

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**FARKLI ÇATI GEOMETRİLERİNİN BİNA ISIL DAVRANIŞI  
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Erdal YILDIRIM**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2015**

Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA danışmanlığında, Erdal YILDIRIM'ın hazırladığı “**Farklı Çatı Geometrilerinin Bina Isıl Davranışı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi**” konulu bu çalışma 21/12/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA .....

Üye : Prof. Dr. Hüseyin AKILLI .....

Üye : Prof. Dr. Beşir ŞAHİN .....

Üye : Doç. Dr. Refet KARADAĞ .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cuma ÇETİNER .....

**Bu Tezin Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım**

**Prof. Dr. Sinan UYANIK**  
Enstitü Müdürü

**Bu çalışma HÜBAK tarafından desteklenmiştir.**

**Proje No: 14024**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Tezin Önemi ve Amacı .....	1
1.2. Tezin Kapsamı .....	3
1.3. Tezin Katkısı ve Yenilikler.....	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	5
2.1. Isıl Analiz ve Güneş enerjisi Uygulamaları .....	6
2.2. CFD Uygulamaları .....	11
2.3. Adyabatik Hazne Tekniği Uygulamaları .....	17
2.4. Sonuç.....	17
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	18
3.1. Teorik Yaklaşımlar ile Yapılan Analitik ve Nümerik Hesaplamalar .....	18
3.1.1. Eğik yüzeye gelen saatlik güneş ışınımının hesaplanması .....	18
3.1.2. Harran evinin çatısına düşen ışınımın hesaplanması .....	23
3.1.3. Isı iletimini çözmek için sonlu fark metodu .....	26
3.1.4. Sınır şartları.....	30
3.1.5. Çatı geometrisinin bina ısıl davranışına etkisi .....	32
3.1.6. Duvar ve çatıdan gerçekleşen ısı transferi .....	33
3.2. Akış Alanı Çerçevesinde Yürütülen Nümerik (CFD) Hesaplamalar .....	37
3.2.1. Bina Çatı ve Duvar Dış Yüzeyindeki Zorlanmış Taşınım Isı Transfer Katsayısının Hesaplanması .....	37
3.2.2. Çatı geometrisinin iç hava hareketine ve havalandırma akış hızına etkisi .....	42
3.3. Konik ve Düz Çatılı Yapıların Deneysel Olarak İncelenmesi .....	44
3.3.1. Modellerin imal edilmesi .....	44
3.3.2. Kullanılan ölçüm cihazları .....	46
3.3.3. Deneylerin gerçekleştirilmesi ve kabuller .....	47
3.3.4. Boyutsuz sıcaklık yöntemi .....	48
3.3.5. Logaritmik ortalama sıcaklık farkı yöntemi .....	49
3.3.6. Enerji dengesi yöntemi .....	51
3.3.7. Belirsizlik analizi .....	55
3.3.8. Ölçümlerin tekrarlanabilirliği .....	57
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	58
4.1. Harran Evinin Çatısına ve Düz Çatıya Düşen Güneş Işınımının Karşılaştırılması.....	58
4.2. Konik Çatılı ve Düz Çatılı Bina Dış Yüzeylerine Ait Zorlanmış Taşınım Isı Transfer Katsayıları .....	62
4.3. Konik ve Düz Çatılı Yapılara ait Toplam Isı Transfer ve Doğal Taşınım Isı Transfer Katsayılarının Belirlenmesi .....	69
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	75
KAYNAKLAR .....	78
ÖZGEÇMİŞ .....	82

## ÖZET

Doktora Tezi

### FARKLI ÇATI GEOMETRİLERİNİN BİNA ISIL DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Erdal YILDIRIM

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA  
Yıl: 2015, Sayfa: 82

Bu çalışmanın amacı, konik çatı geometrisinin bina ısı performansını açısından iç ortam havası sıcaklığına etkisini düz çatılı yapılarla karşılaştırarak araştırmak ve yaz dönemi için bu iki çatı tipinden hangisinin daha enerji verimli olduğunu ortaya çıkarmaktır. Bu kapsamda konik çatı yüzeyine düşen güneş ışınımı ve Harran eviyle aynı taban alanına sahip düz çatı yüzeyine düşen güneş ışınımı analiz edilmiştir. Ayrıca bu iki çatı tipine ait zorlanmış taşınım ısı transfer katsayılarının analizi ve çapraz havalandırma açısından bu çatı geometrilerinin performansı  $k - \varepsilon$  türbülans modeli kullanılarak üç boyutlu CFD simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Bu çatı geometrilerine ait doğal taşınım ısı transfer katsayıları ve iç ortam hacimlerinin toplam ısı transfer katsayıları, adyabatik hazne tekniğiyle deneysel olarak incelenmiştir. Sayısal analiz sonucunda, yaz döneminde ve aynı çatı yüzey emiciliği için gün boyunca, konik çatının, birim alana düşen toplam güneş ışınımının %55.7'sini ve düz çatının ise %61'ini emdiği bulunmuştur. Saatlik direkt ve difüz ışınım ortalamalarının günlük toplamları karşılaştırıldığında ise, düz çatı konik çatıya göre birim alan başına yaklaşık %100 daha fazla direkt ışınım ve %33 daha fazla difüz ışınım almaktadır. Ayrıca Harran evi çapraz havalandırma açısından düz çatılı yapıya göre %10 daha iyi performans göstermektedir ve tipik bir yaz günü sonunda Harran evinin kubbesi düz çatıdan %30 daha az ısı atığına maruz kalmaktadır. Deneysel analiz neticesinde ise, Harran evi modelinin, çatı dış yüzeyi doğal taşınım ısı transfer katsayısının ortalaması, düz çatılı modele kıyasla yaklaşık 1.5 kat daha fazla bulunmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER:** Harran evi, Düz çatı, Isıl performans, Taşınım ısı transfer katsayısı

## **ABSTRACT**

**PhD Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT ROOF GEOMETRIES ON BUILDING THERMAL BEHAVIOR**

**Erdal YILDIRIM**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA  
Year: 2015, Page: 82**

The objective of the present study is to investigate the effect of the conical roof geometry on indoor air temperature by comparing with flat roofs to ascertain which of these two roof geometries is more energy efficient during summer months. In this context solar insolation on the conical roof and on the flat roof covering same base area are analyzed. Furthermore forced convection heat transfer coefficients and cross ventilation performance for these two roof types are evaluated with three-dimensional CFD simulations by using the  $k - \varepsilon$  turbulence model. The natural heat transfer coefficients and total heat transfer coefficients of these roof types are investigated experimentally by using adiabatic-box technique. As a result of the theoretical analysis, for the summer season and with the same roof absorptivity of the surface, it was found that the conical roof absorbed 55.7 % and the flat roof absorbed 61 % of the total received radiation per unit area during the day. When the daily sum of hourly beam and diffuse radiation averages are compared, the flat roof receives nearly 100 % more beam radiation and 33% more diffuse radiation than that of conical roof's. Cross ventilation flow rate for the house with conical roof is found to be ~10% higher than that of the flat one and the conical roof transfers 30% less heat to interior side. The result of experimental analysis revealed that external surface natural convection heat transfer coefficient of the conical roof is approximately 1.5 times more than flat roof's.

**KEY WORDS:** Harran house, Flat roof, Thermal performance, Convection heat transfer coefficient

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımnda bilgi birikiminden faydalandığım tez danışman hocam sayın Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA'ya ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Zeynel Abidin FIRATOĞLU'na teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalıőmalarımın her evresinde yardımlarını esirgemeyen, saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Reőit GERGER'e teőekkürlerimi sunarım.



## SİMGELER DİZİNİ

$I_b$	Direk Radyasyon [ $W/m^2$ ]
$I_d$	Diffüz (Dağınmık) Radyasyon [ $W/m^2$ ]
$I_o$	Atmosfer dışı ışınım [ $W/m^2$ ]
$I_T$	Eğik yüzeye düşen toplam ışınım [ $W/m^2$ ]
$k_T$	Saatlik açıklık indeksi
$R_b$	Geometrik faktör
$T_\infty$	Yüzeyden yeterince uzakta akışkan sıcaklığı [K]
$\alpha_n$	$0^\circ$ geliş açısındaki yüzeyin soğurganlığı [ $^\circ$ ]
$\theta_z$	Zenit açısı [ $^\circ$ ]
$\rho_g$	Toprağın yansımaya katsayısı
$A$	Alan [ $m^2$ ]
$c$	Özgül ısı [J/kg K]
$C_p$	Basınç katsayısı
$g$	Yerçekimi ivmesi [ $m/s^2$ ]
$h$	Taşınmı ısı transfer katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$I$	Yatay yüzeye düşen saatlik ışınım [ $W/m^2$ ]
$k$	Isıl iletkenlik [ $W/mK$ ]
$L$	Kalınlık [m]
$M$	Düğüm sayısı
$m$	iç düğüm
$Q$	Isı transferi [W]
$t$	Zaman [s]
$U_s$	Bina yüzeyine yakın rüzgar hızı [m/s]
$U_{10}$	Yerden 10 metre yükseklikteki rüzgar hızı [m/s]
$V$	Hacim [ $m^3$ ]
$v$	Hız [m/s]
$\dot{V}$	Hacimsel debi [ $m^3/s$ ]
$\alpha$	$\theta$ açısında yüzeyin soğurganlığı [ $^\circ$ ]
$\alpha$	Isıl yayınım katsayısı, [ $m^2/s^2$ ]
$\beta$	Hacimsel genleşme katsayısı, [ $1/K$ ]
$\beta$	Eğim, [ $^\circ$ ]
$\gamma$	Yüzey azimut açısı, [ $^\circ$ ]
$\delta$	Deklınasyon açısı, [ $^\circ$ ]
$\varepsilon$	Yayıcılık
$\theta$	Geliş açısı [ $^\circ$ ]
$\kappa$	Yüzeyin soğurganlığı
$\nu$	Akışkan kinematik viskozitesi [ $m^2/s$ ]
$\rho$	Yoğunluk [ $kg/m^3$ ]
$\sigma$	Stefan-Boltzmann sabiti [ $W/m^2 K^4$ ]
$\phi$	Enlem, [ $^\circ$ ]
$\omega$	Saat açısı, [ $^\circ$ ]

### Alt Simge

$\zeta$	çatı
$h$	hava
$d, y$	dış yüzey
$i, y$	iç yüzey
$il, i$	iletim iç
$ref$	referans
$s$	yüzey
$t, \zeta$	taşınmı çatı
$z$	zemin
$ı\$, \zeta$	ışınım çatı

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1 Bir derecelik yüzeylere dilimlenmiş koni üzerine düşen toplam ışıınım .....	25
Çizelge 4.1 Bina yüzeyi etrafında hesaplanmış taşınım ısı transferi katsayıları .....	63
Çizelge 4.2. Taşınım ısı transfer bağıntıları .....	64
Çizelge 4.3 CFD analizi ve hesaplama sonuçları .....	64
Çizelge 4.4 Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı Yöntemi Kullanılarak hesaplanan toplam ısı geçirgenlik katsayıları .....	71
Çizelge 4.5 Enerji dengesi yöntemi Kullanılarak hesaplanan Toplam ısı geçirgenlik katsayıları .....	71





## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1.Şanlıurfa iline ait saatlik yatay yüzeye düşen güneş ışınım ortalamaları .....	19
Şekil 3.2 Eğik bir yüzeyin Güneş ışınımı ile ilişkisinin şematik gösterimi .....	20
Şekil 3.3 Birer derecelik yüzeylere dilimlenmiş konik yüzey .....	24
Şekil 3.4.Güneş geometrisi için gerekli açılar ve konik çatının basitleştirilmiş sekizgen modeli ...	26
Şekil 3.5 Tek boyutlu ısı transferinin sonlu fark formülünde kullanılan düğümler ve sıcaklıklar...	27
Şekil 3.6 Duvar ve çatı konfigürasyonu .....	33
Şekil 3.7 Şanlıurfa için yaz dönemi saatlik dış hava sıcaklığı ortalaması .....	34
Şekil 3.8 Sayısal hesaplamalarda kullanılan ölçülmüş yatay yüzeye düşen saatlik ışınım ve gökyüzü sıcaklığı .....	36
Şekil 3.9 CFD analizinde kullanılan ağ yapısı.....	38
Şekil 3.10 CFD analizinde kullanılan hesaplama alanı boyutları ve Autodesk CFD Simulation 2013 görünümü.....	39
Şekil 3.11 İncelen Harran evi ve boyutları.....	39
Şekil 3.12 Aynı taban alanına ve hacme sahip Harran evi ve düz çatılı evin Autocad görüntüsü..	40
Şekil 3.13 Low-Re k-ε türbülans modelinin ağı.....	40
Şekil 3.14 Low-Re k-ε Türbülans modeli kullanılarak yapılan çözüm için kullanılan ağ yapısı ...	41
Şekil 3.15 Havalandırma simülasyonunda kullanılan hesaplama bölgesi .....	43
Şekil 3.16 Deneyde kullanılan modellerin iç hacim boyutları ve çatı açıları .....	45
Şekil 3.17 Model konik 30, düz ve konik 60.....	45
Şekil 3.18 Isıtıcı rezistanslı su haznesi ve alüminyum folyo ile kapatılıp zemine yerleştirilmiş hali .....	46
Şekil 3.19 Deneyde kullanılan veri kaydedici ve çatı dış yüzeyine ısı çiftlerin yerleştirilmesi ....	47
Şekil 3.20 Model-Düz ve Model-Konik_60'a ait deney düzeneği ve sıcaklık ölçüm noktaları .....	48
Şekil 3.21 Haznedeki suyun ve dış ortam havasının sıcaklık değişimi .....	49
Şekil 3.22 Düz çatılı modelin iç ortam ve dış ortama ait taşınım ve ışınım dirençlerinin şematik gösterimi .....	51
Şekil 3.23 Sabit sıcaklıkta yüzeylere sahip yatay bir dikdörtgen kapalı aralık .....	54
Şekil 3.24 Model Konik_30'a ait toplam ısı direnç değerlerinin tekrarlanan deney sayısınca değişimi.....	57
Şekil 4.1 Yaz ayları için düz çatı ve konik çatının birim alanına düşen ortalama saatlik güneş ışınımı .....	59
Şekil 4.2 Yaz ayları için Harran evinin ( $\beta = 60^\circ$ ) ve ona eşit taban alanına sahip düz çatıya düşen saatlik ortalama güneş ışınımı .....	59
Şekil 4.3 Temmuz ayı için yüzey azimut açısına bağlı olarak konik çatının yüzeyindeki güneş ışınımının gün boyunca değişimi .....	60
Şekil 4.4 Değişik eğim açılarında ( $\beta$ $10^\circ$ ile $80^\circ$ arasındadır) konik çatının birim alanına düşen günlük toplam güneş ışınımının düz çatının birim alanına düşen günlük toplam güneş ışınımına oranı .....	60
Şekil 4.5 Konik ( $\beta = 60^\circ$ ) ve düz çatı tarafından alınan günlük atmosfer dışı, toplam, direk, difüz ışınımın Temmuz ayı için karşılaştırılması .....	61
Şekil 4.6. Bina yüzeylerinin numaralandırılması ve rüzgar geliş açısı .....	62
Şekil 4.7 CFD simülasyonu sonucunda elde edilen her iki bina modeli için Taşınım Isı Transfer katsayısının bina yüzeyi boyunca dağılımı .....	63
Şekil 4.8 k-ε Türbülans modeli için $y^+$ değeri.....	64
Şekil 4.9 Konik ve Düz çatılı binalarda çapraz havalandırma şartlarında rüzgar akış deseni .....	65
Şekil 4.10 İncelenen Harran evinin Kubbe açıklıklarından geçen havanın saatlik ortalama debisi	66
Şekil 4.11 Düz çatının ve konik çatının farklı noktalarındaki yüzey sıcaklıklarının gün boyu değişimi.....	67
Şekil 4.12 Düz çatının ve konik çatının farklı noktalarındaki iç yüzey sıcaklıklarının gün boyu değişimi.....	67
Şekil 4.13 Harran evinin çatı iç yüzeyinin $\gamma=180^\circ$ noktasında 4 Temmuz 2013, Saat 14.00 'te çekilmiş kızılötesi fotoğrafı .....	68

Şekil 4.14 Harran evi ile düz çatılı yapının saatlik iç ortam hava sıcaklıklarının ve bu yapıların çatı ile duvarlardan gerçekleşen ısı akılarının karşılaştırılması .....	68
Şekil 4.15 Modellere ait boyutsuz sıcaklıkların zamana göre değişimi.....	70
Şekil 4.16 Model Düz ile model Konik_60'in iç ortam sıcaklıklarının değişimi.....	70
Şekil 4.17 Yatay dikdörtgen kapalı aralıklarda, $L=58$ cm için literatürde verilen $Nu$ ve $Ra$ bağıntısının deney sonucuyla karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.18 Doğal taşınımında yatay plaka üzerinde ortalama Nusselt sayısı için literatürdeki bağıntıyla deneysel bağıntının karşılaştırılması.....	72
Şekil 4.19 Çatı yüzeyi ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak Konik_60 modelinin çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım ısı transfer katsayısının değişimi.....	73
Şekil 4.20 Çatı yüzeyi ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak Düz çatılı modelin çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım ısı transfer Katsayısının değişimi.....	74
Şekil 4.21 Çatı yüzeyi ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak Konik_30 modelinin çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım ısı transfer katsayısının değişimi.....	74



## 1. GİRİŞ

### 1.1 Tezin Önemi ve Amacı

Bir yapının yüzey alanının büyük bir kısmını oluşturan çatılar; gün boyu tüm atmosferik etkilere maruz kaldıklarından dolayı, binaların termal performansını belirleyen birincil bileşenlerdir (Hadavand ve Yaghoubi, 2009, Jubayer ve ark, 2010, Faghieh ve Bahadari, 2009, Rahmatmand ve ark, 2014). Bunun yanı sıra çatılar geleneksel mimariyi karakterize eden ana parametrelerdir. Tarihsel süreçte pasif yöntemler ile yapıyı soğutmak veya ısıtmak amacıyla bölge iklim koşullarına paralel olarak geliştirilen üçgen, flemenk, mansart, kırma, kubbe, tonoz, konik ve benzeri birçok çatı tipi bulunmaktadır. İnsanlığın binlerce yıllık bilgi birikiminin sonucu oluşan çatı tiplerinin bir örneği, geçmişi milattan önceye dayanan konik çatılı Harran evleridir. Ayrıca kubbeli veya konik çatı tipi Ortadoğu gibi sıcak ve kurak iklime sahip bölgelerin geleneksel mimarisinde yaygın bir şekilde görülmektedir. Özellikle konik veya kubbeli çatıların kullanılma amacını kimi araştırmacılar tamamen dini ve kültürel sebeplere bağlarken kimi araştırmacılar ise sıcak ve kurak bölgelerde bu tip kubbeli yapıların kullanılmasını düz çatı yapımı için çekme direncine sahip ahşap veya çelik malzemenin olmayışından bir zorunluk haline geldiğini öne sürmektedir. Kubbeli yapıların bu tür sıcak iklimlerde kullanılmasına getirilen bir diğer açıklama ise tamamen iklimsel sebeplerden olduğu düşüncesidir.

Ortaya konan bütün açıklamalarda öne çıkan varsayım, sıcak ve kurak iklim şartlarında, bu tür kubbeli çatılara sahip binaların düz çatılı olanlara göre iç ortam sıcaklığını daha düşük tuttuğu ve daha çok ışınmı yansıttığıdır. Şanlıurfa yerel mimarisinde sıkça rastlanan kubbeli ve konik geometrilili çatı tipi gerek bölgenin iklim şartları ve gerekse bölgede enerji kaynaklarının kısıtlı olması göz önüne alındığında, bu yapıların etkin kullanımının önemi daha çok anlaşılmaktadır. Şekil açısından değerlendirilecek olursa, bu yapılar temel olarak çatı ve çatıdaki açıklık

açısından modern binalardan farklılık göstermektedir. Binlerce yıllık bilgi birikiminin sonucu olan söz konusu yapıların, farklılıklarının enerji verimliliği açısından avantajlarının tespiti; ancak konik çatıya sahip bu tip geleneksel yapıların ısı performanslarının incelenmesiyle mümkündür.

Şanlıurfa ili Harran ilçesinde bulunan Harran evleri hem bölgenin tarihini, hem mimari özelliklerini hem de bölgedeki iklim şartlarına adaptasyondaki değişimi anlamak adına önemli yapılardır. Tez çalışması; yerel mimaride büyük öneme sahip Harran evlerinin bina iç ve dış termal karakteristiği üzerindeki etkisinin belirleyip bu tip yapıların etkin olarak kullanılmasının önünü açmayı hedeflemektedir. Bina enerji verimliliği açısından yapılacak kapsamlı bir inceleme, çatı etrafındaki akışın yanı sıra çatı üzerine düşen ışınım şiddeti ve bunların iç mahal koşulları ile olan ilişkisinin bir arada değerlendirilmesi ile mümkündür.

Tez çalışmanın amacı, konik çatı geometrisinin bina ısı performansı açısından iç ortam havası sıcaklığına etkisini düz çatılı yapılarla karşılaştırarak araştırmak ve yaz dönemi için bu iki çatı tipinden hangisinin daha enerji verimli olduğunu ortaya çıkarmaktır. Böylelikle binlerce yılın bilgi birikimi olan Harran evleri gibi yerel mimari formları, ısı konfor açısından modern mimari ile ilişkilendirilebilme olanağı sağlanacaktır.

## **1.2. Tezin Kapsamı**

Konik ve düz çatı tipinin termal karakteristiklerinin tespiti, eş zamanlı yürütülen deneysel ve nümerik çalışmalarla üç aşamada gerçekleştirilmiştir:

- Çatı yüzeylerine düşen güneş ışınımı ile yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkinin tespiti,
- İki çatı tipi etrafındaki akış ve ısı karakteristiklerinin araştırılması,
- Yapılar etrafındaki akış, ısı ve güneş ışınım karakteristiklerinin iç ortam termal karakteristiklerine etkisinin belirlenmesi.

Literatürde konik çatıya ilişkin bazı çalışmalar bulunmakla birlikte hiç birinde konik çatı yüzeyi üzerine düşen ışınım şiddeti hesaplamalarına yönelik sayısal bir analiz yapılmamıştır. Bu çalışmanın kapsamı içerisinde ilk bölümde öncelikle ölçülmüş meteorolojik veriler kullanılarak Harran evlerinin ve buna eşdeğer düz çatılı modern binanın çatısına düşen ışınım miktarları hesaplanmıştır. Bu bölümde Harran Evleri için gerçekleştiren analizler; aşırı kurak ve sıcak yaz döneminde soğutma sistemi kullanmadan iç hava konforunun sağlanmasında en etkili parametre olan ışınım şiddeti etkisini göstermek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Bir sonraki aşamada, çatı mimarisinin iç ortam konforuna etkisi incelenmiştir. Bina çevresindeki hava akışı, güneş ışınımı, yer ve gökyüzü ile ışınım ısı transferi ve yapıdaki açıklıklar gibi parametreler dikkate alınmıştır. Çatı dış yüzeyine ait taşınım ısı transfer katsayıları literatürde bulunan çalışmalardan farklı olarak, analizdeki hassasiyeti artırmak için CFD simülasyonu ile hesaplanmıştır. Yapılan sayısal çözümleme sonucunda kubbeli yapılarda gerçekleşen ısı akısının düz çatılı yapılara günlük değişiminin nasıl olduğu araştırılmıştır. Kubbeli yapıların ısı performanslarının aynı iklimsel ve yapısal şartlar altında düz çatılı yapılara göre etkinliği belirlenmiştir. Bu sayede hangi çatı geometrisinin daha iyi bir ısı kararlılığına sahip olduğu belirlenebilmiştir.

Son olarak yine çatı geometrisinin toplam ısı geçirgenliğine etkisi deneysel olarak belirlenmiştir. Harran evi ve düz çatılı oda prototipleri laboratuvar koşullarında adyabatik hazne tekniği mantığı kullanılarak incelenmiştir. Bu deneysel çalışmayla birlikte yalnızca toplam ısı geçirgenlik değil çatı iç ve dış yüzeyine ait doğal taşınım ısı transfer katsayılarının belirlenmesine yönelik bir hesaplama da gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak elde edilen doğal taşınım değerleri ve CFD simülasyonları ile elde edilen değerler kıyaslanmıştır.

### 1.3. Tezin Katkısı ve Yenilikler

Gelişmiş ülkelerde ve çok büyük oranda enerji ithal eden Türkiye’de birincil enerjinin oldukça önemli bir kısmı konutlarda kullanılmaktadır. Harran evlerinin kendine has mimari yapısının ve doğal havalandırma etkisinin enerji verimliliği

açısından modern binalara kıyasla incelenmesi enerji tasarrufu bağlamında önem arz etmektedir. Konik çatılı bu tip tarihi binaların ısı performans açısından üstün yönlerini ortaya koyan analiz sonucunda, elde edilecek veriler yeni konutların tasarlanması sırasında yönlendirici olması söz konusudur.

Literatürde bina termal analizi ile ilişkili bir çok çalışma olmasına rağmen bina dış yüzey sıcaklığı üzerinde direkt etkisi olan akış, ısı ve güneş ışınım karakteristiklerini bir arada değerlendirip bunların iç ortam termal parametreler ile ilişkisini ortaya koyan bir çalışma mevcut değildir. Tez kapsamında yapılan detaylı literatür taramasından bu açıkça görülebilir. Tez çalışmasının birincil katkısı ve özgünlüğü literatürde yukarıda değinilen boşluğu doldurmasıdır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kubbeli çatıların iklimsel ve çevre şartlarından dolayı benimsendiği varsayımıyla bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Bu konudaki çalışmaları gruplandırarak olursak, ilk gruptaki çalışmalar kubbeli yapıların güneş enerjisi uygulamaları ve ısı analizlerini kapsamaktadır. Bu bağlamda çatıya düşen güneş ışınımı ve geometriye bağlı olarak emilimi, çatı geometrilerinin ışınım açısından performansı, iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile çatı ve duvardan gerçekleşen ısı akıları gibi parametreler genellikle kubbeli ve düz çatılar kıyaslanarak incelenmişlerdir. Aynı zamanda yaz aylarında düz çatı yapısıyla kıyaslandığında iç ortam sıcaklık farkı ve sıcak mevsimlerde bu yapıların iç hava sıcaklığını nasıl düşürmeye yardımcı olduğu ışınımın ve kubbedeki açıklar gibi birçok parametre göz önünde bulundurulmuştur.

CFD uygulamaları olarak adlandırabileceğimiz ikinci gruptaki çalışmalar ise hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak üç boyutlu modellerle rüzgâr kaynaklı doğal havalandırma imkânları, bina içindeki rüzgâr kaynaklı hava hareketinde çatı şeklinin etkisi ve iç yüzey taşınım ısı transfer katsayılarının belirlenmesine yönelik çalışmalardır. Ayrıca doğal havalandırma açısından çatı geometrilerinin etkisi değişik iklim parametreleri göz önünde bulundurularak yapılan bir çok çalışmada söz konusudur. Bu kapsamdaki çalışmalarda odaklanan bir diğer konu ise farklı türbülans modelleri kullanılarak yapılan zorlanmış taşınım simülasyonları sonucunda elde edilen bina dış yüzeyine ait ısı transfer katsayılarının karşılaştırılmasıdır. Aynı zamanda CFD simülasyonları sonucunda bulunan bina dış yüzeyine ait taşınım ısı transfer katsayılarının rüzgâr tüneli deney sonuçlarıyla doğrulanması yapılmıştır.

Üçüncü grup çalışmalar ise adyabatik hazne tekniğiyle ilgili yapılan çalışmalardır.

Sunulan bu tez çalışmasından üretilmiş bir yayın mevcuttur. Bu çalışmada (Yıldırım ve ark., 2014) hangi çatı tipinin daha enerji verimli olduğunu belirlemek amacıyla konik çatı yüzeyine düşen güneş ışınımı ve Harran eviyle aynı taban alanına sahip düz çatı yüzeyine düşen güneş ışınımı analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

### 2.1. Isıl Analiz ve Güneş Enerjisi Uygulamaları

Kubbeli veya tonoz çatılarda güneş geometrisine ve yüzeyin açısına ve emiciliğine bağlı olarak güneşten ısı kazanımını hesaplandığı ve kubbeli veya tonoz çatıların düz çatı ile emilen güneş radyasyonu açısından karşılaştırılmasının yapıldığı birçok çalışma mevcuttur. Runsheng ve ark. (2003)'lerinin yaptığı çalışmada sadece güneş ışınımı kazancı açısından değerlendirme yapılmıştır. Faghih ve Bahadori (2009), çalışmalarında farklı yapıdaki kubbeli çatıların aldığı güneş ışınımını hesaplamış ve bu tür kubbeli yapıları kaplayan çinilerin emilen toplam ışınımına etkisini tespit ederek ve eşit taban alanları için kubbeli çatıların düz çatılardan daha çok güneş radyasyonu aldığı sonucunu bulmuşlardır. Gomez-Munoz ve ark. (2003) ise yarım küre şeklindeki tonoz çatıya gelen güneş ışınımını kendinden gölgeleme etkisiyle birlikte incelemiş ve düz çatılarla karşılaştırmışlardır. Sonuçlar yarım küre çatıların ekvatora yakın enlemlerde solar performansının daha iyi olduğunu göstermektedir. Bu enlemlerde alınan enerji her zaman daha az ve daha az dalgalanma vardır. Elseragy ve Gadi (2003)'nin yaptıkları çalışma geleneksel olarak sağlanan iç hava ısı konfor şartlarında tonoz çatıların performansını araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda düz ve kubbeli çatılara geometrik olarak benzetilen eğik yüzeye düşen radyasyon miktarını hesaplamak için yapılmış sayısal bir çalışmadır. Bu benzetme kubbeli çatılara düşen radyasyon miktarını hesaplamada kolaylık sağlamaktadır. Simülasyon sonucunda aynı coğrafik enlemlerde Haziran ayı için düz çatının aldığı radyasyonun ( $659 W/m^2$ ) kubbeli çatının aldığı radyasyondan ( $437 W/m^2$ ) önemli miktarda farklı olduğunu görülmüştür. Ben Slama (2010) yaptığı çalışmada bina duvarlarına gelen güneş ışınımının yoğunluğuyla ilgilenmiştir. Güneye bakan duvarlarda güneş ışınım etkisinin kışın maksimum yazın ise minimum ( $2313 Wh/m^2/d$ ) olduğu bulunmuştur. Bu



çalışmaya paralel olan Sembiring (2009)'in çalışmasında ise sadece gün boyu güneş ışınımına maruz kalan bir evin duvar sıcaklıklarının belirlenmesine odaklanmıştır. Hesaplamalar farklı yönlerdeki duvarlar için aylık ve saatlik olarak yapılmıştır. Hesaplama yapılan bölgede en çok ışınım Mart ayında gerçekleştiği için Mart ayı dikkate alınmıştır. Evin dört duvarı tuğladan yapılmış ve dört ana yöne bakmaktadır. Duvara gelen güneş ışınımı zamanla değiştiği için simülasyonda Sonlu Fark Metodu kullanılmıştır. Sonuçlar duvar iç ve dış yüzey sıcaklıklarının güneş ışınım yoğunluğunun artmasıyla birlikte arttığını göstermiştir. Doğuya bakan duvarın sıcaklığı sabah 11.30 'da en yüksek değere ulaşmaktadır (33,04 °C). Buna karşın batıya bakan duvarın sıcaklığı 14.30'da en yüksek değere ulaşmaktadır (24.98 °C).

