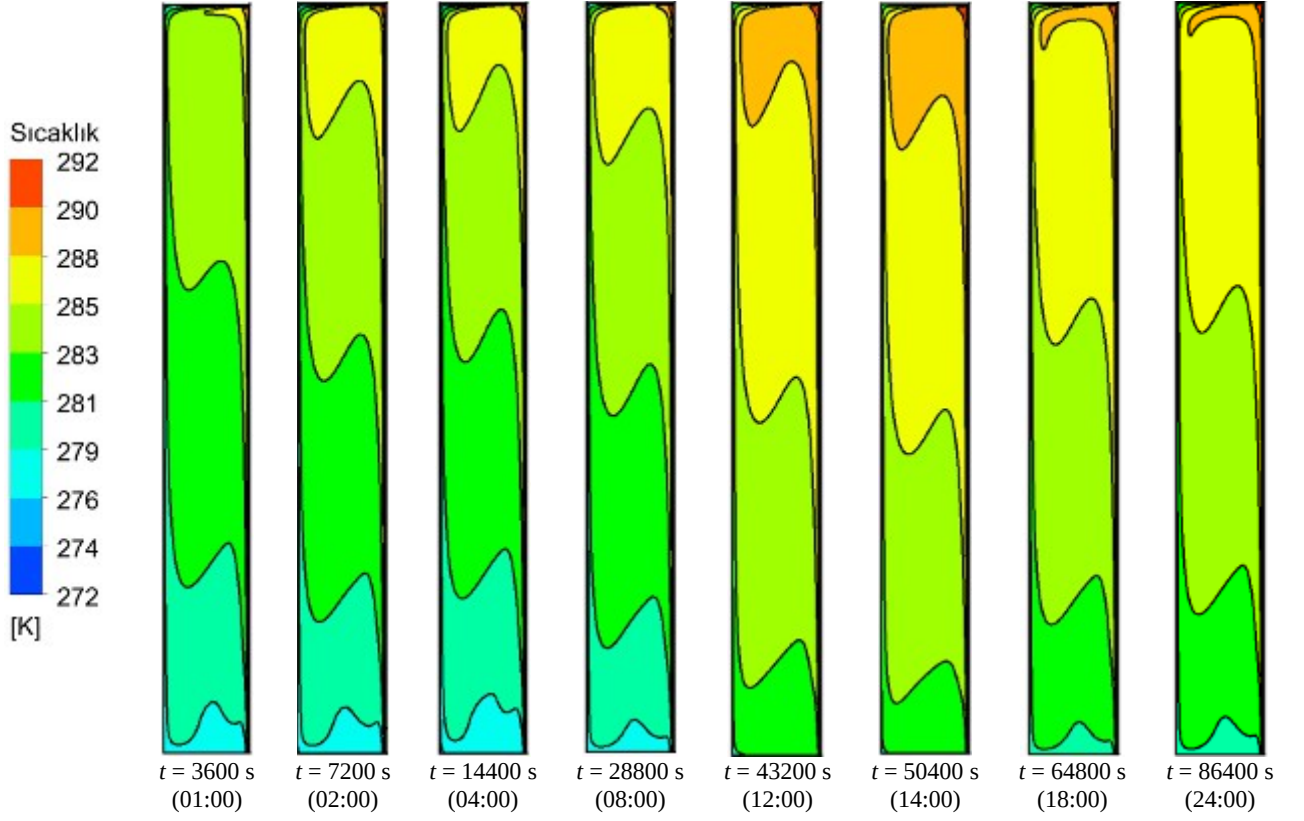


b) Yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi

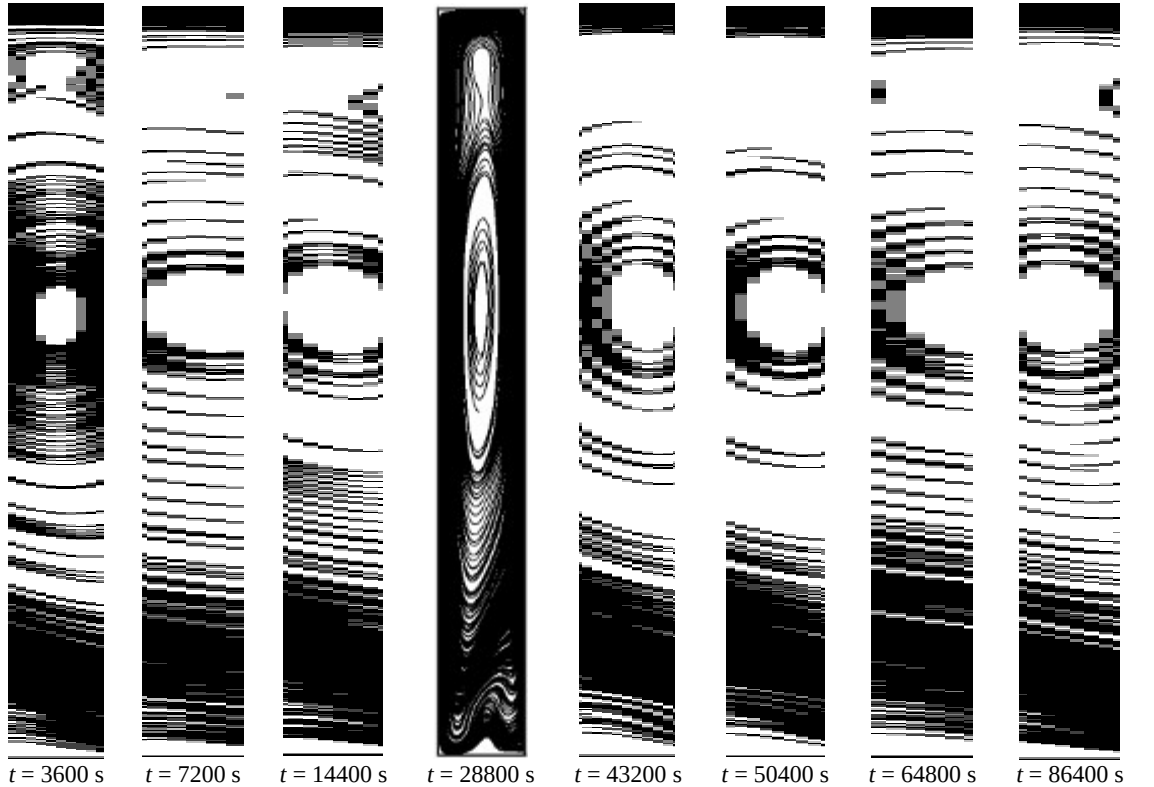
Şekil 113. Isı akısı ve yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi

Şekil 114'de farklı çözüm zamanları için kavite içerisindeki sıcaklık dağılımları sunulmaktadır. Bu sonuçlardan yola çıkarak güneş ışınımı değerinin en yüksek 14:00'a sistem içerisindeki

sıcaklığın arttığı söylenebilir. Diğer taraftan güneş ışınımının kavite üzerindeki etkisinin azaldığı 18:00'dan itibaren kavite içerisindeki sıcaklık değerleri önemli ölçüde düşmektedir.



Şekil 114. Farklı çözüm zamanları için kavite içi eş sıcaklık eğrileri





(01:00) (02:00) (04:00) (08:00) (12:00) (14:00) (18:00) (24:00)

Şekil 115. Farklı çözüm zamanları için kavite içi hız dağılımları

Şekil 115'de ise farklı çözüm zamanları için kavite içerisindeki hız dağılımları sunulmaktadır. İlerleyen çözüm zamanıyla birlikte sirkülasyon hücresinin büyüdüğü belirgin bir şekilde görülmektedir. Bu değişim kavite içerisindeki sıcaklık gradyeninin artmasıyla doğru orantılıdır. Saat 14:00'a kadar büyüme eğilimi gösteren sirkülasyon hücresi, güneş ışınımı etkisinin ortadan kalktığı 18:00'dan itibaren tekrar küçülmeye başlamıştır.



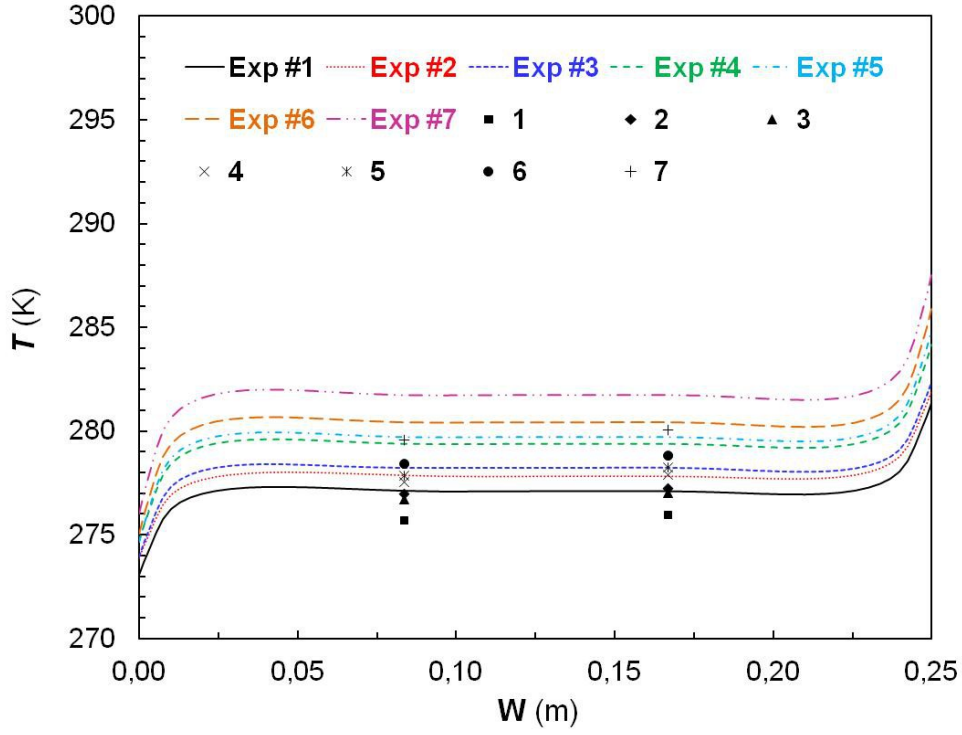
6. SONUÇ

Çift cidarlı cephe sistemleri dünya üzerinde yaygın olarak kullanılmakta; ancak Türkiye'de ise yeni yeni uygulanmaya başlanmıştır. Sistemin Türkiye'deki uygulaması sınırlı sayıdadır. Bu tarz yapı kabukları genel olarak soğuk iklimlere sahip Kuzey Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Binaların enerji performansı bütünlük olarak aynı anda karar verilmesi gereken birçok faktörü barındırmaktadır. Binanın yönü, formu, mekansal tasarım kurguları, yapı kabuğunu oluşturan cephenin tasarımı ve malzeme seçimi binanın enerji performansında etkin mimari tasarım kararlarını oluşturan bileşenlerin başlıcalarını oluşturmaktadır. Bu tasarım kararları üzerinde iklimsel koşullar ve binanın kullanım amacı, kullanım saatleri gibi kararlar da etkin rol oynamaktadır. Aynı iklimsel koşullarda tasarlanmış olsa bile, her bina için uygun tasarım kararları ve bütün bileşenler aynı anda dikkate alınarak, her binanın enerji performansı ile ilgili detaylı analizler yapılmalıdır. Ülkemizdeki farklı iklim bölgeleri için yeni kullanılmaya başlanan ve ilk yatırım maliyeti yüksek olan bu çift cidarlı yapı kabuklarının, tüm tasarım kararları ve tüm faktörler aynı anda göz önünde bulundurularak detaylı analizler yapılarak enerji performansına katkısı irdelenmelidir.

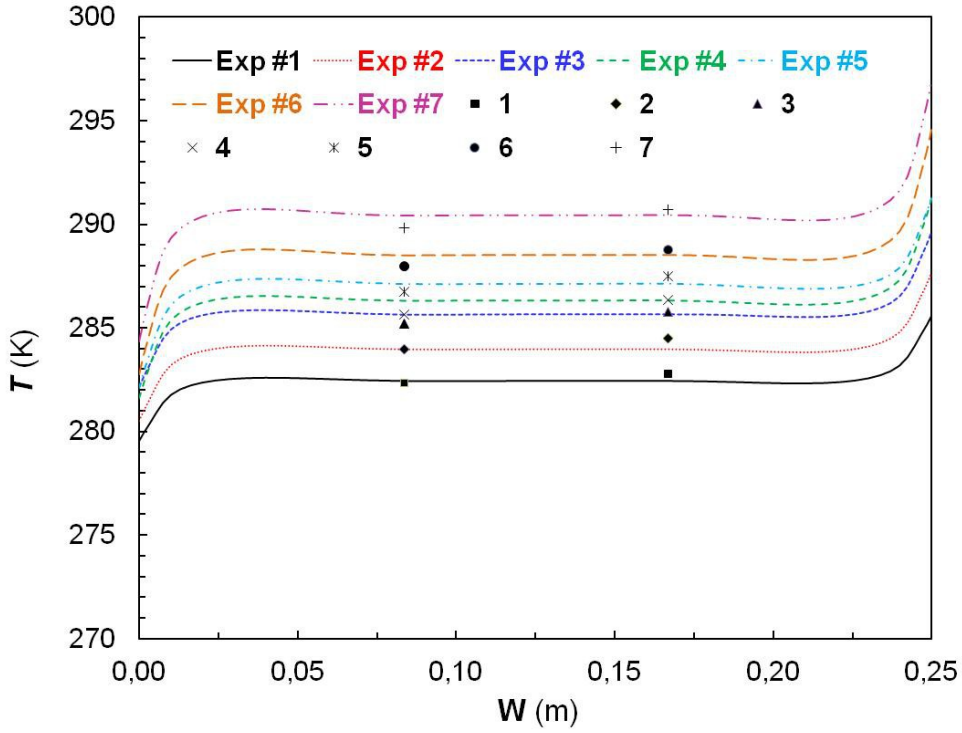
Çift cidar cephe kullanımının getirdiği katkının irdelenmesi öncelikle hangi tip uygulamanın yapıldığıyla ilgilidir. Yaygın kullanım şekillerinden olan kapalı kavitedeki doğal taşınım etkilerinin gözlenmesi, mekanik bir sistem ile zorlanmış taşınım etkilerinin incelenmesi deneysel ve sayısal olarak kararlı ortam altında ve gece/gündüz etkilerini laboratuvar ortamında yaratma adına bir solar simülatör sisteminin deneysel düzeneğe entegrasyonu bu çalışma kapsamında analiz edilmiştir. Ayrıca yaygın olarak kullanılan çift cidar cephe arasında basınç düşümüne yol açan mazgal, güneş gölgeleme elemanları ve benzeri uygulamaların etkileri de, deneysel sistemde farklı iki perfore saç kullanımıyla deneysel olarak incelenmiştir. Bilgisayar ortamındaki sayısal çalışmanın doğrulanmasıyla da zamana bağlı bir analiz de sayısal olarak gerçekleştirilmiştir.

Deneysel sonuçlar sayısal olarak elde edilen sonuçlar ile, doğal taşınımın söz konusu olduğu durum için karşılaştırılmıştır. Buna göre Şekil 116'da noktasal olarak gösterilen deneysel ölçüm sonuçları, sayısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu arada sayısal sonuçların sınır koşulları, deneysel olarak ölçülen ve Şekil 116'da W'nin 0 ve 0.25m olduğu iki yüzeydeki sıcaklık değerleridir. Sonuçlar, ölçümlerin gerçekleştirildiği kavite yüksekliği boyunca iki farklı yüksekliğe karşılık gelen iki kesit için çıkarılmıştır. Buna göre akışın daha düzenli hale geldiği üstteki kesit için uyum iyidir; buna karşılık alt kesitte bir miktar uyumsuzluk gözlenmektedir. Bu, ölçüm alınan noktanın alt yüzeye yakınlığından dolayı henüz gelişmemiş bölgede olması

ve ölçüm mesafelerindeki $\pm 2\%$ 'lik belirsizliğin ve sıcaklık ölçümleri için söz konusu olan $\pm 0.034^\circ\text{C}$ 'lik belirsizliğin de katkısı ile meydana gelmiş olabilir.



a) $y = 0.43$ m



b) $y = 1.73$ m

Şekil 116. Farklı sayısal deneyler için kavitedeki sıcaklık değişimlerinin noktasal olarak ölçülen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması

Buna karşılık Şekil 116'da elde edilen sonuçlar iki yüzey arasındaki sıcaklık farkının artmasına paralel Ra sayısının da artması ile birlikte sıcaklık değerleri artış göstermektedir. Yüzey sıcaklık değerleri sıcak yüzeyde soğuk yüzeye göre deneyler boyunca daha fazla değişim göstermekte buna paralel olarak da hava sıcaklık gradyanı da artmakta, bu da ısı transferini artırmaktadır. Buna göre hesaplanan Nusselt sayıları Tablo 20'de verilmiştir. İki yüzey arasındaki sıcaklık farkı arttıkça Nusselt sayısı da artmakta ve buna bağlı olarak ısı taşınım katsayısı da artmaktadır.

Table 20. Herbir deney için sayısal sonuçlardan hesaplanan Nusselt sayıları

Deney numarası	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
Nusselt sayısı	136,5	148,8	146,2	152,6	146,9	175,5	165,6

Bu çalışmada ayrıca kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle, yüzeye akışkan arasındaki sıcaklık farkı arttıkça hız profillerinde artış olmakta ve hız değerleri artmaktadır. Bu da özellikle soğuk bölgelerde ısı kaybını önlemede böylesi bir ara kavitenin katkısını vurgulanırken, bu katkıyı artırmak için çift cidar cephenin dış kısmında tek cam yerine çift cam kullanımının önemli bir avantaj sağlama potansiyeli olabileceğini göstermektedir.

Proje kapsamında elde edilen bir diğer önemli sonuç da ara kavitede kullanılan güneş gölgeleme elemanı veya ara bölgeye servis yapmada kullanılan mazgal gibi unsurların akışta yarattığı basınç düşümü etkisinin vurgulanmasıdır. Basınç düşümünü artıracak elemanların fazlalığı ve bu elemanların sıklığı, zorlanmış taşınımında basınç düşümüne paralel istenen hava debilerinin sağlanmasında daha büyük fan kapasiteleri gereksinimini doğuracak, bu da ilk yatırım ve işletme maliyetlerine yansıtacaktır.

Zorlanmış taşınım için elde edilen sayısal sonuçlar, yüksek hızların kavite içerisinde ters akışlar yarattığı, bu durumun özellikle ısı atımının önemli olduğu yaz periyotlarında, hız seçiminin önemli olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, kaviteye girişteki tasarım da bu ters akışların oluşmasında etkili olmakta, daha az basınç düşümüne yol açacak kademeli bir geçişle kaviteye ulaşmanın ve kavite içerisindeki akışı engelleyici elemanların (burada alüminyum profillerin kaviteye taşan kısımları) olmaması, daha az ters akış yaratacak ve ısı transferine ve uygun fan kapasitesine katkı sağlayacaktır. Buna karşılık düşük hızlar ise özellikle sıcaklık farkının fazla olduğu durumlarda doğal taşınımın baskın hale gelmesi ile ters akışlara yol açmakta, bu da akış ve ısı transferine olumsuz etkimektedir. Çalışma



kapsamında elde edilen sonuçlar, kaviteye girişteki 0.5m/s hızının, 0.2m/s ve 1m/s değerlerine göre yukarıda açıklananlar bağlamında daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Zamana bağlı analizde güneş yükünün zamana bağlı değişmesine bağlı olarak kavitedeki hava sıcaklığında artış eğilimi sayısal sonuçlarda gösterilmiştir. 14:00'da en yüksek değerine ulaşan hava sıcaklığı ilerleyen saatlerde güneş etkisinin azalması ile düşmeye başlamıştır. Çift cidar cephelerin sıcak iklim uygulamalarında dış kısımda kalan ikinci cephenin güneş enerjisi geçirgenlik değeri önemli bir tasarım parametresi olmakta, geçirgenliği azaltmak için kullanılan film kaplamaları kavitedeki aşırı sıcaklık artışını önlemede önemli bir unsur olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu proje kapsamında, çok sayıda, farklı koşullar için, laboratuvar ortamında deneysel sonuçlar, başlangıçta öngörülen doğrultuda elde edilmiştir. Bu çalışmalara paralel, sayısal ortamda, kararlı durumda doğal ve zorlanmış taşınım için, güneş ışınımının göz önüne alındığı gündüz durumu ve gökyüzü ışınımının göz önüne alındığı gece durumu için kararlı ve zamana bağlı durumlar için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu parametrik çalışmaların geliştirilmesi ve deneysel çalışmalar ile birlikte daha ayrıntılı değerlendirilmesi ile birlikte daha kapsamlı sonuçlara ulaşılabilecektir. Ayrıca tarihsel ve kuramsal alt yapı değerlendirmeleri ile birlikte çift cidar cephenin gelişim süreci de irdelenmiş olacaktır. Bu kapsamda ayrıntılı bir derleme çalışması "review" olarak SCI kapsamında bir dergiye yollanacaktır. Bunun öncesinde bu proje kapsamında incelenen, çift cidar cephenin kapalı olduğu, farklı sıcaklık değerlerindeki iki yüzeyin yarattığı doğal taşınım etkisi, kararlı durum için, deneysel ve sayısal olarak değerlendirilmiş ve bir dergiye yollanmıştır. Ayrıca aynı kapalı kavitedeki akış ve ısı transferi, güneş enerjisinin de tanımlanması ile birlikte zamana bağlı olarak da analiz edilmiştir ve yayın haline dönüştürülecektir. Bu çalışmalar zorlanmış taşınım için de değerlendirilmiştir ve ayrıca yayına dönüştürülecektir.



