



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**CAMİ YAPILARINDA DOĞAL
HAVALANDIRMA TASARIMI İLE PASİF
SOĞUTMA SAĞLANMASINA YÖNELİK BİR
YAKLAŞIM**

Hatice Sena AZKUR

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Şubat-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hatice Sena AZKUR tarafından hazırlanan “Cami Yapılarında Doğal Havalandırma Tasarımı ile Pasif Soğutma Sağlanmasına Yönelik Bir Yaklaşım” adlı tez çalışması 27/02/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mine ULUSOY

.....

Danışman

Doç. Dr. Murat ORAL

.....

Üye

Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Zafer KUYRUKÇU

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mine SUNGUR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması YÖK 100/2000 doktora projesi tarafından desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hatice Sena AZKUR

Tarih: 27.02.2024

ÖZET

DOKTORA TEZİ

CAMİ YAPILARINDA DOĞAL HAVALANDIRMA TASARIMI İLE PASİF SOĞUTMA SAĞLANMASINA YÖNELİK BİR YAKLAŞIM

Hatice Sena AZKUR

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat ORAL

2024, 148 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Murat ORAL

Prof. Dr. Mine ULUSOY

Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN

Dr. Öğr. Üyesi Zafer KUYRUKÇU

Dr. Öğr. Üyesi Mine SUNGUR

Tipik olarak doğal olarak havalandırılan bir yapının enerji tüketimi, klimalı bir yapıya göre %40 daha azdır. Cami yapılarının yıl boyunca tükettiği enerjinin en büyük kısmını yaz aylarında tükettiği soğutma enerjisi oluşturmaktadır. Bu nedenle yaz aylarında camilerde tüketilen enerjinin azaltılması çok önemlidir. Cami yapılarının kat yüksekliği genellikle insan ölçeğinin 5-6 katı kadar yüksek yapılar olarak tasarlanmaktadır. Bu yükseklik, doğal havalandırma için kullanılabilecek çeşitli seviyelerdeki açıklıkların tasarlanmasına olanak tanır. Ancak günümüzde Türkiye'deki cami yapılarında yüksek kotlarda bulunan pencereler açılır pencere olarak değil sabit pencere olarak, estetik kaygılarla tasarlanmakta ve doğal havalandırma potansiyeli göz ardı edilmektedir. Çalışmada camilerdeki bu sorunun tasarım aşamasında çözülmesi adına camilerdeki doğal havalandırma potansiyelinin değerlendirilmesi ve mimarlar için tasarım kriterlerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi kullanılarak simülasyonlar oluşturulmuştur. Bu kapsamda ANSYS Fluent programında altı farklı pencere açıklığı senaryosu modellenerek doğal havalandırmanın iç sıcaklıklara etkisi çalışma için tasarlanan bir cami prototipi üzerinde test edilmiştir. Çalışma kapsamı yalnızca iç akış hızları ve iç sıcaklıkları içerecek şekilde sınırlandırılmıştır. İç akış haritaları ve sıcaklık haritaları her senaryo için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre cami yapılarında baca tipi havalandırmanın oldukça verimli olduğu görülmüştür. Bu bağlamda cami yapılarında üst kotlarda açılabilir pencereler tasarlamak ya da çatıda birden fazla açıklık tasarlamak cami yapılarında mevcut yaygın uygulamaya göre pasif soğutma açısından çok daha olumlu sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak mimarların tasarım aşamasında kullanabilecekleri tasarım kriterleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ANSYS Fluent, cami mimarisi, doğal havalandırma, HAD analizi, pasif soğutma

ABSTRACT

PhD THESIS

AN APPROACH TO PROVIDE PASSIVE COOLING WITH NATURAL VENTILATION DESIGN IN MOSQUE BUILDINGS

Hatice Sena AZKUR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat ORAL

2024, 148 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Murat ORAL
Prof. Dr. Mine ULUSOY
Assoc. Prof. Dr. Hatice Derya ARSLAN
Asst. Prof. Dr. Zafer KUYRUKÇU
Asst. Prof. Dr. Mine SUNGUR**

Typically, energy consumption in a naturally ventilated building is 40% less than in a mechanically ventilated building. The largest portion of the energy consumed by mosque buildings throughout the year comes from cooling energy, which is consumed in the summer months. Therefore, it is very important to reduce the energy consumed in mosques during the summer months. The floor height of mosque buildings is generally designed as 5-6 times higher than human beings. This height allows to design various options for natural ventilation. However, today, mosque buildings in Türkiye windows are designed as fixed windows with aesthetic concerns and the potential for natural ventilation is ignored. In order to solve this problem in mosques at the design stage, the study aims to evaluate the natural ventilation potential in mosques and establish design criteria for architects. For the study, simulations were created using computational fluid dynamics analysis. In this context, six different window opening scenarios were modeled in the ANSYS Fluent program and the effect of natural ventilation on interior temperatures was tested on a mosque prototype designed for the study. The scope of study is limited to include interior flow rates and interior temperatures only. Interior flow maps and temperature maps were evaluated comparatively for each scenario. According to the results of the study, it has been seen that stack ventilation in mosque buildings is quite efficient. In this context, designing operable windows at the upper elevations of mosque buildings or designing more than one opening on the roof has yielded much more positive results in terms of passive cooling than the current common practice in mosque buildings. As a result, design criteria that architects can use during the design phase have been suggested.