Çalışmalar arasında güneş geometrisi ve üç boyutlu geçici rejimde ısı transfer denklemine dayanarak bina içine kubbeli çatıdan olan ısı akısını ve günlük ısı akışının hesaplandığı bazı araştırmalar mevcuttur. Tang ve ark.( 2003)'larının tipik sıcak kuru iklim şartları için yaptığı sayısal hesaplamalar sonucunda, bu tip kubbeli çatılardan olan günlük ısı akışı çatı yarıçapından, kalınlığından ve ısıl özelliklerinden etkilenmediği görülmüştür. Fakat önemli ölçüde kubbeli ve tonoz çatılar yarı çerçeve açısından ve çevre sıcaklığından etkilenmektedir. Ayrıca sayısal sonuçlar, kubbeli çatılardan olan ısı akısının her zaman düz çatılardan daha fazla olduğunu göstermektedir. Sabah saatlerinde bina içinden dışarıya doğru diğer saatlerde ise bina içerisine doğru daha fazla ısı akışı gerçekleşmektedir. Isı kazancını azaltmak için tonoz çatılı yapıların kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilmesi önerilmektedir.. Sonuçlar aynı zamanda kubbeli yapıların yüksek dış hava sıcaklığına sahip ve sıcak nemli iklim için tipik olan yoğun dağınık radyasyon şartlarına sahip alanlar için uygun olmadığını göstermektedir. Diğer taraftan Hadavand ve Yaghoubi (2008), aynı güneş ışınım miktarına maruz kalan ve aynı çevre şartlarında düz çatı ve tonoz çatıdan gerçekleşen geçici rejimde ısı transferini karşılaştırmışlardır. Rüzgâr yönünün ve bina konumunun bina ısı kazancı ve çatı yüzeyindeki sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, tonoz çatı üzerinde taşınım katsayısının önemli derecede yüksek, ön taraftan rüzgaraltı tarafa gidildikçe azalmakta olduğu, düz çatı için ise kayda değer bir değişim olmadığını bulmuşlardır. Gün boyunca tonoz çatıda sıcaklık değişirken, düz çatıda sıcaklık

dağılımı nerdeyse sabit kalmıştır. Yine Tang ve ark. (2006), iklimlendirme yapılmamış düz çatılı ve tonoz çatılı binaların iç hava sıcaklığını dikkate alarak ısı performanslarını karşılaştırmışlardır. Tonoz yapının çerçeve açısı azaldıkça düz çatılı yapılarla olan sıcaklık farkının azalmakta ve önemsiz değerlere ulaştığı sonucuna varmışlardır ve içeride etkili bir ısı ortamının oluşması için tonoz yapının çerçeve açısının 50°'den büyük olması ve kuzey güney doğrultusunda olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çok katlı binalar sıcak ve kurak iklim şartlarında aşırı ısınmaya maruz kalmaktadır. Çok katlı bir yapının dikey yüzeyi güneş ışınımına maruz kalan en önemli yüzeyidir. Ling ve ark. (2007), bilgisayar simülasyonu kullanarak, bina şekilleri için iki genel tip olan dört köşeli ve dairesel yapıları değişen en/boy oranları ve binaların konumlarını dikkate alarak incelemişlerdir. Sonuçlar en/boy oranı 1:1 dairesel şekilli binaların güneş ışınımını en az düzeyde aldığını göstermiştir.. Dört köşeli en/boy oranı 1:1 olan kuzey-güney doğrultusundaki binalar diğer köşeli yapılarla karşılaştırıldığında toplam yıllık güneş ışınımını en az alan yapılardır. Yapı (en/boy oranı 1:1) en yüksek güneş ışınımını doğu tarafındaki duvardan almaktadır, sırasıyla güney, batı ve kuzey yönündeki duvarlarda daha az güneş ışınımı söz konusu olmaktadır.

Bu konuda yapılmış ilk deneysel çalışma Pearlmutter (1993)'in yaptığı araştırmadır. Tonoz çatı geometrisinin ısı davranışı üzerindeki etkisini yaz ve kış şartlarında incelemiş ve bu tür geometrilerin çöl bölgelerinde iklimsel avantajlarının olduğuna dair çeşitli iddiaların geçerliliğini sorgulamıştır. Deneysel şartlarda, tonoz geometrisinin ısı kararlılığının daha fazla olduğu ve gündüz sıcaklıkları için daha elverişli olduğu gözlemlenebilir. Bu ısı farklılığın miktarı hayli küçüktür. Pearlmutter (1993), ideal koşullarda yaz aylarında iki çatı yapısını kıyaslandığında iç ortam sıcaklık farkının sadece 1-2 °C kadar ve en büyük değişiklik ise yüzey yansıtıcılığındaki değişimden dolayı 3,5-7°C'lik fark olduğunu belirtmektedir. Faghih ve Bahadori (2009) ise sınır tabaka rüzgâr tüneline kubbeli bir yapının 1/10 ölçeğinde modeli için basınç katsayılarını deneysel olarak belirlemişlerdir. Modelin çevresinde 12 pencere ve tepe kısmında bir açıklık bulunmaktadır. 48 noktadan

basınç ölçümü yapılmış ve pencerelerin ve tepedeki açıklık için üç farklı durumda testler gerçekleştirilmiştir. Bütün pencereler açıkken veya kapalı durum için yapılan testte, en yüksek basınç katsayısı ( $c_p$ ) kubbenin en alt noktasında rüzgâra bakan tarafta 1 olarak bulunmuştur. Bütün pencereler kapalı durumda tepedeki açıklıkta -2.3 olarak bulunmuştur. Bunun sebebi açık pencereler ve tepedeki açıklıktan geçen hava akışıdır.

Kubbeli yapıların ısı performansını inceleyen çalışmalar da mevcuttur. Al-Jawadi ve Al-Sudany (2010) yaptıkları çalışmada kubbenin ısı performansını ortaya koymaya çalışmışlardır. Ayrıca tek kubbeli yapının ve eşdeğer düz çatılı yapının ısı performansı, enerji simülasyon yazılımı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, (a) Hava hareketini, kubbeli ve düz çatının inşa edildiği malzemesini dikkate almadan mutlak enerji yükü açısından yapılan sayısal karşılaştırmada düz çatı daha iyi sonuç vermiştir. (b) Çatıyı çevreleyen dış ortam havasının güneş ışınımına maruz kalmadan çatı yüzeyinde birikmiş ısıyı çekme konusunda kubbeli çatı yaz dönemi için daha iyi sonuç vermiş, kış için ise ısı kaybının artmasına sebep olmuştur. (c) Kubbeli çatının yüzeyine farklı miktarlarda nüfuz eden güneş ışınımı neticesinde kubbe yüzeyinde sıcaklık farkı meydana gelmiş ve bunun sonucunda yüzeydeki hava basıncı farklılığından dolayı rüzgâr hızı artmıştır. Bu da kubbeli çatı yüzeyindeki birikmiş ısının atılmasını artırarak yaz dönemi için verimin artmasına kış dönemi için ise azalmasına sebep olmuştur. (d) Kubbe tabanında bulunan havalandırma açıklıkları kubbe içinde birikmiş havayı değiştirerek yaz dönemi için kubbeli yapının performansının artmasına sebep olmaktadır. Bu bağlamda Faghih ve Bahadori (2011)'nin yaptıkları çalışmanın amacı kubbeli yapıların ısı performansını incelemek ve sıcak mevsimlerde bu yapıların iç hava sıcaklığını nasıl düşürmeye yardımcı olduğunu çevrelerindeki hava akışını, güneş ışınımını, çevre ve yerle olan ışınım ısı transferini ve binadaki açıklıklar gibi bütün parametreleri göz önüne alarak değerlendirmektir. Analiz sonucunda aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur: (a) Kubbeli yapıların ısı performansı sıcak günlerde düz çatılı yapılardan daha iyidir, özellikle parlak çiniyle kaplanmış ise. (b) Aynı şartlarda, en yüksek iç hava sıcaklığı açısından düz ve kubbeli çatılar karşılaştırıldığında kubbeli yapılar sıcak günler için daha iyi ısı performansına sahiptir. (42.38 °C'ye karşılık 43.90°C) (c) Parlak çinilerle

kaplanmış kubbeli yapılar estetik değerinin yanında yaz aylarında iç havayı hayli serin tutarlar. (d) Kubbeli yapıların iç hava sıcaklığını düşürmede rüzgârın akış yönü önemli bir parametre değildir. (e) Rüzgarsız durumda düz çatılı yapı kubbeli yapıya göre daha iyi performans gösterir ( $50.13^{\circ}\text{C}$ 'ye karşılık  $53.8^{\circ}\text{C}$ ). (f) Kubbeli yapılardaki açıklıklardan dolayı içerdeki pasif hava akışı sıcak günlerde iç konforu sağlamada yardımcı olmaktadır. Hadavand ve ark. (2008), kuzey-güney konumundaki tonoz çatılı ve düz çatılı binaların üzerinden doğu-batı yönünde esen rüzgâr akışını incelemiştir. Çatılar üzerindeki hem konveksiyon hem de güneş ışınımı dikkate alınarak tonoz çatıların ısı performansları incelenmiş ve ısı transfer miktarları düz çatılarla karşılaştırılmıştır. Türbülanslı akış alanını ve aynı zamanda tonoz çatı ve düz çatı çevresindeki ayrışma ve resirkülasyon şekillerini öngörmek için iki boyutlu RNG k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılmıştır. Tonoz çatı ve düz çatı üzerindeki basınç farkları karşılaştırılırken değişik tonoz çatı açısı ve farklı rüzgâr hızları dikkate alınmıştır. Belirli bir iç tavan tasarım sıcaklığı ve değişen rüzgâr akışları ve tonoz şekilleri için binaya olan ısı transferi zamana göre hesaplanmış ve düz çatı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak  $180^{\circ}$ lik tonoz açısı dışında bütün tonoz çatılar için günlük ortalama ısı akışı düz çatılara olan ısı akısından daha az olduğu ve rüzgârın hızı arttıkça azaldığı belirtilmektedir.

Yukarıdaki çalışmalardan farklı olarak sadece konik kubbeli yapıların incelendiği çalışmalarda yine çatı geometrisinin iç konfor şartlarına etkisi incelenmiştir. Başaran (2011) Harran evlerinin ısı performansını incelemiştir. Bu amaçla bir Harran evinin iç ve dış sıcaklıklarını bağıl nem değişimiyle birlikte ölçmüştür. Ek olarak kubbeli evlerin ısı davranışlarını araştırmak amacıyla sıcaklık ölçümleri değişik yüzey ve ortamlarda kaydedilmiştir. Kubbenin güneş bacası etkisiyle evin dörtgen tabanının ısı kütesinin etkilerini değerlendirmiştir. Bu çalışma sonucunda, dış ortamın belirgin yaz mevsimi şartlarında olmasına rağmen iç ortam şartlarının ısı konfor sınırlarında olduğu görülmüştür. Yirmi dört saatlik döngüde bina malzemesinin ısı kazancı ve kaybı, kubbelerden gerçekleşen havalandırmayla yaklaşık aynı değerdedir ve bu hemen hemen ısı kazanç açısından birbirini dengelemektedir. Bu konuda en güncel çalışmalardan birisi Cardinale ve ark. (2013), tarafından gerçekleştirilmiştir. İklimlendirme yapılmayan şartlarda,

Akdeniz yerel mimarisinin enerji ve iç ortam konforu açısından analizi hedeflenmiştir. Sonuçlar dış duvarın ve çatının ısı kütlesinin, dış ortam sıcaklık dalgalanmasını azalttığını göstermektedir. Yaz döneminde en yüksek dış hava sıcaklığı 35 °C'nin üzerine çıkarken, bu yapılar için iç ortam havası sıcaklığı 25-28 °C aralığında değişmektedir.

Mahdavinejad ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada çatı şeklinin özellikle soğutma dönemi için enerji kaybı açısından etkisini incelemişler ve optimum çatı formunu araştırmışlardır. Bu çalışmalarında üç çeşit kubbeli ve bir düz çatının karşılaştırması yapılmıştır. Modelleme ve simülasyona dayalı araştırmalarıyla, çağdaş mimaride tasarlanabilecek en verimli bina şeklini bulmayı hedeflemişlerdir. Sonuçlar her ne kadar düz çatı şeklinin en uygun ısı performansına sahip olduğunu gösterse de, çatıların toplam hacmi ve gece ısıtma yükü arasında anlamlı bağlantılar olduğu ve bu sonuçların daha çok araştırılmaya ihtiyacı olduğu vurgulanmaktadır. Jamil ve Ahmad (2012)'in yaptıkları çalışmada kubbe şeklindeki evin ısıtma ve soğutma potansiyellerinin havalandırma ve iklimlendirme eşliğinde ve yarı kararlı hal altında enerji dengesi incelenmiştir. Kış mevsiminde toprak kaynaklı iklimlendirme sistemi dış hava -3.8 °C iken iç ortam havasını 20.2 °C'a kadar ısıtmaktadır ve iyi bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır. Yaz mevsimi süresince iklimlendirme sistemi oda sıcaklığını 8.3 °C düşürürken havalandırma ile hava sıcaklığı 3.9 °C düşürülmektedir, bu sebeple soğutma için saatte 20 defa oda havasının değiştirilmesinin yeterli olduğu bulunmuştur.

## 2.2. CFD Uygulamaları

Bina dış yüzeylerindeki taşınım ısı transferinin bina elemanlarının tasarımı ve performansı üzerine etkileri vardır; örneğin çift kat cephe, güneş kolektörü gibi üniteler aynı zamanda soğutma yükünü etkilemektedir. Defraeye ve ark. (2011) yaptığı çalışmada rüzgar hızı ile ilişkili dış taşınım ısı transfer katsayılarını gösteren bağıntıları gözden geçirmişler ve bu bağıntılardaki önemli farklılıkları göstermişlerdir. Küp şeklinde bir bina göz önüne alınarak, mevcut bağıntıları kullanmaya alternatif olarak CFD ile yeni bağıntıların elde edilmesinin mümkün

olduğu ortaya konmuştur. Neale ve ark. (2006) Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı Fluent kullanarak, düz bir levha boyunca en sık kullanılan türbülans modelleriyle zorlanmış taşınımın simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Fluent analizi sonucu elde edilen ısı transfer katsayıları literatürdeki bağıntuların kullanılmasıyla karşılaştırılarak geçerliliği denetlenmiştir. Zorlanmış taşınım simülasyonu sonucu hesaplanan ısı transfer katsayıları ve elde edilen sonuçlar literatür ile uyumluluk göstermiştir. Blocken ve ark. (2009) birkaç katlı binaların ön cephesindeki taşınım ısı transfer katsayısını belirlemek amacıyla zorlanmış taşınım için CFD simülasyonunu rüzgar üstü cepheyi hedef alarak gerçekleştirmiştir. CFD analizinin doğrulanması ise  $(10 \times 10 \times 10 \text{ m}^3)$  boyutundaki binanın küçük ölçekli bir modelinin rüzgar tüneline gerçekleştirilen ölçümleriyle sağlanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; bina çevresindeki rüzgar akışı bina ön cephesinde büyük oranda değişen taşınım ısı transfer katsayısı değerlerinin elde edilmesiyle neticelenmiştir. Taşınım ısı transfer katsayısı hesaplanması için standart duvar fonksiyonunun uygun olmadığı ve düşük Reynolds sayısı modelinin kullanılması gerektiği gösterilmiştir.. Defraeye ve ark. (2009), atmosferik sınır tabakada küp şeklindeki binanın yüzeylerindeki zorlanmış ısı transfer katsayılarının CFD kullanılarak hesaplanmasını yapmışlardır. Sınır tabakadaki ısı transferi düşük Reynolds sayısı modeli ve standart duvar fonksiyonu kullanılarak modellenmiştir. Standart duvar fonksiyonu ısı transfer katsayılarını düşük Reynolds sayısı modeli sonuçlarına göre belirgin bir şekilde yüksek bulmuştur. Bina soğutma yükünün hesaplanmasındaki belirleyici faktör bina üzerindeki taşınımdır, fakat bina enerji modellerindeki taşınımın ve şehir hesaplamalı akışkan dinamiği modellerinin parametrenmesi zordur. Nottrott ve ark. (2011) rüzgar altı taşınım duvar sınır tabakasının şehir atmosferik ortamı için ısı transfer mekanizmasının açıklanmasına yönelik deneysel bir araştırma yapılmıştır.. Ortalama ve türbülanslı sıcaklık dalgalanma yoğunluğu profillerinin karşılaştırılması göstermiştir ki duvar sınır tabaka akışının baskın rejimi türbülanslı doğal taşınımdır. Jubayer ve ark. (2010) birkaç katlı binaların  $30^\circ$  çatı eğimine sahip rüzgar üstü tarafına monte edilmiş fotovoltaik sistemler için taşınım ısı transfer katsayılarının hesaplanmasını SST  $k-\omega$  ve R  $k-\epsilon$  modelleri kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Hesapların doğrulanması amacıyla 1:50 ölçeğindeki bina modeliyle rüzgar tüneli testi gerçekleştirilmiştir. Saçaklara dik rüzgar yönü sonuçlarına göre tam ölçekli dış

taşınım ısı transfer katsayısı değerlerinin literatürdeki değerlerle örtüşmesi bakımından SST k- $\omega$  modeli R k- $\epsilon$  modeline göre daha doğru sonuç vermiştir.

Ayata (2009)'ın yaptığı çalışmada kış aylarında müstakil evlerde rüzgâr etkisini azaltmak amacıyla çatı etkisi incelemiştir. Bu amaçla müstakil evler için dört durum dikkate alınmıştır. Bunlar, çatısız ve tek katlı, çatılı ve tek katlı, çatısız iki katlı, çatılı iki katlıdır. Fluent yazılımı ile sonlu hacim metodu kullanılmış ve her bir durum için evin ön ve arka tarafları için hava hızı ve basınç dağılımı araştırılmıştır. Isı transfer katsayısının önemli ölçüde hava hızına bağlı olduğu ve sıcaklık farkının ısı transfer katsayısının üzerindeki etkisinin hayli küçük olduğu, bu durumun rüzgârın sebep olduğu akışta zorlanmış taşınımın etkin olduğunun bir göstergesi olduğu belirtilmektedir. Açık alanlardaki müstakil evlerden olan ısı kaybını azaltmak için çatı etkisinin olumlu bir katkısının olduğu tespit edilmiş ve evin ön kısmı için bina ne kadar yüksek olursa çatı etkisinin o kadar az olacağı belirtilmiştir. Abohela ve ark. (2011), çatıya rüzgâr türbini montajı için en uygun montaj yeri ve çatı tipini belirlemek amacıyla düz, kubbeli üçgen, piramit, tonoz çatıların CFD analizini yapmıştır. Çatıya monte edilecek rüzgâr türbini için en uygun çatı tipinin olarak tonoz çatı olduğu sonucunda ulaşılmıştır. Aynı akış koşullarında ve aynı konum için tonoz çatıya monte edilmiş rüzgâr türbini, serbest konumdaki türbine kıyasla %56 daha fazla elektrik üretebilmektedir.

Oda iç yüzeylerinden gerçekleşen taşınım ile ısı transferi, ısı konforu, hava hareketi gibi unsurların ısıtma ve soğutma yükleri üzerinde büyük etkileri vardır. Bina ısı modellerinde kullanılan taşınım ile ısı transfer katsayısı değerleri, binanın ısı çevre ve enerji tüketim tahminlerini önemli oranda etkilemektedir. Oda hava hareketi güvenilir tahminini için doğru CFD kodları, ve doğru sınır şartları gereklidir. Bununla birlikte borudaki ve düz levha üzerindeki akışla ilgili verilerden çıkarılan duvar fonksiyonlarını kullanan CFD kodları oda duvar yüzeyleri uygulamaları için uygun olmayabilir. Awbi (1998)'nin yaptığı çalışma ısıtılmış duvar, zemin ve tavandan CFD kullanılarak hesaplanmış taşınım ısı transfer katsayılarını sunmaktadır. Bu katsayıları hesaplamak için iki türbülans modeli kullanılmıştır: duvar fonksiyonlarını kullanan standart k- $\epsilon$  modeli ve düşük Reynolds sayısı k- $\epsilon$

modeli. Hesaplanmış sonuçlar iki test odasından elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Kindangen ve ark. (1997), CFD kullanarak bina içindeki rüzgâr kaynaklı hava hareketinde çatı şeklinin etkisini incelemiştir. Yatay düzleme göre şiddeti değişen iç hava hareketinin boyutsuz temsili için ortalama iç hava hız katsayısı hesaplanmıştır. Çatı şeklinin hava akış modelini ve özellikle hızın büyüklüğünü etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca rüzgâr yönünün ve çatı yüksekliğinin önemi de araştırılmıştır. Ortalama hız katsayısının şekil ve konum tarafından artırılması bina içinde hava akışını geliştirmektedir. Ortalama hız katsayısının saçaklar tarafından artırılması özellikle düz çatılı binalarda hayli önemlidir. Çatının yüksekliği (rüzgâr hız vektörü açısı  $60^\circ$  ile  $90^\circ$  arasındayken) iç hava akışı açısından önemli bir faktördür. Rüzgârın estiği taraftaki alanın artmasında, rüzgâr tarafında pozitif basıncın artmasında ve ortalama hız katsayısının artmasında etkilidir. Stamou ve Katsiris (2006) yaptıkları çalışmada model bir ofis odasındaki hava akış hızlarını ve sıcaklıklarını hesaplamak için SST k- $\omega$  modeli uygulanmıştır. Hesaplamalar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve aynı zamanda standart k- $\epsilon$ , RNG k- $\epsilon$  ve laminar model sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır. Test edilen üç türbülans modeli de pratik amaçlarla kullanılabilir derecede sonuçlar vermektedir. SST k- $\omega$  ile yapılan hesaplamalar ölçümlerle en uygun sonuçları verirken, laminar model en kötü sonuçları vermiştir.

Ikhwan ve Ruck (2006) piramit şeklindeki binalar çevresindeki akış ve basınç özelliklerinin deneysel araştırmasını yapmışlardır. Deneyler rüzgâr tüneline gerçekleştirilmiştir. Piramit çevresindeki akışın hızı ve piramit yüzeyindeki basınç dağılımı sırasıyla 2D lazer Doppler anemometresi ve standart “pressure tapping” tekniğiyle ölçülmüştür. Piramit çevresindeki akışın ve basınç alanının ortalama ve dalgalanan karakteristiği tanımlanmıştır. Bu çalışmada ayrıca piramitleri dikdörtgen biçimindeki binalardan ayıran temel akış karakteristikleri ele alınmıştır. Taban açısı ve rüzgâr yönü gibi iki parametrenin etkisi araştırılmıştır. Taban açısı ve rüzgâr yönünün piramit çevresindeki akışa ve basınç dağılımına tipik etkisinin olduğu ve akış özellikleri ile yapı üzerindeki rüzgâr yükündeki farklılığa sebep olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmalara bir diğer örnek ise Rahmatmand ve ark. (2014)’larının bir kubbeli bir binanın küçültülmüş ölçekteki modelinin etrafındaki



havanın dağılımını deneysel ve sayısal olarak incelemeleridir. Ölçümler açık döngülü bir rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir. Rüzgar hız profili, türbülans yoğunluğu ve bina çevresindeki hava akış modeli ölçülen niceliklerdir. Deneyler için altı pencere ve kubbe bir açıklığın olduğu gerçek binanın 1:54 ölçeğinde bir modeli üretilmiştir. Ek olarak sayısal modelleme kullanılarak, bu ölçekteki modelin rüzgar tüneline çevresinde oluşacak türbülanslı hava akışı simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Model içinde ve dışında hava akış alanı ve aynı zamanda havalandırma boşaltma katsayısı hesaplanmıştır. Bu tipteki binaların çevresindeki hava akışının karmaşık bitişik resirkülasyon akışını kapsadığı gösterilmiştir. Bina açıklıkları havalandırma için uygun boşaltma katsayısına sahiptir ve konfor şartının sağlanması ile enerji tasarrufu üzerinde etkisi bulunmaktadır.

Asfour ve Gadi (2008), hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak üç boyutlu modellerle rüzgâr kaynaklı doğal havalandırma imkânlarını geliştirmek amacıyla yapıların bu konudaki potansiyellerini değişik iklim ve geometrik parametreleri göz önüne alarak incelenmiştir. Binanın yapısı, alanı, tonoz çatının geçirgenliği, rüzgâr hızı ve yönünün değişkenler olarak alındığı CFD analizi sonucunda tonozlu yapıların taban tarafındaki emme açıklıklarının, rüzgâr tarafındaki açıklığının yarısı olduğu durumda havalandırmanın etkili olduğu görülmüştür. Maksimum emme rüzgâr yönünün 90° olduğu durumda gerçekleşmiştir. Eşit durumlar için kubbeli ve tonoz çatıların net çıkan debisi karşılaştırıldığında, hava emme üstünlüğünün büyük oranda rüzgâr yönüne bağlı olduğu görülmüştür. Meroney (2009)'in yaptığı hesaplama uygulamasında, bir bina modelinin dışından ve içinden geçen hava akışının rüzgar tüneline yapılmış ölçümleri CFD teknikleriyle incelemiştir. Değişik türbülans modelleri kullanarak, 2-B ve 3-B simülasyonlarla, bina içi akışı incelemek için bütün açıklıkların kapalı olduğu durumda dış ortamın simülasyonuna dayanan alan parçalama metodunun kullanılması gibi bir çok strateji incelenmiştir. Sonuçta rüzgar tüneli ve CFD hesaplamalarının doğal havalandırma açısından karşılaştırılması sonucu kullanılan metotlar havalandırma tasarımları için yeterince kesin sonuçlar vermiştir. Nguyen ve Reiter (2011)'in yaptıkları çalışmanın amacı ise iç ortamın havalandırması üzerine çatı şekli gibi bir bina parametresinin etkisini incelemektir. Bina içindeki rüzgar hareketini ve havalandırma debisini çalışmak amacıyla CFD

kodu Phoenix RNG k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları öncelikle rüzgar tüneli deney sonuçlarıyla doğrulanmış ve daha sonra değişik çatı şekillerindeki odaların karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması sonucunda RNG k- $\epsilon$  türbülans modelinin iç ortam rüzgar hareketini başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir. Sonuç olarak çatı şeklinin iç ortam hava akışı ve havalandırma debisine etkisi olduğunu ortaya konmuş fakat bu etkilerin oldukça küçük olduğu gözlemlenmiştir. Mistriotis ve Briassoulis (2002), üzerinde açıklıklar bulunan tonoz çatının iç ve dış aerodinamik katsayılarını enine rüzgar akışı durumunda sayısal olarak hesaplamışlardır. İlk durumda her iki tarafta simetrik açıklık, ikinci durumda ise sadece rüzgaraltı tarafta açıklık olması durumu için hesaplamalar yapılmıştır. Dış aerodinamik katsayıların açıklığın pozisyonu ve boyutundan çok az etkilendiği görülmüştür. Tam tersi durumda ise; iç aerodinamik katsayılar ile yapıdaki toplam rüzgar basıncının havalandırma açıklık konfigürasyonu ile kuvvetli bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur.

Blocken ve ark. (2009) dış ortam bina performans simülasyonu için CFD uygulaması hakkında yön verici bir çalışma sunmuştur. CFD analizi ile rüzgar tüneli ve basitleştirilmiş deneysel veya yarı deneysel denklemler ile analizler kıyaslandığında, CFD 'nin dikkate değer üstünlükleri vardır. Rüzgarla hareket eden yağmur, taşınım ısı ve kütle transferi, kirletici dağılımı çalışmalarındaki gibi uygulamalı kullanımı önemli sınırlamalar getirmektedir. Bu anlamda temel kısıtlamalar ise, sürekli RANS modelindeki kusurların olması, zaman harcama, LES'in önemli derecede karmaşık karakteri sebebiyle yüksek çözünürlüklü gride ve doğrulamaya ihtiyaç duyulmasıdır. Ariff ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada ise yüzeye monte bir küpün üzerindeki türbülanslı akışı Fluent kullanarak analiz ederken deneysel verilerin olmadığı durumlar için uygun ağ konfigürasyonu ve türbülans modeli seçimi için duvar  $y^+$  değerinin kullanılması konusunda bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Fluent yazılımında düşük Reynolds sayıları için çözümlerde Spalart-Allmaras türbülans modeli daha doğru sonuçlar vermektedir ve RSM türbülans modeli akış ayrılması olan bölgelerde en doğru sonuçları verirken standart k- $\epsilon$  modeli akışın yeniden tutunduğu bölgelerde daha doğru sonuç vermektedir.