REFERANSLAR

ANSYS Inc, ANSYS-FLUENT 14.0 Theory Guide, 2009.

Asdrubali, F., and Baldinelli, G. (2007) "A new double skin facade with integrated movable shading systems: numerical analysis and evaluation of energy performance", Energy, climate and indoor comfort in mediterranean countries, Proceedings, Genova, Italy, 5-7 September, 2007.

Balocco, C. (2002). A simple model to study ventilated facades energy performance. Energy and Buildings 34, 469-475.

Banham, R. (1969). *The Architecture of the Well-Tempered Environment*. Chicago: The University of Chicago Press.

Bell M., & Kim J., *Engineered Transparency: The Technical, Visual, and Spatial Effects of Glass*, Princeton Architectural Press, New York (2008).

BESTFACADE (2007) "Best Practice for Double Skin Façades", WP5 Best Practice Guidelines.

Bestfacade 2005, Best Practice for Double Skin Façades. EIE/04/135/S07.38652. WP 1 Report "State of the Art".

Bozdoğan, S. & Akcan, E. (2012). *Turkey: Modern Architectures in History*. Londra: Reaktion Books.

Chan, A.L.S., Chow ,T., Fong, K.F, and Lin, Z. (2009). Investigation on energy performance of double skin facade in Hong Kong. Energy and Buildings 41, 1135–1142.

Chen Q., Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications. *Building and Environment*, 44, 848-58 (2009).

Ching, F., Adams, C. (2001). *Building Construction Illustrated*. 3rd. ed. 1 vol. New York: Wiley.



Choi SK, Kim EK, Wi MW ve Kim SO. Computation of a turbulent natural convection in a rectangular cavity with the low-reynolds-number differential stress and flux model, *KSME International Journal*, 18, 1782-1798, 2004.

Chou, S.K., Chua, K.J., and Ho, J.C. (2009) "A study on the effects of double skin facades on the energy management in buildings", *Energy Conservation and Management* , Vol. 50, p. 2275-2281.

Chow, C.L. (2012). Full-scale burning tests on double-skin facade fires. *Fire and Materials*. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/fam.1127.

Chow, W.K., and Hung, W.Y. (2006). Effect of cavity depth on smoke spreading of double-skin façade. *Building and Environment* 41, 970-979.

Compagno A. *Intelligente Glasfassade : Material, Anwendung, Gestaltung*, Birkhäuser, Basel (2002).

Corgnati S. P., Perino M., Serra V. Experimental assessment of the performance of an active facade during actual operating conditions. *Solar Energy*, 81:933-1013, 2007.

Crosbie, Michael J., Cesar Pelli, & Cesar Pelli and Associates. (2005). *Curtain Walls: Recent Developments by Cesar Pelli & Associates*. Basel: Birkhauser.

Çetiner, İ. (2002). Çift Kabuklu Cam Cephelerin Enerji ve Ekonomi Etkinliğinin Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ding, W., Hasemi, Y., and Yamada, T. (2005). Natural ventilation performance of a double-skin facade with a solar chimney. *Energy and Buildings*, 37, 411-418.

Domestic Etymology (1904). *Register of Kentucky Historical Society*, 2 (5).

Douglas M., *Purity and Danger: An Analysis of Concept of Pollution and Taboo*, Routledge, New York (2002).

Elkadı H., *Cultures of Glass Architecture*, Ashgate, Hampshire (2006).



Ersoy, Ufuk. (2015). "Glass as Light as Air, as Deep as Water," Matthew Mindrup (ed.), *The Material Imagination: Reveries on Architecture and Matter*, içinde (s. 155-68). Burlington, VT: Ashgate.

Eşsiz Ö. ve Özgen A. (2004). Büro Yapılarında Enerji Tüketimini Azaltan Çift Kabuk Cephe Sistemleri. Yapi 276.

Eşsiz, Ö. (2004). Teknolojinin Cam Cephe Panellerine Getirdiği Yenilikler, 1. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, CNR Fuar Merkezi, İstanbul.

Faggembauu, D. (2006) "Heat transfer and fluid-dynamics in double and single skin facades", Unpublished Doctoral Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya(UPC),

Fierro A., *The Glass State: The Technology of the Spectacle, Paris 1981-1998*, The MIT Press, Cambridge, (2003).

Frampton, K. (2001). *Le Corbusier: Architect and Visionary*. Londra: Thames & Hudson.

Gavan V., Woloszyn M., Kuznik F., Roux J.J., Experimental study of a mechanically ventilated double-skin façade with venetian sun-shading device: A full-scale investigation in controlled environment. *Solar Energy* 84, 183-95., (2010).

Gavan, V., Woloszyn, M., Roux, J.J., Muresan, C., and Safer, N. (2007) "An investigation into the effect of ventilated double-skin facade with venetian blinds: Global simulation and assessment of energy performance", Proceedings:Building simulation.

Göksal, T. (2005). Çift Kabuk Cam Cephe Kuruluşları Ve Enerji Etkin Tasarım, TTMD, 36, 3–4, 27–34.

Gratia E., Herde A. The most efficient position of shading devices in a double-skin façade. *Energy and Buildings*, 39, 364-73, (2007).

Gratia E., Herde A. Guidelines for improving natural daytime ventilation in an office building with a double-skin façade. *Solar Energy*, 81, 435-48, (2007).



Guardo, A., Coussirat, M., Egusquiza, E., Alavedra, P., and Castilla, R. (2009) "A CFD approach to evaluate the influence of construction and operation parameters on the performance of Active Transparent Facades in Mediterranean climates", *Energy and Buildings*, Vol 41, p.534–542.

Hçseggen, R., Wachenfeldt, B.J., and Hanssen, S.O. (2008) "Building simulation as an assisting tool in decision making Case study: With or without a double-skin facade?", *Energy and Buildings*, Vol. 40, p. 821-827.

Haase, M. (2008). Double-skin facades for Hong Kong, PhD Thesis, University of Hong Kong, July.

Haase, M., and Amato, A. (2009) "A study of the effectiveness of different control strategies in double skin facades in warm and humid climates", *Journal of Building Performance Simulation.*, Vol. 2, No:3, p. 179–187.

Haase M., Marques da Silva F., Amato A. Simulation of ventilated facades in hot and humid climates. *Energy and Buildings*, 41, 361-73(2009).

Haase, M., Wong, F., and Amato, A. (2007) "Double–Skin Facades for Hong Kong. Surveying & Built Environment", Vol. 18, No:2, p.17-32.

Haddad, K.H., Elmahdy, A.H., Comparison of the monthly thermal performance of a conventional window and a supply-air window. *ASHRAE Transactions*, 104, 1261-70, (1998).

Haddad K.H., Elmahdy A.H., Comparison of the thermal performance of an exhaust-air window and a supply-air window, *ASHRAE Transactions*, 105, 99-124,(1999).

Hamdan M.A. (1994). Thermal gains through windows. *Energy Convers Manage* 35, 861-872.

Hasol, Doğan. (2003). *Mimarlık ve Yapı Sözlüğü: İngilizce-Türkçe/Türkçe-İngilizce*. İstanbul: Yapı Yayın, 65.

Hasol, Doğan. (2005). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*. İstanbul: Yapı Yayın, 363.



Hendriksen, O.J., Sørensen, H., Svensson, A., and Aaqvis, P. (2001) “Double Skin Facades – Fashion or a Step Towards Sustainable Buildings.

Hensen, J., Bartak, M., and Drkal, F. (2002). Modeling and simulation of a double-skin facade system/discussion, ASHRAE Transactions 108, 1243-1251.

Hilmarsson J.G. (2008). Double Skin Façade, Copenhagen Technical Academy.

Hix J., *The Glasshouse*, Phaidon Press Ltd., London (1996).

Holman J.P. (2011). *Experimental Methods for Engineers*. Eighth Edition. McGraw-Hill.

Houze, Rebecca. (2006). “The Textile as Structural Framework: Gottfried Semper's *Bekleidungsprinzip* and the Case of Vienna 1900.” *Textile*, 4, 292-311.

Høseggen, R., Wachenfeldt, B.J., and Hanssen, S.O. (2008). Building simulation as an assisting tool in decision making, case study: with or without a double-skin facade? *Energy and Buildings* 40, 821–837.

Infield, D., Mei, L., and Eicker, U. (2004). Thermal performance estimation for ventilated PV façades. *Solar Energy* 76, 93-98.

İnan, T ve Başaran, T. (2012) “Enerji Etkin Çift Cam Cephe Sistemlerinin İncelenmesi”, III. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, UGHEK, 14-15 Haziran, 2012.

İnan, T., And Başaran, T. Çift Cidarlı Cephe Sistemlerinin İncelenmesi. *Yapı Dergisi* 370, 122-126, 2012.

Jager, W. (2003) “Double Skin Facades – Sustainable Concepts”, Presentation of Hydro for Syd Bygg, Malmo, Sweden.

Jiru, T.E., Tao, Y.X., and Haghghat, F. (2011). Airflow and heat transfer in double skin facades. *Energy and Buildings*, 43 2760–2766.



Kim, S.Y., and Song, K.D. (2007). Determining photosensor conditions of a daylight dimming control system using different double-skin envelope configurations. *Indoor and Built Environment* 16.

King KJ, "Turbulent natural convection in rectangular air cavities," Ph.D. dissertation, Queen Mary College, University of London, 1989.

Kragh, M. (2000). *Building Envelopes and Environmental Systems*. http://www.permasteelisa.com/upload/docs/pub_TUD02001.pdf

Krewinkel H. W., *Glass Buildings: Material, Structure and Detail*, Birkhäuser, Berlin (1998).

Kutluay, P. (2013). *The Metaphor of "Curtain Wall" in the Modern Architectural Discourse (Modern Mimarlık Söyleminde "Giydirme Cephe" Metaforu)* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye.

Lau GE, Yeoh GH, Timchenko V, ve Reizes JA, Application of dynamic global-coefficient subgrid-scale models to turbulent natural convection in an enclosed tall cavity, *Physics of Fluids*, 24, 094105 (2012).

Leatherbarrow, David, & Mohsen Mostafavi. (2002). *Surface Architecture*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Leonard BP ve Mokhtari S, ULTRA-SHARP Nonoscillatory Convection Schemes for High-Speed Steady Multidimensional Flow, NASA TM 1-2568 (ICOMP-90-12), *NASA Lewis Research Center*, 1990.

Li S., A Protocol to Determine the Performance of South Facing Double Glass Façade System: A Preliminary Study of Active/Passive Double Glass Façade Systems. M.S. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, (2001).

Ioncour X., Deneyer A., Blasco M., Flament G., Wouters, P. Ventilated double façades: classification & illustration of façade concepts, Belgian Building Research Institute (BBRI), (2004).



Mallgrave, Harry Francis. (2005). *Modern Architectural Theory: A Historical Survey, 1673-1968*. Cambridge: Cambridge University Press.

Marques Da Silva F., Gomes M.G., Pinto A., Pereira A.I., Moret R.A. Double-skin façade thermal monitoring, Proceeding of the Healthy Buildings 3, Lisbon, Portugal, 111-16, (2008).

Merwood, Joanna. (2001). "The Mechanization of Cladding: The Reliance Building and Narratives of Modern Architecture." *Grey Room*, 4, 52-69.

Meteonorm Database (2012), İstanbul için iklim verileri.

Mingotti, N., Chenvidyakarn, T., and Woods, A.W. (2011). The fluid mechanics of the natural ventilation of a narrow-cavity double-skin facade. *Building and Environment* 46, 807-823.

Mumford, L. (1958). "The Skyline: The Lesson of the Master." *The New Yorker*, 143.

Murray, Scott. (2009). *Contemporary Curtain Wall Architecture*. New York: Princeton Architectural Press.

Neumeyer, F. (1991). *The Artless Word: Mies van der Rohe on the Building Art*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.

Nikolaus, N. The need for Multi-Skin Facades in Buildings. Master Thesis, Leeds Metropolitan University, Leeds, UK, 2007.

Oesterle E., *Double-Skin Facades: Integrated Planning*, Prestel, Munich (2001).

Online Etimoloji Sözlüğü.

http://www.etymonline.com/index.php?term=curtain&allowed_in_frame=0

Özler, M.E. (2003). Akıllı Binalarda Enerji Etkin Tasarım Parametreleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü , İstanbul.

Park C.S., Augenbroe G., Sadegh N., Thitisawat M., Messadi T. Real-time optimization of a double-skin facade based on lumped modeling and occupant preference, *Building and Environment*, 39, 939-48, (2004).



Partridge, Eric. (2013). *Origins: A Short Etymological Dictionary of Modern English*. Oxon: Taylor & Francis.

Pasquay, T. (2004). Natural ventilation in high-rise buildings with double facades, saving or waste of energy. *Energy and Buildings* 36, 381–389.

Patankar SV, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere, Washington, D.C., 1980.

Perino, M., and Serra, V. (2006). Advanced Integrated Façades: An Overview based on Advanced integrated façades state of the art, Final Report of Subtask A, IEA- ECBCS- ANNEX 44, ed. by F. Marques da Silva, J. Gosselin, 4th Annex 44 Forum / TORINO / 29 March 2006.

Poirazis, H. (2006) “Double skin façades”, International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling (SHC) Task 34/IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems, ECBCS Annex 43.

Poirazis, H., and Rosenfeld, J.L.J. (2003). Modelling of Double Skin Facades- Results obtained using WIS, Technical University of Denmark (DTU) Sagsrapport SR-03-08, ISSN 1601-8605.

Rykwert, Joseph. (1998). “Architecture Is All on the Surface: Semper and *Bekleidung*.” *Rassegna*, 20, 20-29.

Saelens, D. Energy performance assessment of single storey multiple-skin façades. Phd thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 2002.

Saelens, D., Carmeliet, J., and Hens, H. (2003). Energy Performance Assessment of Multiple-Skin Facades. *Hvac & Research* 9, 167-185.

Saelens, D., Roels, S., and Hens, H. (2008). Strategies to improve the energy performance of multiple-skin facades. *Building and Environment*, 43, 638-650.

Safer, N., Woloszyn, M., and Roux, J.J. (2005). Tree-dimensional simulation with a CFD tool of the airflow phenomena in single floor double-skin facade equipped with a venetian blind. *Solar Energy* 79, 193-203.



Semper, Gottfried. (1989). *The Four Elements of Architecture and Other Writings*. Translated by Harry Francis Mallgrave and Wolfgang Herrmann. Cambridge: Cambridge University Press.

Semper, Gottfried. (2004). *Style in the Technical and Tectonic Arts; or, Practical Aesthetics*. Translated by Harry Francis Mallgrave and Michael Robinson. Los Angeles: The Getty Research Institute.

Sennett R., *Gözün Vicdanı: Kentin Tasarımı ve Toplumsal Yaşam*. Istanbul: Ayrıntı (1999).

Serra, V., Zanghirella, F., and Perino, M. (2010) "Experimental evaluation of a climate facade: Energy efficiency and thermal comfort performance", *Energy and Buildings*, Vol. 42, p. 50–62.

Singh, M.C., Garg, S.N., and Jha, R. (2008). Different glazing systems and their impact on human thermal comfort-Indian scenario. *Building and Environment* 43, 1596-1602.

Smith, G. E. Kidder. (1996). *Source Book of American Architecture: 500 Notable Buildings from the 10th Century to the Present*. New York: Princeton Architectural Press.

Stec W. J. Symbiosis of the double skin facade and indoor climate installation. PhD thesis, TU Delft, 2006.

Stec W.J., van Paassen A.H.C., Maziarz A. Symbiosis of the double skin façade with the HVAC system. *Energy and Buildings*, 37, pp. 461-69(2005).

Stribling, D., and Stigge, B. (2003). A critical review of the energy savings and cost payback issues of double facades. Glasgow, New York. <http://www.cibse.org/pdfs/8cstribling.pdf>.

Sun L., Jones P.J., Alexander D.K., Energy efficiency of double-skin façade in Office buildings of Shanghai. *Proceedings of the first international conference on building energy and environment*,(2008).

Tanaka, H., Okumiya, M., Tanaka, H., Yoon, G.Y., and Watanabe, K. (2009) "Thermal characteristics of a double-glazed external wall system with roll screen in cooling season", *Building and Environment* Vol. 44, p. 1509-1516.



Tapan, M. (1984). "International Style: Liberalism in Architecture." Renata Holod, Ahmet Evin ve Suha Özkan (Eds.), *Modern Turkish Architecture* içinde, (s. 109-122). Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Press.

Tascon, M.H (2008). Experimental and Computational Evaluation of Thermal Performance and Overheating in Double Skin Facades. Phd Thesis. University of Nottingham.

Taylor, B. B. (1979). "Technology, Society, and Social Control in Le Corbusier's Cité de Refuge, Paris, 1933." *Oppositions*, 168-185.

Tokuç A., T. Başaran, S.C. Yesügey, *An Experimental and Numerical Investigation on the Use of Phase Change Materials in Building Elements: The Case of a Flat Roof in Istanbul, Energy and Buildings*, doi no: 10.1016/j.enbuild.2015.04.039.

Türkçe Etimoloji Sözlüğü. <http://etimolojiturkce.com/kelime/perde>

Ünal, M. (2006). Çift Kabuk Cephelelerin Sistemik Analizi ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Vaglio, J. (2012). Double Skin Facades. www.jeffvaglio.com.

Widdington, M. and Harris J. (2002). Intelligent Skins, Reed Educational and Professional Publishing.

Wigginton M., *Glass in Architecture*, Phaidon Press Ltd., London (1996).

Wigley, Mark. (1995). *White Walls, Designer Dresses: The Fashioning of Modern Architecture*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Wong, P.C., Prasad, D., and Behnia, M. (2008). A new type of double-skin façade configuration for the hot and humid climate. *Energy and Buildings* 40, 1941-1945.

Woodbridge, Sally Byrne, John Marshall Woodbridge, & Elizabeth Douthitt Byrne. (1992). *San Francisco Architecture: The Illustrated Guide to over 1000 of the Best Buildings, Parks, and Public Artworks in the Bay Area*. San Francisco: Chronicle Books.



Yeomans, David. (2001). "The Origins of the Modern Curtain Wall." *APT Bulletin*, 32, 13-18.

Yılmaz, Z., and Çetintas, F. (2005). Double skin facade's effects on heat losses of office buildings in Istanbul. *Energy and Buildings* 37, 691–697.

Yuan, Y., Zeng, J., Zhu, Y., and Lin, B. (2007). A lumped model of double skin facade with cavity shading. *Proceedings: Building Simulation*.

Zanghirella F. Le prestazioni energetiche delle facciate trasparenti attive: metodi di analisi sperimentale e modellazione. PhD thesis, Politecnico di Torino, 2008.

Zerefos C.S., On the performance of double skin façades in different environmental conditions. *International Journal of Sustainable Energy*, 26, 221-29, (2007).

Zhou, C., and Xue, N. (2012). The study of vent form of double-skin facade based on CFD. *Advanced Materials Research* 374, 440-444.