Keywords: ANSYS Fluent, CFD analysis, mosque architecture, natural ventilation, passive cooling

ÖNSÖZ

Öncelikle lisansüstü çalışmalarım boyunca ve doktora tez sürecimde her zaman yol gösteren, destekleyen, motive eden ve pozitif enerji veren saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Murat ORAL'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını sunan ve çalışmaya yön veren sayın hocalarım Prof. Dr. Mine ULUSOY ve Doç. Dr. H. Derya ARSLAN'a da ayrıca teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamda desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Sercan DOĞAN'a teşekkür ediyorum.

Tüm eğitim hayatımda benim için her zaman motivasyon kaynağı olan canım annem Hacer DOĞAN'a, lisansüstü maceramın her anında yanımda olan ve beni sonsuz destekleyen sevgili eşim M. Kutay AZKUR'a çok teşekkür ediyorum.

Son söz olarak doktora tez çalışmamı, akademik çalışmalarını yarıda bırakarak aramızdan ayrılan babam Dr. Nuri DOĞAN'a ithaf ediyor, onu sevgiyle anıyorum.

Hatice Sena AZKUR
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı	3
1.3. Kaynak Araştırması	4
1.4. Çalışmanın Yöntemi	10
2. BİNALARDA DOĞAL HAVALANDIRMA VE PASİF SOĞUTMA.....	13
2.1. Doğal Havalandırma Prensipleri.....	14
2.1.1. Rüzgar Kaynaklı Kuvvetler	14
2.1.2. Konveksiyon Kaynaklı Kuvvetler	15
2.2. Binalarda Pasif Soğutma Yöntemleri	16
2.2.1. Açılabilir Pencere ve Yapı Boşlukları	18
2.2.2. Tek Yönlü Havalandırma ve Çapraz Havalandırma.....	20
2.2.3. Baca Etkisi ile Havalandırma	20
2.2.4. Gece Havalandırması	21
2.2.5. İki Katmanlı Cepheler.....	22
2.2.6. Soğuk Çatılar	23
2.2.7. Bitkilendirilmiş Çatılar	24
2.2.8. Buharlaştırma ile Soğutma	27
2.2.9. Gölgeleme Elemanları	28
2.2.10. Rüzgar Bacaları.....	29
2.3. Bölüm Değerlendirmesi	31
3. MEVCUT CAMİLER VE DOĞAL HAVALANDIRMA.....	33
3.1. Mevcut Camilerin Doğal Havalandırma Bağlamında Değerlendirilmesi.....	33
3.1.1. Hacı Yusuf Özönder Cami.....	34
3.1.2. Ecdat Cami.....	36
3.1.3. Mehmet Işıkçeviren Cami.....	38

3.1.4. Bastonlu Cami.....	39
3.1.5. Tevhit Cami	41
3.1.6. Hz. Eyyüb Cami.....	42
3.1.7. Mehmet Yalçın Cami.....	44
3.1.8. Hz. Ebubekir Cami	45
3.1.9. Huzur Cami.....	47
3.1.10. Elmalılı Hamdi Yazır Cami	49
3.2. Mevcut Camilerin Doğal Havalandırma Performans Sonuçları	51
3.3. Bölüm Değerlendirmesi.....	53

4. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) İLE DOĞAL

HAVALANDIRMA SİMÜLASYONU 55

4.1. HAD'ın Tarihçesi	55
4.2. HAD'ın Avantajları ve Zorlukları	57
4.3. HAD Yönteminde Doğrulama (Ağdan Bağımsızlaştırma).....	58
4.4. Çalışmanın Metodolojisi.....	58
4.4.1. Prototip Caminin Tasarımı.....	59
4.4.2. Yapı Detaylarının ve U Değerlerinin Belirlenmesi	61
4.4.3. İklim Koşulların Belirlenmesi	63
4.4.4. Simülasyon Çalışması.....	63
4.4.4.1. Geometrinin Modellenmesi	64
4.4.4.2. Akışın Çözümlemesi ve Doğrulama	64
4.4.4.3. Sonuçların Görselleştirilmesi.....	66
4.5. Bölüm Değerlendirmesi.....	67