### 2.3. Adyabatik Hazne Tekniği Uygulamaları

Kapalı hacimlerde doğal taşınım konusu bina performansı ve diğer mühendislik uygulamaları için öneminden dolayı bir hayli yaygın şekilde çalışılmış bir konudur (Salih ve Ishak, 2014; Ayla ve ark., 2009; Dalal ve Das, 2006; Sarris ve ark., 2004; Al Amiri ve ark., 2009; Park ve ark., 2009; Saha ve Gu, 2015). Ayrıca 1900'lerin başından beri ısıtılmış yatay plaka üzerindeki doğal taşınım ile ilgili çalışmalar da mevcuttur (Corcione, 2008). Literatürde yapı malzemelerinin ısı iletkenliklerinin belirlenmesi için (Yeşilata ve ark., 2007; Turgut ve ark., 2007; Yeşilata ve Turgut, 2007; Demir ve ark., 2008; Turgut ve Yeşilata, 2009) kullanılan adyabatik hazne tekniği, bu çalışmada ilk defa kapalı aralıklardaki ve yatay plakanın soğutulmasına ilişkin doğal taşınım katsayılarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

### 2.4 Sonuç

Kubbeli çatıların düz çatılara kıyasla ısı kaybı veya net ısı kazancı açısından araştırılmaya ihtiyacı vardır, ayrıca kubbeli veya tonoz çatıların kapsamlı bir ısı davranış modelinin geliştirilmesinin gereklidir. Kubbeli çatıların dış yüzey taşınım ısı transfer katsayıları genelde sabit kabul edilerek ısı analizler gerçekleştirilmiştir. Dış yüzey taşınım ısı transfer katsayılarının daha hassas bir çözümleme açısından CFD simülasyonu ile hesaplanması mümkündür. Yukarıda verilen literatür özetlerinde görüldüğü üzere bina iç ortamını simüle etmek amacıyla değişik formlardaki kapalı aralıklarda doğal taşınımı konu edinen birçok çalışma mevcuttur. Buna karşın hem bina iç hacmini hem de bina çatı dış yüzeyini kapsayan bir yöntemle doğal taşınımın incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır.

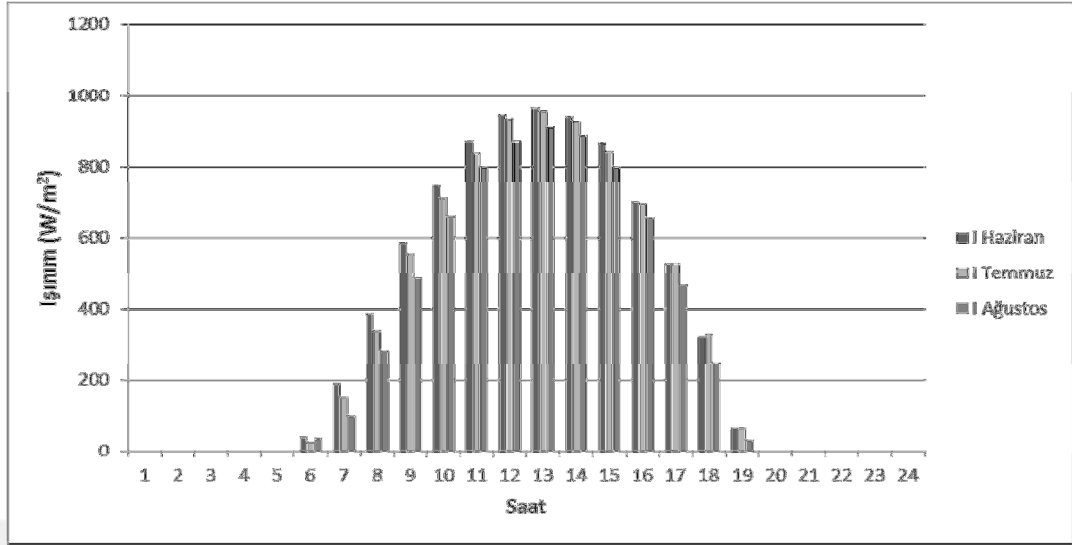
### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bir yapının termal davranışı değerlendirebilmek veya yapıların birbirlerine göre termal performanslarını saptayabilmek ancak dış ve iç mahal iklimsel koşulların birbiriyle ve yapı geometrisi ile ilişkisinin tespitiyle mümkündür. Bu tür bir problemi tanımlayan temel değişkenler; çevre sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti, rüzgar hızı-yönü ve iç mahaldeki sıcaklık dağılımı şeklindedir. Bu değişkenlerin yapının geometrisi, özellikle ısı yükünün büyük bir kısmından sorumlu olan çatı bileşeni ile ilişkisinin tespiti; (i) Teorik yaklaşımlar ile yapılan analitik ve nümerik hesaplamalar, (ii) akış alanı çerçevesinde yürütülen nümerik (CFD) hesaplamalar ve (iii) Tasarımı ve imalatı yapılan modeller üzerindeki deneysel ölçümler şeklinde çoğu zaman eş zamanlı üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan materyaller ve izlenen yöntemler yukarıdaki sınıflandırmaya uygun sırada sunulacaktır. Tüm hesaplamalar referans seçilen konik ve düz çatı geometrileri çerçevesinde yürütülmüştür.

#### 3.1 Teorik Yaklaşımlar ile Yapılan Analitik ve Nümerik Hesaplamalar

##### 3.1.1 Eğik yüzeye gelen saatlik güneş ışınımının hesaplanması

Meteorolojik istasyonlar sadece yatay yüzeye gelen ışınım şiddetini ölçtüğünden, farklı açıdaki yüzeylere gelen ışınım şiddetinin yatay yüzeye gelen ışınım verisinden hesaplanması için ek hesaplamalara gerek vardır. Bu çalışmada Şanlıurfa iline ait yatay yüzeye düşen saatlik ortalama radyasyon değerleri kullanılmıştır. Şanlıurfa için yatay yüzeye düşen ışınım verilerinin yaz ayları için saatlik ortalamaları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Eğik yüzeye gelen toplam radyasyonun hesaplanması için ilk etapta atmosfer dışına gelen ışınımın hesaplanması gerekir (Duffie ve Beckman, 1991).



Şekil 3.1. Şanlıurfa iline ait saatlik yatay yüzeye düşen güneş ışınım ortalamaları

Dünya dışında güneş ışınımı yaklaşık olarak sabittir. Dünya güneş mesafesinin değişmesinden dolayı bu atmosfer dışı radyasyon  $\pm\%3$  aralığında değişir.  $G_{sc}$ , Solar sabiti atmosfer dışında ortalama güneş-dünya mesafesinde birim zamanda radyasyon yayımına dik birim yüzeye güneşten gelen enerjidir ve değeri  $1367 \text{ W/m}^2$ 'dir. Yılın  $n$ . gününe bağlı olarak yatay yüzeye düşen dünya dışı (extraterrestrial) ışınım

$$G_{on} = \frac{12 \times 3600 \times G_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360 n}{365} \right) \quad (3.1)$$

şeklinde hesaplanır. Teorik olarak yatay yüzeye düşen maksimum ışınım atmosfer dışı ışınımdır. Bir saatlik periyot için saat açıları  $\omega_1$  ve  $\omega_2$  arasında atmosfer dışı ışınım

$$I_o = \frac{12 \times 3600 \times G_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360 n}{365} \right) \times \left[ \begin{array}{l} \cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) \\ + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \end{array} \right] \quad (3.2)$$

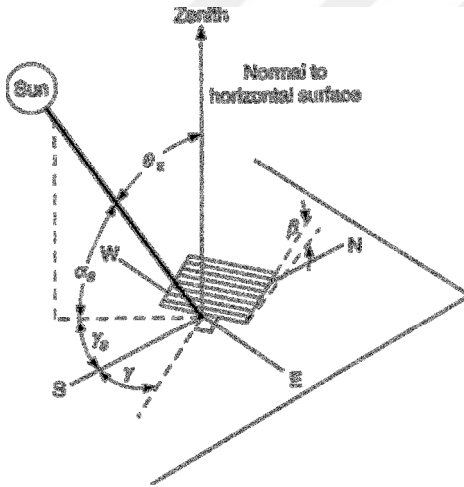
ifadesiyle hesaplanır. Eşitlik 3.2'de kullanılan  $\phi$ , yerleşim yerinin enlemini ifade eder. Ekvatorun kuzeyinin ve güneyinin açılal yeridir. Kuzey için pozitif değer alır ve  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$  aralığında değişir. Şanlıurfa için bu değer  $37,1^\circ \text{ N}$ 'dir.  $\omega$  ise saat açıdır. Dünyanın kendi etrafında saatte  $15^\circ$ lik dönmesinden dolayı güneşin yerel meridyenin batısı ve doğusuna göre yer değişimidir. Sabah eksi, öğleden sonra

artı değeri alır.  $\delta$  Deklinasyon açısıdır. Ekvator düzlemine göre güneşin öğlende (Güneşin tam olarak yerel meridyende olduğu zaman) açısal konumudur, kuzey için pozitif değer alır ve  $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$  arasında değişir. Matematiksel olarak;

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(284+n)\right) \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.  $n$  gün sayısıdır, örneğin yılın ilk ( $n=1$  Ocak Ayının 1.) günüdür.

Dünyaya göre, belirli bir tarafa yönlendirilmiş bir düzlem ile gelen direk radyasyon arasındaki geometrik ilişki ve güneşin düzleme göre konumu çeşitli açılar yoluyla tanımlanır. Bu açılardan bazıları Şekil 3.2’de gösterilmiştir (Duffie ve Beckman,1991).



Şekil 3.2 .Eğik bir yüzeyin güneş ışınımı ile ilişkisinin şematik gösterimi

Şekil 3.2’deki  $\beta$  eğimdir ve yatay ile yüzey arasındaki açıdır.  $0 \leq \beta \leq 180^\circ$  aralığında değerler alır.  $\gamma$  yüzey azimut açısıdır. Yüzeyin normalinin bir yatay düzleme olan izdüşümünün yerel meridyenden sapmasıdır ve güneyde sıfır değeri alır. Doğu eksi, batı artı değeri alır.  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$  aralığındadır.  $\theta$  geliş açısıdır ve yüzeye ulaşan direk ışınım ile yüzeyin normali arasındaki açıdır. Direk ışınımın yüzeye geliş açısının  $\theta$ , diğer açılarla ilişkisi;

$$\begin{aligned}
\cos(\theta) &= \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\beta) - \sin(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \\
&+ \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega) \\
&+ \cos(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\omega) \\
&+ \cos(\delta) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) \cdot \sin(\omega)
\end{aligned} \tag{3.4}$$

denklemleri tanımlanır.

Denklemdaki  $\theta_z$  Zenit açısıdır. Dikey ile güneşe olan çizginin arasındaki açıdır. Yatay yüzeyler için radyasyonun geliş açısı güneşin zenit açısıdır. Yatay yüzeyler için  $\beta = 0$  olur ve zenit açısı;

$$\cos(\theta_z) = \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) \tag{3.5}$$

ifadesiyle hesaplanabilir.  $\alpha_s$  güneş yükseklik açısıdır. Yatay düzlem ile güneşe olan çizgi arasındaki açıdır.  $\gamma_s$  güneş azimut açısıdır. Direkt radyasyonun yatay düzleme olan izdüşümünün güney ile yaptığı açısal yer değişimidir. Güneyin doğusuyla yaptığı yer değişimi negatif, güneyin batısıyla yaptığı yer değişimi ise pozitiftir.

Geometrik faktör  $R_b$ , ise herhangi bir zamanda eğik yüzeye düşen direkt radyasyonun yatay yüzeye düşen radyasyona oranıdır. Yukarıda verilen zenit açısı ve geliş açısına ilişkin eşitlikler kullanılarak,

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \tag{3.6}$$

ifadesiyle belirlenir.

Yine saatlik olarak ifade edecek olursak, açıklık indeksi  $k_T$ , yatay yüzeye gelen saatlik güneş ışınımının saatlik atmosfer dışı ışınımına oranıdır ve

$$k_T = \frac{I}{I_o} \tag{3.7}$$

eşitliği ile belirlenir. Yatay yüzeye düşen ölçülmüş toplam ışınım mevcut ise ve yukarıda verilen eşitliklerden anlaşılacağı üzere dünya dışı yatay yüzeye düşen

toplam ışınım hesaplanabilmektedir. Açıklık indeksinin kullanılması ile birlikte yüzeye düşen toplam güneş ışınımının difüz ve direk ışınım elemanları elde edilebilmektedir. Orgill and Hollands bağıntısı açıklık indeksinin ( $k_T$ ) fonksiyonu olarak ,

$$I_d/I = 1.0 - 0,249k_T \quad \text{için} \quad k_T < 0,35 \quad (3.8)$$

$$I_d/I = 1,557 - 1,84k_T \quad \text{için} \quad 0,35 < k_T < 0,75 \quad (3.9)$$

$$I_d/I = 0,177 \quad \text{için} \quad k_T > 0,75 \quad (3.10)$$

yatay yüzeye gelen saatlik difüz ışınımın hesaplanmasında kullanılır (Duffie and Beckman, 1991).

Bu çerçevede Duffie and Beckman (1991)'da verilen izotropik difüz model kullanılarak eğik yüzeye düşen toplam güneş ışınımı hesaplanabilir. Bir saat aralığı için eğik yüzeye düşen toplam güneş ışınımı,

$$I_T = I_b R_b + I_d \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + I \rho_g \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (3.11)$$

ifadesiyle belirlenir. Eşitliğin sağ tarafındaki ifadeler sırasıyla, direkt radyasyon, diffüz radyasyon ve yansıyan radyasyondur.  $\rho_g$  çevrenin yansıma katsayısıdır ve değeri yaz ayları için 0,2'dir (Ahrens, 2006).  $\beta$  ise yüzeyin eğimidir. Bu bağlamda eğik yüzeye düşen güneş ışınımının ne kadarının emildiği güneş ışınımı geliş açısıyla ilişkilidir.  $\theta$  geliş açısında yüzeyin emiciliği  $\alpha$ 'dır ve  $0^\circ$  geliş açısında yüzeyin emiciliği  $\alpha_n$ 'dir. Yüzey emiciliğinin geliş açısıyla bağıntısı;

$$\frac{\alpha}{\alpha_n} = 1 + 2,0345 \times 10^{-3} \theta - 1,99 \times 10^{-4} \theta^2 + 5,324 \times 10^{-6} \theta^3 - 4,799 \times 10^{-8} \theta^4 \quad (3.12)$$

eşitliğiyle gösterilebilir.



### 3.1.2 Harran evinin çatısına düşen ışınının hesaplanması

Teorik yaklaşımlar ve nümerik hesaplamalarda çözümü basitleştirmek amacıyla konik çatı sekizgen piramit olarak kabul edilmiştir. Sekizgen piramidin taban alanı ise düz çatı alanına eşittir. Konik yüzeyin normaline dik bir gözlemcinin iki boyutta görebileceği yüzeyler dilimlenerek dairesel tabanı en iyi simüle edecek şekilde bir sekizgen taban oluşturulmuştur. Bu sekizgen yüzey ile oluşturulan konik çatı sayesinde ana ve ara yönlerin her biri bir yüzeye denk gelecek şekilde; tüm yönlerin taranması mümkün olabilmıştır.

Şekil 3.3’de gösterilen konik yüzey üzerinde sonsuz sayıda nokta alınabilir. Eğer çözümümüzü üç yüz atmış gen tabanlı piramidin güneye bakan  $45^\circ$ ’lik yüzeyinde yapacak olursak ve her bir yüzey dilimini bir derecelik açığa bölersek,  $\gamma$ , yüzey azimut açısı yani yüzeyin normalinin bir yatay düzleme olan izdüşümünün yerel meridyenden sapması, güneyde sıfır değeri alır. Doğu eksi, batı artı değeri alır.  $360^\circ$  için  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$  aralığındadır. Dolayısıyla  $45^\circ$ ’lik güneye bakan yüzey dilimi için yüzey azimut açısı  $-22^\circ \leq \gamma \leq 22^\circ$  arasında değişir. Bölüm 3.1.1’de eğik yüzeye düşen ışınının hesaplanması için tanımlanan yöntem izlendiğinde,

$$\phi = 37,1^\circ, \text{ Şanlıurfa için}$$

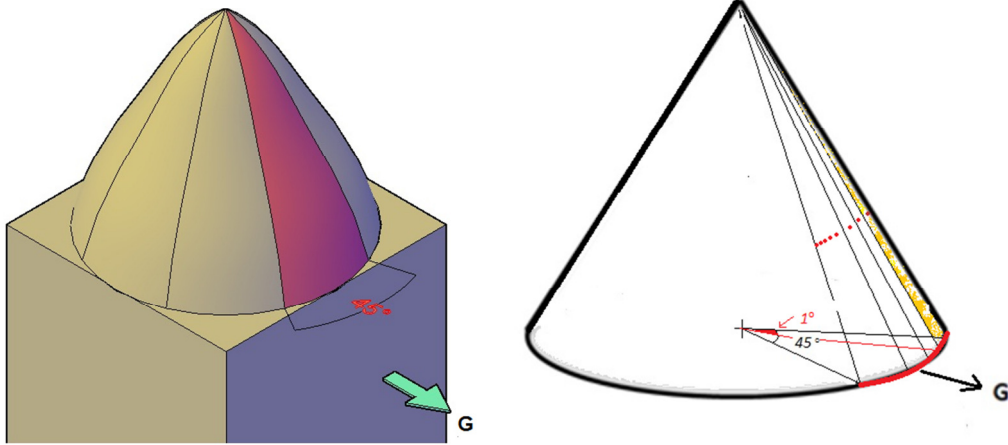
$$\rho_g = 0,2$$

$$\beta = 60^\circ, \text{ tipik Harran evi kubbe eğimi için}$$

$$n=196, \text{ Temmuz ayının 15. Günü,}$$

$$I = 842 \text{ W/m}^2 \text{ Şanlıurfa için Temmuz ayının 15. Günü saat 15.00’te yatay yüzeye düşen ölçülmüş ışınım değeri}$$

$$\omega = 30^\circ \text{ saat 15.00 için}$$



Şekil 3.3. Birer derecelik yüzeylere dilimlenmiş konik yüzey

Verileri kullanılarak eğik yüzeyin güneye bakan 45° 'lik dilimi için 45 noktadaki ışınlım değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Bir derecelik yüzeylere dilimlenmiş koni üzerine düşen toplam ışınlım

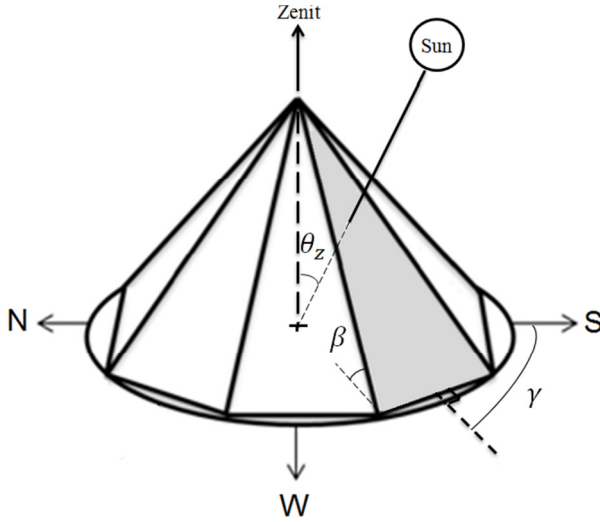
$\gamma$ (°)	$I_T$ ( $W/m^2$ )	$\gamma$ (°)	$I_T$ ( $W/m^2$ )
-22	513.8	1	642.3
-21	519.5	2	647.6
-20	525.3	3	652.8
-19	531	4	657.9
-18	536.8	5	663.1
-17	542.5	6	668.1
-16	548.2	7	673.2
-15	553.9	8	678.1
-14	559.6	9	683.1
-13	565.3	10	687.9
-12	571	11	692.8

Çizelge 3.1 (Devam)

<b>-11</b>	<b>576.6</b>	<b>12</b>	<b>697.5</b>
<b>-10</b>	582.2	<b>13</b>	702.2
<b>-9</b>	587.8	<b>14</b>	706.9
<b>-8</b>	593.4	<b>15</b>	711.5
<b>-7</b>	599	<b>16</b>	716
<b>-6</b>	604.5	<b>17</b>	720.5
<b>-5</b>	610	<b>18</b>	724.9
<b>-4</b>	615.5	<b>19</b>	729.2
<b>-3</b>	620.9	<b>20</b>	733.5
<b>-2</b>	626.3	<b>21</b>	737.7
<b>-1</b>	631.7	<b>22</b>	741.8
<b>0</b>	637	Ortalama	633.8 <i>W/m<sup>2</sup></i>

Çizelge 3.1’de görüleceği üzere üç yüz atmış gen tabanlı piramit kabulüyle, güneye bakan 45 derecelik çatı yüzeyine düşen ışınımın ortalaması  $633.7867 W/m^2$  bulunmuştur. Çalışmada ise, sekizgen tabanlı piramidin güneye bakan kısmı için bulunan ortalama  $637 W/m^2$ ’dir.

Üç yüz atmış gen tabanlı piramit kabulü ile sekizgen tabanlı piramit kabulü arasında kıyaslanma yapıldığında 45 derecelik güneye bakan eğik yüzeye düşen ışınım hesaplamasındaki hassasiyet  $\frac{637-633.8}{637} * 100 = \sim\% 0.5$ ’tir. Görüldüğü üzere hata oranı çok az olduğundan, eğik yüzeye düşen ışınımın hesaplanmasında takip edilen yöntemin uygulanmasındaki kolaylık ve işlem hacmini azaltmak açısından Harran evinin kubbesi sekizgen tabanlı piramit kabul edilmiştir. Yapılan sekizgen çatı yapısı ve ilgili açılar şematik olarak Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Literatürde de ısı analizlerde kubbeli yapılar için sekizgen ve dörtgen tabanlı piramit kabulüyle yapılmış analizler mevcuttur (Faghih ve Bahadori, 2011).



Şekil 3.4. Güneş geometrisi için gerekli açılar ve konik çatının basitleştirilmiş sekizgen modeli.

### 3.1.3 Isı iletimini çözmek için sonlu-fark metodu

Bu bölümde bir duvarda ısı iletiminin sonlu fark formülasyonu türetilmektedir. Literatürde bu yöntemin detayı mevcuttur (Özışık, 1985; Çengel 2011). Basit geometrilere bile şartlar yeterince basit değilse ısı transfer problemleri analitik olarak çözülemez. Mesela ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi, yüzey üzerinde ısı transfer katsayısının değişimi veya yüzeylerdeki ışıma ısı transferinin dikkate alınması analitik çözümü imkânsız hale getirir. Bundan dolayı analitik çözümler basit veya uygun yaklaşımlarla basitleştirilebilen problemlerle sınırlıdır. Sayısal bir çözüm için tasarlanan matematiksel modeller, karmaşık bir problemi temsil etmede daha çok tercih edilebilmektedir.

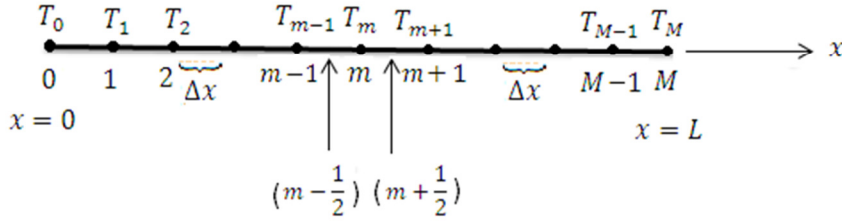
Diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal yöntemler, diferansiyel denklemler yerine cebirsel denklemlerin konulması esasına dayanır. Sonlu fark yönteminde bu işlem, türevlerin yerine farkların konulmasıyla gerçekleştirilir. Bir noktada  $f(x)$ 'in birinci türevi o noktada eğriye teğet olan bir doğrunun eğimine eşdeğerdir ve

$$\frac{df(x)}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x} \quad (3.13)$$

şeklinde tanımlanır; eğer limit alınmazsa türev için aşağıdaki yaklaşık bağıntı elde edilir.

$$\frac{df(x)}{dx} \cong \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x} \quad (3.14)$$

L kalınlıkla bir düzlem duvardaki ısı iletimini incelersek, Şekil 3.5'te görüldüğü gibi  $x$  yönünde  $\Delta x = \frac{L}{M}$  eşit kalınlıkta  $m$  tane bölgeye bölünmüş ve  $M+1$  tane  $0, 1, 2, \dots, m-1, m, m+1, \dots$  düğüm noktalarından geçen düzlemlerle birbirinden ayrılmıştır.



Şekil 3.5 Tek boyutlu ısı transferinin sonlu fark formülünde kullanılan düğümler ve sıcaklıklar

Herhangi bir  $m$  noktasının koordinatı  $x_m = m \cdot \Delta x$  ve o noktanın sıcaklığı  $T(x_m) = T_m$ 'dir. Eşitlik 3.14 kullanılarak  $m$  düğümünü çevreleyen kısımların  $m - \frac{1}{2}$  ve  $m + \frac{1}{2}$  orta noktalarındaki sıcaklığın birinci türevi  $dT/dx$ ,

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{m-\frac{1}{2}} \cong \frac{T_m - T_{m-1}}{\Delta x} \quad (3.15)$$

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{m+\frac{1}{2}} \cong \frac{T_{m+1} - T_m}{\Delta x} \quad (3.16)$$

olarak ifade edilir.  $m$  düğümündeki sıcaklığın ikinci türevi ise,

$$\left. \frac{d^2T}{dx^2} \right|_m \cong \frac{\left. \frac{dT}{dx} \right|_{m+\frac{1}{2}} - \left. \frac{dT}{dx} \right|_{m-\frac{1}{2}}}{\Delta x} = \frac{\frac{T_{m+1} - T_m}{\Delta x} - \frac{T_m - T_{m-1}}{\Delta x}}{\Delta x} = \frac{T_{m+1} - 2T_m + T_{m-1}}{\Delta x^2} \quad (3.17)$$

şeklinde yazılır.

İçinde ısı üretimi olmayan, sabit ısıl iletkenliğe sahip bir duvar için tek boyutlu zamana bağlı ısı transferi ana denklemi

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.18)$$

şeklinde ve burada  $\alpha = k/\rho c_p$  duvar malzemesinin ısıl yayılım katsayısıdır. Eşitliğin sağ tarafındaki sıcaklığın zamana göre türevi ileri farklar yaklaşımıyla

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_m \cong \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $T_m^i$  ve  $T_m^{i+1}$  m düğümünün,  $t_i = i\Delta t$  ve  $t_{i+1} = (i + 1)\Delta t$  zamanlarındaki sıcaklıklarıdır.  $T_m^{i+1} - T_m^i$ ,  $i$  ve  $i + 1$  zaman adımları arasındaki  $\Delta t$  zaman aralığı süresince düğüm sıcaklığının değişimini gösterir. Eşitlik 3.18'in yani içinde ısı üretimi olmayan, sabit ısıl iletkenliğe sahip bir duvar için, tek boyutlu zamana bağlı ısı transferi ana denkleminin sonlu fark biçimi,

$$\frac{T_{m+1} - 2T_m + T_{m-1}}{\Delta x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.20)$$

şeklini alır ve denklem düzenlenirse,

$$T_m^{i+1} = \left[ 1 - \frac{2\alpha\Delta t}{(\Delta x)^2} \right] T_m^i + \frac{2\alpha\Delta t}{(\Delta x)^2} (T_{m+1}^i - T_{m-1}^i) \quad (3.21)$$

ifadesi bulunur.

Denklem bir düzlem duvarda bütün  $m = 1, 2, 3, \dots, M - 1$  iç düğümlerinde yeni  $T_m^{i+1}$  sıcaklığı için eksplisit olarak çözülebilir. Denklemin eksplisit olması,  $T_m^{i+1}$  sıcaklığının ( $m$  düğümünde,  $(i + 1)\Delta t$  zamanındaki sıcaklık)  $i\Delta t$  zamanındaki ve

$m - 1$ ,  $m$  ve  $m + 1$  düğümlerindeki sıcaklıklar cinsinden yazılabildiğini ifade eder. Eğer bahsi geçen düğümlerdeki sıcaklıklar  $t$  zamanı için biliniyorsa yukarıdaki denklem kullanılarak  $T_m^{i+1}$  sıcaklığı  $\Delta t$  zaman sonrası için hesaplanabilir ve her bir düğüm için aynı şekilde hesaplanır.

Zaman adımı  $\Delta t$  ve  $\Delta x$ 'e bağlı olarak eğer  $\frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} = \frac{1}{2}$  durumunda bir iç düğüm için  $n$  düğümündeki sıcaklığın bir zaman adımı sonraki değeri komşu sıcaklıkların önceki zaman adımındaki sıcaklıklarının ortalaması olur ve sonlu fark formülü,

$$T_m^{i+1} = \frac{1}{2}(T_{m+1}^i + T_{m-1}^i) \quad (3.22)$$

ifadesine dönüşür. Yine  $\Delta t$  ve  $\Delta x$ 'e bağlı olarak yukarıdaki denklemdeki  $T_m^i$ 'in katsayısı negatif, sıfır veya pozitif değerde olabilir. Örneğin  $T_{m+1}^i$  ve  $T_{m-1}^i$  sıcaklıklarının sıfır olduğunu varsaydığımızda  $T_m^i$  sıcaklığı pozitif değer alır. Ve eğer  $T_m^i$  sıcaklığının önündeki katsayı negatif olursa  $T_m^{i+1}$  negatif değer alır bu durum Termodinamiğin ikinci kanununa aykırıdır, çünkü ısı pozitif sıcaklık gradyanı yönünde akmaz.  $T_m^{i+1}$  sıcaklığının katsayısı sıfıra eşit veya büyük değerde olmalıdır. Dolayısıyla ekplisit çözümde iç düğümler için kararlılık ölçütü ,

$$\frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (3.23)$$

ifadesindeki gibidir ve  $\Delta x$  belirlendikten sonra  $\Delta t$  zaman adımının izin verilebilir en büyük değeri yukarıdaki eşitlik 3.23'ten bulunabilir.