Zhou, J., and Chen, Y. (2010) "A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, p.1321–1328.

Zöllner, A., Winter, E.R.F., and Viskanta, R. (2002). "Experimental studies of combined heat transfer in turbulent mixed convection fluid flows in double skin facades", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 45, p. 4401-4408.

EK A

Isıl Çiftlerin ve PT100 Probların Kalibrasyon İşlemleri

Tablo A1. 4 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

Set temperature 4 °C							AVG.
Referans °C	4.03	4.06	4.07	4.07	4.07	4.06	
Channel	1. value	2. value	3. value	4. value	5. value		
1-1	7.59	7.63	7.63	7.61	7.63	7.62	
1-2	7.48	7.50	7.50	7.51	7.50	7.50	
1-3	7.41	7.43	7.44	7.44	7.44	7.43	
1-4	7.44	7.46	7.48	7.48	7.47	7.47	
2-7	4.15	4.10	4.14	4.15	4.06	4.12	
2-8	4.16	4.10	4.15	4.12	4.05	4.12	
2-9	4.16	4.10	4.16	4.14	4.07	4.13	
2-10	4.10	4.08	4.14	4.12	4.04	4.10	
2-11	4.10	4.10	4.13	4.16	4.09	4.12	
2-12	4.10	4.12	4.14	4.16	4.09	4.12	
3-1	3.63	3.66	3.66	3.66	3.66	3.65	
3-2	4.32	4.35	4.36	4.36	4.36	4.35	
3-5	6.27	6.30	6.30	6.31	6.30	6.30	
3-9	6.16	6.17	6.19	6.18	6.18	6.18	
3-10	6.16	6.19	6.19	6.19	6.19	6.18	
3-11	6.16	6.19	6.19	6.19	6.19	6.18	
3-13	6.27	6.29	6.30	6.29	6.30	6.29	
3-14	6.27	6.31	6.32	6.31	6.31	6.30	
4-15	4.09	4.11	4.05	4.12	4.04	4.08	

Tablo A2. 8 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

Set temperature 8 °C							AVG.
Referans °C	7.97	7.97	7.96	7.95	7.94		
Channel	1. value	2. value	3. value	4. value	5. value		
1-1	11.51	11.52	11.50	11.46	11.45	11.49	
1-2	11.44	11.44	11.42	11.39	11.40	11.42	
1-3	11.34	11.33	11.33	11.31	11.29	11.32	
1-4	11.38	11.39	11.36	11.33	11.34	11.36	
2-7	8.05	7.97	8.04	7.93	7.99	8.00	
2-8	8.01	8.01	8.07	7.90	8.02	8.00	
2-9	8.00	7.97	8.08	7.91	7.99	7.99	
2-10	7.94	7.98	8.09	7.87	7.98	7.97	
2-11	7.97	7.96	8.09	7.91	7.99	7.98	
2-12	8.00	7.96	8.08	7.97	7.98	8.00	
3-1	7.50	7.50	7.49	7.48	7.48	7.49	
3-2	8.21	8.21	8.18	8.16	8.14	8.18	
3-5	10.20	10.20	10.17	10.16	10.16	10.18	
3-9	10.06	10.08	10.06	10.04	10.04	10.06	
3-10	10.08	10.08	10.06	10.05	10.04	10.06	
3-11	10.07	10.08	10.06	10.05	10.04	10.06	
3-13	10.16	10.14	10.12	10.16	10.10	10.14	
3-14	10.21	10.22	10.19	10.18	10.17	10.19	
4-15	8.04	7.96	7.96	8.06	7.99	8.00	

Tablo A3 12 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

Set temperature 12 °C						AVG.
Referans °C	11.94	11.96	11.95	11.95	11.96	11.95
Channel	1. value	2. value	3. value	4. value	5. value	
1-1	15.44	15.46	15.43	15.44	15.46	15.45
1-2	15.41	15.42	15.42	15.40	15.42	15.41
1-3	15.28	15.28	15.28	15.26	15.28	15.28
1-4	15.31	15.34	15.33	15.33	15.34	15.33
2-7	12.03	11.98	12.04	12.01	11.99	12.01
2-8	12.02	12.01	12.04	12.07	12.01	12.03
2-9	12.02	12.07	12.04	12.13	12.07	12.07
2-10	12.04	12.15	12.06	12.16	12.12	12.11
2-11	12.06	12.20	12.07	12.21	12.20	12.15
2-12	12.08	12.20	12.06	7.97	12.22	11.31
3-1	11.42	11.44	11.44	11.42	11.44	11.43
3-2	12.08	12.09	12.09	12.08	12.09	12.09
3-5	14.16	14.16	14.17	14.15	14.17	14.16
3-9	14.04	14.04	14.05	14.03	14.04	14.04
3-10	14.03	14.04	14.05	14.04	14.05	14.04
3-11	14.02	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04
3-13	14.08	14.14	14.11	14.15	14.16	14.13
3-14	14.16	14.17	14.18	14.16	14.17	14.17
4-15	12.16	12.16	12.21	12.23	12.23	12.20

Tablo A4. 16 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

Set temperature 16 °C						AVG.
Referans °C	15.96	15.96	15.97	15.97	15.97	15.97
Channel	1. value	2. value	3. value	4. value	5. value	
1-1	19.47	19.45	19.47	19.45	19.47	19.46
1-2	19.44	19.44	19.44	19.43	19.44	19.44
1-3	19.28	19.27	19.26	19.28	19.28	19.27
1-4	19.36	19.34	19.34	19.34	19.36	19.35
2-7	16.00	16.06	15.99	16.02	16.03	16.02
2-8	16.05	16.08	15.99	16.04	16.06	16.04
2-9	16.10	16.07	16.02	16.05	16.13	16.07
2-10	16.17	16.08	16.03	16.06	16.21	16.11
2-11	16.23	16.11	16.08	16.07	16.24	16.15
2-12	16.23	16.09	16.08	16.06	16.25	16.14
3-1	15.41	15.41	15.42	15.42	15.42	15.42
3-2	16.00	15.99	16.00	15.99	15.99	15.99
3-5	18.14	18.16	18.16	18.16	18.16	18.16
3-9	18.03	18.05	18.03	18.04	18.04	18.04
3-10	18.03	18.04	18.04	18.04	18.04	18.04
3-11	18.03	18.03	18.03	18.03	18.03	18.03
3-13	18.14	18.10	18.13	18.10	18.15	18.12
3-14	18.16	18.17	18.17	18.18	18.18	18.17
4-15	16.27	16.24	16.30	16.24	16.22	16.25

Tablo A5. 20 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

Set temperature 20 °C	AVG.
-----------------------	------

Referans °C	20.01	20.00	20.00	20.00	20.01	20.00
Channel	1. value	2. value	3. value	4. value	5. value	
1-1	23.52	23.50	23.52	23.52	23.50	23.51
1-2	23.48	23.47	23.47	23.46	23.47	23.47
1-3	23.29	23.30	23.32	23.28	23.30	23.30
1-4	23.39	23.38	23.37	23.39	23.37	23.38
2-7	19.99	20.04	19.97	19.94	19.97	19.98
2-8	19.99	20.05	19.95	19.95	19.99	19.99
2-9	20.07	20.01	19.94	20.01	19.99	20.00
2-10	20.11	20.03	19.94	20.05	19.99	20.02
2-11	20.18	20.03	19.97	20.13	20.00	20.06
2-12	20.20	20.03	20.00	20.12	19.99	20.07
3-1	19.42	19.42	19.42	19.42	19.42	19.42
3-2	20.01	20.01	20.02	20.01	20.01	20.01
3-5	22.19	22.19	22.20	22.19	22.19	22.19
3-9	22.06	22.08	22.08	22.07	22.09	22.08
3-10	22.08	22.07	22.08	22.08	22.08	22.08
3-11	22.08	22.06	22.07	22.08	22.08	22.07
3-13	22.19	22.13	22.14	22.19	22.15	22.16
3-14	22.22	22.22	22.22	22.22	22.23	22.22
4-15	20.07	20.03	20.01	20.07	19.99	20.03

Tablo A6. 24 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

Set temperature 24 °C

AVG.

Referans °C	23.99	24.00	24.00	23.99	24.00	24.00
Channel	1. value	2. value	3. value	4. value	5. value	
1-1	27.47	27.46	27.46	27.47	27.47	27.47
1-2	27.42	27.44	27.45	27.43	27.43	27.43
1-3	27.23	27.22	27.23	27.23	27.22	27.23
1-4	27.32	27.33	27.34	27.32	27.34	27.33
2-7	24.10	24.07	24.12	24.01	24.09	24.08
2-8	24.13	24.09	24.11	24.06	24.13	24.10
2-9	24.20	24.12	24.15	24.09	24.18	24.15
2-10	24.24	24.16	24.19	24.19	24.24	24.20
2-11	24.28	24.20	24.21	24.25	24.27	24.24
2-12	24.24	24.22	24.23	24.28	24.25	24.24
3-1	23.73	23.73	23.73	23.73	23.73	23.73
3-2	24.64	24.64	24.64	24.64	24.64	24.64
3-5	26.16	26.16	26.17	26.15	26.16	26.16
3-9	26.02	26.02	26.02	26.03	26.05	26.03
3-10	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06
3-11	26.03	26.04	26.04	26.04	26.04	26.04
3-13	26.09	26.13	26.12	26.14	26.10	26.12
3-14	26.19	26.19	26.19	26.19	26.19	26.19
4-15	24.47	24.42	24.44	24.38	24.33	24.41

Tablo A7. 28 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

Set temperature	28 °C					AVG.
Referans °C	28.01	28.01	28.01	28.00	28.02	28.01

Channel	1. value	2. value	3. value	4. value	5. value	
1-1	31.47	31.47	31.47	31.47	31.50	31.48
1-2	31.46	31.46	31.47	31.46	31.47	31.46
1-3	31.19	31.20	31.20	31.18	31.25	31.20
1-4	31.33	31.31	31.33	31.31	31.34	31.32
2-7	28.15	28.10	28.14	28.11	28.14	28.13
2-8	28.20	28.12	28.19	28.14	28.15	28.16
2-9	28.28	28.14	28.26	28.21	28.24	28.23
2-10	28.33	28.16	28.32	28.32	28.32	28.29
2-11	28.37	28.16	28.34	28.34	28.37	28.32
2-12	28.34	28.15	28.30	28.32	28.35	28.29
3-1	27.66	27.68	27.70	27.70	27.69	27.69
3-2	28.76	28.76	28.78	28.77	28.79	28.77
3-5	30.15	30.16	30.15	30.16	30.16	30.16
3-9	30.03	30.03	30.03	30.03	30.05	30.03
3-10	30.06	30.07	30.06	30.07	30.07	30.07
3-11	30.05	30.04	30.05	30.06	30.06	30.05
3-13	30.11	30.07	30.10	30.13	30.11	30.10
3-14	30.19	30.19	30.19	30.20	30.20	30.19
4-15	28.49	28.34	28.37	28.37	28.32	28.38

Tablo A8. 32 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

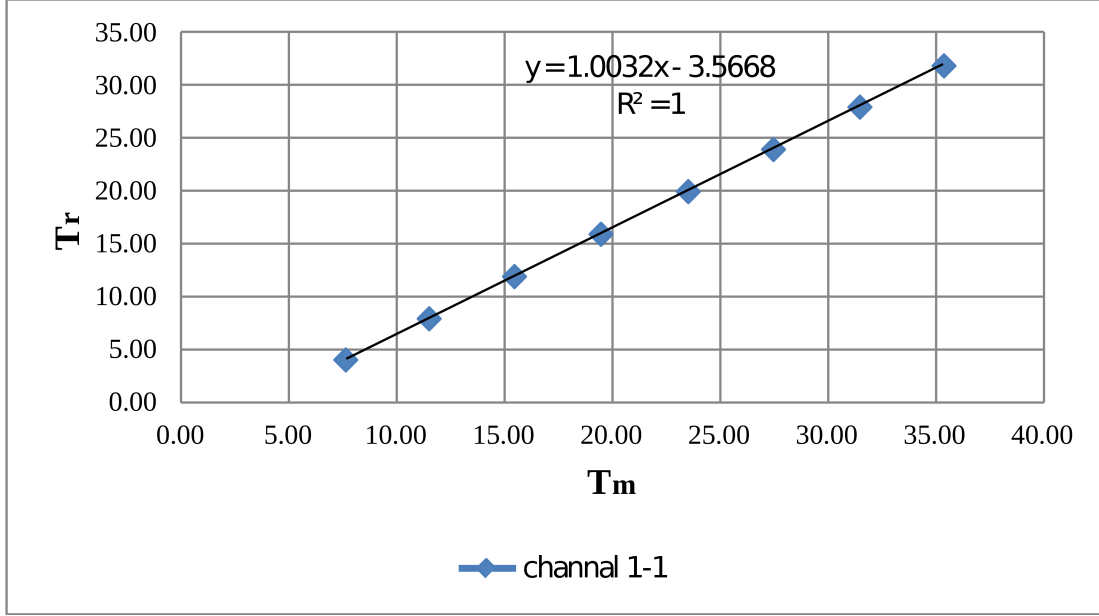
Set temperature	32 °C					AVG.
Referans °C	31.92	31.91	31.91	31.93	31.93	31.92

Channel	1. value	2. value	3. value	4. value	5. value	
1-1	35.39	35.36	35.38	35.39	35.37	35.38
1-2	35.36	35.36	35.37	35.37	35.37	35.37
1-3	35.09	35.08	35.08	35.09	35.07	35.08
1-4	35.18	35.17	35.19	35.18	35.18	35.18
2-7	31.98	32.00	32.00	31.98	32.05	32.00
2-8	31.97	32.01	32.03	31.99	32.09	32.02
2-9	32.01	32.04	32.11	32.07	32.14	32.07
2-10	32.08	32.09	32.18	32.14	32.20	32.14
2-11	32.15	32.13	32.22	32.19	32.20	32.18
2-12	32.16	32.15	32.22	32.21	32.19	32.19
3-1	32.01	32.01	32.04	32.04	32.04	32.03
3-2	32.99	32.96	32.95	32.96	32.96	32.96
3-5	34.08	34.85	34.06	34.06	34.06	34.22
3-9	33.92	33.90	33.92	33.93	33.94	33.92
3-10	33.97	33.95	33.97	33.97	33.97	33.97
3-11	33.95	33.93	33.96	33.97	33.97	33.96
3-13	34.05	34.06	34.07	34.08	34.06	34.06
3-14	34.10	34.08	34.10	34.11	34.11	34.10
4-15	32.26	32.34	32.30	32.22	32.36	32.30

Tablo A9. 1-1 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
1-1	4.06	7.62
	7.96	11.49
	11.95	15.45
	15.97	19.46

	20.00	23.51
	24.00	27.47
	28.01	31.48
	31.92	35.38

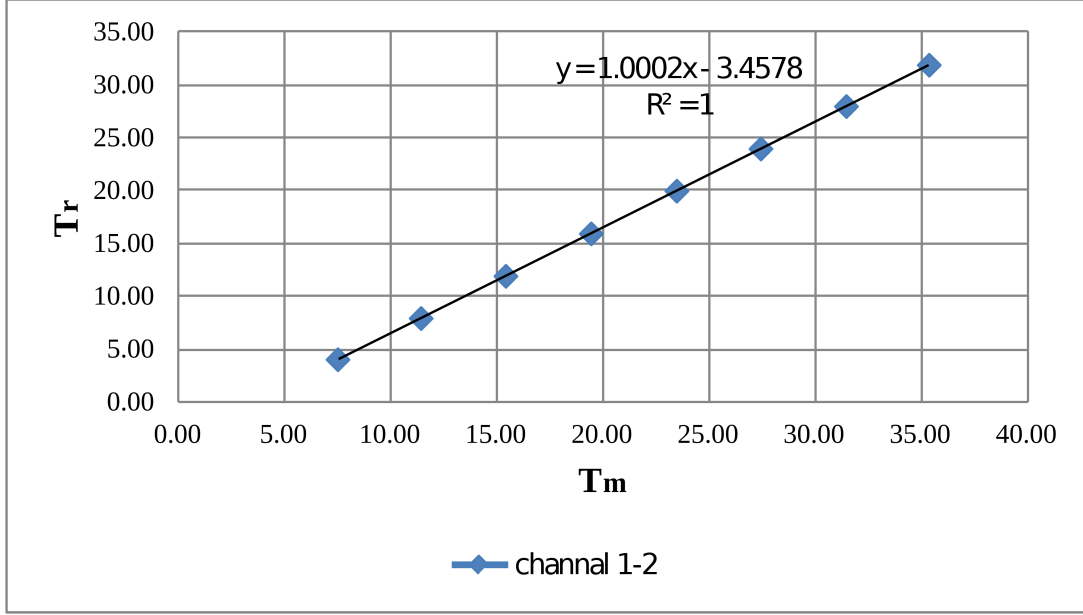


Şekil A1. 1-1 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A10. 1-2 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
1-2	4.06	7.50
	7.96	11.42
	11.95	15.41
	15.97	19.44

	20.00	23.47
	24.00	27.43
	28.01	31.46
	31.92	35.37

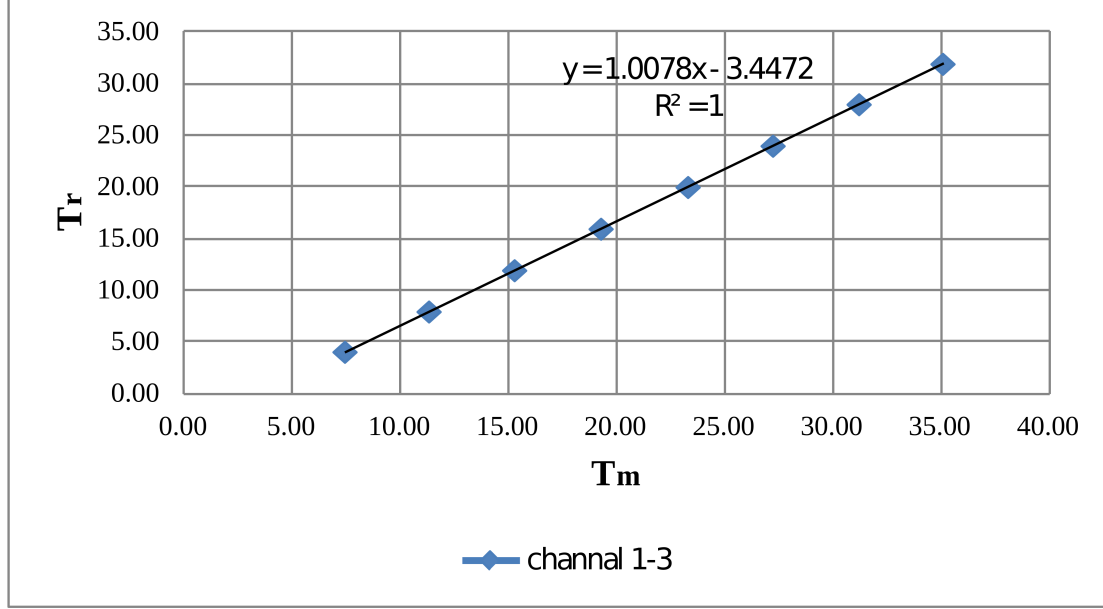


Şekil A2. 1-2 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A11. 1-3 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
1-3	4.06	7.43
	7.96	11.32
	11.95	15.28
	15.97	19.27
	20.00	23.30

	24.00	27.23
	28.01	31.20
	31.92	35.08

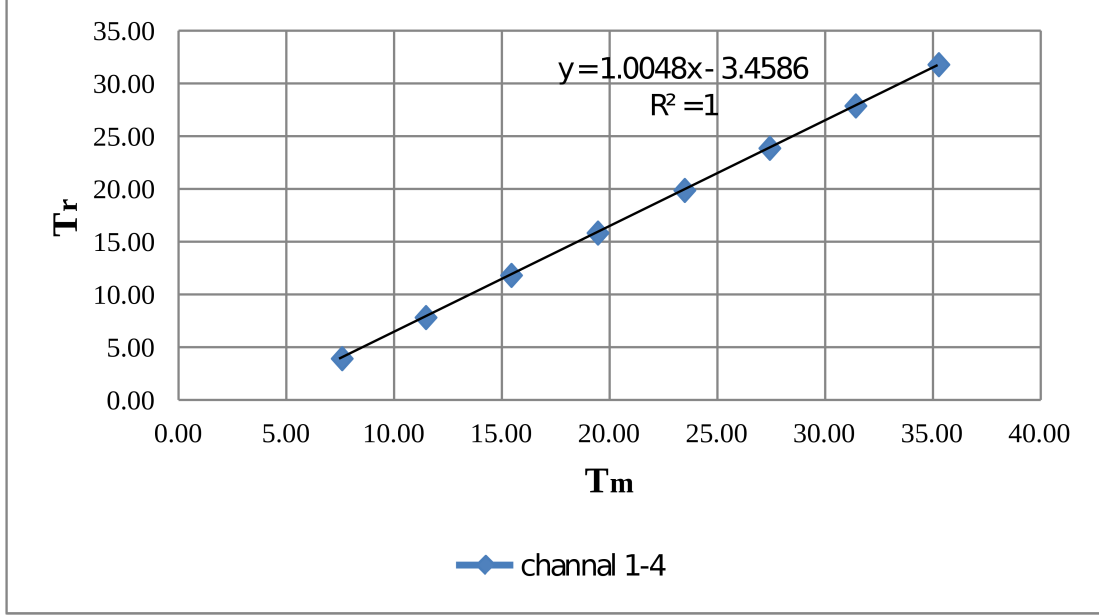


Şekil A3. 1-3 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A12. 1-4 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
1-4	4.06	7.47
	7.96	11.36
	11.95	15.33
	15.97	19.35
	20.00	23.38

	24.00	27.33
	28.01	31.32
	31.92	35.18

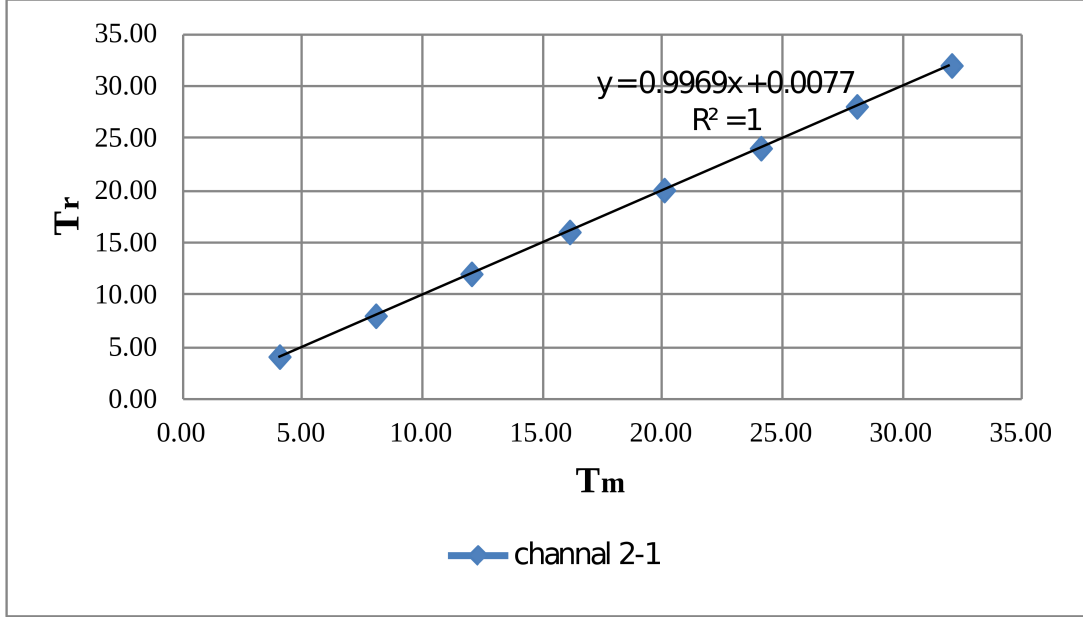


Şekil A4. 1-4 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A13. 2-1 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-1	4.06	4.01
	7.97	8.02
	11.98	12.01
	15.99	16.10
	20.00	20.04

	24.01	24.07
	28.01	28.07
	31.93	32.02

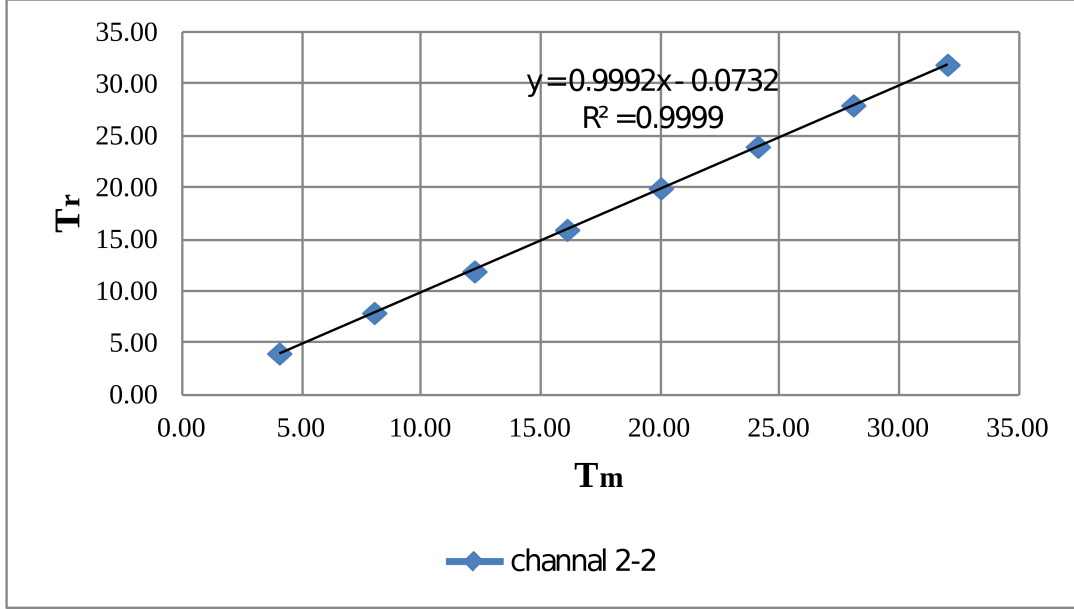


Şekil A5. 2-1 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A14. 2-2 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-2	4.06	4.05
	7.97	8.03
	11.98	12.23
	15.99	16.10
	20.00	20.03
	24.01	24.09

	28.01	28.09
	31.93	32.03

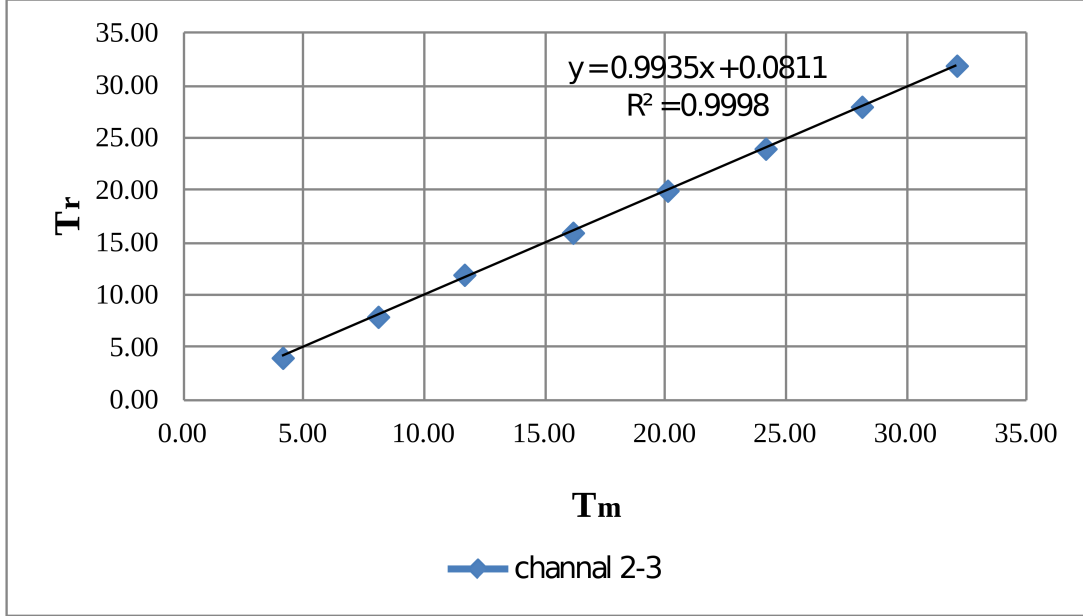


Şekil A6 2-2 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A15. 2-3 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-3	4.06	4.09
	7.97	8.05
	11.98	11.63
	15.99	16.13
	20.00	20.05
	24.01	24.12
	28.01	28.12

	31.93	32.05
--	-------	-------

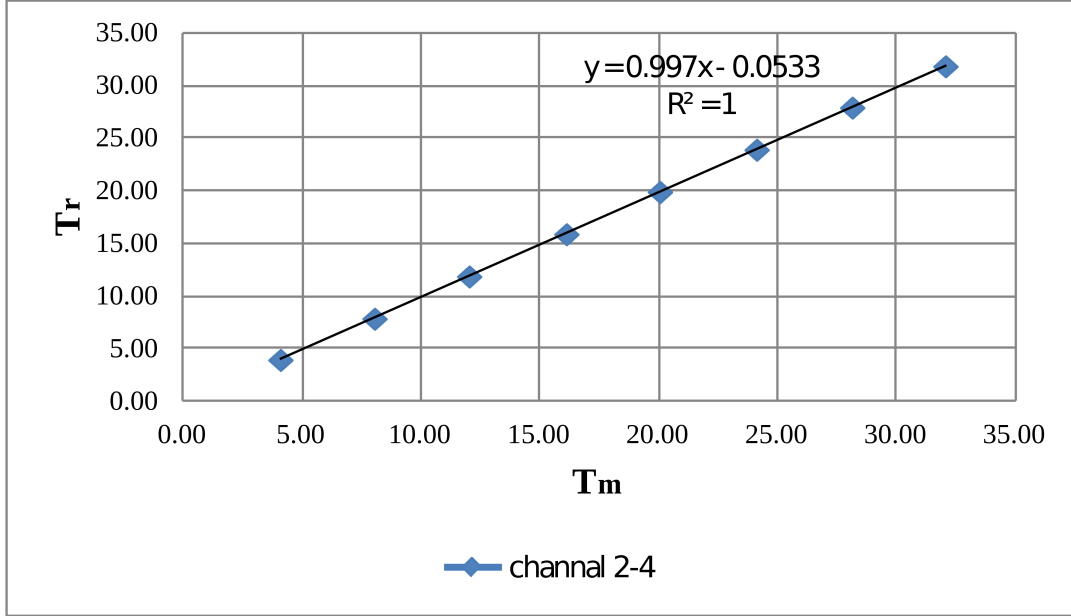


Şekil A7. 2-3 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A16. 2-4 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-4	4.06	4.11
	7.97	8.07
	11.98	12.05
	15.99	16.14
	20.00	20.07
	24.01	24.14
	28.01	28.16

	31.93	32.08
--	-------	-------

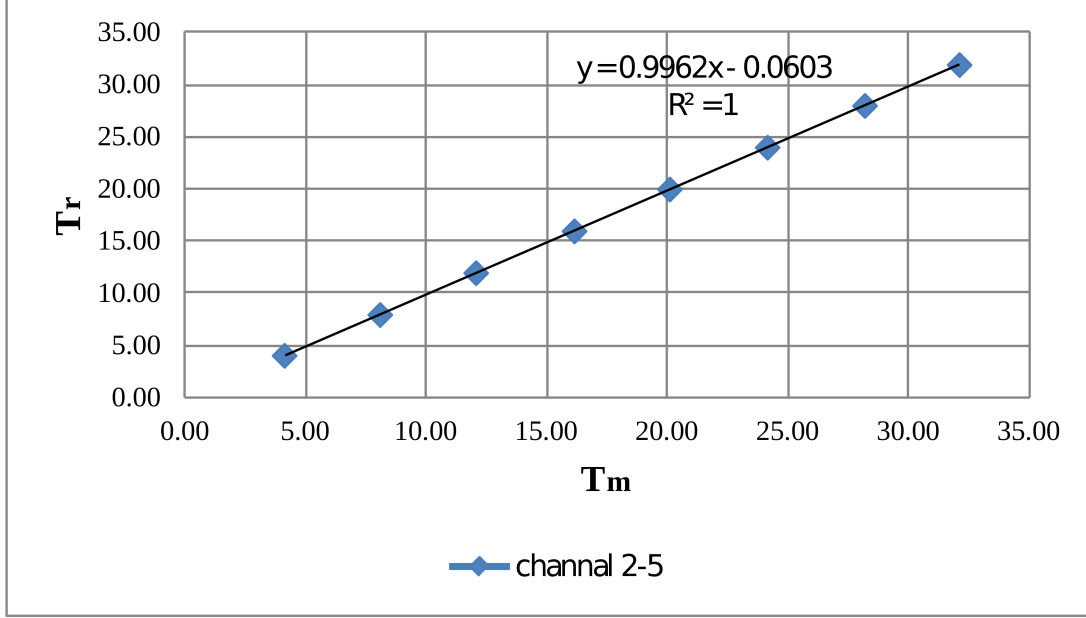


Şekil A8. 2-4 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A17. 2-5 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-5	4.06	4.12
	7.97	8.09
	11.98	12.07
	15.99	16.15
	20.00	20.10
	24.01	24.15
	28.01	28.19

	31.93	32.11
--	-------	-------

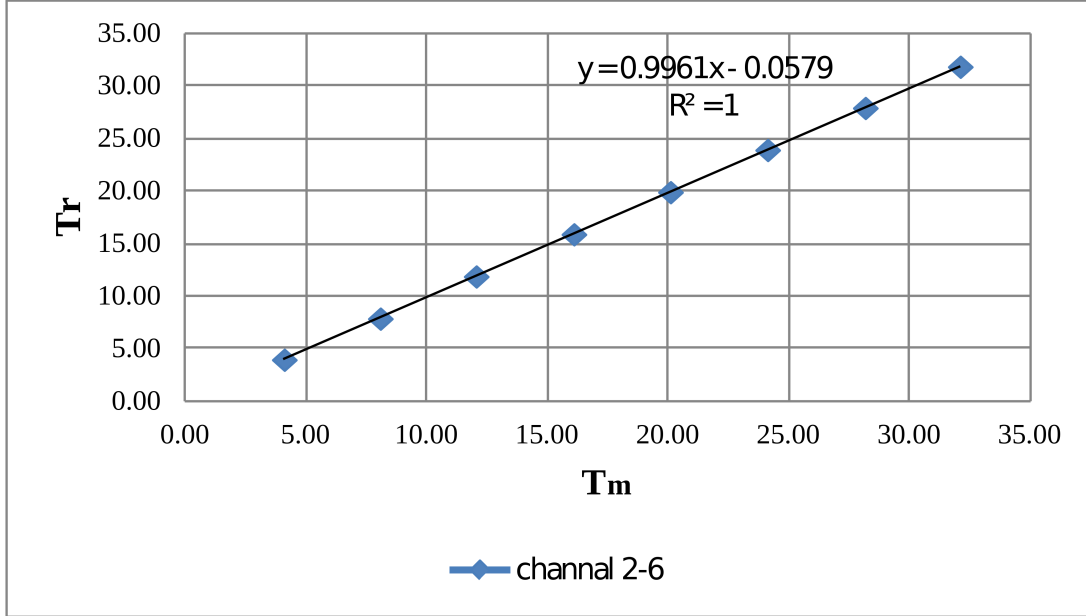


Şekil A9. 2-5 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A18. 2-6 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-6	4.06	4.12
	7.97	8.10
	11.98	12.07
	15.99	16.12
	20.00	20.12
	24.01	24.14
	28.01	28.19

	31.93	32.12
--	-------	-------

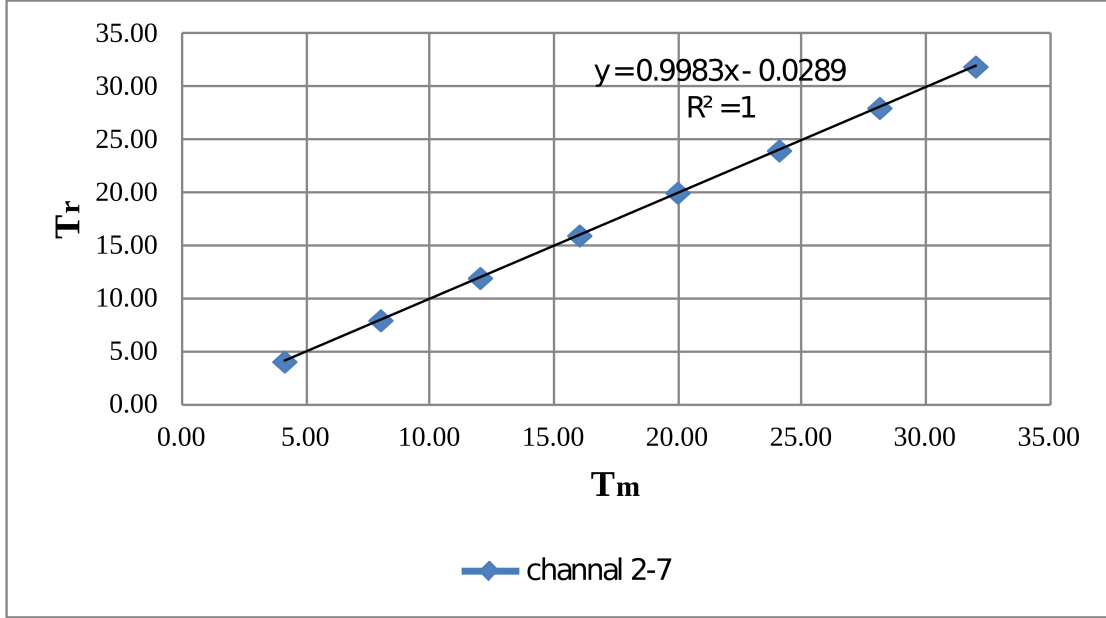


Şekil A10. 2-6 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A19. 2-7 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-7	4.06	4.12
	7.96	8.00
	11.95	12.01
	15.97	16.02
	20.00	19.98
	24.00	24.08
	28.01	28.13

	31.92	32.00
--	-------	-------

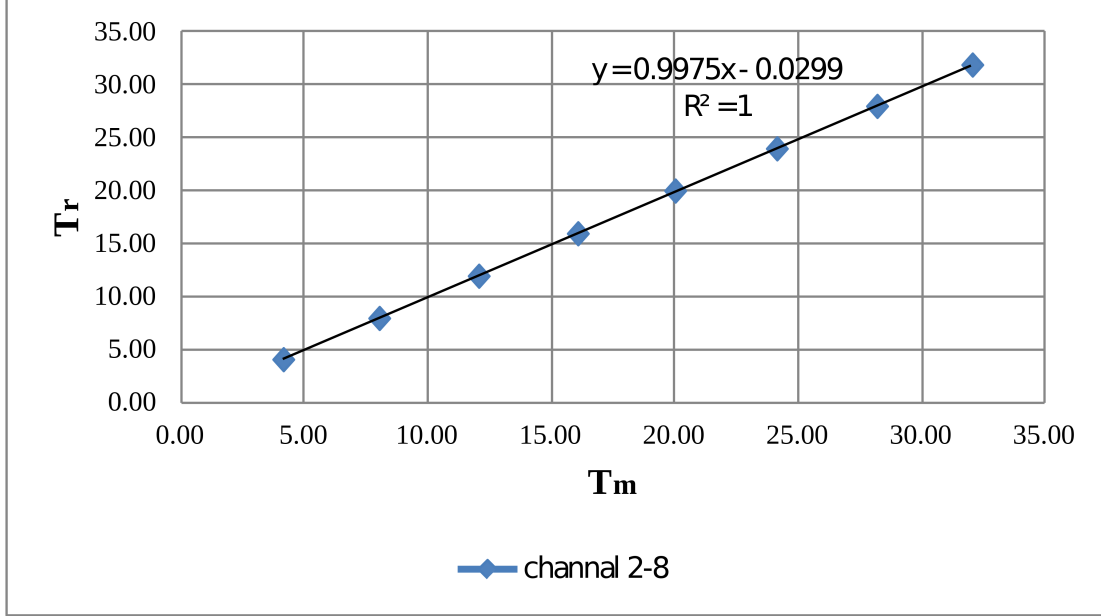


Şekil A11. 2-7 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A20. 2-8 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-8	4.06	4.12
	7.96	8.00
	11.95	12.03
	15.97	16.04
	20.00	19.99
	24.00	24.10
	28.01	28.16