### 3.1.4 Sınır şartları

Sınır düğümlerinin sonlu fark denkleminin çıkarılması için sınır düğümlerinin kontrol hacimlerine enerji dengesi uygulanır. Hacim elemanı için zamana bağlı enerji dengesi

$$\left( \begin{array}{l} i \text{ zaman adımında} \\ \text{hacim elemanına bütün} \\ \text{yüzeylerden giren} \\ \text{ısı transfer hızı} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{l} i \text{ zaman adımında} \\ \text{hacim elemanı içinde} \\ \text{üretilen enerji hızı} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{hacim elemanının} \\ \text{iç enerjisinin} \\ \text{değişim hızı} \end{array} \right)$$

gibi ifade edilebilir veya eksplisit yöntemle,

$$\sum_{\text{Bütün yönler}} \dot{Q}^i + \dot{E}^i_{\text{üretim, eleman}} = \frac{\Delta E_{\text{eleman}}}{\Delta t} = \rho V_{\text{eleman}} c_p \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.24)$$

elde edilir. diğer taraftan implisit yöntemle,

$$\sum_{\text{Bütün yönler}} \dot{Q}^{i+1} + \dot{E}^{i+1}_{\text{üretim, eleman}} = \frac{\Delta E_{\text{eleman}}}{\Delta t} = \rho V_{\text{eleman}} c_p \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.25)$$

İfadesi elde edilir.

Şekil 3.5'de görüldüğü gibi  $\frac{\Delta x}{2}$  kalınlığındaki 0 düğümüne ait hacim elemanı için enerji dengesi yazıldığında,

$$\dot{Q}^i + kA \frac{T_1^i - T_0^i}{\Delta x} = \rho c_p A \frac{\Delta x}{2} \frac{T_0^{i+1} - T_0^i}{\Delta t} \quad (3.26)$$

ifadesi elde edilir. Aynı yöntemle M düğümündeki hacim elemanına ait enerji dengesi yazılarak şekildeki duvarın sağ sınır düğümünün sonlu fark formülasyonu bulunur.



Şekilde 3.6'da görüldüğü gibi 0 düğümü duvarın dış yüzeyi, M düğümü ise duvarın iç yüzeyidir. 0 düğümü bir evin duvarının veya çatısının dış yüzeyi olarak düşünüldüğünde,  $\dot{Q}$  için,

$$\dot{Q} = \dot{Q}_g + \dot{Q}_a + \dot{Q}_t \quad (3.27)$$

Eşitliği geçerlidir. Eşitlikte duvar yüzeyi tarafından emilen güneş ışınımını ( $\dot{Q}_g$ ), atmosferik ışınımı ( $\dot{Q}_a$ ), ve duvarı çevreleyen hava ile duvar yüzeyi arasında gerçekleşen taşınım ısı transferini ( $\dot{Q}_t$ ) ile gösterilmektedir.

Çevre havası ve bina dış yüzeyi arasında gerçekleşen taşınım ısı transferi,

$$\dot{Q}_t = hA(T_\zeta - T_y) \quad (3.28)$$

gibi ifade edilir ve bu denklemde  $h$  taşınım ısı transfer katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ ),  $A$  yüzey alanı ( $m^2$ ),  $T_\zeta$  çevre sıcaklığı ( $\text{°C}$ ),  $T_y$  duvar veya çatı yüzey sıcaklığıdır ( $\text{°C}$ ). Duvar ve çatı gibi bina dış yüzeyleri her zaman atmosfere açıktır. Bu yüzeyler arasında olan ışınım ısı transferi,

$$\dot{Q}_a = A\varepsilon\sigma(T_{gök}^4 - T_y^4) \quad (3.29)$$

denklemleriyle ifade edilir. Denklemde kullanılan etkin gökyüzü sıcaklığının ( $T_{gök}$ ) değeri atmosferik şartlara bağlıdır. Bu sıcaklık açık gökyüzü şartları için 230 K'den yüksek ve bulutlu gökyüzü şartları için 285 K 'e kadar değişen değerler alır (Çengel, 2011).  $A$  ışınımın etkisindeki yüzey alanı ( $m^2$ ),  $\varepsilon$  ışınımın etkisindeki bina yüzeyinin yayıcılığı,  $\sigma$  Stefan-Boltzmann sabiti  $5,67 \cdot 10^{-8}$  ( $W/m^2 K^4$ ),  $T_y$  ışınımın etkisindeki yüzeyin sıcaklığıdır ( $K$ ).

Bina yüzeyinin güneş ışınımıyla etkileşimi ise,

$$\dot{Q}_g = \kappa AI \quad (3.30)$$

Eşitliği ile ifade edilir. Burada  $\kappa$  yüzeyin soğurganlığı,  $I$  yüzeye gelen güneş ışınımı ( $W/m^2$ ),  $A$  ise ışınımın etkisindeki yüzey alanıdır ( $m^2$ ).

İncelenecek duvar ve çatı için seçilen malzeme boyut ve özellikleri aşağıdaki gibidir;  
Kalınlığı,  $L = 0,12 m$

Isıl iletkenliği,  $k = 0,72 W/m^{\circ}C$

Isıl yayılım katsayısı,  $\alpha = 0,45 10^{-6} m^2/s$

Oda sıcaklığında güneş ışınımı soğurganlığı,  $\kappa = 0,63$

Yayıcılığı,  $\varepsilon = 0,93$

Yoğunluk,  $\rho = 1920 kg/m^3$

Özgül ısı,  $c = 835 J/kg^{\circ}C$

### 3.1.5. Çatı geometrisinin bina ısı davranışına etkisi

Çalışmanın bu bölümünde yukarıdaki ışınım verilerinin analiz sonuçları ve diğer iklimsel veriler girdi olarak kullanılıp konik çatı ile düz çatılı binaların yaz mevsimi için dış yüzey sıcaklıkları hesaplanacaktır. Bütün bu veriler geçici rejimde ısı transferi analizini içeren sayısal bir çözümlemeyle gerçekleştirilecektir. Bu analizle Harran evi ve eşdeğeri düz çatılı evin iç ortam havası sıcaklığı kıyaslanabilecektir. Böylelikle hangi çatı tipinin yaz dönemi için daha az enerji tükettiği belirlenebilecektir.

### 3.1.6. Duvar ve çatıdan gerçekleşen ısı transferi

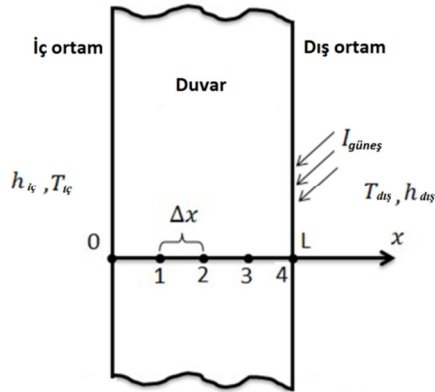
Bu analizde konik geometriye gelen ışınımın hesaplanmasındaki kolaylık açısından, konik çatı sekizgen piramit şeklinde modellenmiştir. Sekizgen piramidin her bir yüzeyi kuzey, güney, doğu, batı, kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu ve güneybatıya bakmaktadır. Konik ve düz çatılı binaların iç ortam sıcaklıklarının

karşılaştırılması için iki yapının da aynı taban alanını kapladığı, aynı malzeme ve kalınlığa sahip olduğu kabul edilmiştir. Diğer kabuller aşağıdaki gibidir;

- Isı transferi bir boyutludur çünkü duvar yüzeyi kalınlığına göre hayli geniştir.
- Dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımının saatlik ortalama değerleri kullanılmıştır.
- Isıl iletkenlik sabittir.
- Dış ortam ile bina dış yüzeyi arasındaki taşınım ısı transfer katsayısı sabittir.
- Bina iç yüzeyi arasındaki ısı transfer katsayısı sabittir ve  $h_{iç} = 2,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$  olarak kabul edilmiştir ( Wallentén, 2001)

Yukarıda tanımlanan şartlara göre Şekil 3.6'da gösterilen duvar için ısı transfer genel denklemini aşağıdaki hali alır,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.31)$$



Şekil 3.6 Duvar ve çatı konfigürasyonu

Duvarlar ve çatının dış yüzeyindeki ısı transferi; güneş ışınımı, taşınım, gökyüzüyle olan ısı transferini içermektedir. Duvarlar içerisinde ise iletim ısı transferi gerçekleşmektedir. Sağ ve sol sınırlar için sınır şartları

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_{dış} (T_{dış} - T_4) + \kappa I + \varepsilon \sigma (T_{gökyüzü}^4 - (T_4 + 273)^4) \quad (3.32)$$

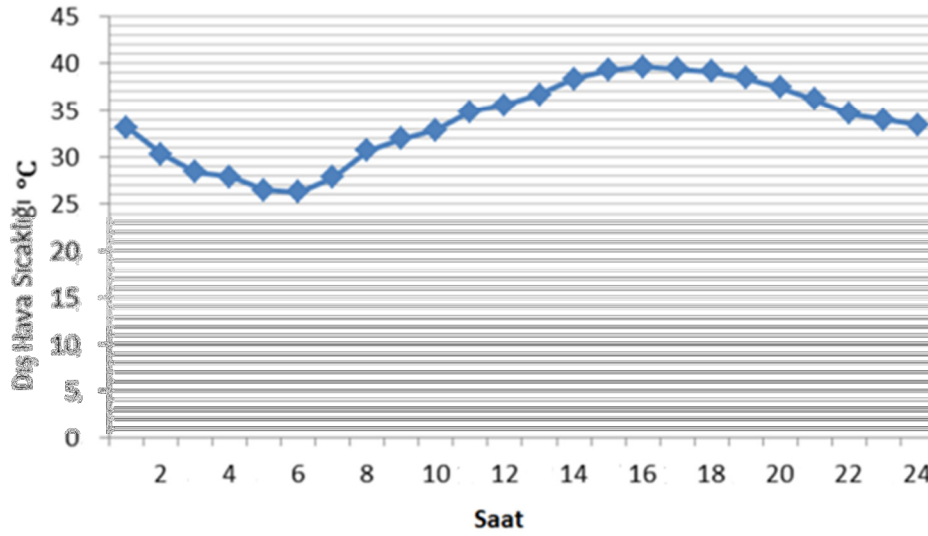
$$-k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_{i\check{c}} (T_{i\check{c}} - T_0) \quad (3.33)$$

Başlangıç şartı ise,

$$T(x, t) \Big|_{t=0} = T_{dış} \quad (3.34)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Başlangıç şartı olarak bütün duvarların, çatının ve iç hava sıcaklığının sabah saat 6.00'daki dış ortam havası sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Şekil 3.7'de dış hava sıcaklığın saat 6.00'da en düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7. Şanlıurfa için yaz dönemi saatlik dış hava sıcaklığı ortalaması

Düğüm arası mesafe  $\Delta x = 0,03 \text{ m}$  alındığında M düğüm sayısı  $M = \frac{L}{\Delta x} + 1 = \frac{0,12}{0,03} + 1 = 5$  olur, böylelikle 1 iç, 1 dış ve 3 iç düğüm ( 1, 2, ve 3 olarak gösterilen) olmak üzere 5 bilinmeyen düğüm vardır. Aşağıdaki denklemler sırasıyla sol ( düğüm 0) ve sağ (düğüm 4) sınırlarına enerji dengesi uygulanarak elde edilmiştir,

$$h_{iç}A(T_{iç}^i - T_0^i) + kA \frac{T_1^i - T_0^i}{\Delta x} = \rho A \frac{\Delta x}{2} c \frac{T_0^{i+1} - T_0^i}{\Delta t} \quad (3.35)$$

$$h_{dış}A(T_{dış}^i - T_4^i) + \kappa AI + \varepsilon \sigma A (T_{dış}^4 - (T_4^i + 273)^4) + kA \frac{T_3^i - T_4^i}{\Delta x} = \rho A \frac{\Delta x}{2} c \frac{T_4^{i+1} - T_4^i}{\Delta t} \quad (3.36)$$

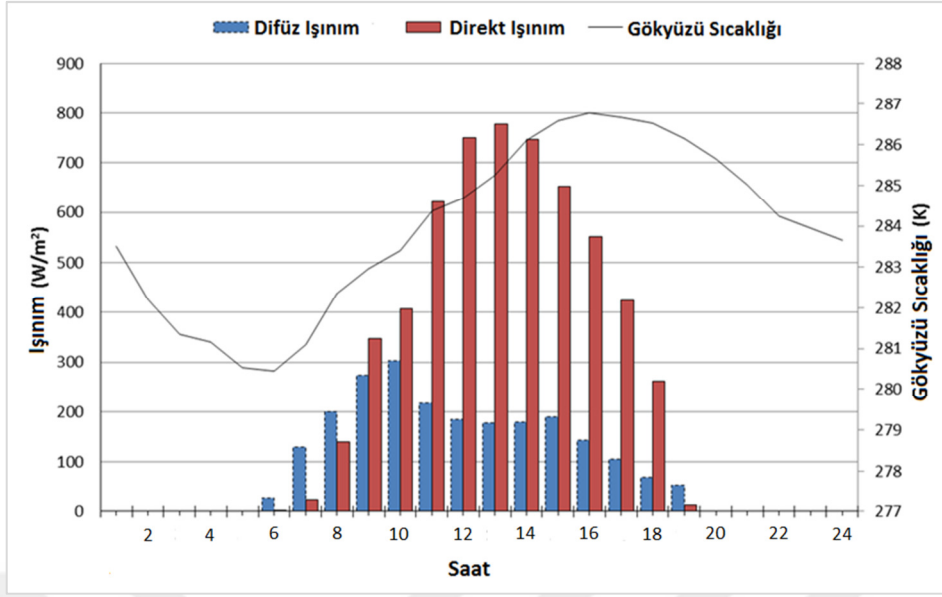
İç düğümler için eşitlik ise

$$kA \frac{T_{m-1}^i - T_m^i}{\Delta x} + kA \frac{T_{m+1}^i - T_m^i}{\Delta x} = \rho c A \frac{\Delta x}{2} \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.37)$$

denklemlerle ifade edilir.

Yukarıdaki ifadelerde,  $\kappa = 0.63$  güneş ışınımı soğurganlığıdır,  $A$  yüzey alanıdır ( $m^2$ ),  $I$  duvar ve çatı yüzeyine düşen ışınımıdır ( $W/m^2$ ),  $\varepsilon$  ise duvarın yayıcılığıdır ve değeri 0.93'tür (Çengel 2011).  $\sigma$  Stefan-Boltzmann sabitidir ( $W/m^2 K^4$ ),  $\Delta x$  düğümler arası mesafedir,  $T_m^i$  ise  $m$  düğümünün  $t$  zamanındaki sıcaklığıdır. Duvar ve çatının ısı iletkenliği  $k$ 'dir ve değeri  $= 0.72 W/m^\circ C$ 'dir.  $c$  duvarın özgül ısıdır,  $\rho$  ise yoğunluğudur ve değerleri sırasıyla  $835 J/kg^\circ C$  ve  $1920 kg/m^3$ 'tür.

Eğik yüzeye düşen ışınımın ve ayrıca direkt, difüz ve yerden yansıyan ışınımın hesaplanmasında, Şanlıurfa için yatay yüzeye düşen ölçülmüş saatlik ışınım verileri kullanılarak Duffie ve Beckman, 1991'de verilen metot izlenmiştir. Gökyüzü sıcaklığı ise Şanlıurfa için ölçülmüş saatlik dış hava sıcaklığı ortalaması (Şekil 3.8) kullanılarak  $T_{gökyüzü} = 0,0552 (T_{dış})^{1,5}$  ifadesinden elde edilmiştir.



Şekil 3.8 Sayısal hesaplamalarda kullanılan ölçülmüş yatay yüzeye düşen saatlik ışınım ve gökyüzü sıcaklığı

Binada herhangi bir açıklık olmadığı ve iç yüzeyler arasında ışınlama ile ısı transferinin ihmal edilecek seviyede olması varsayımıyla iç ortam havasının enerji dengesi için;

$$\sum_1^j h_{iç} A_i (T_{j,t} - T_{iç}^i) + \dot{m} c_p (T_{dış} - T_{iç}^i) = \rho_h V c_h \frac{T_{iç}^{i+1} - T_{iç}^i}{\Delta t} \quad (3.38)$$

şeklinde bir ifade elde edilir.

Eşitlik (3.38)'deki  $T_{j,t}$ , ifadesi  $j$ . iç yüzeyinin  $t$  zamanındaki sıcaklığıdır ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $T_{iç}^i$ , iç ortam havasının  $t$  zamanındaki sıcaklığıdır ( $^{\circ}\text{C}$ ). İç ortam havasının yoğunluğu ve özgül ısı sırasıyla  $\rho_h = 1,164 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_v = 718 \text{ J/kg K}$ 'dir.  $V$  bina iç ortam havasının hacmidir ( $\text{m}^3$ ) ve  $\dot{m}$  ise bina iç ortamına gerçekleşen hava debisidir ( $\text{kg/s}$ ).

### 3.2. Akış Alanı Çerçevesinde Yürütülen Nümerik (CFD) Hesaplamalar

Bu bölümde Harran evinin ve düz çatılı evin çatısındaki ve duvarlarındaki taşınım ısı transfer katsayısını belirlemek amacıyla zorlanmış taşınım ile ısı transferi için üç boyutlu CFD simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda Autodesk CFD Simulation 2013 programı kullanılmıştır. Simülasyonda Harran evinin bir odasının birebir boyutları kullanılarak modelleme yapılmıştır. Düz çatılı binanın modellenmesi ise yine Harran evinin bir odasının hacmi ve taban alan eşit olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Her iki modelin doğal havalandırma performansları da karşılaştırılmıştır.

#### 3.2.1. Bina çatı ve duvar dış yüzeyindeki zorlanmış taşınım ısı transfer katsayısının hesaplanması

Bina yüzeylerinde taşınım ısı transfer katsayısı belli şartlar altında genellikle sabit kabul edilir. Yüzeyler için taşınım ısı transfer katsayısı değişik geometri ve akışa bağlı ölçümlere dayalı deneysel bağıntılar kullanılarak belirlenmektedir. Hareket eden akışkan ve bir yüzey arasındaki taşınım ısı transferi,

$$q = h(T_y - T_a) \quad (3.39)$$

eşitliğiyle ifade edilir ve eşitlikte  $q$  ısı akısı ( $W/m^2$ ),  $h$  taşınım ısı transfer katsayısı ( $W/m^2K$ ),  $T_y$  yüzey sıcaklığı ( $K$ ),  $T_a$  akışkan sıcaklığıdır ( $K$ ).

Autodesk CFD Simulation 2013'de taşınım ısı transfer katsayısı iki şekilde hesaplanabilmektedir.

$$h(x) = \frac{q(x)}{T_y(x) - T_a(x)} \quad (3.40)$$

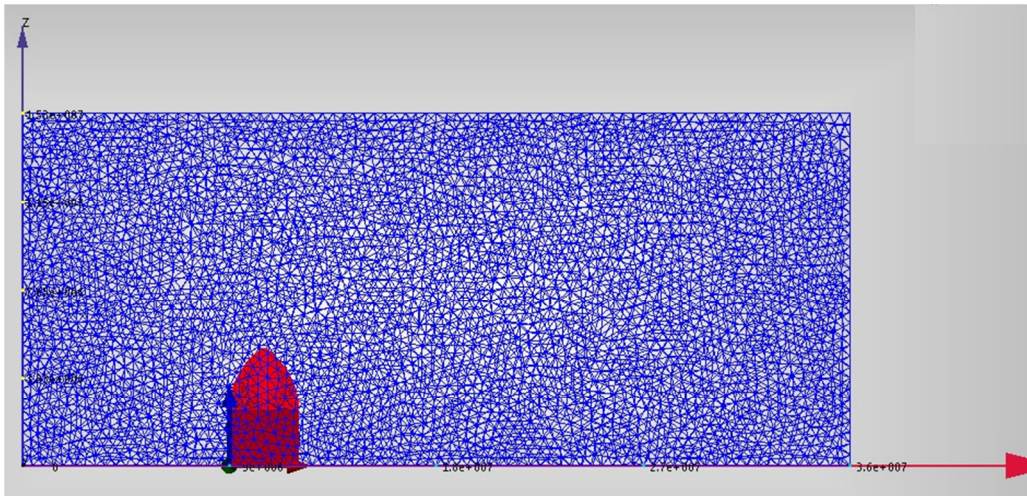
1. Akışkan sıcaklığı için bir değer girilerek; taşınım katsayısı ısı akısına ve girilen akışkan sıcaklığı ve duvar sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak hesaplanır. Harran evi ile düz çatılı binanın çatılarından gerçekleşen taşınım

katsayılarının hesaplanmasında bu yöntem izlenmiştir. Yukarıdaki eşitlikteki  $T_a(x) = 293 K$  belirlenen çevre şartlarında sabit bir değer olarak girilmiş ve analizi yapılan bina yüzey sıcaklığı ise  $T_y(x) = 303 K$  olarak sabit kabul edilmiştir,

$$h(x) = \frac{q(x)}{303-293} \quad (3.41)$$

2. Taşınım katsayısı yüzey sıcaklığı ve yüzeye en yakın akış düğümündeki sıcaklık farkına bağlı olarak hesaplamaktadır.

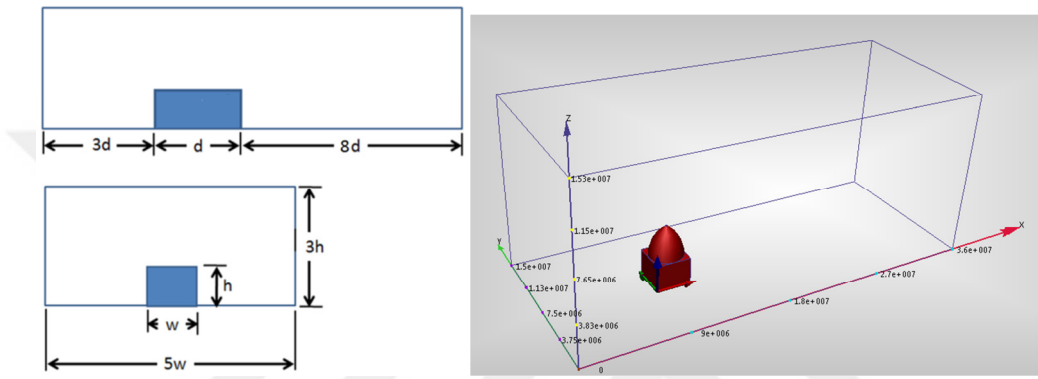
Katı sınır yüzeylerinde “kaymama” (no-slip) sınır koşulu ve sıfır pürüzlülük kabulüyle sabit sıcaklık şartı uygulanmıştır. Hesaplama alanı Şekil 3.10’da gösterildiği gibi kabul edilmiştir, binalar giriş düzleminden 9 metre (3d) uzağa yerleştirilmiştir. Hesaplama alanının boyutları Şekil 3.10’da görüldüğü gibi 15.3 m x 15 m x 36 m’dir. Mesh çeşidi ve boyutu bilgisayar hafıza ve hızına bağlı olduğu için, mümkün olan maksimum mesh boyutu yaklaşık 1.5 milyon hücreden oluşmuştur. Ayrıca mesh yoğunluğundan bağımsız bir çözüm elde etmek amacıyla simülasyonlar 17 ve 20 milyon mesh boyutu içinde yürütülmüştür. Kullanılan mesh çeşidi ise tetrahedral, dört yüzeyi üçgen elemandır. Şekil 3.9’da analizde kullanılan ağ yapısı gösterilmiştir.



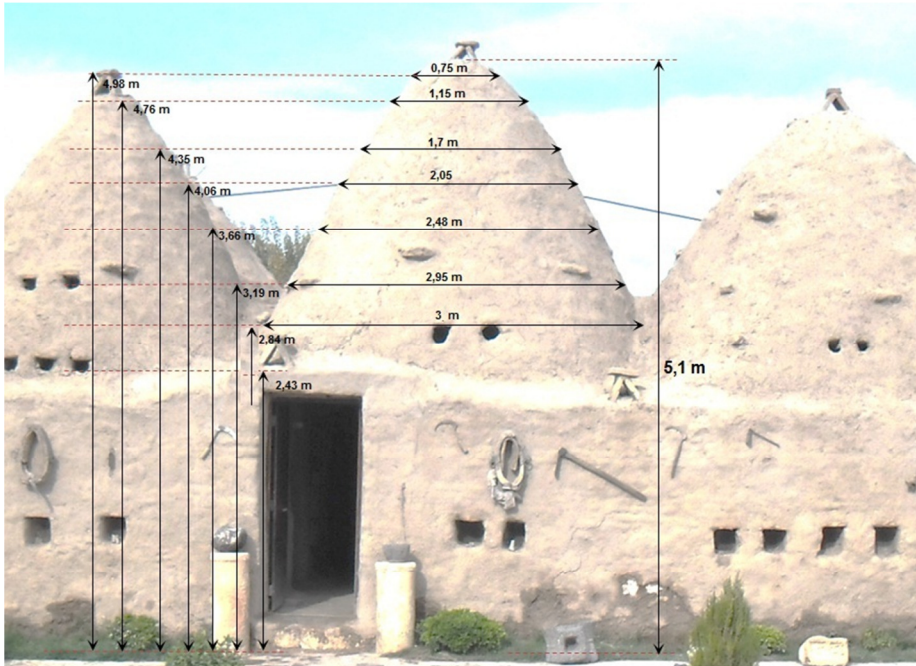
Şekil 3.9 CFD analizinde kullanılan ağ yapısı



Çeşitli türbülans modelleri kullanılarak bina yüzeyindeki taşınım katsayısının hesaplanmasıyla ilgili literatürde yapılan çalışmalara (Blocken ve ark. 2009; Defraeye ve ark. 2009; Defraeye ve ark. 2010) bakıldığında, CFD simülasyon sonuçlarının deneysel verilerle uygunluk gösteren modeli LRNM k- $\epsilon$  türbülans modeli olmuştur. Bu nedenle Harran evinin ve düz çatılı binanın çatısındaki taşınım ısı transfer katsayısının hesaplanmasında LRNM k- $\epsilon$  türbülans modeli ve karşılaştırma amacıyla standart k- $\epsilon$  modeli kullanılmıştır.

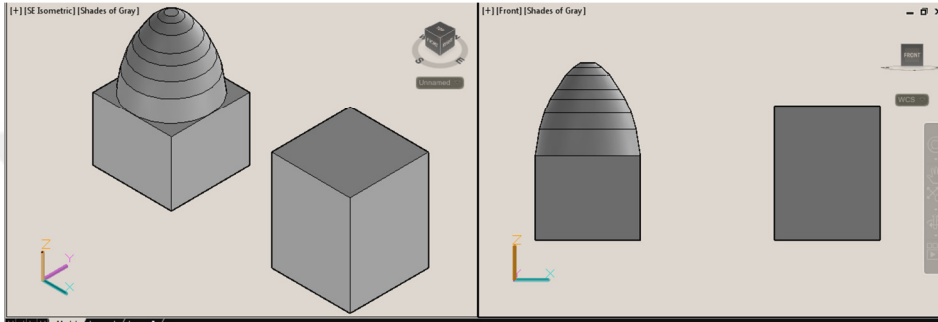


Şekil 3.10 CFD analizinde kullanılan hesaplama alanı boyutları ve Autodesk CFD Simulation 2013 görünümü



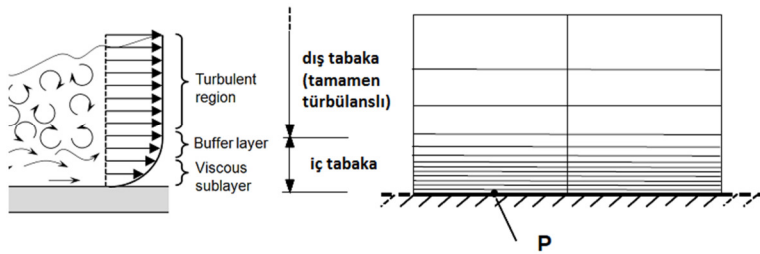
Şekil 3.11 İncelenen Harran evi ve boyutları

Şekil 3.11’de görülen Harran evinin bir odasının boyutları kullanılarak Şekil 3.12’de gösterildiği gibi AutoCad 2012’de odanın çizimi yapılmıştır. Görüldüğü üzere oda 3x3 metrekare taban alanına sahip olup 5.1 m yüksekliğindedir ve hacmi  $\sim 26.1 \text{ m}^3$ ’tür. CFD analizinde karşılaştırılması yapılacak düz çatılı binanın taban alanı ve hacmi Şekil 3.11’deki Harran evinin aynı ölçülerine sahip olacak şekilde çizilmiştir. Düz çatılı binanın taban alanı yine 3x3 metrekare ve yüksekliği  $\sim 2.9$  metredir.



Şekil 3.12 Aynı taban alanına ve hacme sahip Harran evi ve düz çatılı evin Autocad görüntüsü

Low-Re  $k-\varepsilon$  türbülans modeli Şekil 3.13’de gösterildiği gibi bütün sınır tabakayı her bir bölgeye hücreler yerleştirerek çözmektedir. Vizkoz alt tabaka kalınlığı akış Reynolds sayısının artmasıyla birlikte azalmaktadır ve bina çevresinde rüzgar akış Reynolds sayısı  $10^5 - 10^7$  aralığındadır. Bina dış yüzeyindeki vizkoz alt tabaka  $10 \text{ mm} - 100 \mu\text{m}$  aralığındadır. Bu nedenle bina yüzeyine yakın bölgede çok yüksek ağ çözünürlüğüne ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 3.13 Low-Re  $k-\varepsilon$  türbülans modelinin ağı, P duvara komşu hücrenin merkezini simgelemektedir.