	31.92	32.02
--	-------	-------

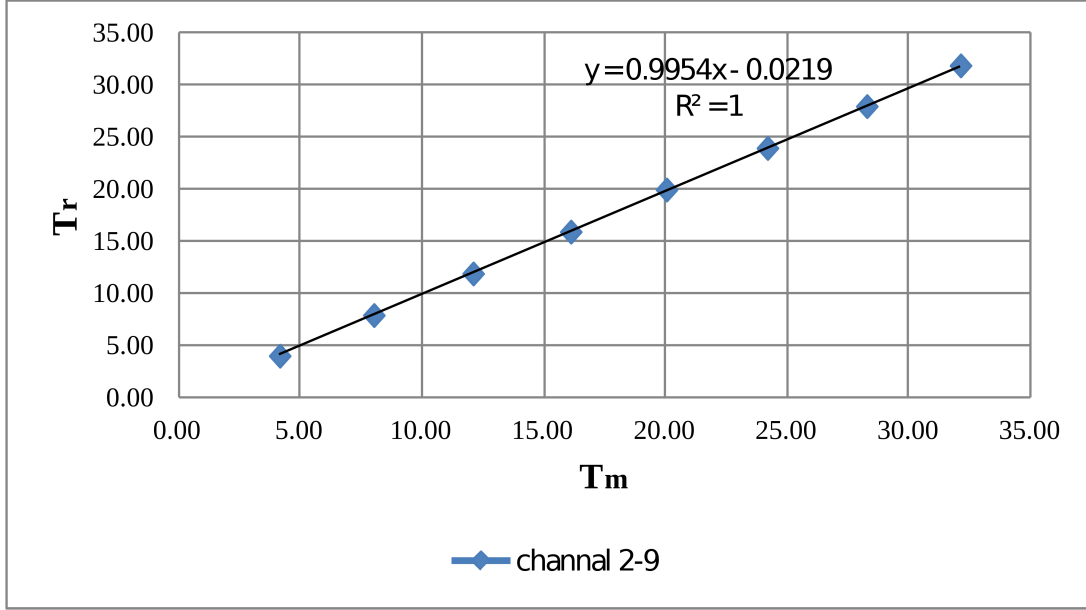


Şekil A12. 2-8 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A21. 2-9 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
2-9	4.06	4.13
	7.96	7.99
	11.95	12.07
	15.97	16.07
	20.00	20.00
	24.00	24.15
	28.01	28.23

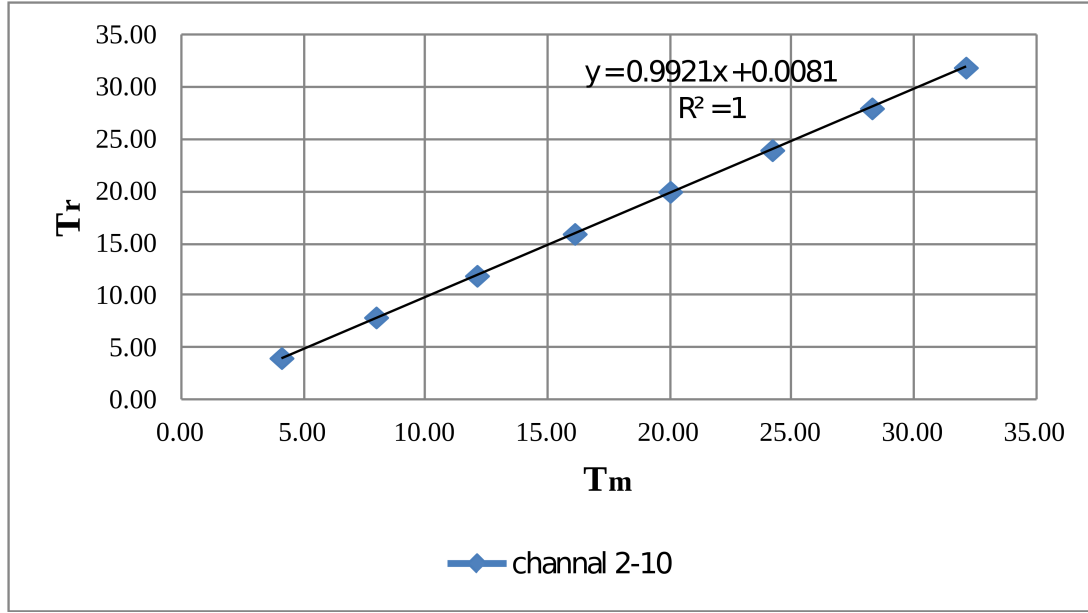
	31.92	32.07
--	-------	-------



Şekil A13. 2-9 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A22. 2-10 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

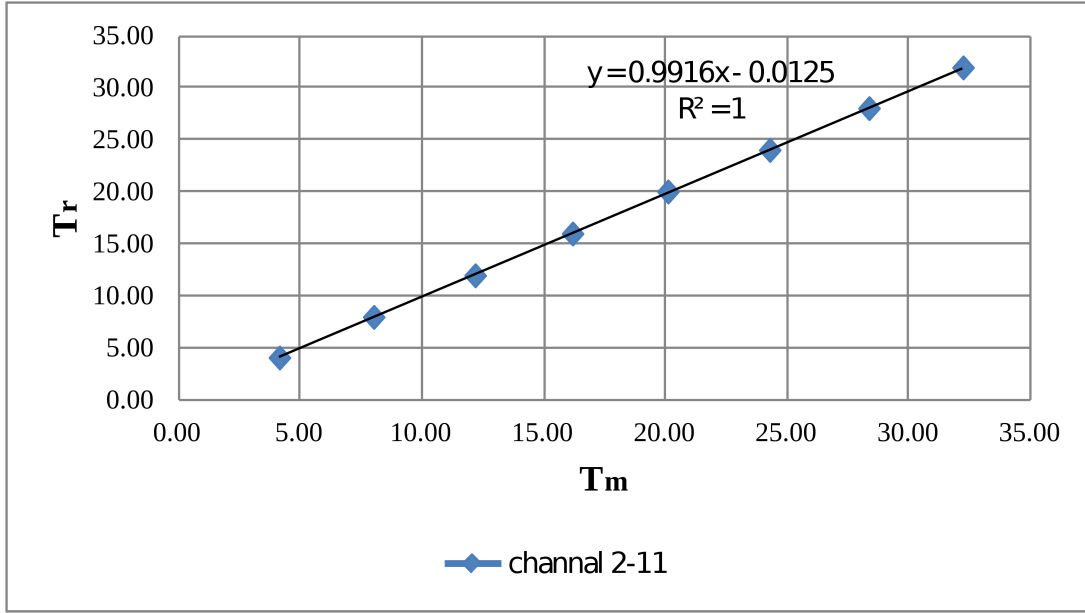
Channel	referans	measurement
2-10	4.06	4.10
	7.96	7.97
	11.95	12.11
	15.97	16.11
	20.00	20.02
	24.00	24.20
	28.01	28.29
	31.92	32.14



Şekil A14. 2-10 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A23. 2-11 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

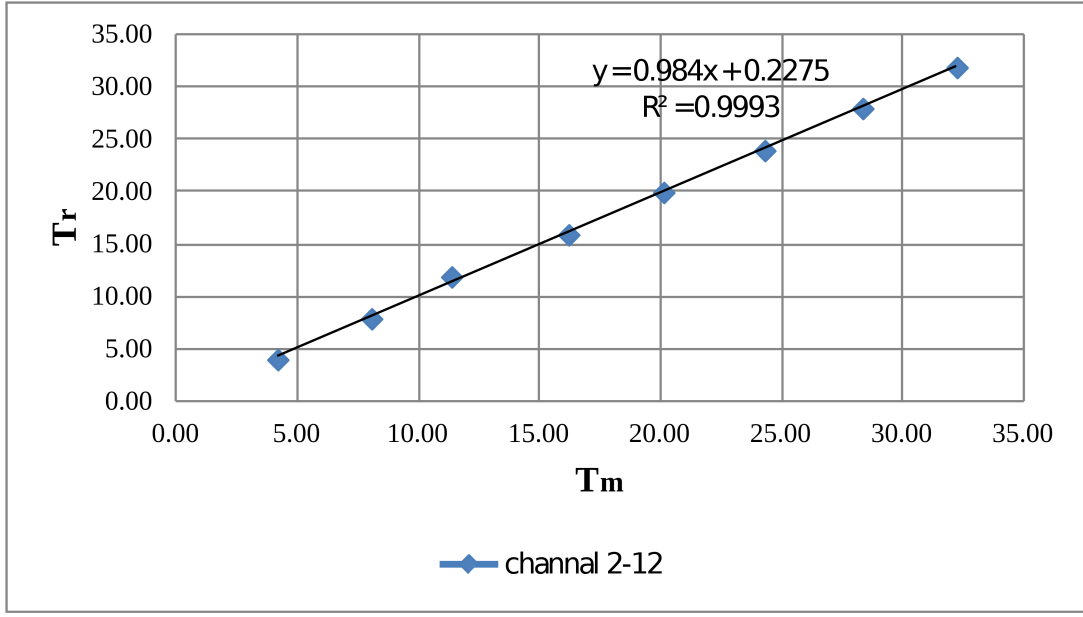
Channel	referans	measurement
2-11	4.06	4.12
	7.96	7.98
	11.95	12.15
	15.97	16.15
	20.00	20.06
	24.00	24.24
	28.01	28.32
	31.92	32.18



Şekil A15. 2-11 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A24. 2-12 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

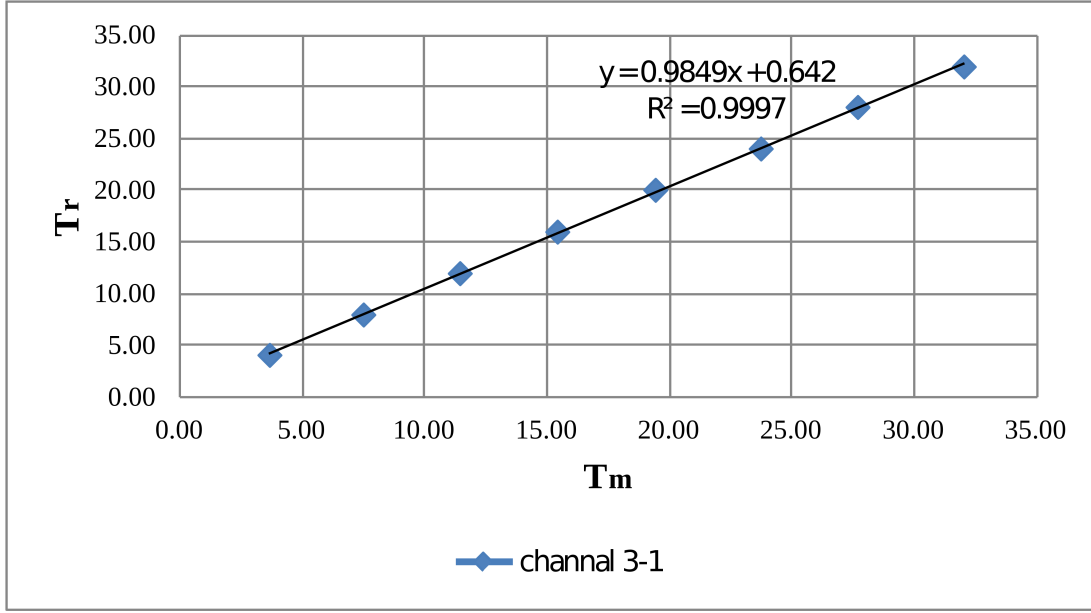
Channel	referans	measurement
2-12	4.06	4.12
	7.96	8.00
	11.95	11.31
	15.97	16.14
	20.00	20.07
	24.00	24.24
	28.01	28.29
	31.92	32.19



Şekil A16. 2-12 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A25. 3-1 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

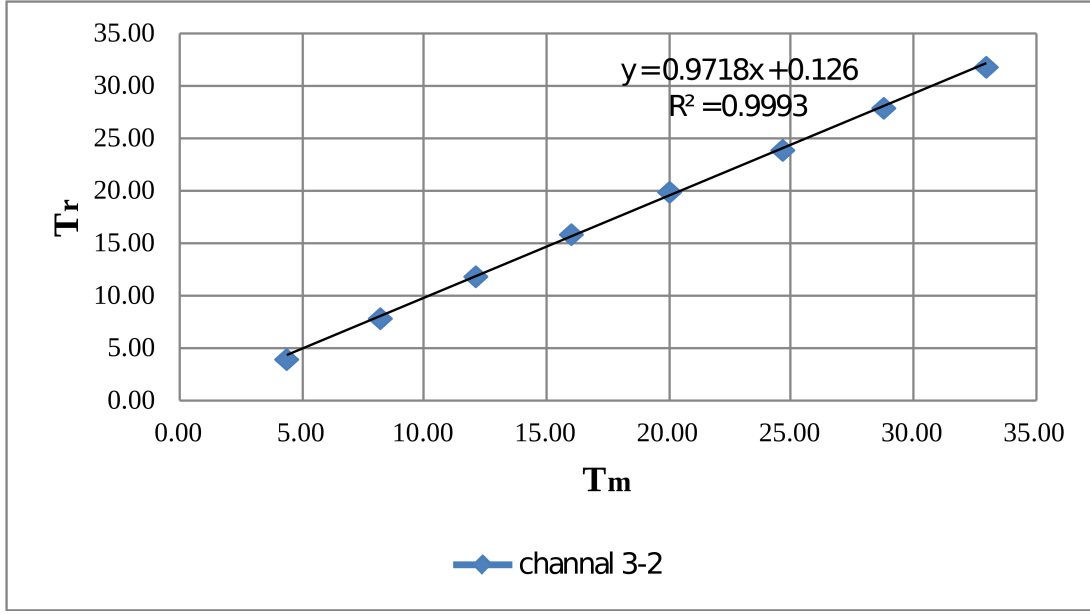
Channel	referans	measurement
3-1	4.06	3.65
	7.96	7.49
	11.95	11.43
	15.97	15.42
	20.00	19.42
	24.00	23.73
	28.01	27.69
	31.92	32.03



Şekil A17. 3-1 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A26. 3-2 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

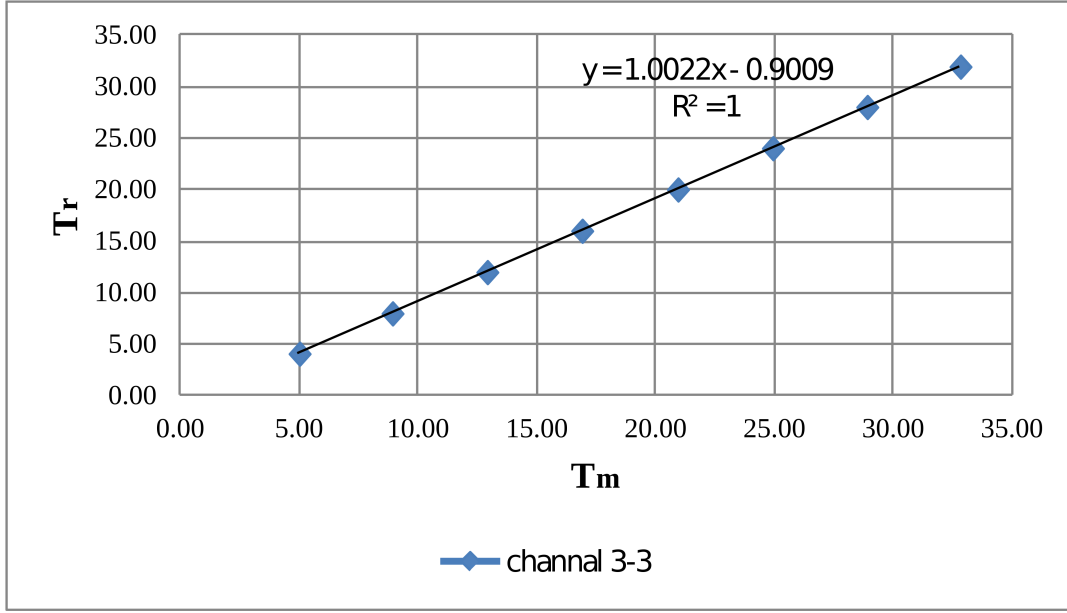
Channel	referans	measurement
3-2	4.06	4.35
	7.96	8.18
	11.95	12.09
	15.97	15.99
	20.00	20.01
	24.00	24.64
	28.01	28.77
	31.92	32.96



Şekil A18. 3-2 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A27. 3-3 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

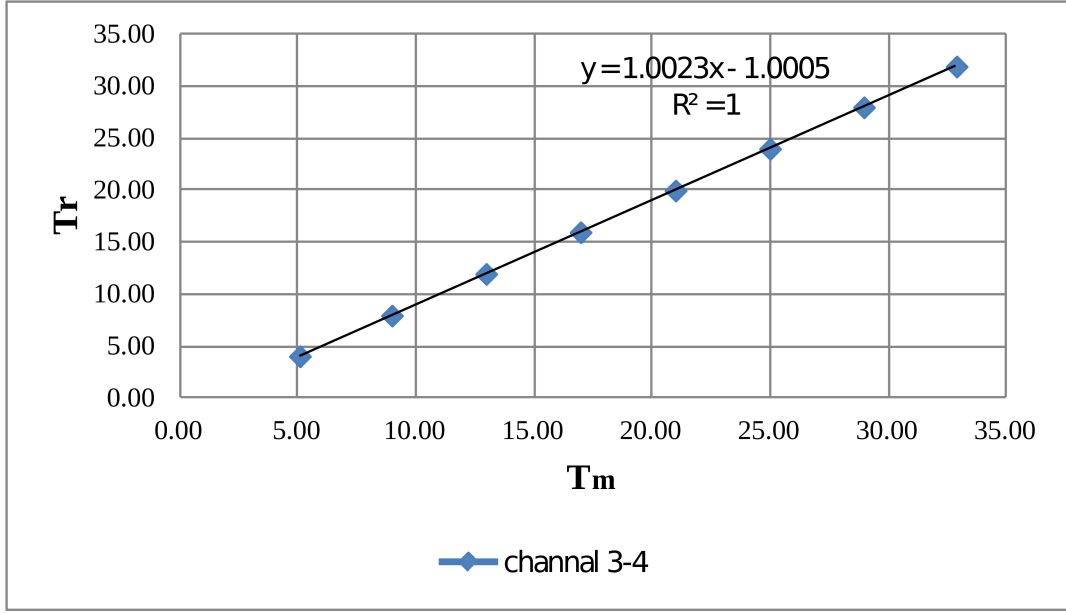
Channel	referans	measurement
3-3	4.06	4.95
	7.97	8.86
	11.98	12.85
	15.99	16.84
	20.00	20.87
	24.01	24.87
	28.01	28.84
	31.93	32.76



Şekil A19. 3-3 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A28. 3-4 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

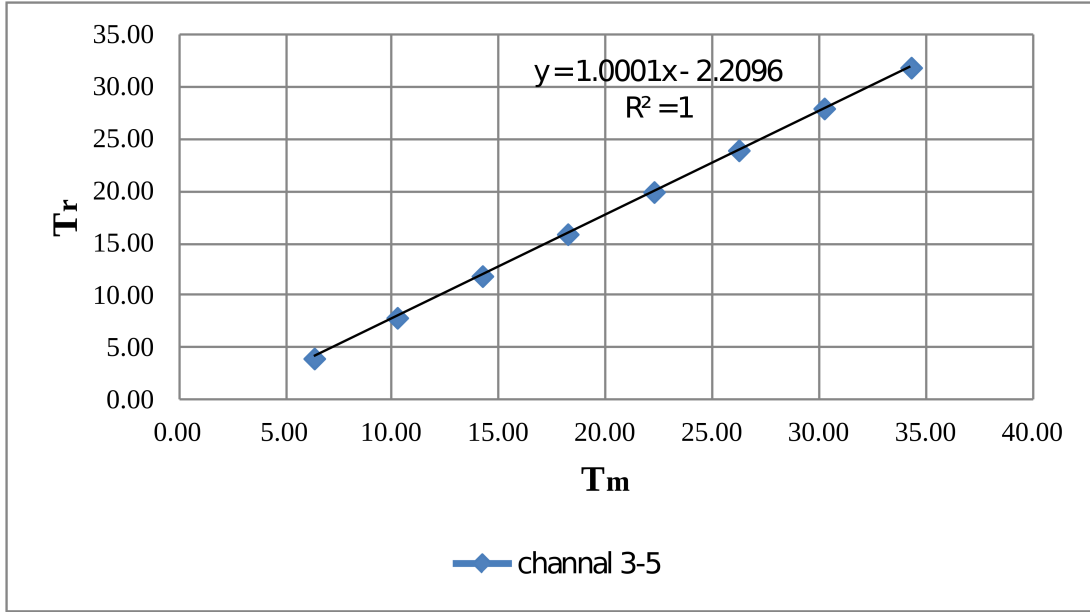
Channel	referans	measurement
3-4	4.06	5.06
	7.97	8.95
	11.98	12.94
	15.99	16.94
	20.00	20.96
	24.01	24.96
	28.01	28.94
	31.93	32.86