$y^+$  sayısı yerel Reynolds sayısına benzeyen boyutsuz bir sayıdır ve bu değer duvara komşu hücrelerin laminar mı yoksa türbülanslı mı olduğunu belirler.  $y^+ < 5$

akışkan viskoz alt tabakada olduğunu ve hız profilinin laminar olduğunu gösterir.  $y^+$  sayısı,

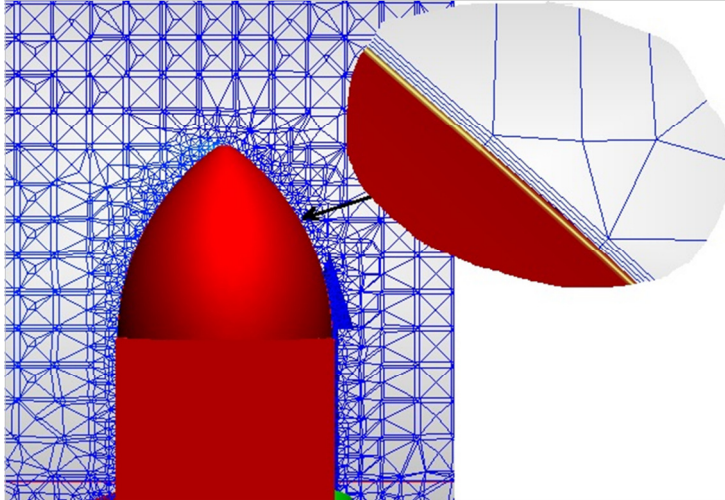
$$y^+ = \frac{u_{\tau} \text{ hava } y_p}{\nu_{\text{hava}}} \quad (3.42)$$

ile ifade edilir. Eşitlikteki  $y_p$ , Şekil 3.13'te de gösterildiği gibi P noktasının duvara olan uzaklığı,  $\nu$  kinematik viskozite,  $u_{\tau}$  ise sürtünme hızıdır,

$$u_{\tau} = \sqrt{\frac{\tau_d}{\rho}} \quad (3.43)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $\tau_d$ , duvar kayma gerilmesi,  $\rho$  ise hava yoğunluğudur.

Autodesk CFD Simulation 2013'de Low-Re k- $\epsilon$  türbülans modelini kullanırken ağ oluşturma aşamasında “mesh enhancement” yani “ağ artırma” ile bu sınır tabaka bölgesine ağ ekleyerek daha hassas çözüm yapılabilir. Şekil 3.14'de Harran kubbeli evinin dış yüzeyinde gerçekleştirilen ağ artırma işlemi gösterilmektedir.



Şekil 3.14 Low-Re k- $\epsilon$  Türbülans modeli kullanılarak yapılan çözüm için kullanılan ağ yapısı

Akışkanlar dinamiğinde, “law of wall” olarak bilinen cidar kuralı, belirli bir noktadaki türbülanslı akışın ortalama hızının duvardan noktaya olan mesafesinin logaritmasıyla doğru orantılı olduğunu ifade eder. Standart k- $\epsilon$  Türbülans modeli

cidar kuralını kullanır ve analiz sonucunda pratik bir yaklaşımla  $30 < y^+ < 300$  aralığında olması istenir.

Gerçekleştirilen simülasyonlarda giriş düzlemindeki 2 m/s rüzgar hızı ve çıkış düzleminde ise 0 statik basınç değeri sınır şartları olarak kullanılmıştır. Yine hesaplama bölgesinin zemininde hız 0 m/s kabul edilmiş, hesaplama zamanından tasarruf açısından hesaplama bölgesinin iki yan yüzeyi için Autodesk CFD Simulation 2013'deki Slip/Symmetry sınır şartı kullanılmıştır.

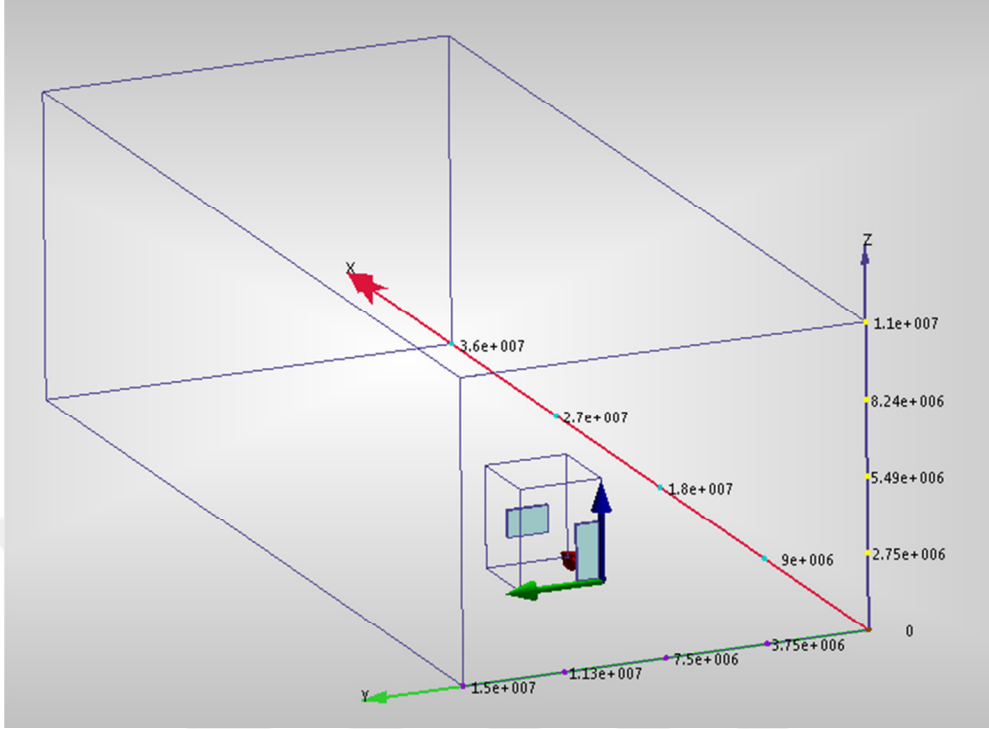
### 3.2.2 Çatı geometrisinin iç hava hareketine ve havalandırma akış hızına etkisinin incelenmesi

Bu bölümün amacı, bir bina parametresi olan çatı geometrisinin iç ortam doğal havalandırma koşullarına etkisini belirlemektir. Mimaride, doğal havalandırma sıklıkla iç ortam mikro iklimini ve ısı konforunu iyileştirmek amacıyla binalarda sıklıkla kullanılan düşük enerjili, çevreci bir çözümdür. Bu analizde geleneksel Harran evleriyle, modern düz çatılı binaların doğal havalandırma açısından incelenmesi yapılmıştır.

Doğal havalandırma tanım olarak iç ortam ile dış ortamdaki havanın doğal mekanizmalar ile değişme işlemidir. Bu çalışmada CFD modelleri kullanarak çatı geometrisinin rüzgar akış desenine ve hacimsel akış debisine etkileri incelenmiştir.

Standart  $k - \varepsilon$  türbülans modelinin birçok mühendislik uygulamalarında etkili olduğu ispatlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar da dikkate alınarak bu iki çatı tipine ait modellerin simülasyonu için  $k - \varepsilon$  türbülans modeli seçilmiş (Nguyen ve Reiter, 2011) ve Autodesk CFD Simulation 2013 programı kullanılmıştır.

Şekil 3.12'deki modellerin rüzgar üstü duvar tarafına 0.8 m x 1.98 m boyutunda kapı ve rüzgar altı duvar tarafında 1.5 m x 1 m boyutlarında pencere eklenmiştir. Havalandırma analizine ilişkin hesaplama bölgesi ve düz çatılı model Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Havalandırma simülasyonunda kullanılan hesaplama bölgesi

Hacimsel debi çapraz havalandırma modeli için Bernoulli denklemine göre deneysel metotla,

$$\dot{V} = C_d A U_{ref} \sqrt{Cp_{giriş} - Cp_{iç}} \quad (3.44)$$

gibi hesaplanır. Burada  $C_d$  debi çıkış katsayısıdır, keskin köşeli orifisler için 0.6 kabul edilir.  $A$  açıklığın alanı ( $m^2$ ),  $U_{ref}$  yaklaşan rüzgarın bina yüksekliğindeki ortalama hızı (m/s),

$$Cp_{iç} = (Cp_{giriş} + Cp_{çıkış})/2 \quad (3.45)$$

olmak üzere,  $Cp_{giriş}$  ile  $Cp_{çıkış}$  ise  $\Delta P / 0,5\rho U_{ref}^2$  ifadesine eşittir ve  $Cp_{iç}$ 'in belirlenmesinde kullanılan katsayılarıdır.

Çapraz havalandırma modeli için akışkan sıkıştırılmaz kabul edildiğinden y hacimsel debi ayrıca,

$$\dot{V} = UA \quad (3.46)$$

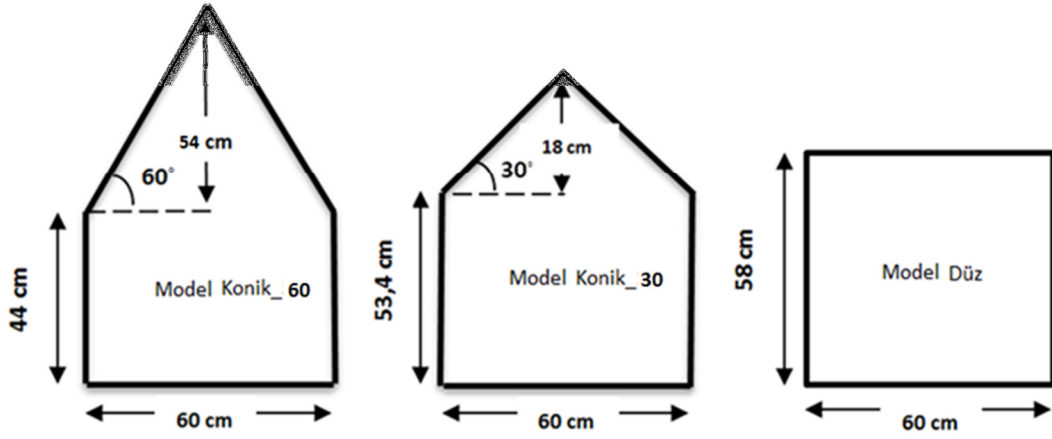
formülüyle de hesaplanmıştır. Burada A giriş açıklığının alanı (m<sup>2</sup>) ve U ise bu açıklıktan akan akışkanın hızıdır (m/s).

### 3.3 Konik ve Düz Çatılı Yapıların Deneysel Olarak İncelenmesi

Bir yapı elemanının sıcaklık farkına bağlı olarak birim alanı başına ısı kaybını tanımlayan toplam ısı transfer katsayısı (U-değeri), taşınım, iletim, ışınım gibi ısı transferinin bütün etkilerini kapsamı nedeniyle, konik ve düz çatılı geometrilere hangisinin ısı transferine daha dirençli olduğunu belirlemek amacıyla adyabatik hazne tekniğiyle deneysel olarak irdelenmiştir. Bu sayede aynı hacme ve aynı taban alanına sahip farklı çatı geometrilerinin ısıl performanslarının tespit edilmesi mümkün olmuştur. Tüm duvarlar ve tabanın yalıtıldığı, sadece çatının metalden imal edildiği bu yöntemle çatının iç ortam havasına direk etkisi ve çatıdan doğal taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferinin mertebesi direkt olarak incelenebilmiştir.

#### 3.3.1 Modellerin imal edilmesi

Şekil 3.16'da gösterilen konik\_60 modeli, Harran evinin bir odasının 1/5 oranında küçültülmüş halidir. Düz ve konik\_30 modelleri ise konik\_60 ile aynı hacme ve aynı taban alanına sahiptirler.



Şekil 3.16 Deneyde kullanılan modellerin iç hacim boyutları ve çatı açıları

Şekil 3.16'da görüldüğü üzere konik\_30 ve konik 60 modellerinin çatılarının yatayla eğimi sırasıyla  $30^\circ$  ve  $60^\circ$ 'dir. Modellerin duvarları ve zemini ısı iletkenliği  $k = \sim 0,040 W/mK$  olan 15 cm kalınlığında genişleştirilmiş polistrenden imal edilmiştir. Çatılar ise 1,5 mm kalınlığında  $15,6 W/mK$  ısı iletkenliğe sahip galvanizli demir sacdan imal edilmiştir Şekil 3.17'de imal edilen bütün modeller gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Model konik 30, düz ve konik 60



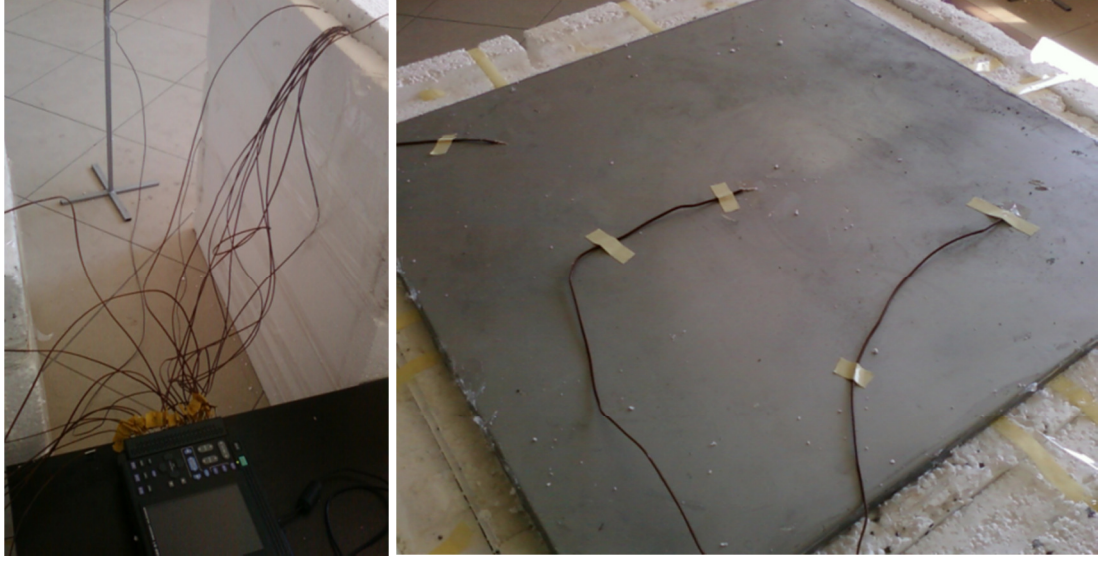
Şekil 3.18 İstııcı rezistanslı su haznesi ve alüminyum folyo ile kapatılıp zemine yerleştirilmiş hali

Her bir modelin zeminine sacdan imal edilmiş su ısıtıcı rezistans monteli hazneler yerleştirilmiş ve içerisine su konularak üzeri alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Şekil 3.18’de bu durum gösterilmektedir. Çatılar yerleştirildikten sonra iç ortam havasının kaçışını engellemek için birleşme noktaları silikon yapıştırıcıyla kapatılmıştır.

### 3.3.2 Kullanılan ölçüm cihazları

Deneylerde T tipi ısı çifti kullanılarak sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Isıl çiftlerle sıcaklık okuma hatası  $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$  civarındadır. Modeli içi ve yüzeylere ait sıcaklık ölçüm noktaları Şekil 3.20’de detaylı gösterilmektedir. Ayrıca ortam sıcaklığına ek olarak deney düzeneğinin bulunduğu oda duvar yüzey sıcaklıkları da ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümleri 10 dakikalık aralıklarla yapılmış ve verileri kaydetmek için 32 kanallı veri kaydedici kullanılmıştır Şekil 3.19’da kullanılan veri kaydedici gösterilmiştir.

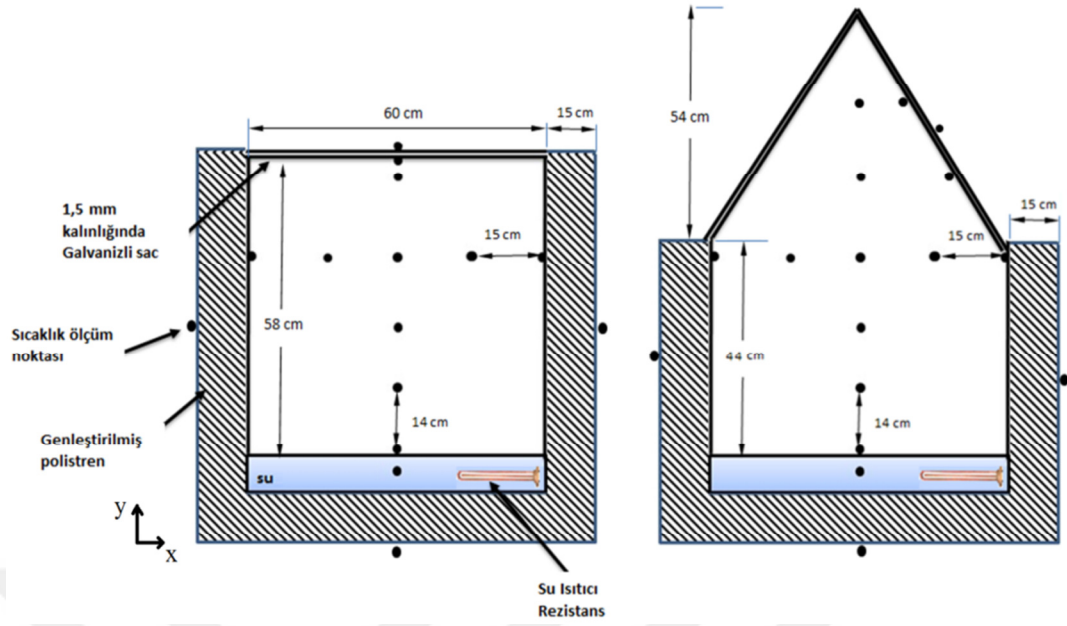




Şekil 3.19 Deneyde kullanılan veri kaydedici ve çatı dış yüzeyine ısı çiftlerinin yerleştirilmesi

### 3.3.3 Deneylerin gerçekleştirilmesi ve kabuller

Hazne içerisindeki su belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmış ve daha sonra elektrik bağlantısı kesilerek soğumaya bırakılmıştır. Deneyler kapalı bir alanda gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında modellerin duvar ve zemin dış yüzey sıcaklığı ile dış ortam havası sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı ortalamasının  $0,5^{\circ}\text{C}$  civarında olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık gradyanının Şekil 3.20’de gösterilen dikey yönde (y eksenini boyunca) olduğu kabul edilmiştir. Yatay yönde (x eksenini) ise ihmal edilebilir olduğu kabul edilmiştir. Yüzeyle ilgili hesaplamalarda kullanılırken, o yüzeyin birçok noktasında ölçülmüş sıcaklıkların ortalaması alınmıştır. Yüzeylerin izotermal olduğu kabul edilmiştir. Aynı şekilde model iç ortam sıcaklığı da Şekil 3.20’de görüldüğü gibi altı farklı noktadaki ölçümlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir.



Şekil 3.20 Model-Düz ve Model-Konik\_60'a ait deney düzeneği ve sıcaklık ölçüm noktaları

Deneyler sonucunda elde edilen veriler incelenirken; boyutsuz sıcaklıklar yöntemi, logaritmik ortalama sıcaklık farkı yöntemi ve enerji dengesi yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

### 3.3.4 Boyutsuz sıcaklıklar yöntemi

Farklı çatı geometrilerine sahip bu yapı modellerin test edilmesi aynı anda olmamıştır dolayısıyla dış ortam sıcaklıkları farklı olabilmektedir. Aynı şekilde, deney başlangıcında yani soğuma periyodu başlangıcında haznedeki su sıcaklıkları modellere göre az da olsa değişebilmektedir. Modeller arası objektif bir kıyaslamannın yapılması açısından bu farkları ortadan kaldıran bir yaklaşım, boyutsuz sıcaklık değerinin kullanımındır (Yeşilata ve Turgut, 2007). Boyutsuz sıcaklık,

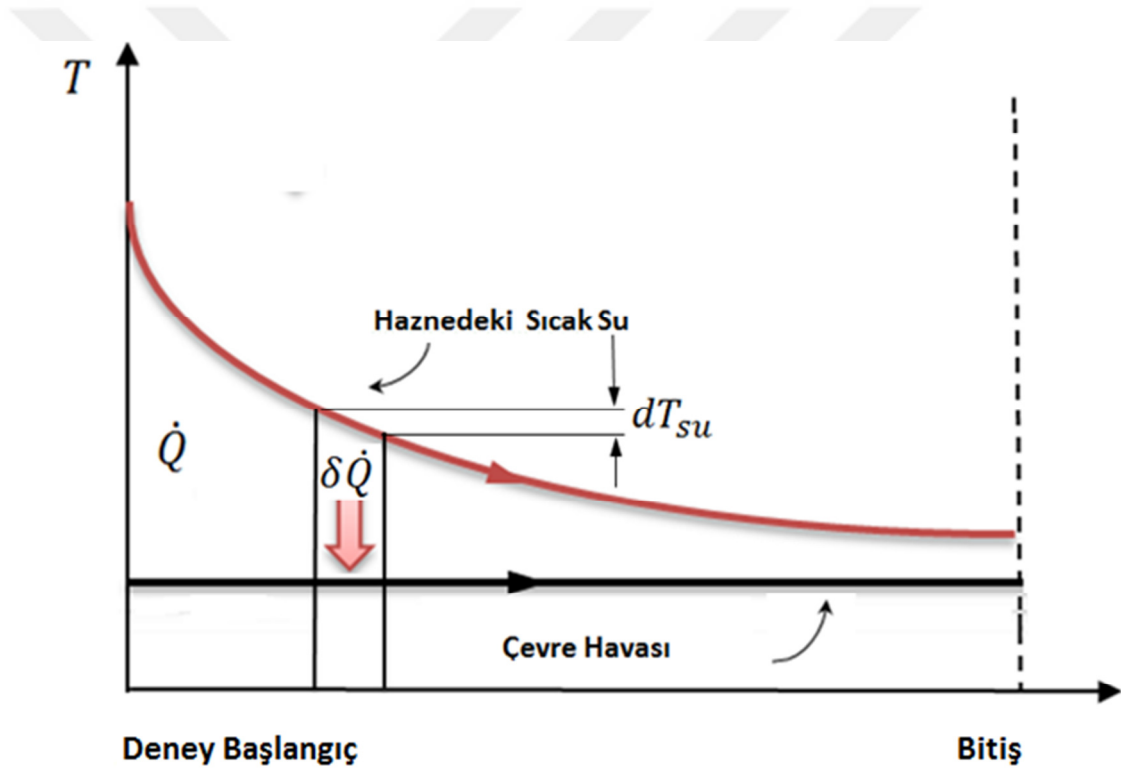
$$\theta^* = \frac{T(t) - T_0}{T(t=0) - T_0} \quad (3.47)$$

denklemleri ile tanımlanmakta ve denklemlerdeki,  $T(t=0) = T_i$  deney başlangıcındaki su sıcaklığını ve  $T(t)$  ise herhangi bir 't' anındaki hazne içi su sıcaklığını göstermektedir.  $T_0$  çevre sıcaklığıdır. Dolayısıyla boyutsuz sıcaklık parametrelerinin

kıyaslanmasıyla bu farklı çatı tiplerine ait yapı modellerinin, yalıtım özelliklerinin kıyaslanabilmesi mümkün olabilecektir.

### 3.3.5 Logaritmik ortalama sıcaklık farkı yöntemi

Bu bölümde Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı Yöntemine ilişkin analizde kullanılacak bağıntının elde edilmesi için Çengel (2011) tarafından önerilen yol takip edilmiştir. Modellerin dış yüzeyinin iyi yalıtıldığı kabul edilirse, Termodinamiğin birinci kanunu haznedeki sudan gerçekleşen ısı transfer hızının, dış ortam havasına olan ısı transfer hızına eşit olmasını gerektirir.



Şekil 3.21 Haznedeki suyun ve dış ortam havasının sıcaklık değişimi

Dolayısıyla ısı değiştirici gibi düşünüldüğünde Şekil 3.21’de de görüleceği üzere seçilen bir diferansiyel aralıkta hazne içi sıcak suya ait enerji dengesi,

$$\delta\dot{Q} = -\dot{m}_{su}c_{p,su}dT_{su} \quad (3.48)$$

ve çevre havası için enerji dengesi,

$$\delta\dot{Q} = \dot{m}_{hava}c_{p,hava}dT_{\zeta} \quad (3.49)$$

olarak yazılabilir. Yukarıdaki eşitlikler  $dT_{su}$  ve  $dT_{\zeta}$  için çözümlerse,

$$dT_{su} = -\frac{\delta\dot{Q}}{\dot{m}_{su}c_{p,su}} \quad (3.50)$$

ve

$$dT_{\zeta} = \frac{\delta\dot{Q}}{\dot{m}_{hava}c_{p,hava}} \quad (3.51)$$

elde edilir. Bu eşitliklerin diferansiyelleri alınarak,

$$dT_{su} - dT_{\zeta} = d(T_{su} - T_{\zeta}) = -\delta\dot{Q}\left(\frac{1}{\dot{m}_{su}c_{p,su}} + \frac{1}{\dot{m}_{hava}c_{p,hava}}\right) \quad (3.52)$$

ifadesi elde edilir. Modellerin çatılarının bir diferansiyel bölgesinde ısı transfer hızı,

$$\delta\dot{Q} = U(T_{su} - T_{\zeta})dA_{\zeta atı} \quad (3.53)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Bu ifade 3.52'de yerine yazılır ve düzenlenirse,

$$\frac{d(T_{su}-T_{\zeta})}{T_{su}-T_{\zeta}} = -U dA_{\zeta atı} \left(\frac{1}{\dot{m}_{su}c_{p,su}} + \frac{1}{\dot{m}_{hava}c_{p,hava}}\right) \quad (3.54)$$

bulunur ve deney başlangıcından bitişine kadar integre edilerek,

$$\ln \frac{(T_{su,i}-T_{\zeta})}{(T_{su,f}-T_{\zeta})} = -UA_{\zeta atı} \left(\frac{1}{\dot{m}_{su}c_{p,su}} + \frac{1}{\dot{m}_{hava}c_{p,hava}}\right) \quad (3.55)$$

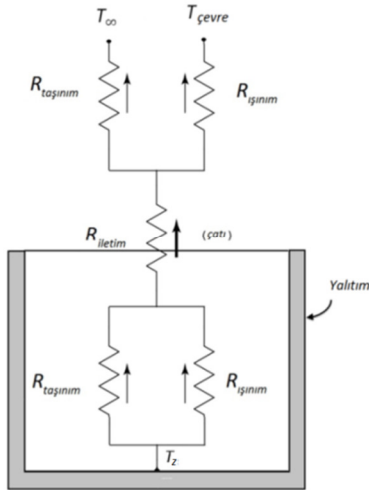
elde edilir.  $\dot{m}_{hava}c_{p,hava} \rightarrow \infty$  olduğundan, Logaritmik ortalama sıcaklık yöntemine bağlı  $U$  değeri aşağıdaki gibi hesaplanır (Cruickshank ve Harrison, 2010),

$$U_{LMTD} = \frac{m_{su} c_p}{A_{\text{çatı}} t_{\text{deney}}} \ln \left[ \frac{(T_{su,i} - T_{\text{ç}})}{(T_{su,f} - T_{\text{ç}})} \right] \quad (3.56)$$

burada  $m_{su}$  haznedeki suyun kütlesi,  $c_p$  haznedeki suyun özgül ısısı,  $A_{\text{çatı}}$  çatı alanı,  $t_{\text{deney}}$  deney süresi,  $T_{su,i}$  deney başlangıcında haznedeki suyun sıcaklığı,  $T_{su,f}$  deney bitiminde haznedeki suyun sıcaklığı ve  $T_{\text{ç}}$  ise çevre sıcaklığıdır.

### 3.3.6 Enerji dengesi yöntemi

Bu yöntemle toplam ısı transfer katsayısı ve her modelin iç ortamına ve çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım ısı transfer katsayıları hesaplanabilmektedir. Hesaplama prosedürü her bir modelin çatısına uygulanan enerji dengesine dayanmaktadır. Çatı yüzeyinden dış ortam havasına gerçekleşen toplam ısı transferi (Eşitlik 3.57) taşınım (Eşitlik 3.58) ve ışıınım (Eşitlik 3.59) transferini içermektedir Şekil 3.22’de bütün bu etkileşimler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.22 Düz çatılı modelin iç ortam ve dış ortama ait taşınım ve ışıınım dirençlerinin şematik gösterimi

$$q_{\text{toplam}} = q_{t,\text{ç}} + q_{\text{ış},\text{ç}} \quad (3.57)$$

$$q_{t,\text{ç}} = h_{\text{ç}} (T_{d,y} - T_{\text{çevre}}) \quad (3.58)$$

$$q_{i\varsigma,\zeta} = \varepsilon\sigma(T_{d,y}^4 - T_{\infty}^4) \quad (3.59)$$

Buradaki toplam ısı transferi ( $q_{toplam}$ ) çatıdan iletimle gerçekleşen ısı transferine eşittir, dolayısıyla, çatı dış yüzeyindeki doğal taşınım ısı transfer katsayısı,

$$h_{\zeta} = \frac{k_{\zeta} \frac{T_{i,y} - T_{d,y}}{L_{\zeta}} - \varepsilon\sigma(T_{d,y}^4 - T_{\infty}^4)}{(T_{d,y} - T_{\zeta evre})} \quad (3.60)$$

ifadesiyle bulunur ve ışınım ısı transfer katsayısı ise ,

$$h_{i\varsigma} = \varepsilon\sigma(T_{d,y}^2 + T_{\infty}^2)(T_{d,y} + T_{\infty}) \quad (3.61)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Eşitlikteki sıcaklık değerleri Kelvin cinsindedir ve deneyler süresince  $T_{\zeta evre} \approx T_{\infty}$  olduğu gözlemlenmiştir. Birleşik ısı transfer katsayısı ise,

$$h_{birleşik} = h_{\zeta} + h_{i\varsigma} \quad (3.62)$$

şeklinde bulunabilir.

### 3.3.7 Doğal taşınım için boyutsuz parametreler

$Gr/Re^2$  parametresi doğal taşınımın zorlanmış taşınım ile ilişkisinin göreceli önemini belirten bir ölçüttür.  $Gr/Re^2 \cong 1$  ise doğal taşınım ile zorlanmış taşınım aynı derecede önemlidir ve her ikisi de dikkate alınmalıdır.  $Gr_L/Re_L^2 \ll 1$  durumunda zorlanmış taşınım baskındır ve doğal taşınım ihmal edilebilir.  $Gr_L/Re_L^2 \gg 1$  olduğu durumlarda ise doğal taşınım baskındır ve zorlanmış taşınım ihmal edilebilir. Gazlarda  $Pr \cong 1$  doğal taşınım için Nusselt sayısı Grashof sayısının bir fonksiyonudur. Literatürde doğal taşınım ısı transferi ile ilgili daha önceki deneysel çalışmalara dayanan bazı durumlar için bağıntılar mevcuttur. Doğal taşınımda ortalama Nusselt sayısı (Nu) için basit ampirik bağıntılar,

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = C(Gr_L Pr)^n = CRa_L^n \quad (3.63)$$

Şeklindedir (Çengel, 2011). Burada  $Ra_L$ , Grashof ve Prandtl sayılarının çarpımı olan Rayleigh sayısıdır,

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c}{\nu^2} Pr \quad (3.64)$$

Yatay yüzeyler için  $L_c$  karakteristik uzunluk,

$$L_c = \frac{A_s}{p} \quad (3.65)$$

şeklindedir.  $A_s$  yüzey alanı ve  $p$  çevredir.  $C$  ve  $n$  sabitlerinin değerleri, yüzey geometrisine ve Rayleigh sayısının aralığı ile tanımlanan akış rejimine bağlıdır. Model\_Düz'ün çatısı yatay sıcak yukarı dönük plakanın soğutulması olarak değerlendirilmiştir. Deneyler süresince bu çatı için  $Ra$  sayısı  $10^4 - 10^7$  aralığında olduğu gözlemlenmiş ve bu aralık için literatürdeki,

$$Nu = 0,54 Ra_L^{1/4} \quad (\text{McAdams, 1954}) \quad (3.66)$$

bağıntısı kullanılarak çatı dış yüzeyindeki ortalama ısı transfer katsayısı belirlenmiştir.

Isı transferinin yönü dikey doğrultuda olduğu için, zeminle çatı arasındaki kapalı aralıkta aynı şekilde enerji dengesi yazılabilir. Çatıya gerçekleşen toplam ısı transferi, ışınımı (Eşitlik 3.68), taşınım (Eşitlik 3.67) ve iletimi (Eşitlik 3.69) içermektedir.

$$q_{t,i} = h_{iç}(T_z - T_{i,y}) \quad (3.67)$$

$$q_{ış,i} = \sigma \frac{(T_z + 273)^4 - (T_{i,y} + 273)^4}{\left(\frac{1 - \epsilon_z}{\epsilon_z}\right) + \left(\frac{1}{F_{12}}\right) + \left(\frac{1 - \epsilon_ç}{\epsilon_ç}\right)} \quad (3.68)$$

burada  $F_{12}$  görüş faktörüdür.

$$q_{il,i} = k_h * \frac{T_z - T_{i,y}}{L} \quad (3.69)$$

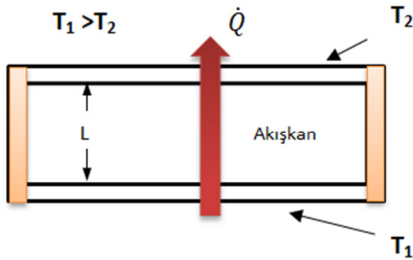
Dolayısıyla iç ortamdan çatıya gerçekleşen toplam ısı transferi çatıdan gerçekleşen iletimle ısı transferine eşittir ve

$$q_{t,i} + q_{ış,i} + q_{il,i} = k_ç \frac{T_{i,y} - T_{d,y}}{L_ç} \quad (3.70)$$

şeklinde enerji dengesi yazılabilir. Modellerin iç ortamındaki doğal taşınım ısı transfer katsayıları ise Eşitlik 3.70'den elde edilerek,

$$h_{iç} = \frac{k_ç \frac{T_{i,y} - T_{d,y}}{L_ç} - \sigma \frac{(T_z + 273)^4 - (T_{i,y} + 273)^4}{\left(\frac{1 - \varepsilon_z}{\varepsilon_z}\right) + \left(\frac{1}{F_{12}}\right) + \left(\frac{1 - \varepsilon_ç}{\varepsilon_ç}\right)} - k_h \frac{T_z - T_{i,y}}{L}}{(T_z - T_{i,y})} \quad (3.71)$$

şeklinde yazılabilir. Literatürde sabit sıcaklıkta yüzeylere sahip yatay dikdörtgen kapalı aralıklar için bağıntılar mevcuttur. Sıcak plaka altta olduğu zaman  $Ra_L > 1708$  için önemli taşınım akımları başlar ve ısı transfer hızı artar Şekil 3.23'te yatay dikdörtgen kapalı aralık şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Sabit sıcaklıkta yüzeylere sahip yatay bir dikdörtgen kapalı aralık

Düz çatılı modelin deneyleri sonucunda  $Ra_L$  aralığı ( $3 \times 10^5 < Ra_L < 7 \times 10^9$ )

$$Nu = 0,069 Ra_L^{1/3} Pr^{0,074} \quad (\text{Globe ve Dropkin, 1959}) \quad (3.72)$$

bağıntısına uygunluk göstermiştir. İç ortama ait deneysel verilerin analizi ve literatür sonuçlarıyla karşılaştırılması amacıyla bu bağıntı kullanılmıştır. Modellerin iç ortamına ve dış ortamına ait bütün taşınım ve ışıma katsayıları yukarıda verilen



ifadelerle bulunabilmektedir. Bu durumda toplam ısı direnç zemininden itibaren dikey yönde,

$$R_{Toplam} = \frac{1}{h_{iç}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{dış}} \quad (3.73)$$

şeklinde hesaplanır. Toplam ısı transfer katsayısı ise,

$$U = 1/R_{Toplam} \quad (3.74)$$

denklemleriyle belirlenebilmektedir.

### 3.3.7 Belirsizlik analizi

Deneysel çalışmadaki belirsizlikleri tanımlayan metotlar arasında en yaygın kullanılan Kline ve McClintock (1953)'a ait belirsizlik analiz metodudur. Bu yöntemle göre sistem ölçülmesi gereken büyüklük  $R$  ve bu büyüklüğe etki eden  $n$  adet bağımsız değişkenler ise  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  olsun. Bu durumda,

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (3.75)$$

yazılabilir. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  ve  $R$  büyüklüğünün hata oranı  $w_R$  ise,

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right] \quad (3.76)$$

şeklindedir.

Uzunluk ölçümündeki hatalar ihmal edilmiştir. Sıcaklık ölçümünde ortaya çıkan hatalar ise ölçüm aletlerine bağlıdır ve aşağıdaki gibidir;

- (k1) Termal çiftlerden kaynaklanan belirsizlik= $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$   
(k2) Veri kaydediciden kaynaklanan belirsizlik= $0,1^{\circ}\text{C}$   
(k3) Bağlantı noktalarından kaynaklanan belirsizlik= $0,1^{\circ}\text{C}$

Sıcaklık ölçümündeki belirsizlik aşağıdaki şekilde hesaplanır,

$$w_T = [k_1^2 + k_2^2 + k_3^2]^{1/2} = \pm 0,28^{\circ}\text{C} \quad (3.77)$$

Taşınım katsayısındaki belirsizlik Eşitlik 3.52'ye göre,

$$\frac{w_h}{h} = \left[ \left( \frac{w_Q}{Q} \right)^2 + \left( \frac{w_T}{\Delta T} \right)^2 + \left( \frac{w_{T_{\infty}}}{\Delta T} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.78)$$

şeklindedir. Burada  $w_Q$ , iletimle gerçekleşen ısı transferine ait belirsizliktir, aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\frac{w_Q}{Q} = \left[ \left( \frac{w_{T_{i,y}}}{\Delta T} \right)^2 + \left( \frac{w_{T_{d,y}}}{\Delta T} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.79)$$

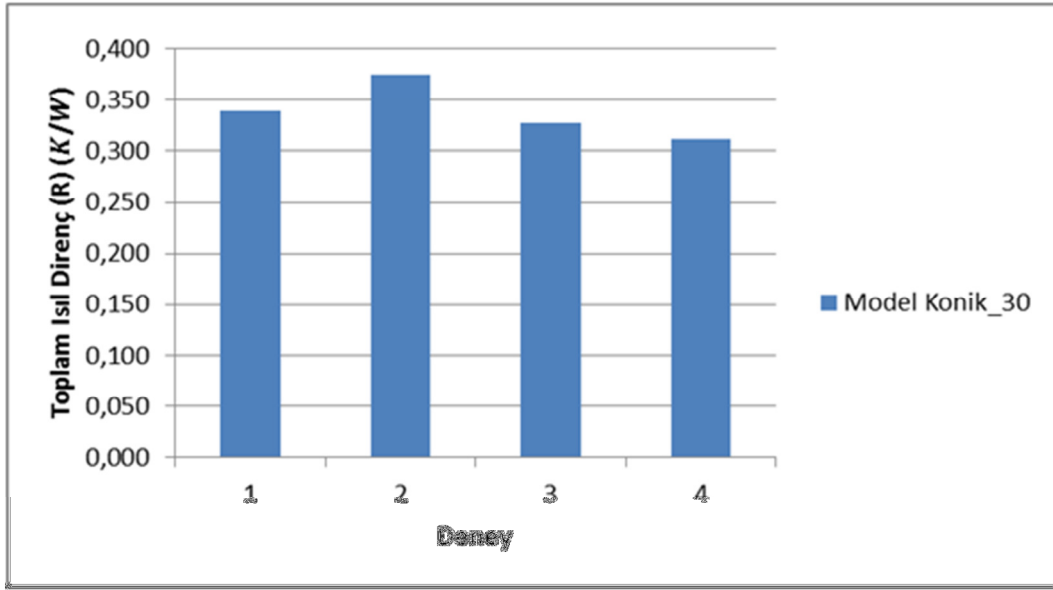
Eşitlik 3.78 düz çatılı modelin çatısından gerçekleşen iletimle ısı transferi deney süresince gözlemlenen ortalama değer  $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$  için çözüldüğünde,  $w_Q \cong \%8,1$ 'dir. Görüldüğü gibi hata oranının yüksek çıkması sıcaklık aralığının küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde  $w_h$  için yüzeyle dış ortam arasındaki sıcaklık farkı düz çatılı model için ortalama,  $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu değer için Eşitlik 3.78 çözüldüğünde  $w_h \cong \%9$  'dir. Nusselt sayısına ait belirsizlik ise,

$$w_{Nu} = \left[ \left( \frac{D}{k} w_h \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.80)$$

ifadesiyle belirlenebilir. Düz çatılı modelin çatı yüzeyine ait ortalama taşınım katsayısı  $4,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , bu değere ait hata oranı ise  $w_{Nu} \cong \%2,1$ 'dir.

### 3.3.8 Ölçümlerin tekrarlanabilirliği

Sıcaklık ölçümlerinin tekrarlanabilirliğini ölçmek amacıyla Şekil 3.24'de deney sonucunda sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan toplam ısı direnç ( $R_{toplam} = R_{iç} + R_{çatı} + R_{dış}$ ) değerlerinin deneyler sayısınca değişimi verilmiştir. Sonuçların birbirine yakınlığı sıcaklık ölçümlerinin tekrarlanabilirliğini göstermektedir.



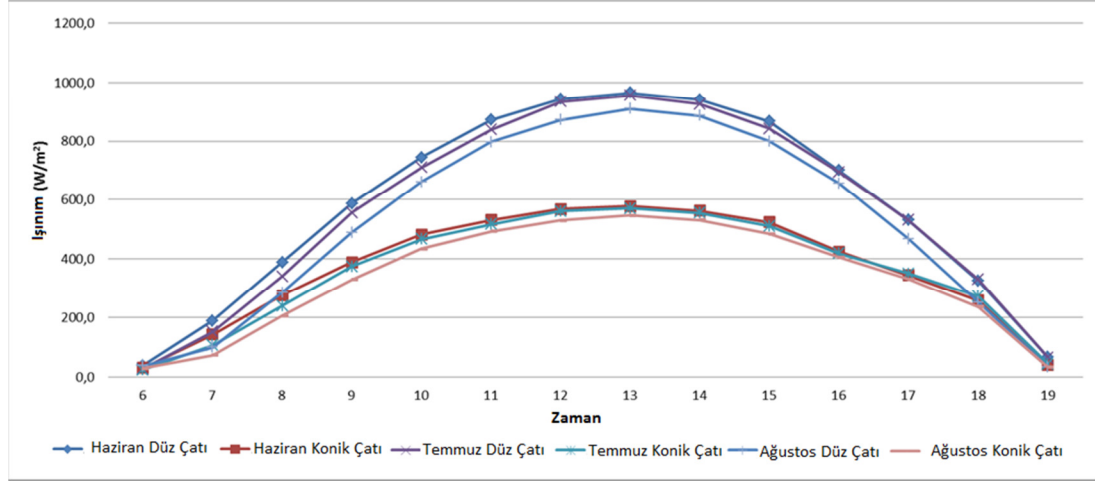
Şekil 3.24 Model Konik\_30'a ait toplam ısı direnç değerlerinin tekrarlanan deney sayısınca değişimi

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

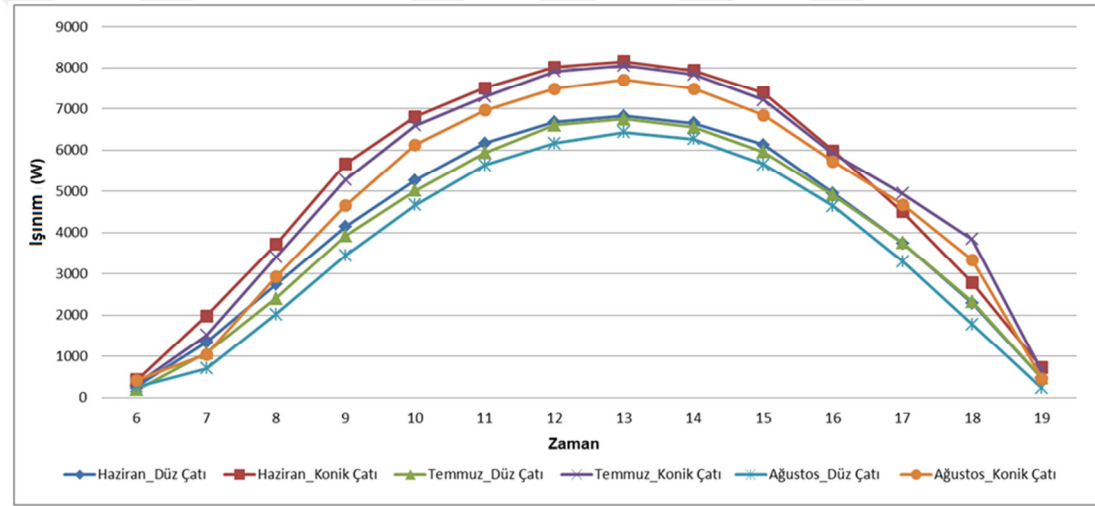
##### 4.1 Harran Evinin Çatısına ve Düz Çatıya Düşen Güneş Işınımının Karşılaştırılması

Harran evlerinin kubbeleri konik olarak kabul edilmiştir çünkü kubbenin tipik boyutları küresel kubbeden daha çok koniğe uymaktadır. Kubbe tarafından alınan güneş ışınımının karşılaştırılması ve analizi için konik çatının taban alanının ve düz çatının alanına eşit olduğu kabul edilmiştir. Çatıya düşen güneş ışınımının hesaplanmasında Şanlıurfa için yatay yüzeye düşen ölçülmüş saatlik toplam güneş ışınımı verileri kullanılmıştır. Düz çatı için kullanılan Haziran, Temmuz, Ağustos aylarına ait saatlik ortalama ölçülmüş veriler Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.1 ayrıca yaz ayları için 6.00 ile 19.00 saatleri arasında konik çatının birim alanına düşen ortalama güneş ışınımının değişimini göstermektedir. Birim alana düşen en çok günlük toplam ışınım Haziran ayında düz çatıya olmuştur ve konik çatıya göre günlük ortalama fark  $3015 W/m^2$  civarındadır. Konik çatı ile düz çatıya düşen saatlik ışınım farkının en yüksek olduğu değer saat 13.00’te  $389 W/m^2$ ’dir (Şekil 4.1).

Eğer bu iki çatı tipinin yüzey alanları dikkate alınarak karşılaştırması yapılırsa, toplam düşen güneş ışınımı Şekil 4.2’de görüldüğü gibidir. Yaz ayları boyunca konik çatının birim alanına düşen güneş ışınımı her zaman düz çatıya göre azdır fakat konik çatının ( $\beta = 60^\circ$ ) yüzey alanı  $14,14 m^2$  ve taban alanı (düz çatı alanı)  $7,07 m^2$ ’dir. Konik çatının yüzey alanının fazla olması sebebiyle düşen toplam ışınım düz çatıya göre fazladır.

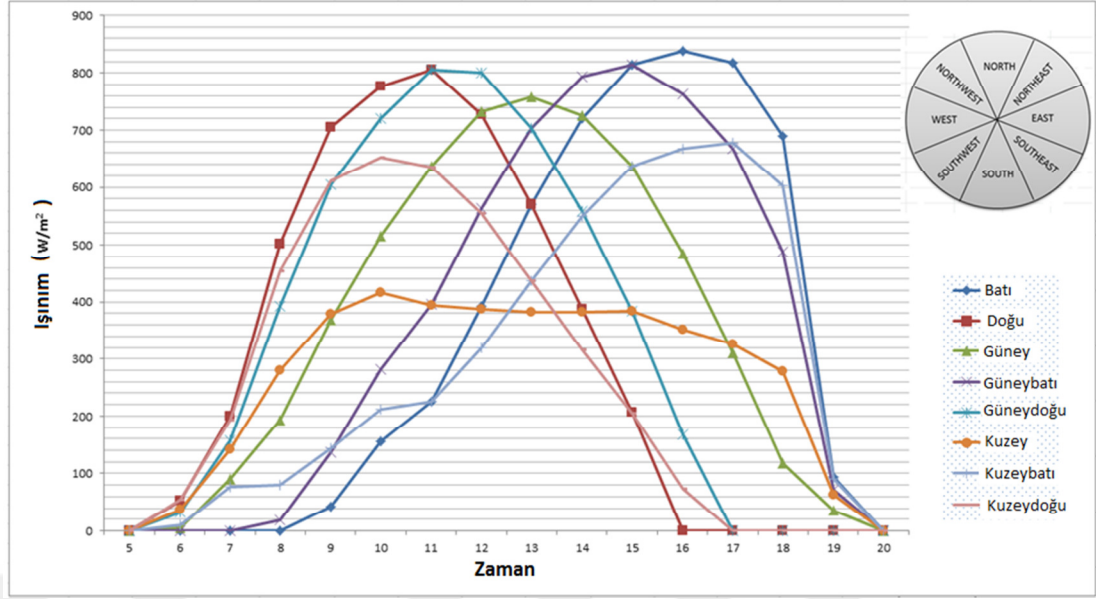


Şekil 4.1 Yaz ayları için düz çatı ve konik çatının birim alanına düşen ortalama saatlik güneş ışınlamı

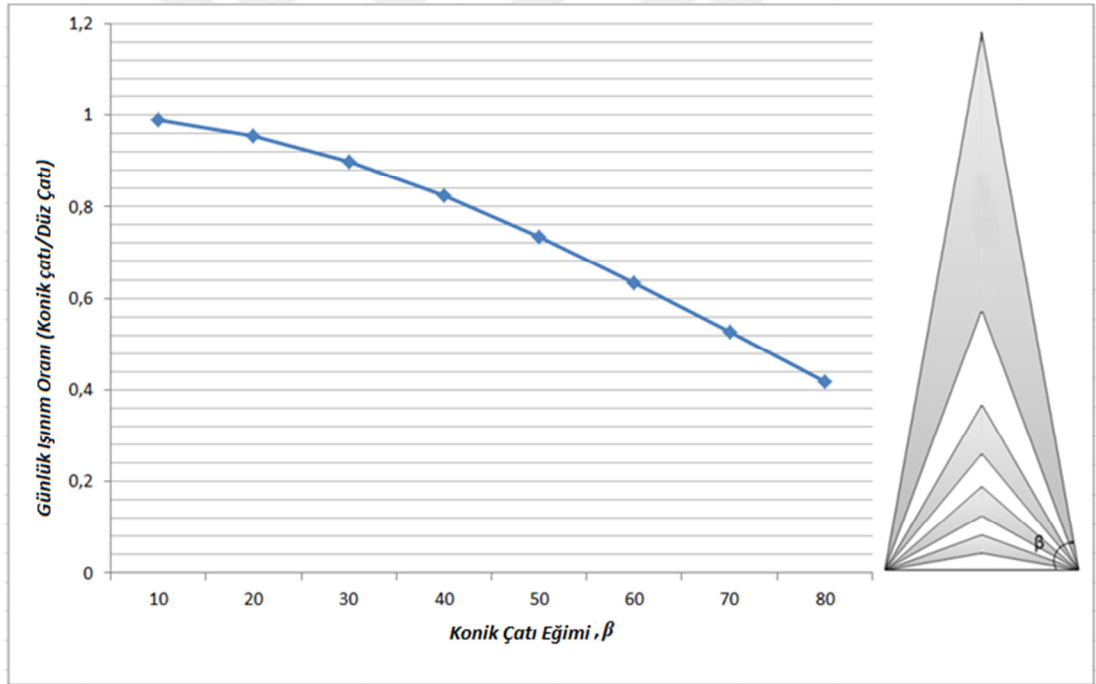


Şekil 4.2 Yaz ayları için Harran evinin ( $\beta = 60^\circ$ ) ve ona eşit taban alanına sahip düz çatıya düşen saatlik ortalama güneş ışınlamı

Şekil 4.3 konik çatı yüzeyine düşen saatlik güneş ışınlamının yüzey azimut açısına göre değişimini göstermektedir. Konik çatı yüzeyi merkeze göre sekiz parçaya bölünmüştür. Burada  $\gamma$  yüzey azimut açısıdır, dört ana ve ara yönü göstermektedir. Hesaplamalarda Temmuz ayına ait ölçülmüş veriler kullanılmıştır. Konik çatı yüzeyinin yönlere göre saatlik güneş ışınlamı karşılaştırıldığında, günün en yüksek değeri saat 15.00'de batı için  $838,8 W/m^2$  olarak bulunmuştur.



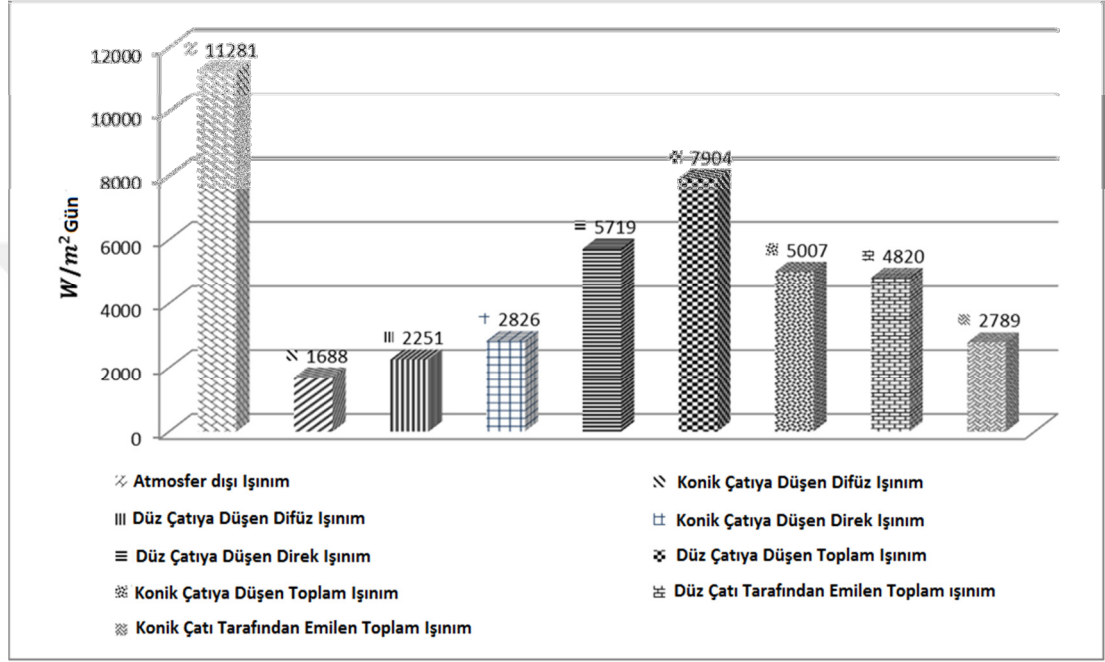
Şekil 4.3 Temmuz ayı için yüzey azimut açısına bağlı olarak konik çatının yüzeyindeki güneş ışınımının gün boyunca değişimi



Şekil 4.4 Değişik eğim açılarında ( $\beta$  10° ile 80° arasındadır) konik çatının birim alanına düşen günlük toplam güneş ışınımının düz çatının birim alanına düşen günlük toplam güneş ışınımına oranı

Şekil 4.4 konik çatının değişen eğim açılarında birim alanına düşen günlük toplam güneş ışınımının düz çatının birim alanına düşen günlük toplam güneş

ışınımına oranını göstermektedir. Bu oran  $\beta = 10^\circ$  için 0,99 ile  $\beta = 80^\circ$  için 0,42 arasında değiştiği görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere konik çatının yüzey eğim açısı arttıkça birim alanına düşen güneş ışınım miktarı azalmaktadır. Fakat eğim arttıkça konik çatının yüzey alanı artmakta ve bu nedenle toplam çatı yüzeyine düşen toplam ışınım enerjisinin miktarı artmaktadır.



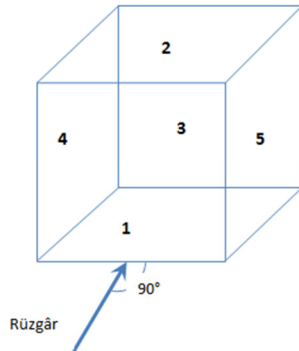
Şekil 4.5 Konik ( $\beta = 60^\circ$ ) ve düz çatı tarafından alınan günlük atmosfer dışı, toplam, direk, difüz ışınımın Temmuz ayı için karşılaştırılması

Şekil 4.5 ise bu iki çatı tipinin günlük performansları Temmuz ayı verileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda bu her iki çatı geometrisine ait günlük atmosfer dışı, direk, difüz ışınım elemanları da hesaplanmıştır. Gün boyunca düz çatının birim alanı ( $4820 W/m^2 gün$ ) konik çatının birim alanından ( $2789 W/m^2 gün$ ) daha fazla güneş ışınımı emmektedir. Düz çatıya düşen günlük toplam güneş ışınımı  $7904 W/m^2$ 'dir ve bu değer konik çatının birim alanına düşen günlük toplam güneş ışınımı değerinden % 57.8 fazladır.

## 4.2 Konik Çatılı ve Düz Çatılı Bina Dış Yüzeylerine Ait Zorlanmış Taşınım Isı Transfer Katsayıları

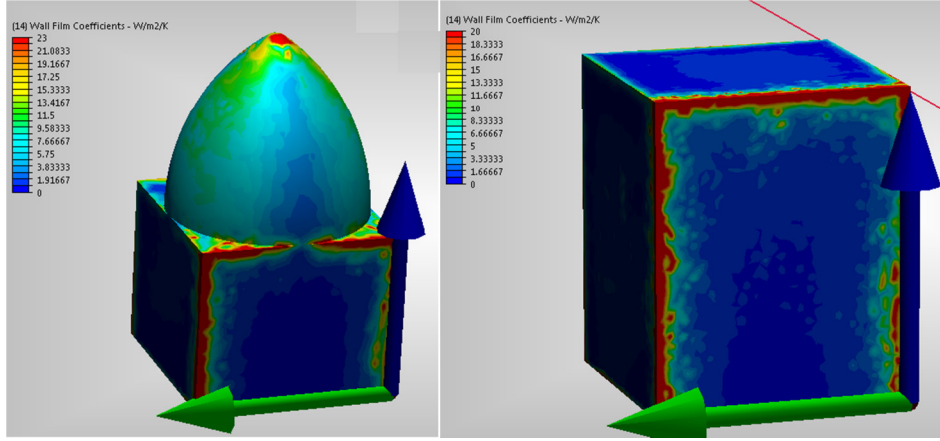
Analiz sonucunda her iki bina modeli için ve her iki türbülans modeli için yüzeylere ait ısı taşınım katsayıları belirlenmiştir (Şekil 4.7 ve Çizelge 4.1). Harran evi rüzgar üstü tarafında yüksek taşınım ısı transfer katsayısına sahiptir fakat çatı için bu değer düz çatıya göre düşüktür. Çizelge 4.2’de rüzgarüstü duvar için taşınım ısı transfer katsayılarının hesaplanmasında kullanılan bağıntılar özetlenmektedir. Simülasyonda kullanılan rüzgar hızı (2 m/s) için, literatürdeki bağıntılar kullanılarak taşınım ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen taşınım ısı transfer katsayıları ile literatür değerlerinin uyum sağladığı görülmektedir.

Analiz sonucunda  $y^+$  değeri  $k-\epsilon$  türbülans modeli için çizilmiş  $y^+ < 5$  sonucu elde edilmiştir (Şekil 4.8). Beklenildiği gibi standart  $k-\epsilon$  türbülans modelinde, düz çatılı bina için rüzgar üstü tarafında Low-Re  $k-\epsilon$  türbülans modeline göre sonuç % 50 daha fazladır (Blocken ve ark. 2009).