Şekil A20 3-4 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A29. 3-5 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

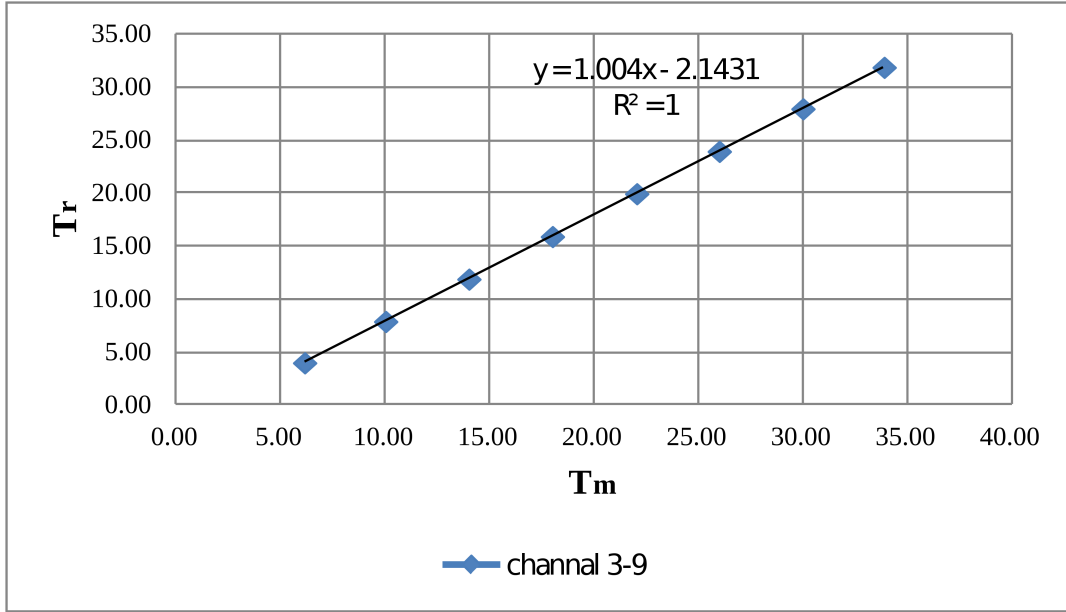
Channel	referans	measurement
3-5	4.06	6.30
	7.96	10.18
	11.95	14.16
	15.97	18.16
	20.00	22.19
	24.00	26.16
	28.01	30.16
	31.92	34.22



Şekil A21. 3-5 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A30. 3-9 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

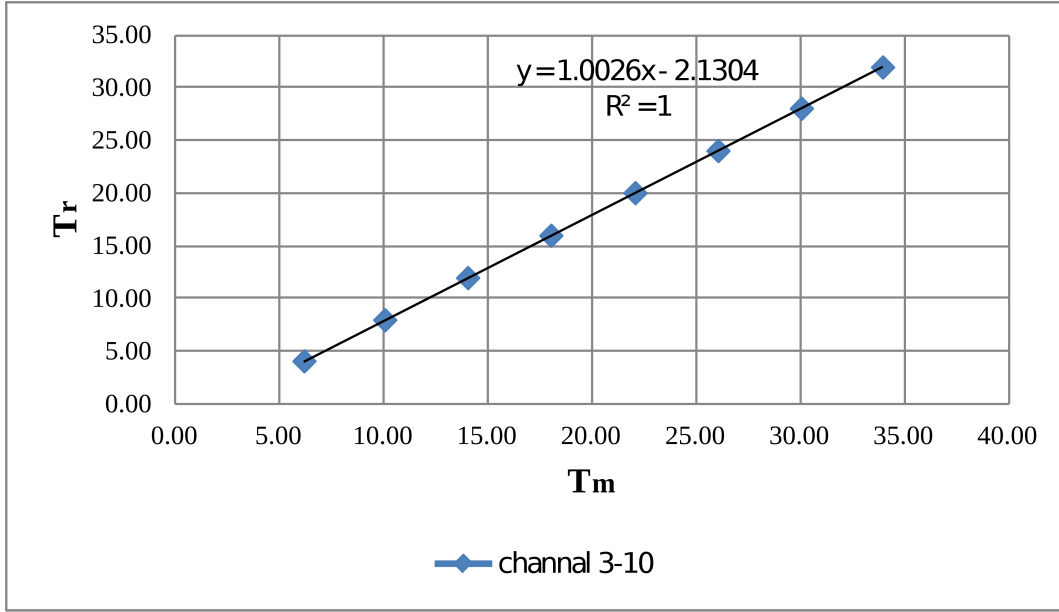
Channel	referans	measurement
3-9	4.06	6.18
	7.96	10.06
	11.95	14.04
	15.97	18.04
	20.00	22.08
	24.00	26.03
	28.01	30.03
	31.92	33.92



Şekil A22. 3-9 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A31. 3-10 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

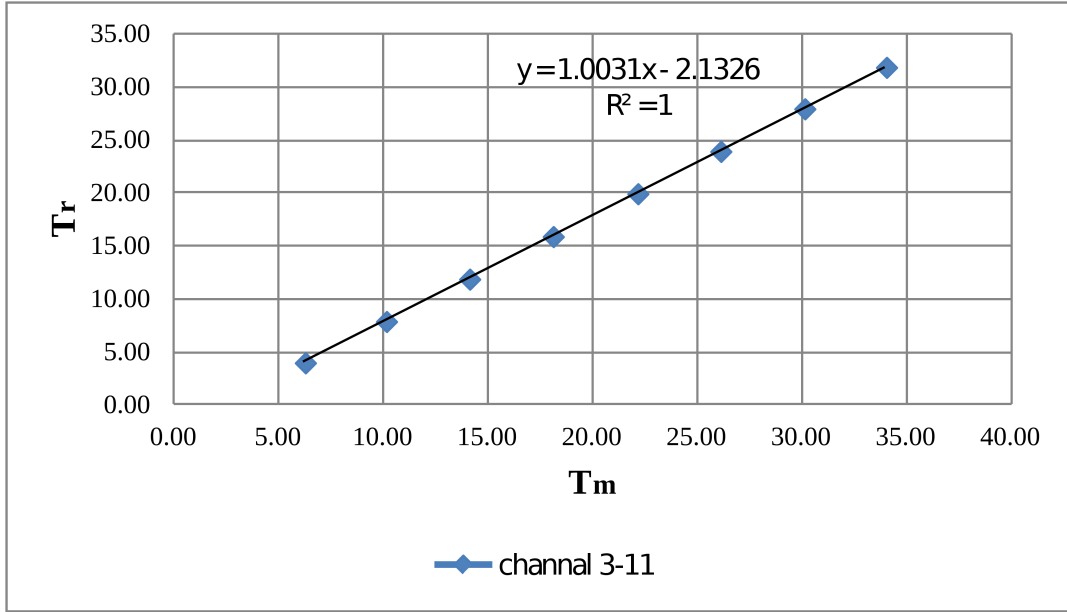
Channel	referans	measurement
3-10	4.06	6.18
	7.96	10.06
	11.95	14.04
	15.97	18.04
	20.00	22.08
	24.00	26.06
	28.01	30.07
	31.92	33.97



Şekil A23. 3-10 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A32. 3-11 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

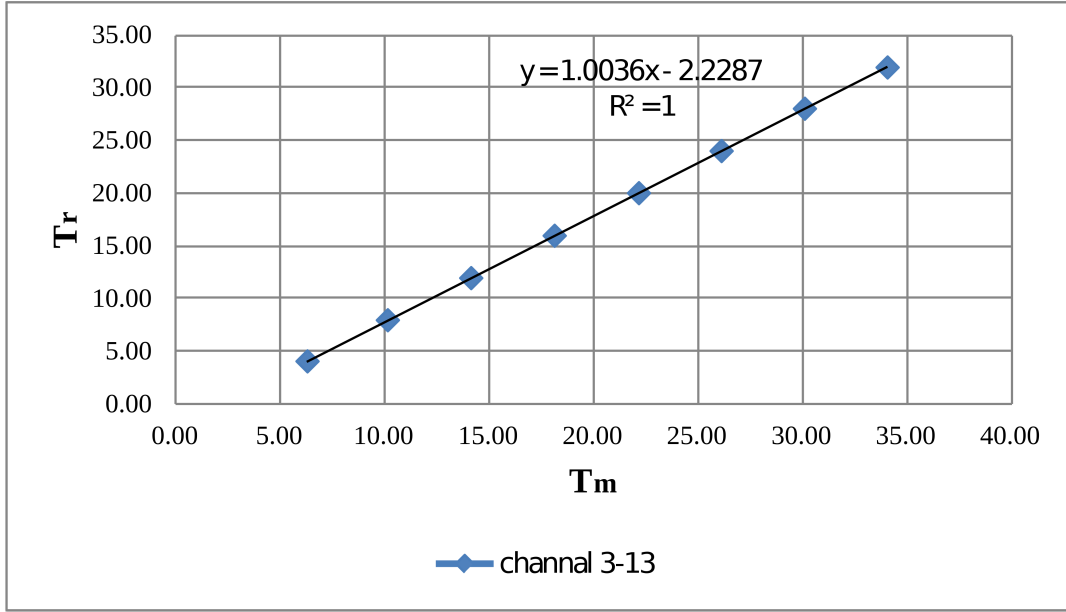
Channel	referans	measurement
3-11	4.06	6.18
	7.96	10.06
	11.95	14.04
	15.97	18.03
	20.00	22.07
	24.00	26.04
	28.01	30.05
	31.92	33.96



Şekil A24. 3-11 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A33. 3-13 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

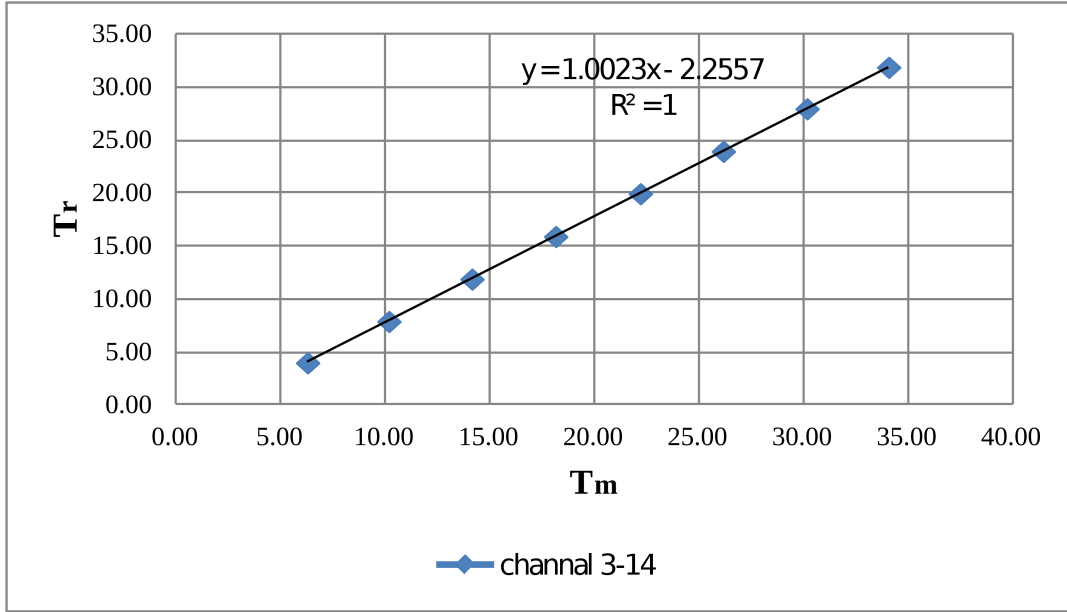
Channel	referans	measurement
3-13	4.06	6.29
	7.96	10.14
	11.95	14.13
	15.97	18.12
	20.00	22.16
	24.00	26.12
	28.01	30.10
	31.92	34.06



Şekil A25. 3-13 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A34. 3-14 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

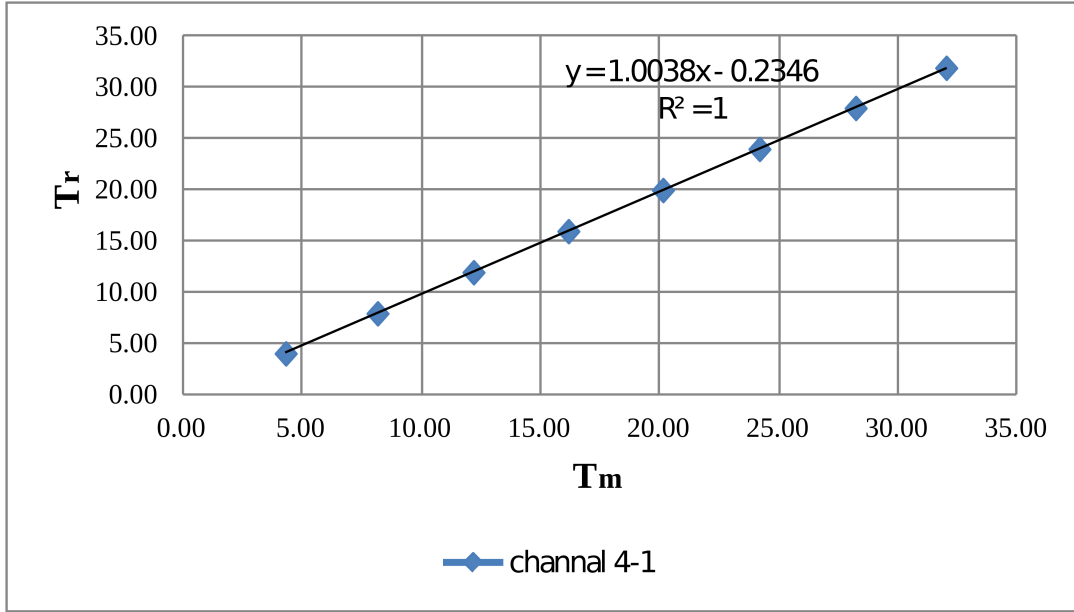
Channel	referans	measurement
3-14	4.06	6.30
	7.96	10.19
	11.95	14.17
	15.97	18.17
	20.00	22.22
	24.00	26.19
	28.01	30.19
	31.92	34.10



Şekil A26. 3-14 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A35. 4-1 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

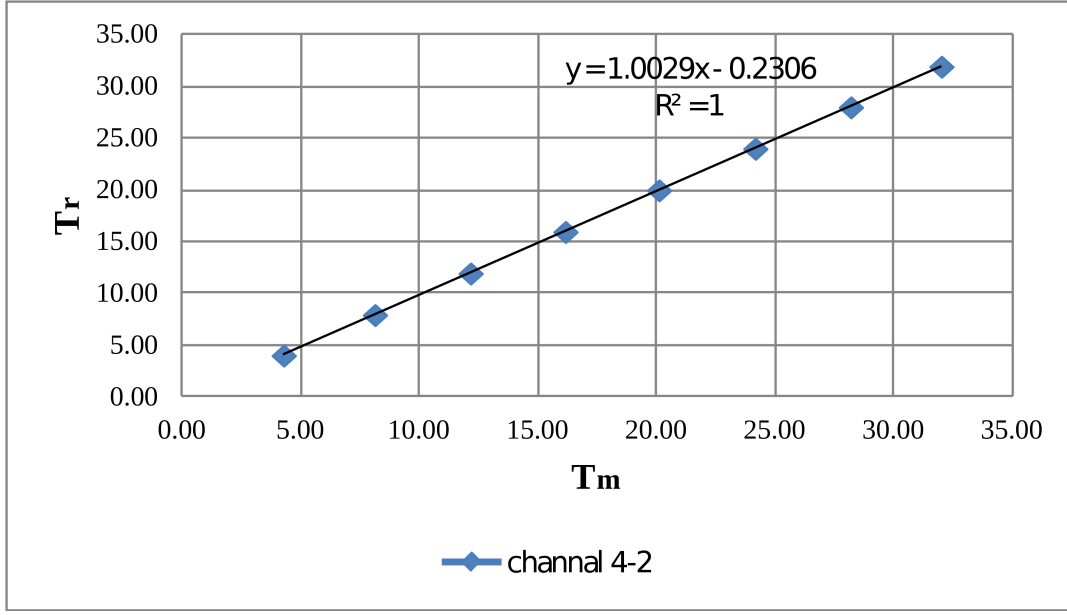
Channel	referans	measurement
4-1	4.06	4.30
	7.97	8.15
	11.98	12.18
	15.99	16.15
	20.00	20.12
	24.01	24.17
	28.01	28.20
	31.93	32.00



Şekil A27. 4-1 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A36. 4-2 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

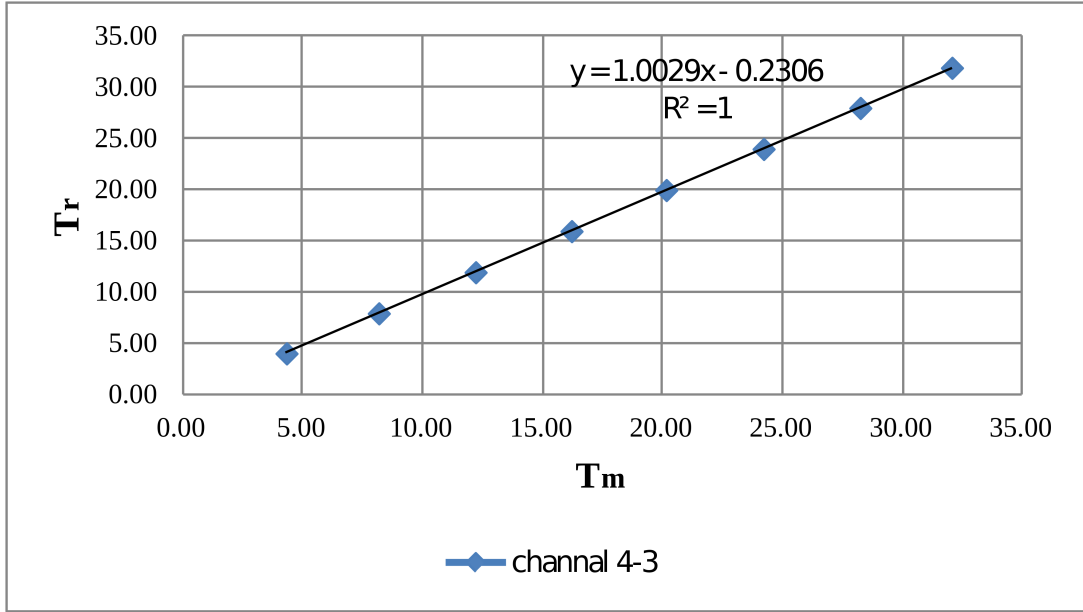
Channel	referans	measurement
4-2	4.06	4.30
	7.97	8.15
	11.98	12.18
	15.99	16.18
	20.00	20.13
	24.01	24.18
	28.01	28.21
	31.93	32.03



Şekil A28. 4-2 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A37. 4-3 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

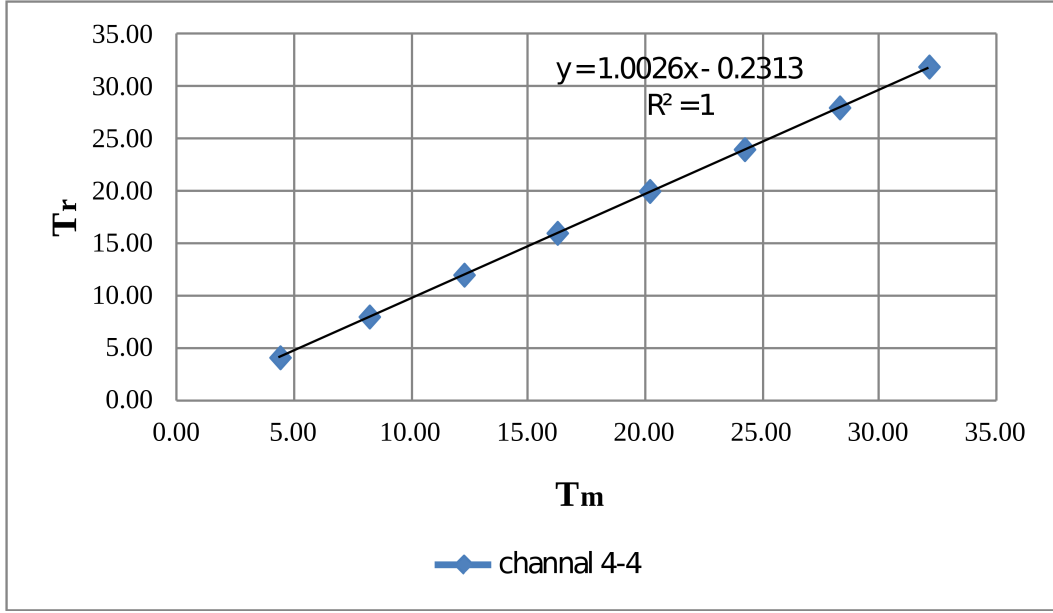
Channel	referans	measurement
4-3	4.06	4.30
	7.97	8.15
	11.98	12.18
	15.99	16.18
	20.00	20.13
	24.01	24.18
	28.01	28.21
	31.93	32.03



Şekil A29. 4-3 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A38. 4-4 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

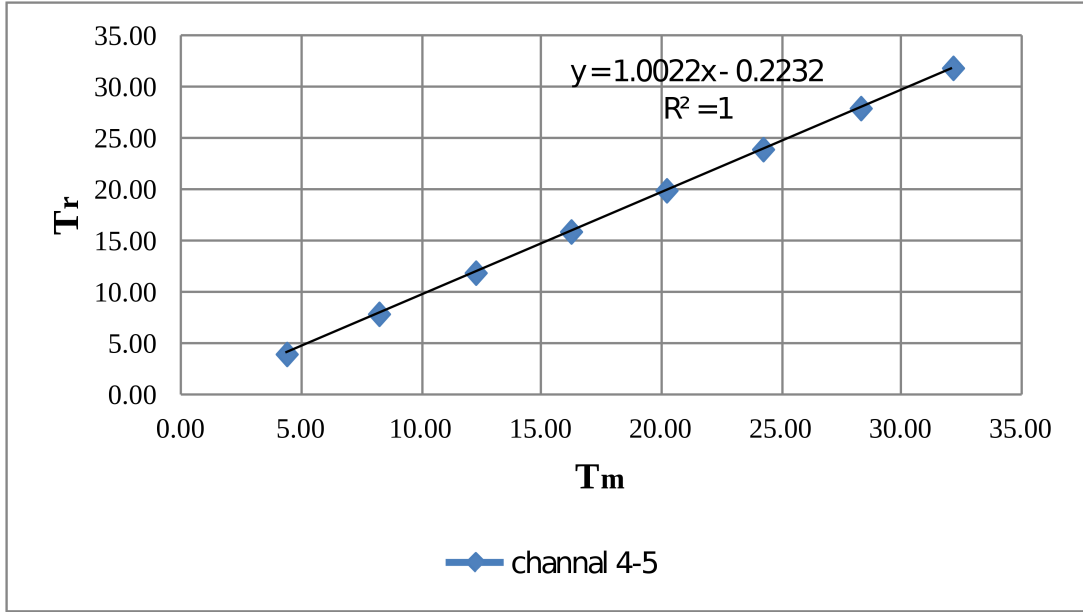
Channel	referans	measurement
4-4	4.06	4.33
	7.97	8.14
	11.98	12.19
	15.99	16.17
	20.00	20.12
	24.01	24.18
	28.01	28.24
	31.93	32.06



Şekil A30. 4-4 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A39. 4-5 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

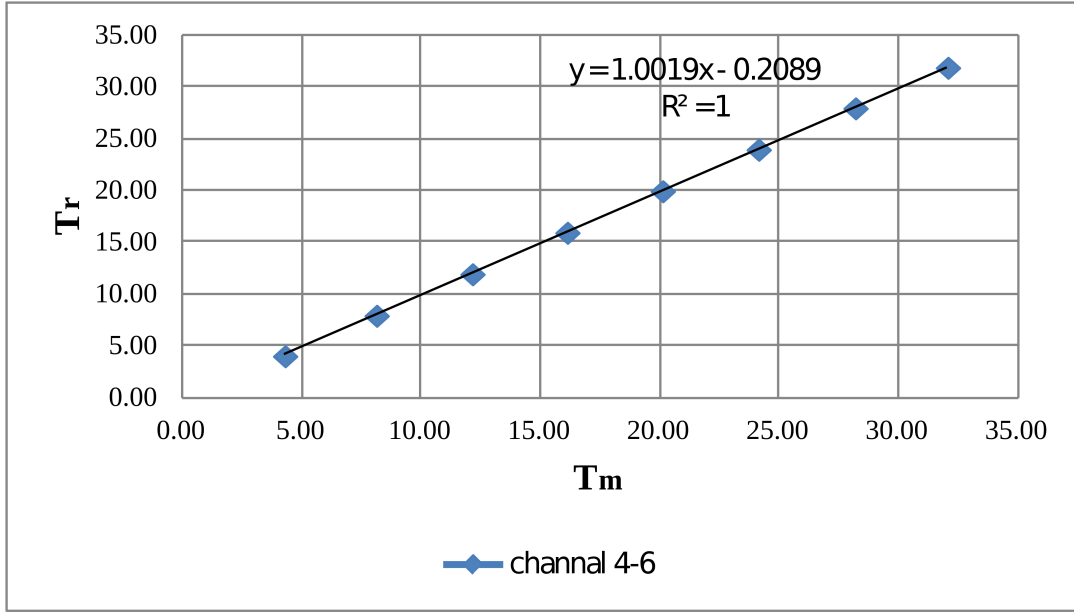
Channel	referans	measurement
4-5	4.06	4.31
	7.97	8.16
	11.98	12.19
	15.99	16.16
	20.00	20.14
	24.01	24.16
	28.01	28.23
	31.93	32.08



Şekil A31. 4-5 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A40. 4-6 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

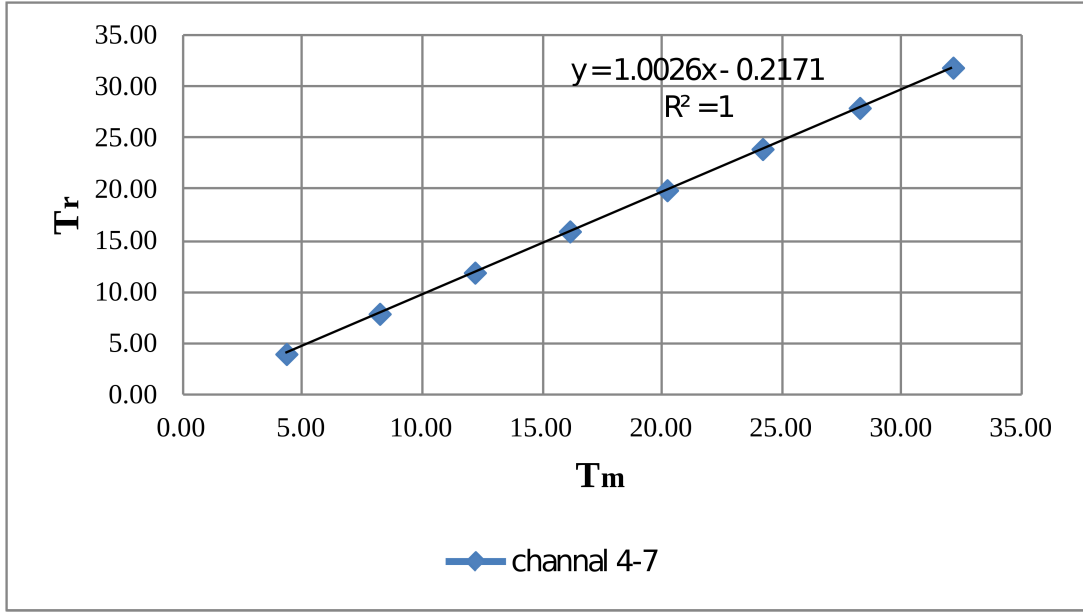
Channel	referans	measurement
4-6	4.06	4.31
	7.97	8.15
	11.98	12.16
	15.99	16.14
	20.00	20.14
	24.01	24.16
	28.01	28.21
	31.93	32.09



Şekil A32. 4-6 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A41. 4-7 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

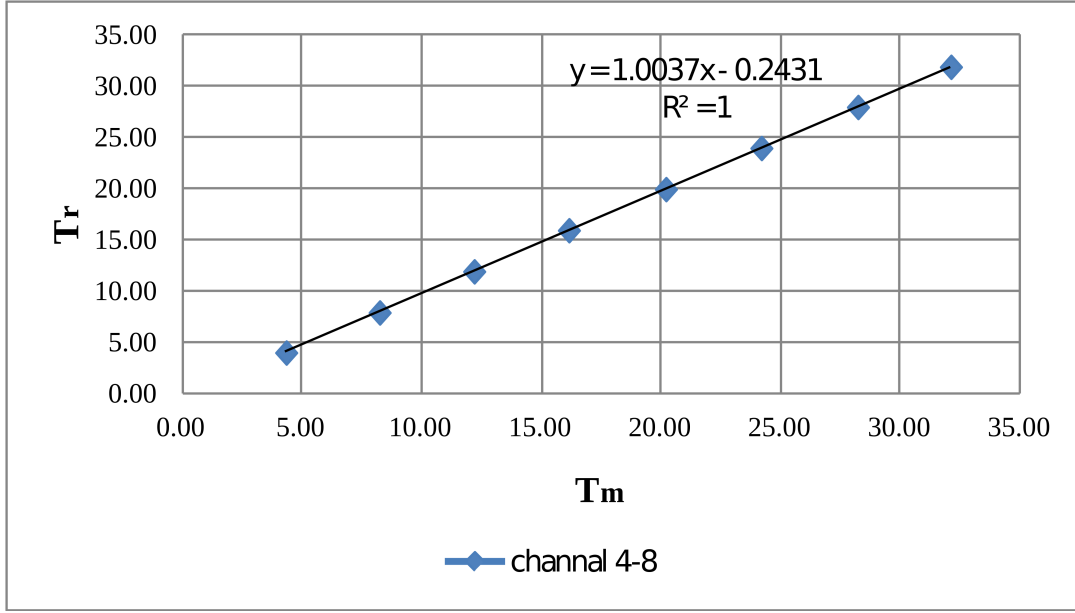
Channel	referans	measurement
4-7	4.06	4.30
	7.97	8.18
	11.98	12.15
	15.99	16.11
	20.00	20.16
	24.01	24.14
	28.01	28.19
	31.93	32.08



Şekil A33. 4-7 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A42. 4-8 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

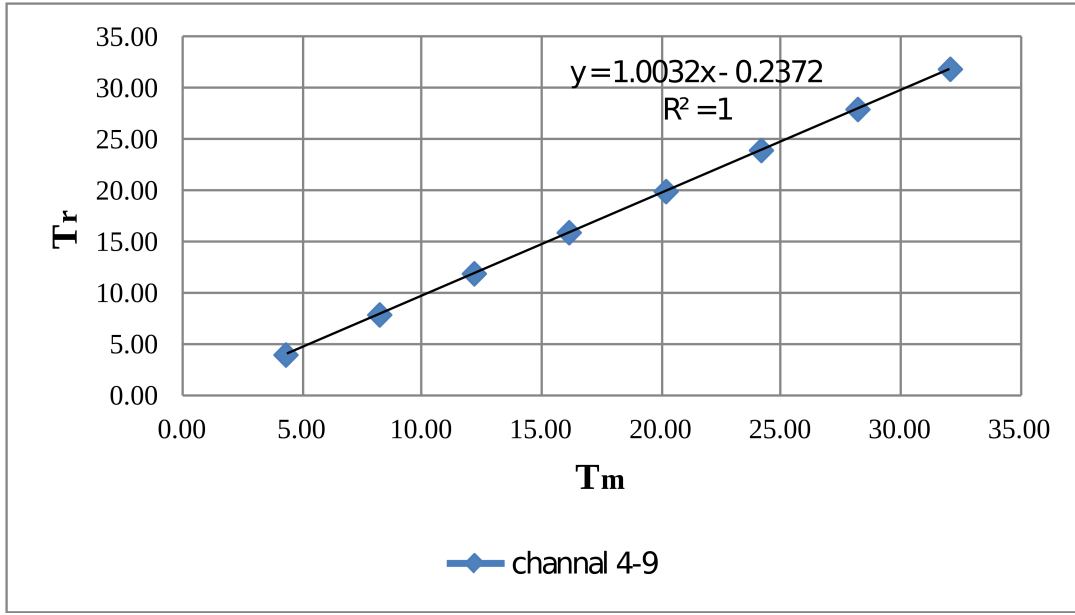
Channel	referans	measurement
4-8	4.06	4.31
	7.97	8.21
	11.98	12.16
	15.99	16.11
	20.00	20.16
	24.01	24.15
	28.01	28.18
	31.93	32.06



Şekil A34. 4-8 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A43. 4-9 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

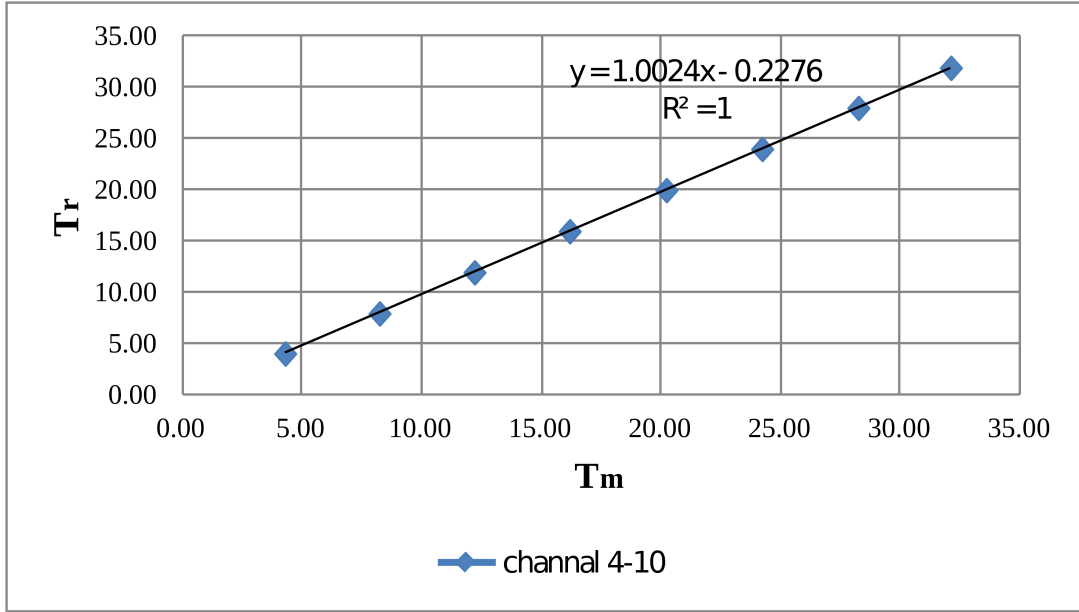
Channel	referans	measurement
4-9	4.06	4.29
	7.97	8.21
	11.98	12.16
	15.99	16.13
	20.00	20.18
	24.01	24.16
	28.01	28.19
	31.93	32.06



Şekil A35. 4-9 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A44. 4-10 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

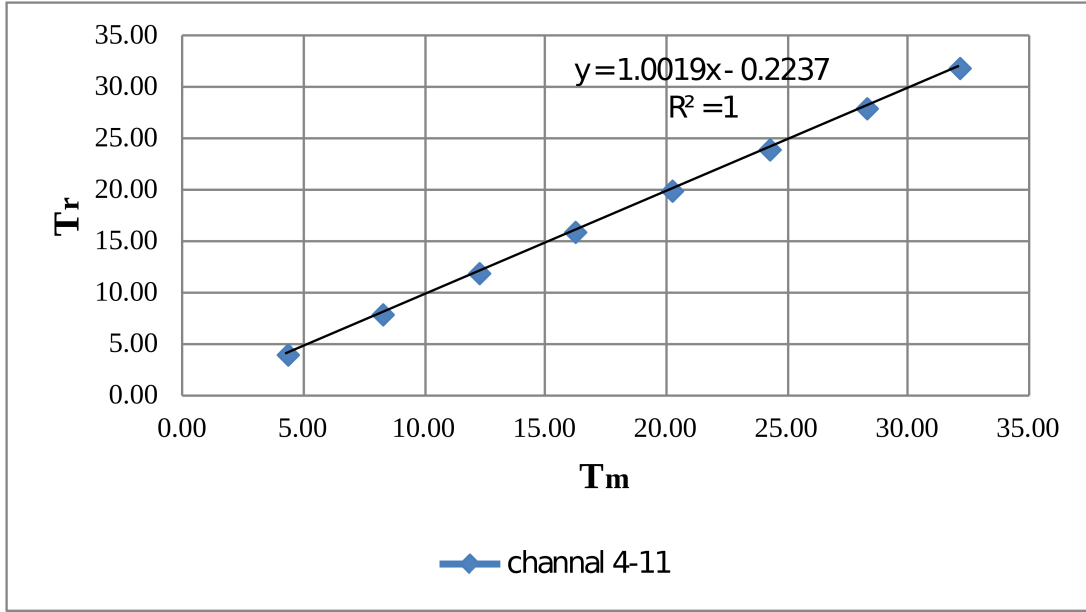
Channel	referans	measurement
4-10	4.06	4.27
	7.97	8.21
	11.98	12.17
	15.99	16.15
	20.00	20.18
	24.01	24.18
	28.01	28.20
	31.93	32.06



Şekil A36. 4-10 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A45. 4-11 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

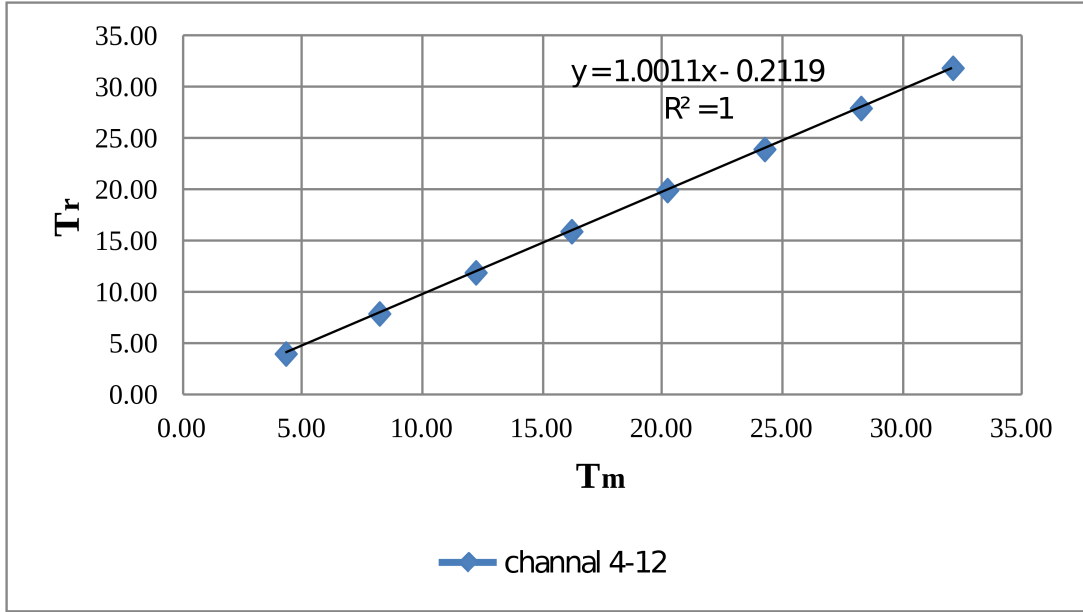
Channel	referans	measurement
4-11	4.06	4.27
	7.97	8.20
	11.98	12.19
	15.99	16.16
	20.00	20.17
	24.01	24.20
	28.01	28.22
	31.93	32.07