Şekil 4.6. Bina yüzeylerinin numaralandırılması ve rüzgar geliş açısı



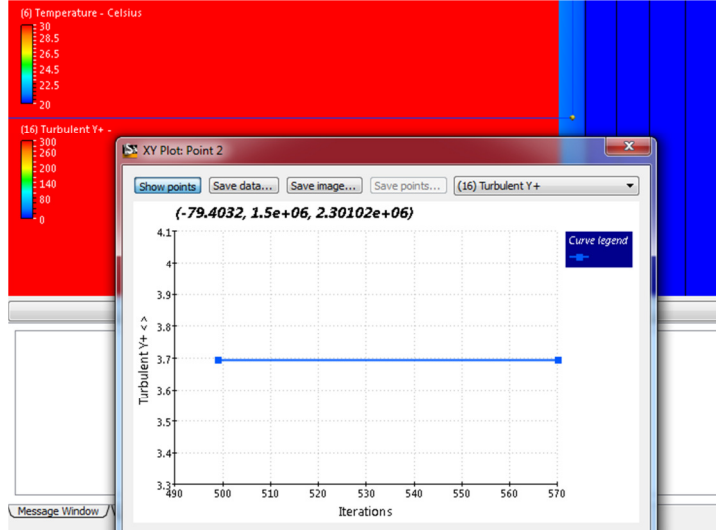


Şekil 4.7 CFD simülasyonu sonucunda elde edilen her iki bina modeli için Taşınım Isı Transfer katsayısının bina yüzeyi boyunca dağılımı

Çizelge 4.1 Bina yüzeyi etrafında hesaplanmış taşınım ısı transferi katsayıları

Türbülans Modeli	Çatı (2)		Rüzgar üstü duvar (1) (Batı)	
	Düz	Konik	Düz	Konik
Low Re k-ε	7,95 W/m <sup>2</sup> K	5,15 W/m <sup>2</sup> K	13,54 W/m <sup>2</sup> K	18,02 W/m <sup>2</sup> K
Standart k-ε	10,79 W/m <sup>2</sup> K	11,5 W/m <sup>2</sup> K	19,74 W/m <sup>2</sup> K	22,9 W/m <sup>2</sup> K

Türbülans Modeli	Rüzgar altı duvar (3) (Doğu)		Yan duvar (4) (Kuzey)		Yan duvar (5) (Güney)	
	Düz	Konik	Düz	Konik	Düz	Konik
Low Re k-ε	2,84 W/m <sup>2</sup> K	1,81 W/m <sup>2</sup> K	6,72 W/m <sup>2</sup> K	8,4 W/m <sup>2</sup> K	6,93 W/m <sup>2</sup> K	7,8 W/m <sup>2</sup> K
Standart k-ε	4,89 W/m <sup>2</sup> K	7 W/m <sup>2</sup> K	9,53 W/m <sup>2</sup> K	12,3 W/m <sup>2</sup> K	9,81 W/m <sup>2</sup> K	11,6 W/m <sup>2</sup> K



Şekil 4.8 k-ε Türbülans modeli için y+ değeri

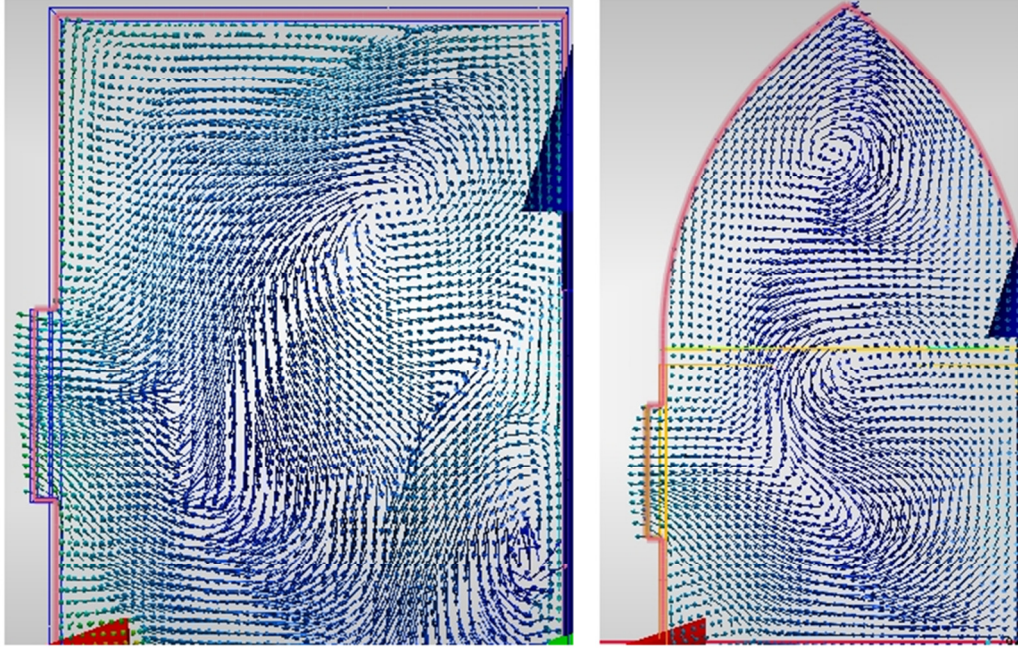
Çizelge 4.2 Taşınım ısı transfer bağıntıları (Emmel ve ark, 2007)

	ASHRAE Task Group, (1975)	Sharples (1984)	Loveday ve Taky (1996)
$h$ ( $W/m^2K$ )	$18,6 U_S^{0,605}$ $= 12,22 W/m^2K$	$1,7 U_S + 5,1$ $= 11,56 W/m^2K$	$16,21 U_S^{0,452}$ $= 15,14 W/m^2K$
$U_S$ (m/s)	$0,25 U_{10}$ eğer $U_{10} > 2$ m/s $0,5$ eğer $U_{10} < 2$ m/s	$1,8 U_{10} + 0,2$	$0,68 U_{10} - 0,5$

İki bina modeli için CFD analizi sonucunda hesaplanan çapraz havalandırma debileri Çizelge 4.3’de gösterilmektedir. Harran evinin havalandırma debisi düz çatılı binaya göre daha yüksektir ve bu oran ikinci metotla hesaplama sonucunda yaklaşık %10 çıkmıştır.

Çizelge 4.3 CFD analizi ve hesaplama sonuçları

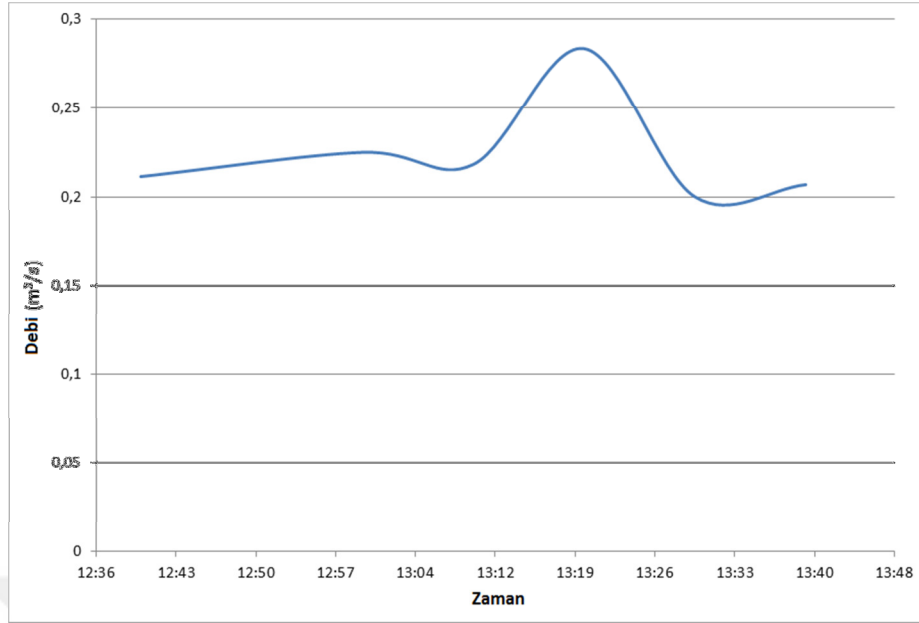
	$Cp_{giriş}$	$Cp_{iç}$	1. $Q$ ( $m^3/s$ )	2. $Q$ ( $m^3/s$ )	$V_{giriş}$ ( $m/s$ )
<b>Konik</b>	0,9	0,2415	3,795	3,759	2,373
<b>Düz</b>	0,912	0,2642	3,528	3,433	2,167



Şekil 4.9 Konik ve Düz çatılı binalarda çapraz havalandırma şartlarında rüzgar akış deseni

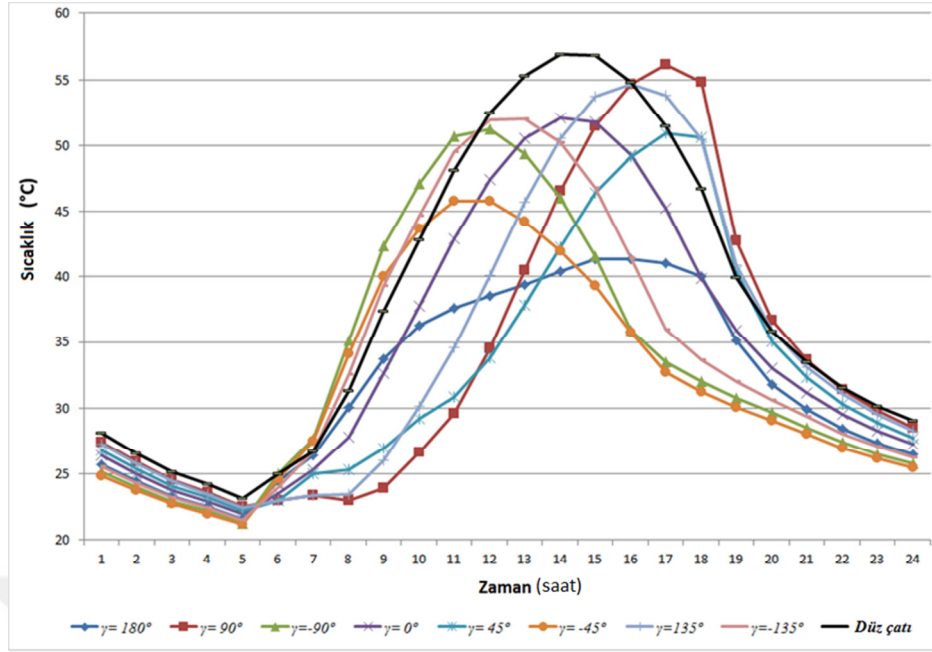
Yine iç ortam için CFD analizi sonucunda elde edilen rüzgar akış deseninde, her iki odanın üst orta bölgesinde şekli ve pozisyonu aynı olmamakla birlikte vorteks oluştuğu görülmüştür (Şekil 4.9).

Hava tarafından transfer edilen enerjinin hesaplanması amacıyla Harran evlerinin kubbe açıklıklardaki hava akış hızları ölçülmüştür (Şekil 4.10). Açıklıkların alanları 15x15 cm'dir. Ölçümler Testo 435 anemometre kullanılarak bir saat için 10'ar dakikalık periyotlarla gerçekleştirilmiştir. Çatıdaki açıklıklardan hava hareketiyle enerji transferi Eşitlik 3.38'e  $\dot{m}$  ifadesi eklenerek bulunabilir. Bu ölçekte rüzgar hızı iç ve dış ortam arasında kabaca 1000 W'lık enerji alışverişine sebep olabilir. Bu sonuç Başaran, (2011)'nin yaptığı ölçümlere uygunluk göstermektedir.

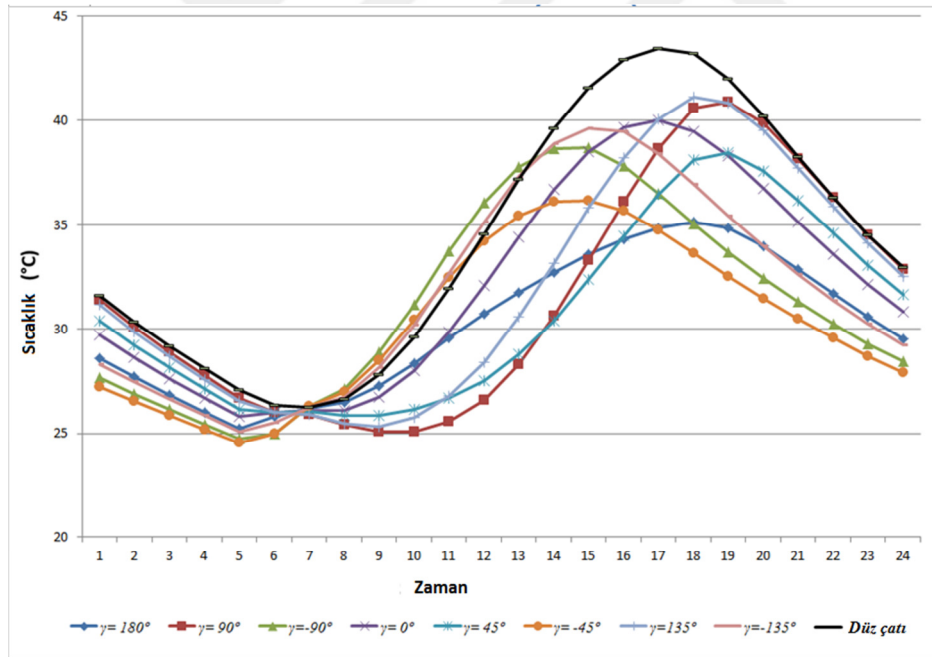


**Şekil 4.10** İncelenen Harran evinin Kubbe açıklıklarından geçen havanın saatlik ortalama debisi

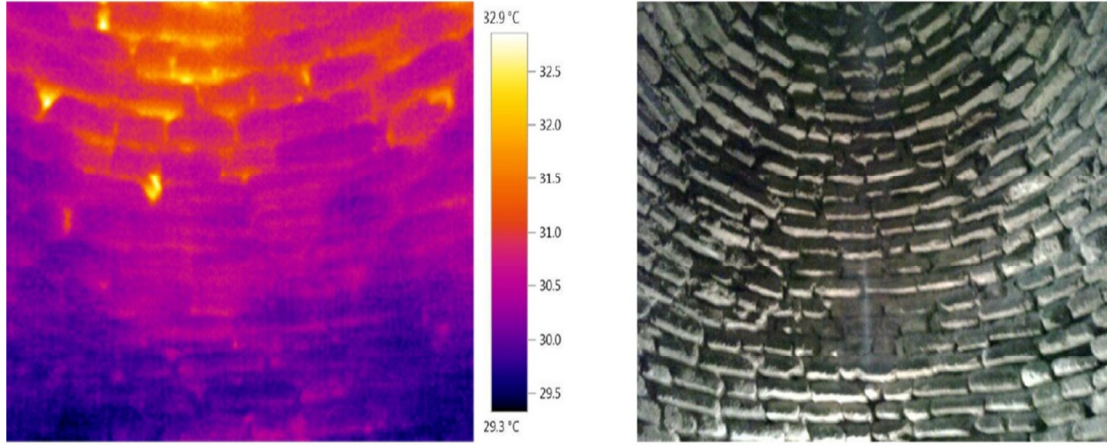
Yapılan ısı transfer analizi sonucunda duvar ve çatı iç yüzey ve dış yüzey sıcaklıklarının saatlik ortalamaları hesaplanmıştır. Şekil 4.11’de konik çatının farklı yüzey azimut açılarında sekiz yöne bakan noktalarındaki yüzey sıcaklıklarının ve düz çatının dış yüzey sıcaklığının gün boyunca değişimi gösterilmektedir. Görüldüğü üzere düz çatının dış yüzey sıcaklığı günün büyük bir kısmında konik çatının birçok noktasındaki sıcaklıklarından daha yüksektir ve 11.00-16.00 saatleri arasında ise en yüksek değere sahiptir. Konik çatının farklı noktalarındaki iç yüzey sıcaklıkları ve düz çatının iç yüzey sıcaklığının gün boyu saatlik değişimi Şekil 4.12’de gösterilmektedir. Konik çatının birçok noktasındaki iç yüzey sıcaklıkları beklendiği üzere neredeyse günün tamamında düz çatı iç yüzey sıcaklığından daha düşüktür. Şekil 4.13’de Harran evinin yüzey azimut açısı,  $\gamma=180^\circ$  için, 4 Temmuz saat 14.00’de çekilmiş kızılötesi fotoğrafı gösterilmektedir ve Şanlıurfa yaz dönemi için bu saate ait hesaplanmış teorik sıcaklık değeri Şekil 4.12’de görüldüğü üzere  $\sim 32^\circ\text{C}$ ’dir ve hesaplanmış değer termal kamera ölçümüne uygundur.



Şekil 4.11 Düz çatının ve konik çatının farklı noktalarındaki yüzey sıcaklıklarının gün boyu değişimi

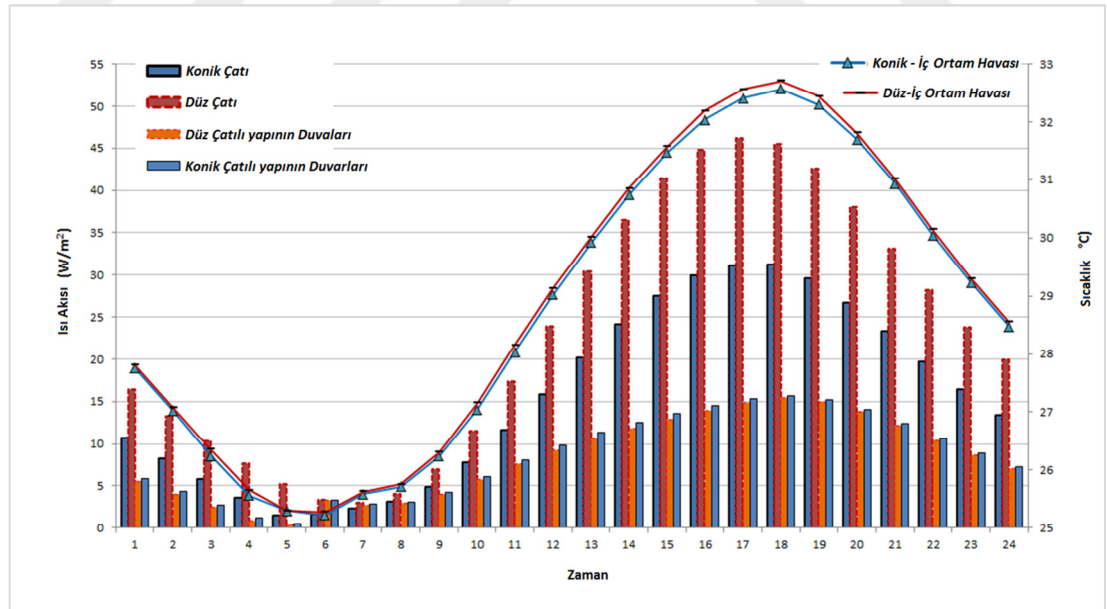


Şekil 4.12 Düz çatının ve konik çatının farklı noktalarındaki iç yüzey sıcaklıklarının gün boyu değişimi



Şekil 4.13 Harran evinin çatı iç yüzeyinin  $\gamma=180^\circ$  noktasında 4 Temmuz 2013, Saat 14.00 'te çekilmiş kızılötesi fotoğrafı

Bu iki çatı tipine ait yapıların çatı ve duvarlarından iç ortam havasına gerçekleşen ısı akısı karşılaştırmak amacıyla hesaplanmıştır ve sonuçlar Şekil 4.14'de gösterilmektedir. Düz çatıdan iç ortam havasına gerçekleşen ısı akısı daha yüksektir ve iç ortam havasına yaklaşık %50 daha fazla ısı atağı gerçekleşmektedir. Diğer yandan, Şekilde 4.14'de de görüldüğü gibi duvarlardan gerçekleşen ısı akıları karşılaştırıldığında bu iki yapı arasında belirgin bir fark görülmemektedir.

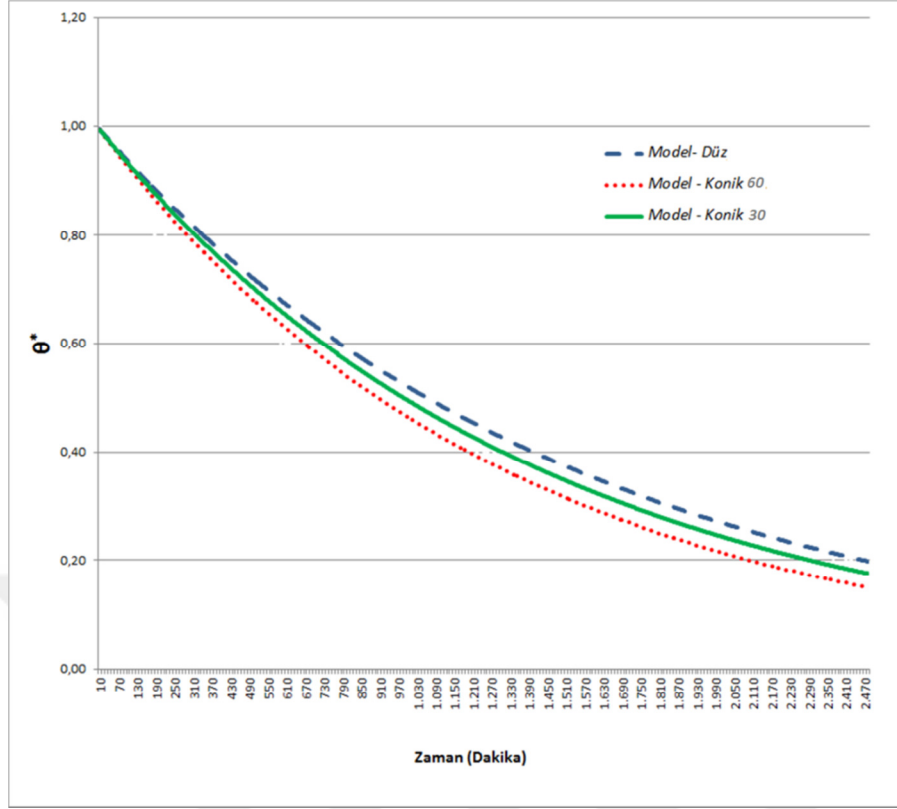


Şekil 4.14 Harran evi ile düz çatılı yapının saatlik iç ortam hava sıcaklıklarının ve bu yapıların çatı ile duvarlardan gerçekleşen ısı akılarının karşılaştırılması

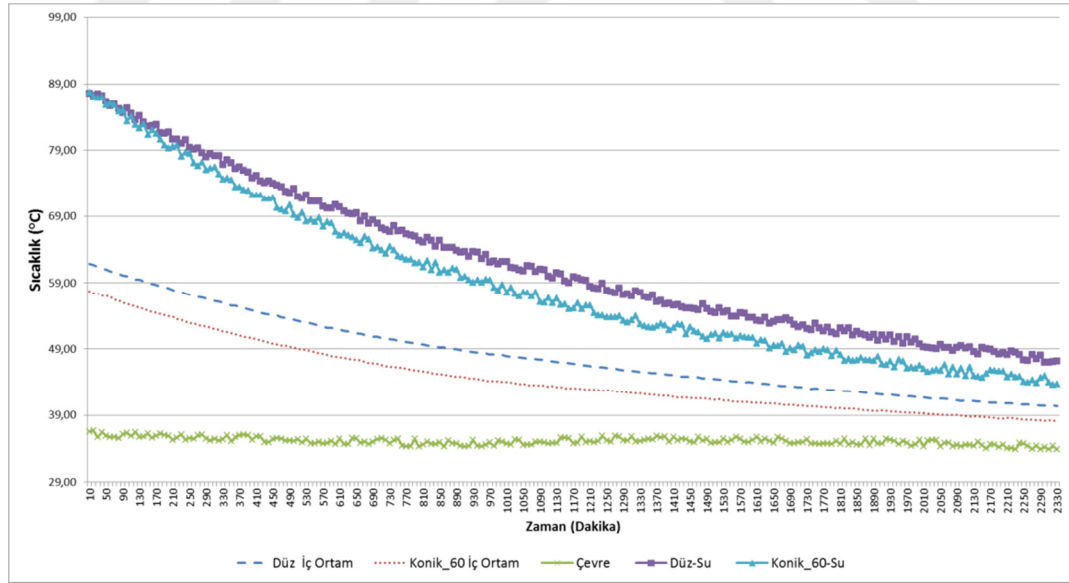
Yapılarda hiç açıklık olmadığı kabul edilerek ve bu iki yapıya ait iç yüzey sıcaklıkları kullanılarak iç ortam havasına enerji dengesi uygulandığında, iç ortam havasının tipik bir yaz günü için iç ortam havasının günlük sıcaklık değişimi elde edilmiştir. Şekil 4.14'de görüldüğü gibi konik çatılı yapının iç ortam hava sıcaklığı düz çatıya göre gün boyunca daha düşüktür ve bunun nedeni konik çatıdan iç ortama gerçekleşen ısı akışının düz çatıya göre daha az oluşudur.

### **4.3 Konik ve Düz Çatılı Yapılara ait Toplam Isı Transfer ve Doğal Taşınım Isı Transfer Katsayılarının Belirlenmesi**

Belirlenen üç çatı geometrisi için mevcut modellerle yapılan deney sonucunda öncelikle elde edilen verilerle numunelere ait boyutsuz sıcaklık eğrileri çizilmiştir (Şekil 4.15). Grafikten anlaşılacağı üzere düz çatılı model iç ortam ısını kaybetme eğilimi açısından en dayanıklı modeldir ve Konik\_60 ise diğer modellere göre en çabuk iç ortam ısını kaybeden modeldir. Bu iki modele, Harran evinin modeli (Konik\_60) ile eşdeğeri Düz çatılı modelin iç ortam sıcaklıklarını karşılaştırmak amacıyla Şekil 4.16 çizilmiştir. Aynı çevre koşullarında olmak üzere, iki modelin haznelerindeki su aynı sıcaklığa (87,5 °C) kadar ısıtılmış ve yaklaşık 39 saat boyunca soğumaya bırakılmıştır. Model konik\_60'ın soğuma periyodu boyunca iç ortam havası sıcaklığı Şekilde 4.16'da görüldüğü üzere ortalama  $\sim 3,4^{\circ}\text{C}$  ve düz çatılı modelden daha düşüktür.



Şekil 4.15 Modellere ait boyutsuz sıcaklıkların zamana göre değişimi



Şekil 4.16 Model Düz ile model Konik\_60'in iç ortam sıcaklıklarının değişimi

Çatı geometrilerinin iç ortama etkisini belirlemek amacıyla, deneyler sonucunda modellerin zeminden itibaren dikey yönde toplam ısı dirençleri iki yöntem kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4 ve 4.5 ). Boyutsuz sıcaklık sonuçlarına paralel olarak yine Konik\_60'ın toplam ısı transfer katsayısı en yüksek



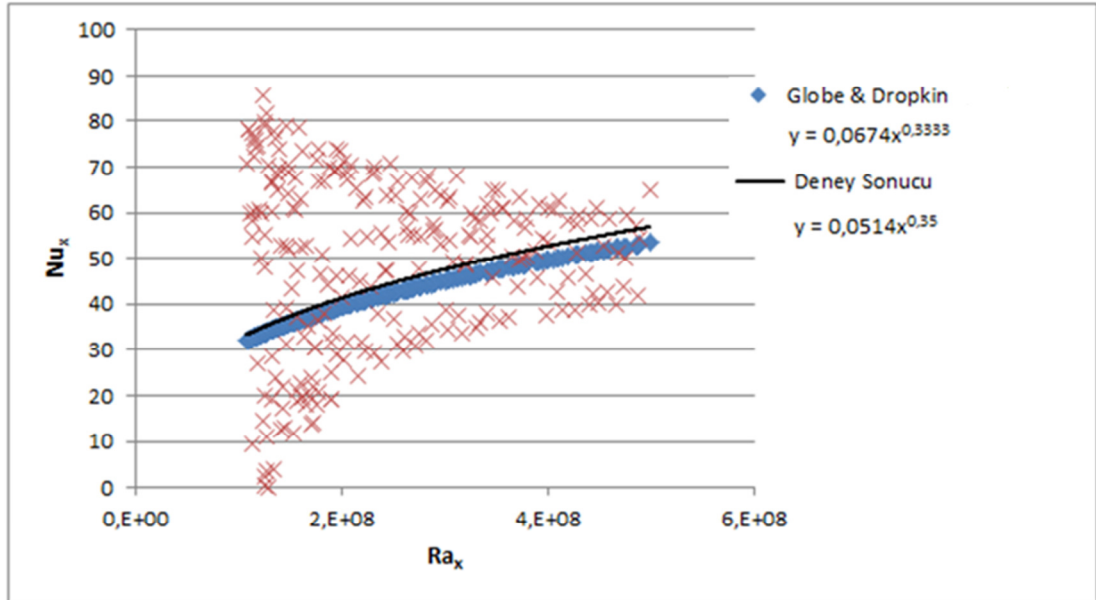
çıkmiştir. İki yöntem sonuçlarındaki sıralama aynı olmakla birlikte sonuçlarındaki farklılıklar ise Logaritmik Sıcaklık Farkı Yönteminde kullanılan haznedeki suyun sıcaklığının uniform olduğu kabulü yani Isıl kapasitans metodu çözümlemesinden kaynaklanmaktadır. Biot sayısı 0.3 civarında olduğu gözlemlenmiştir.

**Çizelge 4.4** Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı Yöntemi Kullanılarak hesaplanan toplam ısı geçirgenlik katsayıları

Model	$U$ -değeri ( $W/m^2K$ )	$R$ ( $K/W$ )
Düz	3,5	0,80
Konik_30	3,8	0,41
Konik_60	4,4	0,26

**Çizelge 4.5** Enerji dengesi yöntemi Kullanılarak hesaplanan Toplam ısı geçirgenlik katsayıları

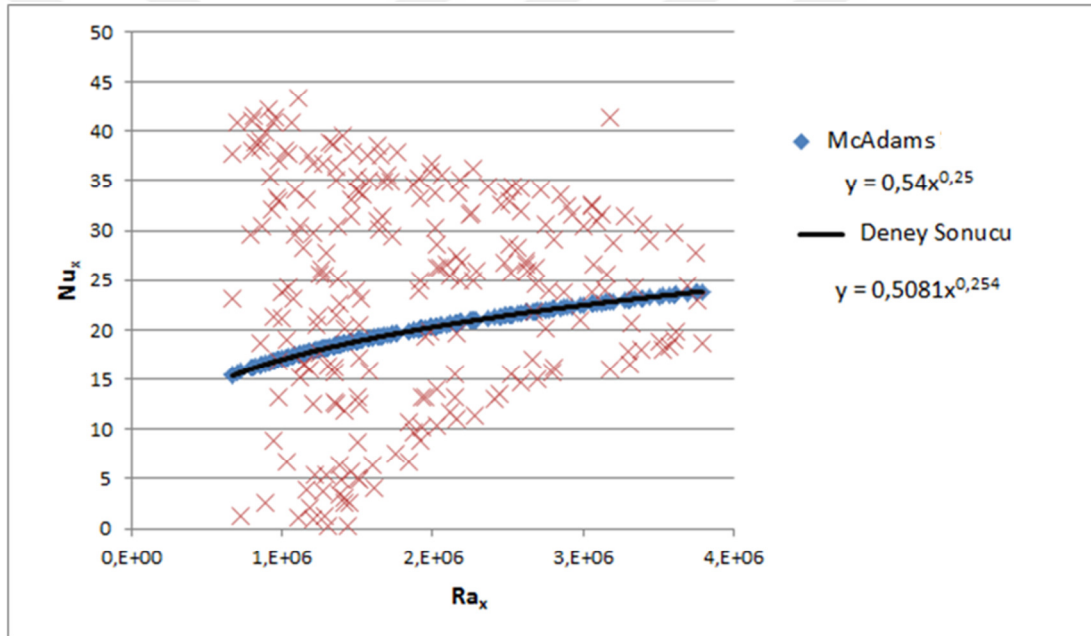
Model	$U$ -değeri ( $W/m^2K$ )	$R$ ( $K/W$ )
Düz	1,6	1,77
Konik_30	4,6	0,34
Konik_60	5,6	0,20



**Şekil 4.17** Yatay dikdörtgen kapalı aralıklarda,  $L=58$  cm için literatürde verilen  $Nu$  ve  $Ra$  bağıntısının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

Literatürde verilen sabit sıcaklıktaki yatay dikdörtgen kapalı aralıklar için verilen bağıntı ile düz çatılı modelin içerisindeki doğal taşınımın deneysel sonuçlarını karşılaştırmak için Şekil 4.17 ve soğuk bir ortamda sıcak yüzeyi yukarı

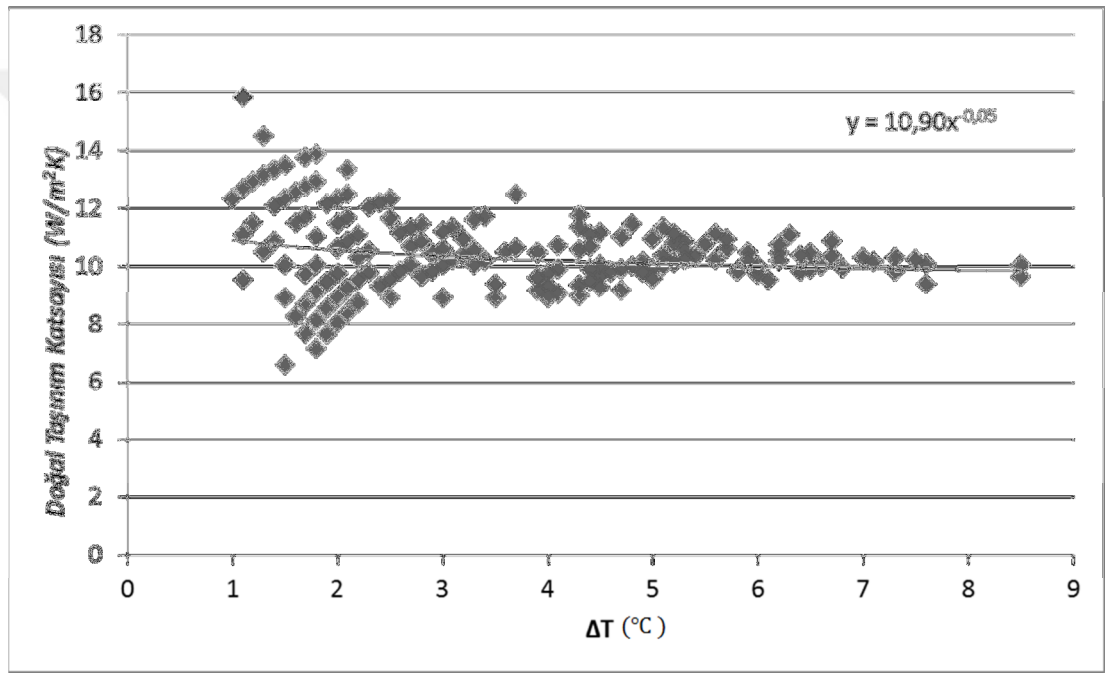
dönük plakamın soğutulmasına ilişkin literatürde verilen bağıntı ile yine düz çatılı modelin çatının soğumasına ilişkin deneysel sonuçların karşılaştırılması için Şekil 4.18 çizilmiştir. Şekil 4.17 ve 4.18'deki çizimde deney sonucunda elde edilen veri noktaları literatürde verilen eğime uyduğu görülmektedir. Literatürdeki bağıntı kullanılarak hesaplanan düz çatılı modelin iç ortamına ait doğal taşınım ısı transfer katsayılarının ortalaması  $1,9 W/m^2K$  iken deneysel veriler sonucunda elde edilen doğal taşınım katsayılarının ortalaması  $1,8 W/m^2K$ 'dir. Şekil 4.18'de ise düz çatılı modelin çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım ısı transfer katsayısının literatür bağıntısı kullanılarak hesaplanmasında sonuç  $4,2 W/m^2K$  iken deneysel sonuç  $3,4 W/m^2K$ 'dir.



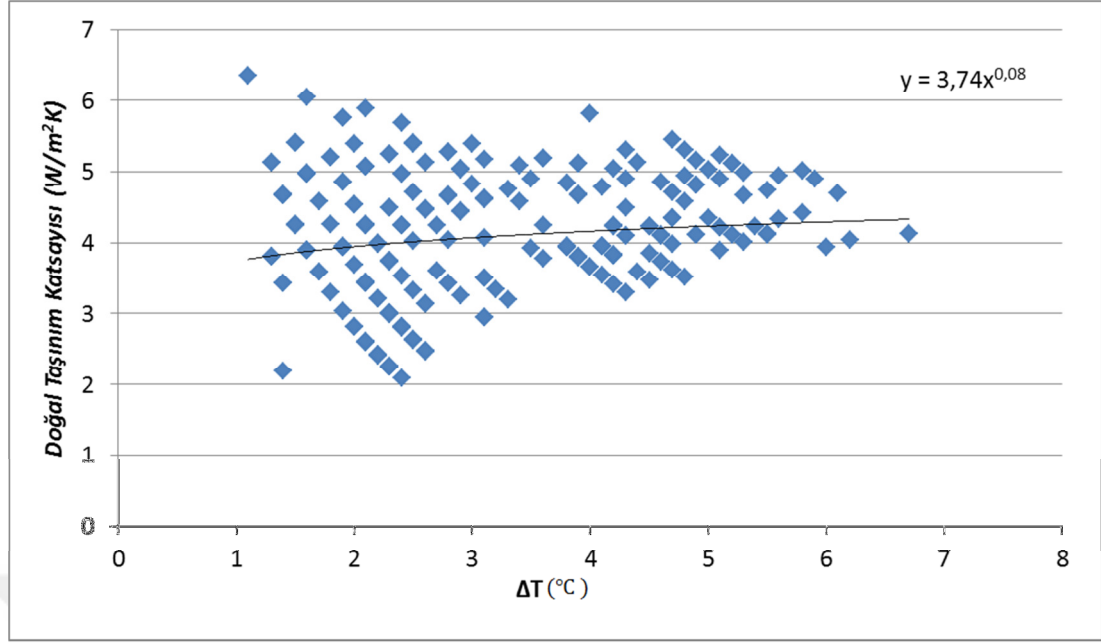
Şekil 4.18 Doğal taşınımında yatay plaka üzerinde ortalama Nusselt sayısı için literatürdeki bağıntıyla deneysel bağıntının karşılaştırılması

Şekil 4.19, 4.20, 4.21 'de sırasıyla Konik\_60, Düz, Konik\_30 modellerinin çatı dış yüzeylerine ait doğal taşınım ısı transfer katsayılarının çatı yüzeyi ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak değişimi gösterilmiştir. Konik\_60 modelinin çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım katsayısının ortalaması  $10,5 W/m^2K$  iken iç ortamındaki doğal taşınım ısı transfer katsayısı  $8,9 W/m^2K$  'dir. Düz çatılı modelin çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım katsayısının ortalaması  $4,2 W/m^2K$ 'dir.

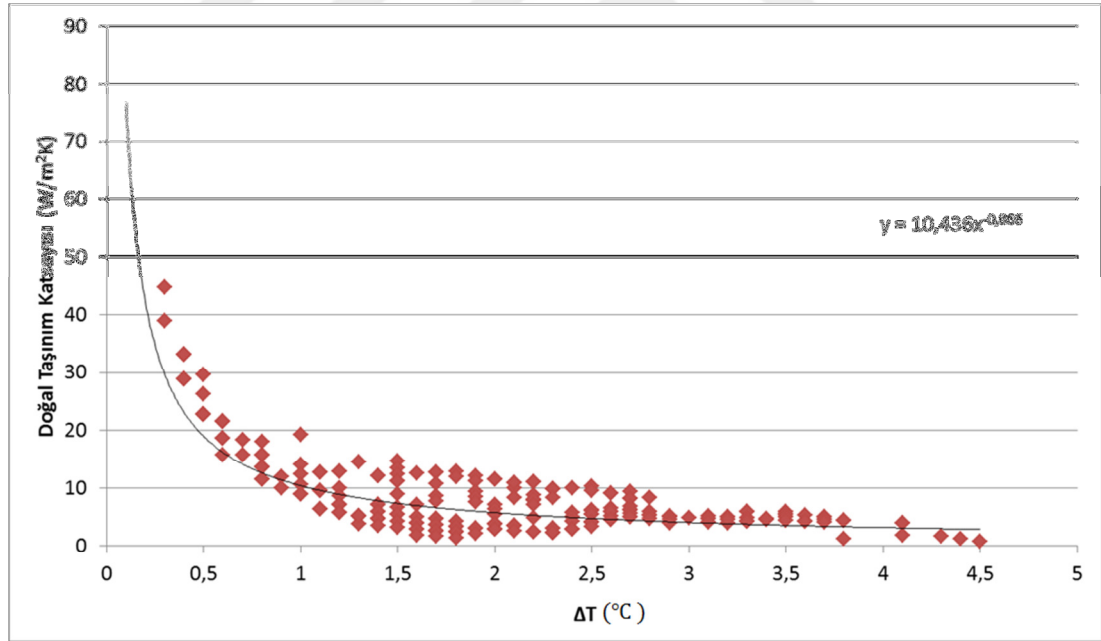
Düz çatılı modelin iç ortamına ait doğal taşınım katsayısının ortalaması  $1,8 W/m^2K$  iken, ışınım ısı transfer katsayısının ortalaması iç ortam için  $0,3 W/m^2K$  ve çatı dış yüzeyi için ortalama  $1,6 W/m^2K$ 'dir. Konik\_30 modeline ait değerler ise,  $h_{iç} = 8,8 W/m^2K$ ,  $h_{dış} = 8,3 W/m^2K$  'dir. Yukarıdaki değerlerde görüldüğü üzere Harran evinin modeli (Konik 60)'in çatı dış yüzeyine ait değerler Konik\_30 modelinden fazladır. Fakat en belirgin fark Harran evinin modeli (Konik 60) çatı dış yüzeyine ait taşınım ısı transfer katsayısı ile düz çatılı modele ait değer arasındadır ve 2,5 katıdır.



Şekil 4.19 Çatı yüzeyi ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak Konik\_60 modelinin çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım ısı transfer katsayısının değişimi



Şekil 4.20 Çatı yüzeyi ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak Düz çatılı modelin çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım ısı transfer katsayısının değişimi



Şekil 4.21 Çatı yüzeyi ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak Konik\_30 modelinin çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım ısı transfer katsayısının değişimi

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Harran yöresine özgü konik kubbeli evlerin benimsenmesinin sebeplerini açıklamak ve çatı geometrisi ile düşen güneş ışınımı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yapılan analizlerin sonuçları aşağıda verilmiştir;

- (i) Birim alana düşen en yüksek güneş ışınımı düz çatı yüzeyinde Haziran ayı için gerçekleşmiştir ve bulunan sonuç Faghih ve Bahadori (2009)'de verilen sonuçlar ile uyum içerisindedir.
- (ii) Toplam çatı yüzey alanları dikkate alınarak düşen ışınımın karşılaştırılması sonucunda, konik çatının düz çatıya göre daha fazla ışınım aldığı görülmüştür.
- (iii) Düşen güneş ışınım yoğunluğu günün her saatinde düz çatı boyunca düzgün bir dağılım gösterirken, konik çatı yüzeyi boyunca yüzey azimut açısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.
- (iv) Çatı yüzey emiciliği  $\alpha_n = 0,63$  (Çengel, 2011; Crosbie, 1998; Giovani, 1998) için konik çatı gün boyunca birim alana düşen güneş ışınımının %55,7'sini, düz çatı ise %61'ini emmektedir.
- (v) Temmuz ayı için birim alana düşen saatlik direkt ve difüz ışınım ortalamalarının günlük toplamları karşılaştırıldığında, düz çatı konik çatıya göre %100 daha fazla direkt ışınım ve %33 daha fazla difüz ışınım almaktadır.

Yaz dönemi için konik ve düz çatı geometrilerinin hangisinin daha enerji verimli olduğunu tespit etmek amacıyla çatı geometrisinin iç ortam havasına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Harran evi eşdeğer termofiziksel özelliklerdeki, aynı taban alanı ve hacme sahip düz çatılı bina ile karşılaştırılmıştır.  $k - \varepsilon$  türbülans modeli kullanılarak üç boyutlu CFD simülasyonu gerçekleştirilerek bina dış yüzeyine ait zorlanmış taşınım ısı transfer katsayıları ve çatı geometrisinin doğal havalandırmaya etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki sonuçlar bu analizleri özetlemektedir,

- a) Tipik bir yaz günü için Harran evinin iç ortam hava sıcaklığı düz çatılı yapıya göre daha düşüktür.
- b) Harran evinin duvar alanı düz çatılı yapıya göre az olduğu için duvarlardan iç ortam havasına gerçekleşen günlük toplam ısı transferi daha azdır. Tipik bir yaz günü sonunda Harran evinin kubbesi ( $370,7 \text{ W/m}^2$ ) düz çatıdan ( $553,8 \text{ W/m}^2$ )  $\sim 30\%$  daha az ısı atağına maruz kalmaktadır.
- c) Günün herhangi bir zamanında Harran evinin çatı dış yüzey sıcaklığı değişen yüzey azimut açısıyla birlikte değişmektedir. Fakat düz çatı dış yüzey sıcaklığı düzgün bir dağılım göstermektedir. Harran evinin çatısındaki bu sıcaklık farkı  $\sim 10^\circ \text{ C}$  'ye çıkabilmektedir ve bunun en belirgin nedeni çatıya düşen güneş ışınımıdır. Gerçekte bu sıcaklık farkı hava akışına neden olarak çatı yüzeyinden ısının atılmasına neden olabilmektedir.
- d) Rüzgarın bina yüzeyine dik estiği durum için Harran evi çapraz havalandırma açısından düz çatılı yapıya göre  $\sim \% 10$  daha iyi performans göstermektedir.
- e) Yaz dönemi için, Harran evlerinin kubbesinin tepe noktasında ve kubbe üzerindeki açıklıklar dikey havalandırmaya sebep olmakta ve kubbe altında ısınıp birikmiş havanın atılmasıyla  $\sim 1000 \text{ W}$ 'lık ısı transferine sebep olabilmektedir.

Adyabatik hazne tekniği kullanılarak, 1/5 ölçeğindeki ev modellerin toplam ısı geçirgenlikleri belirlenmiştir. Aynı zamanda modellerin iç ve dış yüzeylerine ait doğal taşınım ısı transfer katsayıları tespit edilmiş ve deneysel veriler literatür verileriyle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları göstermiştir ki;

1. Harran evinin modeli aynı sıcaklıktaki düz çatılı evin modeline göre deney süresince ortalama 3,5°C daha serindir. Aynı zemin sıcaklıklarında çatı eğimi arttıkça iç hacmin sıcaklığı da düşmektedir.
2. Zeminden dış ortama olan toplam ısı direnci en düşük yapı Harran evine ait modeldir ve toplam ısı transfer katsayısı düz çatılı modelden 2,5 kat daha fazladır.
3. Literatürdeki mevcut bağıntılara paralel olarak bu deneysel çalışma sonucunda da; Nusselt sayısı ile birlikte Rayleigh sayısının da artan bir trende sahip olduğu görülmüştür. Literatür bağıntıları kullanılarak elde edilen ortalama doğal taşınım katsayıları deneysel verilerden elde edilenlerle uygunluk göstermektedir.
4. Hem iç ortamda hem de çatı dış yüzeyine ait doğal taşınım katsayısı en yüksek model Harran evinin modelidir. Çatı dış yüzeyi doğal taşınım ısı transfer katsayısının ortalaması düz çatılı modelden yaklaşık 1,5 kat daha fazladır.

## KAYNAKLAR

- ABOHELA, I., HAMZA, N., DUDEK, S., 2011. Effect of Roof Shape on Energy Yield and Positioning of Roof Mounted Wind Turbines, 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, 14-16 November, Sydney.
- AHRENS, C. D., 2006. *Meteorology Today. An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, Eighth Edition. Thompson, Brooks/Cole. United States.
- AL-JAWADI, M. H., AL-SUDANY J. A., 2010. Domes and their Impact on Thermal Environment inside Buildings. World Congress on Housing, October 26-29, Santander, Spain.
- ARIFF, M., SALIM, S. M., CHEAH S. C., 2009. Wall  $y^+$  Approach for Dealing with Turbulent Flow over a Surface Mounted Cube: Part 1- Low Reynolds Number. Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, 9-11 December, Melbourne.
- ARIFF, M., SALIM, S. M., CHEAH S. C., 2009. Wall  $y^+$  Approach for Dealing with Turbulent Flow over a Surface Mounted Cube: Part 2- High Reynolds Number. Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, 9-11 December, Melbourne.
- ASFOUR, O. S., GADI, M. B., 2008. Using CFD to Investigate Ventilation Characteristics of Vaults as Wind-Inducing Devices in Buildings. *Applied Energy*, 85:1126–1140.
- ASHRAE, ASHRAE Task Group, 1975. Procedure for determining heating and cooling loads for computerising energy calculations. Algorithms for building heat transfer subroutines, New York.
- AWBI H. B., 1998. Calculation of Convective Heat Transfer Coefficients of Room Surfaces for Natural Convection. *Energy and Buildings*, 28(2):219-227.
- AYATA, T., 2009. Investigation of Building Height and Roof Effect on The Air Velocity and Pressure Distribution Around the Detached Houses in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 29:1752-1758.
- BAŞARAN T., 2011. Thermal Analysis of the Domed Vernacular Houses of Harran, Turkey. *Indoor and Built Environment*, 20(5):543-554.
- BEN SLAMA, R., 2010. Incidental solar radiation on the various Vertical Walls of a Building Following Time Variation. Séminaire International sur le Génie Climatique et l’Énergétique, SIGCLE’2010, 6 et 7 décembre, Constantine, Algérie.
- BLOCKEN B., STATHOPOULOS T., CARMELIET J., HENSEN J., 2009. Application of CFD in Building Performance Simulation for the Outdoor Environment, 11th IBPSA Building Simulation Conference, 27-30 July , Glasgow-Scotland, s.489-496.
- BLOCKEN, B., DEFRAEYE, T., DEROME, D., CARMELIET, J., 2009. High-resolution CFD simulations for forced convective heat transfer coefficients at the facade of a low-rise building. *Building and Environment*, 44(12):2396-2412.
- CARDINALE, N., ROSPI, G., STEFANİZZI, P., 2013. Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of



- Matera and the Trulli district of Alberobello. *Building and Environment*, 59:590-598.
- CROSBIE M. J., 1998, *The passive solar design and construction handbook*,: Wiley, New York
- CRUICKSHANK, C. A., HARRISON, S., 2010. Heat loss characteristics for a typical solar domestic hot water storage. *Energy and Buildings*, 42, 1703-1710.
- ÇENGEL Y. A., 2011, *Isı ve Kütle Transferi Pratik bir yaklaşım*, 3. Baskı, Güven Bilimsel.
- DEFRAEYE, T., BLOCKEN, B., CARMELIET, J., 2009. CFD analysis of convective heat transfer coefficients on the exterior surfaces of a cubic building. *Conference Paper: Proceedings of the 7th International Conference on Urban Climate*, 29 June – 3 July, Yokohama, Japan, 1-4.
- DEFRAEYE, T., BLOCKEN, B., CARMELIET, J., 2011. Convective heat transfer coefficients for exterior building surfaces: Existing correlations and CFD modelling. *Energy Conversion and Management*, 52(1):512-522.
- DEMİR, F., YEŞİLATA, B., TURGUT, P., İŞIKER, Y., 2008. Atık otomobil lastiği katılmış briketlerin ısı yalıtım ve kimyasal çözünürlük davranışlarının deneysel incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 108:44-52.
- DUFFIE J.A., BECKMAN W.A., 1991. *Solar Engineering Thermal Process*. Wiley-Interscience, New York.
- ELSERAGY, A. A. B., GADI, M. B., 2003. Computer Simulation of Solar Radiation Received by Curved Roof in Hot-Arid Regions, *Proceedings of the Building Simulation*, 11-14 August, Eindhoven, Netherlands.
- EMMEL, M.G., ABADIE, M. O., MENDES, N., 2007. New external convective heat transfer coefficient correlations for isolated low-rise buildings. *Energy and Buildings*, 39(3): 335-342.
- FAGHIIH, A. K., BAHADORI, M. N., 2009. Experimental Investigation of Air Flow over Domed Roofs. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, 33:207-216.
- FAGHIIH, A. K., BAHADORI, M. N., 2009. Solar Radiation on Domed Roofs. *Energy and Buildings*, 41:1238–1245.
- FAGHIIH, A.K., BAHADORI, M. N., 2011. Thermal Performance Evaluation of Domed Roofs. *Energy and Buildings*, 43(6):1254-1263.
- GIVONI B., 1998 *Climate considerations in building and urban design*, Van Nostrand Reinhold, New York
- GLOBE, S. AND D. DROPKIN, 1959. Natural convection heat transfer in liquids confined by two horizontal plates and heated from below. *J. Heat Transfer.*, 81: 24 -28.
- GOMEZ-MUNOZ, V. M., PORTA-GANDARA, M. A., HEARD, C., 2003. Solar Performance of Hemispherical Vault Roofs. *Building and Environment*, 38:1431–1438.
- HADAVAND, M., YAGHOUBI, M., 2008. Thermal Behavior of Curved Roof Buildings Exposed to Solar Radiation and Wind Flow for Various Orientations. *Applied Energy*, 85: 663–679.
- HADAVAND, M., YAGHOUBI, M., EMDAD, H., 2008. Thermal Analysis of Vaulted Roofs. *Energy and Building*, 40:265-275
- IKHWAN M., RUCK B., 2006. Flow and Pressure Field Characteristics Around Pyramidal Buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial*

- Aerodynamics, 94(10):745-765.
- JAMIL, B. ve AHMAD, M. J., 2012. Heating/Cooling potential of dome shaped house for cold climate of Srinagar (India). Solar radiation modeling and day lighting, Solar thermal (ST), Solaris 2012, 7-9 Feb, Vanarasi, India
- JUBAYER, C. M., KARAVA, P., SAVORY, E., 2010. CFD simulations for evaluation of forced convective heat transfer coefficients on Photovoltaic/Thermal systems integrated on the windward roof surface of a low-rise building. The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering, May 23-27, North Carolina, USA.
- KINDANGEN, J. , KRAUSS, G., DEPECKER, P., 1997. Effects of Roof Shapes on Wind-Induced Air Motion Inside Buildings. *Building and Environment*, 32(1):1-11.
- KLNE, S. J., McCLINTOCK, F. A., 1953. Describing uncertainties in single sample experiments, *Mechanical Engineer* 3.
- LING, C. S., AHMAD, M. H., OSSEN, D. R., 2007. The Effect of Geometric Shape and Building Orientation on Minimising Solar Insolation on High-Rise Buildings in Hot Humid Climate. *Journal of Construction in Developing Countries*, 12:27-38.
- LOVEDAY, D.L., TAKI, A.H., 1996. Convective Heat Transfer Coefficients at a Plane Surface on a Full Scale Building Façade. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39(8) :1729-1742.
- MAHDAVINEJAD, M. , BADRI, N. , FAKHARI, M. , HAQSHENAS, M., 2013. The Role of Domed Shape Roofs in Energy Loss at Night in Hot and Dry Climate (Case Study: Isfahan Historical Mosques` Domes in Iran). *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 1(6):117-121.
- MCADAMS, W.H., 1954. *Heat Transmission*, 3rd Ed. McGraw-Hill, New York, NY.
- MERONEY R. N., 2009. CFD Prediction of Airflow in Buildings for Natural Ventilation. 11th Americas Conference on Wind Engineering, June 22-26, San Juan, Puerto Rico.
- MISTRITIS, A., BRIASSOULIS, D., 2002. Numerical estimation of the internal and external aerodynamic coefficients of a tunnel greenhouse structure with openings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34:191-205.
- NEALE, A., DEROME, D., BLOCKEN, B., and CARMELIET, J., 2006. CFD calculation of convective heat transfer coefficients and validation- Part2: Turbulent Flow. IEA Annex 41 report A41-T3-C-06-5.
- NGUYEN, A. T., REITER, S., 2011. The effect of ceiling configurations on indoor air motion and ventilation flow rates. *Building and Environment*, 46(5):1211-1222.
- NOTTROT A., ONOMURA S., INAGAKI A., KANDA M., KLEISSL J., 2011. Convective Heat Transfer on Leeward Building Walls in an Urban Environment: Measurements in an Outdoor Scale Model. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(16):3128-3138.
- ÖZDENİZ, M. B., BEKLEYEN, A., GÖNÜL, I. A., GÖNÜL, H., SARIGÜL, H., İLTER, T., DALKILIÇ, N., YILDIRIM, M., 1998. Vernacular Domed Houses of Harran, Turkey. *Habitat International*, 22(4):477-485.

- PEARLMUTTER, D., 1993. Roof Geometry as a Determinant of Thermal Behaviour: A Comparative Study of Vaulted and Flat Surfaces in a Hot-Arid Zone. *Architectural Science Review*, 36 (2):75-86.
- RAHMATMAND, A., YAGHOUBI, M., RAD, E. G., TAVAKOL, M. M., 2014. 3D experimental and numerical analysis of wind flow around domed-roof buildings with open and closed apertures. *Building Simulation*, 7(3): 305-319.
- RUNSHENG, T., MEIR, I.A., ETZION, Y., 2003. An Analysis of Absorbed Radiation by Domed and Vaulted Roofs as Compared with Flat Roofs. *Energy and Buildings*, 35: 539–548.
- SEMBIRING, M., 2009. Prediction of House Walls Temperatures Subjected to Solar Energy in Northern Malaysia. *Proceedings of International Conference on Applications and Design in Mechanical Engineering (ICADME)*, 11 – 13 October, Batu Ferringhi, Penang, Malaysia.
- SHARPLES, S., 1984. Full-scale measurements of convective energy losses from exterior building surfaces. *Build. Environ.* 19(1): 31-39.
- STAMOU, A., KATSİRİS, I., 2006. Verification of a CFD model for indoor airflow and heat transfe. *Building and Environment*, 41(9):1171-1181.
- TANG, R., MEIR, I.A., ETZION, Y., 2003. Thermal Behavior of Buildings with Curved Roofs as Compared with Flat Roofs. *Solar Energy*, 74:273–286.
- TANG, R., MEIR, I.A., WU, T., 2006. Thermal Performance of Non Air-conditioned Buildings with Vaulted Roofs in Comparison with Flat Roofs. *Building and Environment*, 41: 268–276.
- TURGUT, P., İŞİKER, Y., YESİLATA, B., 2007. Kompozit Yapı Malzemelerinde Isıl Özellik Ölçümü -2: Hurda Lastik Katkılı Betonlar İçin Ölçüm Sonuçları, *Mühendis ve Makina*, 565:33-39.
- TURGUT, P., YEŞİLATA, B., 2009. Investigation of Thermo-mechanical behaviors of scrap rubber added mortar plate and bricks. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24 (4): 651–658.
- WALLENTÉN P., 2001. Convective heat transfer coefficients in a full-scale room with and without furniture. *Building and Environment*, 36: 743–751.
- YESİLATA, B., TURGUT, P., İŞİKER, Y., 2007. Kompozit Yapı Malzemelerinde Isıl Özellik Ölçümü -1: Mevcut Ölçüm Tekniklerin İrdelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 564:2-9.
- YESİLATA, B., TURGUT, P., Y., 2007. A simple dynamic measurement technique for comparing thermal insulation performances of anisotropic building materials. *Energy and Buildings*, Volume 39(9):1027-1034.
- YILDIRIM E., FIRATOĞLU A. Z., YEŞİLATA B., 2014, Comparison Of The Solar Insolation On The Roof Of Conc Domed Harran House And The Flat Roof, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 34, 2, 123-128, 2014

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Erdal Yıldırım  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Halfeti 1978  
**Telefon** : 0414 3183000 /3220  
**e-mail** : erdaly@harran.edu.tr

### EĞİTİM

<b>Derece</b>	<b>Adı</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise :	Gaziantep Cumhuriyet Lisesi	1996
Üniversite :	Gaziantep Üniversitesi	2002
Yüksek Lisans :	Gaziantep Üniversitesi	2005
Doktora :	Harran Üniversitesi	2015

**Yabancı Dil** : İngilizce