Şekil A37. 4-11 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A46. 4-12 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

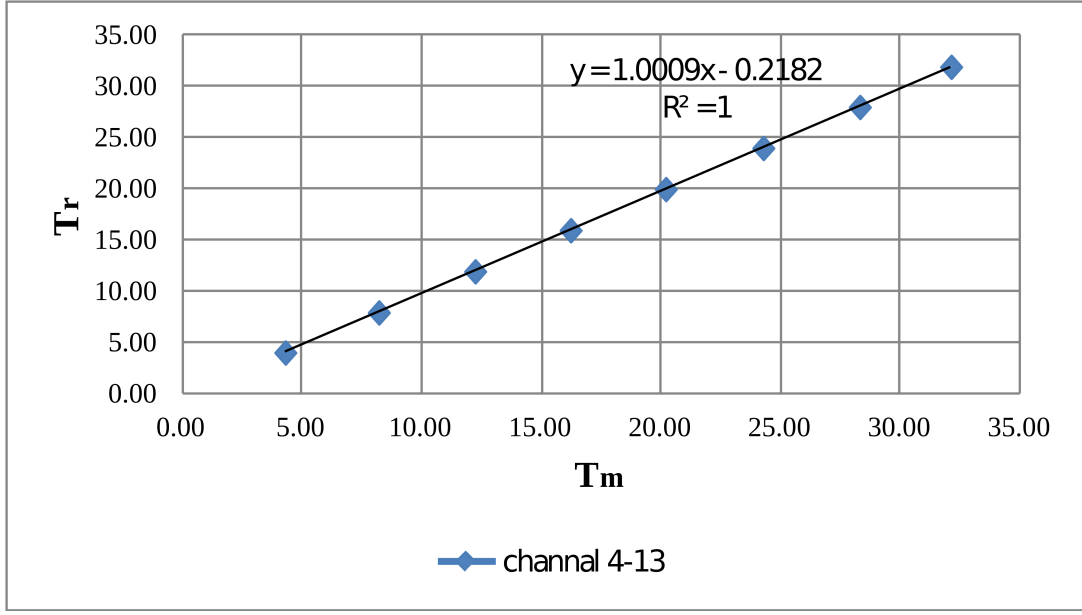
Channel	referans	measurement
4-12	4.06	4.27
	7.97	8.17
	11.98	12.18
	15.99	16.18
	20.00	20.17
	24.01	24.22
	28.01	28.24
	31.93	32.06



Şekil A38. 4-12 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A47. 4-13 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

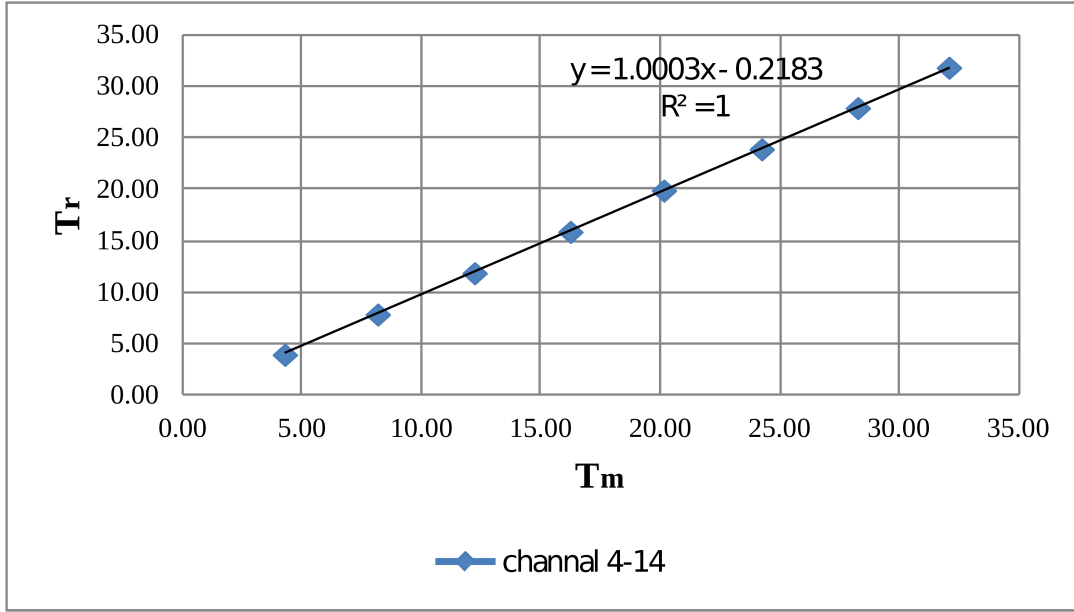
Channel	referans	measurement
4-13	4.06	4.27
	7.97	8.18
	11.98	12.20
	15.99	16.19
	20.00	20.16
	24.01	24.23
	28.01	28.26
	31.93	32.07



Şekil A39. 4-13 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A48. 4-14 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

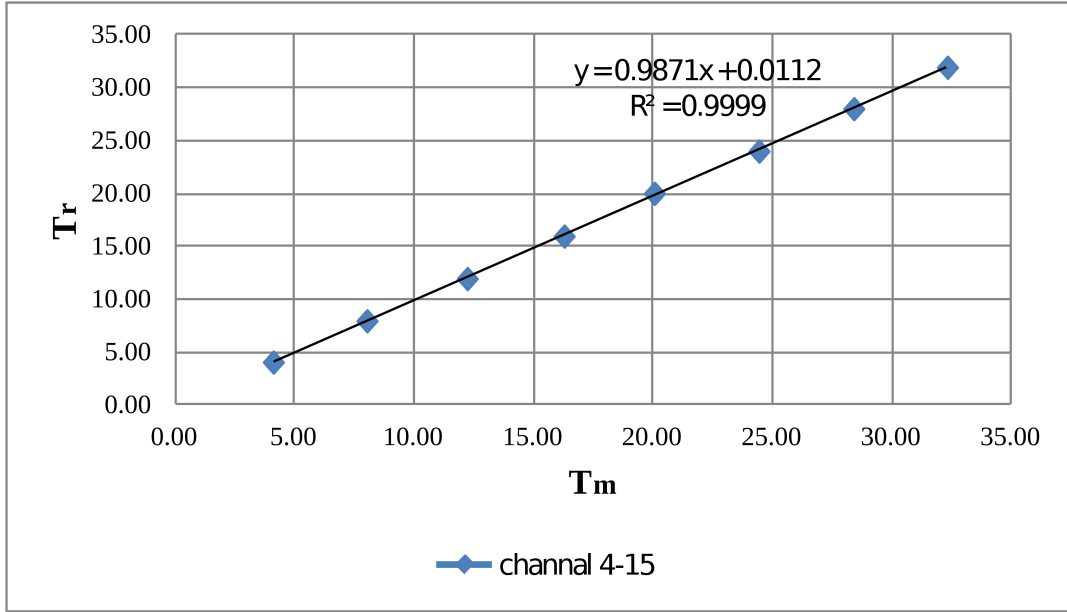
Channel	referans	measurement
4-14	4.06	4.27
	7.97	8.17
	11.98	12.22
	15.99	16.23
	20.00	20.15
	24.01	24.25
	28.01	28.27
	31.93	32.09



Şekil A40. 4-14 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Tablo A49. 4-15 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri

Channel	referans	measurement
4-15	4.06	4.08
	7.96	8.00
	11.95	12.20
	15.97	16.25
	20.00	20.03
	24.00	24.41
	28.01	28.38
	31.92	32.30

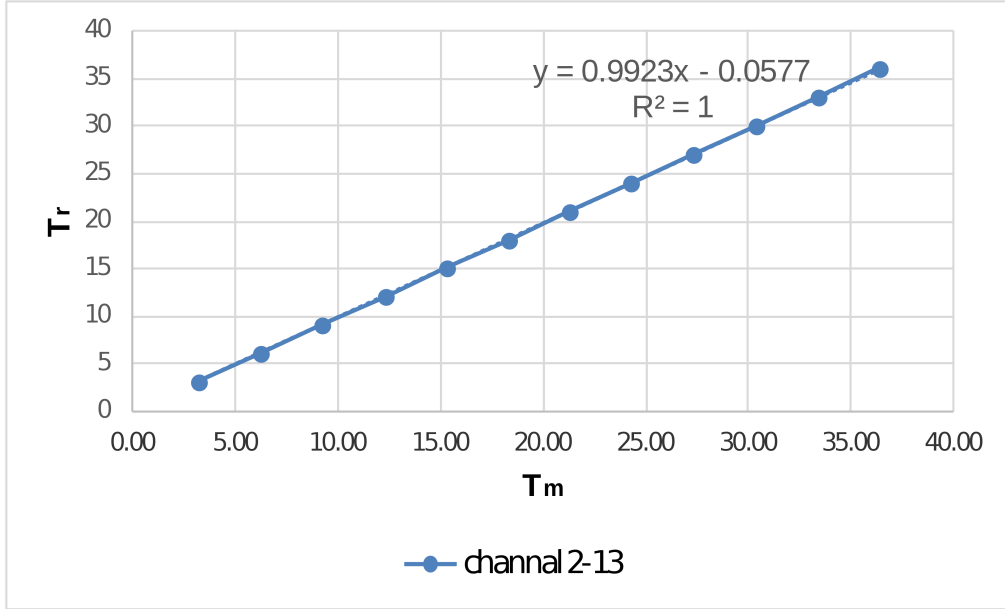


Şekil A41. 4-15 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

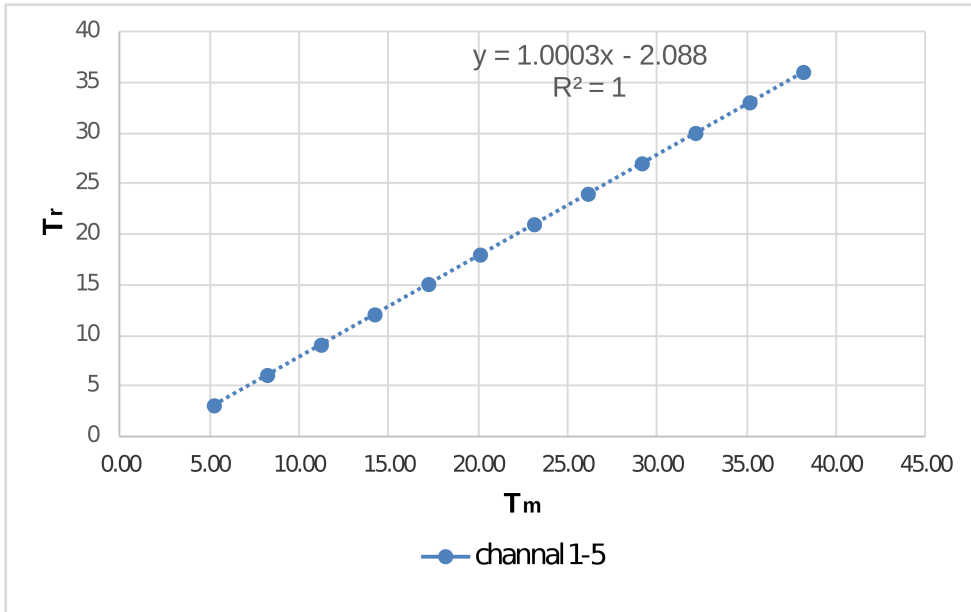
Tablo A50. Laboratuvar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

Referans	PT-100 (1-5)			Termokupl (2-13)						PT_ort	T_couple
3.12	5.22	5.22	5.21	3.11	3.26	3.1	3.06	3.35	3.25	5.22	3.19
6.12	8.19	8.19	8.2	6.31	6.28	6.25	6.17	6.06	6.17	8.19	6.21
9.11	11.2	11.19	11.2	9.21	9.22	9.15	9.1	9.24	9.27	11.20	9.20
12.11	14.19	14.2	14.19	12.28	12.3	12.31	12.27	12.3	12.31	14.19	12.30
15.11	17.19	17.2	17.21	15.27	15.32	15.32	15.29	15.27	15.21	17.20	15.28
18.02	20.09	20.08	20.09	18.29	18.3	18.28	18.31	18.32	18.31	20.09	18.30
21.02	23.11	23.11	23.1	21.23	21.24	21.26	21.27	21.29	21.28	23.11	21.26
24.03	26.11	26.11	26.12	24.25	24.26	24.23	24.24	24.23	24.26	26.11	24.25
27.04	29.13	29.13	29.13	27.3	27.28	27.29	27.3	27.29	27.3	29.13	27.29
30.04	32.12	32.12	32.13	30.4	30.39	30.35	30.32	30.33	30.36	32.12	30.36
33.07	35.15	35.15	35.14	33.37	33.38	33.39	33.41	33.39	33.38	35.15	33.39
36.07	38.15	38.14	38.14	36.39	36.38	36.36	36.34	36.36	36.38	38.14	36.37

41.05	41.04	41.06	39.3	39.3	39.33	39.35	39.34	39.36	39.34	40.47	39.34
-------	-------	-------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Şekil A42. 2-13 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi



Şekil A43. 1-5 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

EK A

TABLO LİSTESİ

- Tablo A1. 4 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri
- Tablo A2. 8 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri
- Tablo A3. 12 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri
- Tablo A4. 16 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri
- Tablo A5. 20 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri
- Tablo A6. 24 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri
- Tablo A7. 28 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri
- Tablo A8. 32 °C ayar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri
- Tablo A9. 1-1 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A10. 1-2 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A11. 1-3 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A12. 1-4 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A13. 2-1 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A14. 2-2 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A15. 2-3 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A16. 2-4 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A17. 2-5 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A18. 2-6 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A19. 2-7 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A20. 2-8 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A21. 2-9 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A22. 2-10 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A23. 2-11 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A24. 2-12 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A25. 3-1 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A26. 3-2 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A27. 3-3 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A28. 3-4 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A29. 3-5 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A30. 3-9 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A31. 3-10 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A32. 3-11 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A33. 3-13 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri
- Tablo A34. 3-14 kanalındaki PT-100'ün referans ve kalibrasyon değerleri

Tablo A35. 4-1 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A36. 4-2 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A37. 4-3 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A38. 4-4 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A39. 4-5 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A40. 4-6 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A41. 4-7 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A42. 4-8 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A43. 4-9 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A44. 4-10 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A45. 4-11 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A46. 4-12 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A47. 4-13 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A48. 4-14 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A49. 4-15 kanalındaki termokupl'un referans ve kalibrasyon değerleri
Tablo A50. Laboratuvar sıcaklığı için referans ve ölçüm değerleri

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil A1. 1-1 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A2. 1-2 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A3. 1-3 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A4. 1-4 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A5. 2-1 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A6 2-2 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A7. 2-3 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A8. 2-4 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A9. 2-5 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A10. 2-6 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A11. 2-7 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A12. 2-8 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A13. 2-9 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A14. 2-10 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A15. 2-11 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A16. 2-12 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A17. 3-1 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A18. 3-2 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A19. 3-3 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A20 3-4 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A21. 3-5 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A22. 3-9 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A23. 3-10 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A24. 3-11 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A25. 3-13 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A26. 3-14 kanalındaki PT-100'ün sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A27. 4-1 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A28. 4-2 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A29. 4-3 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A30. 4-4 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A31. 4-5 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A32. 4-6 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A33. 4-7 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A34. 4-8 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A35. 4-9 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi
- Şekil A36. 4-10 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Şekil A37. 4-11 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Şekil A38. 4-12 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Şekil A39. 4-13 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Şekil A40. 4-14 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Şekil A41. 4-15 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Şekil A42. 2-13 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

Şekil A43. 1-5 kanalındaki termokupl'un sıcaklık değerlerinin kalibrasyon eğrisi

EK B

Data Logger-Ölçüm Noktaları

1-1 PT100 AİY 1-2
1-2 PT100 PFIG1 1-3
1-3 PT100 PFIG2 2-3
1-4 PT100 IW 2-4
1-5 PT100 LAB SICAKLIK

2-1 T_c SFIG1
2-2 T_c SFIG2
2-3 T_c SFIG3
2-4 T_c SFIG4
2-5 T_c SFIG5
2-6 T_c SFIG6
2-7 T_c SFOG1
2-8 T_c SFOG2
2-9 T_c D1
2-10 T_c D2 (altta)
2-11 T_c D3
2-12 T_c AI
2-13 T_c LAB SICAKLIK

3-1 PT100 İ.O Su soğutma çıkış (Wc)
3-2 PT100 İ.O Su soğutma giriş (Wg)
3-3 PT100 AAİY
3-4 PT100 AADY
3-5 PT100 AO

3-6	VOLTAJ	(PİRANOMETRE)
3-7	VOLTAJ	(DİFF. -PRESSURE)
3-8	VOLTAJ	(HAVA HIZI-HAREKETLİ BÖLME)
3-9	PT-100AI2	(3-2)
3-10	PT100	AI1 (4-2)
3-11	PT100	AI3 (2-2)
3-13	PT100	RC (3-4)
3-14	PT100	IL (3-1)

4-1	T _c	CA1
4-2	T _c	CA2
4-3	T _c	CA3
4-4	T _c	CA4
4-5	T _c	CA5
4-6	T _c	CA6
4-7	T _c	CA7
4-8	T _c	CA8
4-9	T _c	PFOG1
4-10	T _c	PFOG2
4-11	T _c	PFOG3
4-12	T _c	PFOG4
4-13	T _c	PFOG5
4-14	T _c	PFOG6
4-15	T _c	ADY

KISALTMALAR

PFIG :Primary facade inner glass

PFOG : Primary facade outer glass

SFIG :Secondary facade inner glass

SFOG : Secondary facade outer glass

AI :Air inlet

AO :Air outlet

CA :Cavity air

AI1

AI2 } Air temperature in test room

AI3 }

RC : Test room ceiling temperature

IW :wall side temperature in test room

IL :laboratuar side wall temperature in test room

AİY :Alüminyum iç yüzey

AAİY : Alüminyum ara iç yüzey

AADY :Alüminyum ara dış yüzey

ADY : Alüminyum dış yüzey

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. TAHSİN BAŞARAN
Proje No:	112M170
Proje Başlığı:	Çift Cidarlı Cephelerin Akış Ve Enerji Modellemesi Yapılarak Performanslarının Nicel Olarak İncelenmesi Ve Sundukları Mimari Olanakların Nitel Sorgulanması
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	24
Araştırmacılar:	AYTUNÇ EREK
Danışmanlar:	UFUK ERSOY (Yurt Dışı)
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENS. MİMARLIK F. MİMARLIK B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/01/2013 - 01/01/2015
Onaylanan Bütçe:	183660.0
Harcanan Bütçe:	164623.1
Öz:	Sürdürülebilir, enerji etkin bina arayışı, mimaride gün geçtikçe belirleyici bir rol kazanmaktadır. Bu yaklaşım ulusal ve uluslararası boyutta bina performans standartlarını tanımlamakta ve dolayısıyla mimari tasarım ve sürecinin gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda enerji kayıplarını minimuma indirmeyi ve kullanılan enerjiden maksimum düzeyde faydalanmayı hedefleyen yapı kabuğu sistem arayışı üzerine yapılan araştırmalar mimari söylemde gittikçe önemli bir yer kazanırken, yapı sektöründe çift cidarlı cam cephe sistemlerinin kullanımı küresel ölçekte yaygınlaşmaktadır. Projede çift cidar cepheye ilişkin niteliksel bir kavram sorgulaması gerçekleştirilmiştir. Projenin deneysel boyutu ise iç ve dış ortam şartlarının yaratıldığı iki mekân arasındaki çift cidar cephe uygulamasında farklı çalışma koşulları için akış ve ısı transferi analizlerini içermektedir.
Anahtar Kelimeler:	Saydamlık, cam cephe, çift cidarlı cephe, havalandırma, sayısal akışkanlar dinamiği
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Çift Cidarlı Cepheler:Avantajları ve Dezavantajları (Bildiri)