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA..... 68

5.1. Farklı Pencere Konfigürasyonlarının Yapı İçi Sıcaklıklara Etkisi	68
5.1.1. Zemin seviyesinde açıklıkların düzenlendiği model (S1).....	68
5.1.1.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi.....	69
5.1.1.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi.....	71
5.1.2. Üst kotta açıklıkların düzenlendiği model (S2)	74
5.1.2.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi.....	75
5.1.2.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi.....	77
5.1.3. İki ayrı seviyede açıklıkların düzenlendiği model (S3)	80
5.1.3.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi.....	81
5.1.3.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi.....	83
5.1.4. Modellerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi.....	86
5.2. Farklı Çatı Penceresi Konfigürasyonlarının Yapı İçi Sıcaklıklara Etkisi	94
5.2.1. Tek bir çatı açıklığının düzenlendiği model (S4)	95
5.2.1.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi.....	96
5.2.1.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi.....	98
5.2.2. Birden fazla çatı açıklığının düzenlendiği model (S5)	101
5.2.2.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi.....	102
5.2.2.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi.....	104
5.2.3. Modellerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi.....	107
5.3. Mihrap Duvarının Termal Baca Olarak Değerlendirilmesi (S6)	114
5.3.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi.....	116

5.3.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi.....	118
5.4. Bölüm Değerlendirmesi	122
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	126
6.1. Camilerde Doğal Havalandırma Tasarımında Uygulanabilecek Mimari Tasarım Kriterleri.....	126
6.2. Gelecek Çalışmalar için Öneriler.....	128
KAYNAKLAR	129



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	: santigrat derece
cm	: santimetre
k- ω	: k-omega
m	: metre
m ²	: metrekare
MWh	: megawatt- saat
sn	: saniye

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ENIAC	: Electronic Numerical Integrator and Computer
EPA	: Environmental Protection Agency
EPİAŞ	: Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
HAD	: Hesaplmalı akışkanlar dinamiği
ICASE	: Institute for Computer Applications in Science and Engineering
ISO	: International Organization for Standardization
İZODER	: Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NPL	: Neutral pressure level
PMV	: Predicted mean vote
PPD	: Predicted percentage of dissatisfied
SEGE	: Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırmaları
SST	: Shear-stress transport
S1	: Senaryo 1
S2	: Senaryo 2
S3	: Senaryo 3
S4	: Senaryo 4

S5	: Senaryo 5
S6	: Senaryo 6
TRT	: Türkiye Radyo Televizyon Kurumu
TS	: Türk Standartları
WWR	: Window to wall ratio



1. GİRİŞ

Tarih boyunca dini yapılar ait oldukları inanç sistemine ve bu inanç sisteminin ibadet biçimlerine göre şekillenmiştir. İslam dininde bireysel ibadetler için özel mekan gereksinimi yoktur ancak toplu ibadet etmek için belirli sayıda insanın bir arada bulunabileceği yapılara ihtiyaç duyulmuştur. Toplanma ve bir araya gelme anlamını taşıyan “cem” kelime kökünden türeyen “cami” kelimesi bu bağlamda ortaya çıkmıştır.

Cami yapılarının kullanımı belirli zaman aralıklarıyla ve genellikle kısa süreli kullanımlar şeklindedir ancak kısa süreli kullanımlarda pek çok kullanıcının aynı anda aynı mekan içinde bulunması söz konusudur. Büyük kitlelerin aynı anda bir arada bulunduğu kapalı bir mekan olan harim bölümünde iç mekan çevre kalitesini istenilen düzeyde sağlamak gerekir. İç mekan çevre kalitesini oluşturan bileşenler, görsel konfor, akustik konfor, iç mekan hava kalitesi ve termal konfordur. Yapı fiziki verileri doğru bir şekilde kullanılarak iç mekan çevre kalitesi doğru tasarlanabilir.

Cami yapılarında kullanıcıların ibadete odaklanması için zihinsel ve fiziksel olarak konforlu hissetmeleri gerekir. Görsel konfor için göz yormayan ve dikkat dağıtmayan yalın bir iç mekan tasarımı ve işitsel konfor için yapı dışındaki günlük yaşam gürültüsünün iç mekanda hissedilmemesi, zihinsel olarak ibadete hazırlanmak için gereklidir. Fiziksel olarak rahat hissetmek için de iç mekan hava kalitesinin ve insanı konforlu hissettirecek sıcaklık aralığının sağlanmış olması önemlidir.

İç mekan hava kalitesinin belirli bir düzeyde tutulması için her yapının havalandırılması gerekir. Yapıların havalandırılması doğal ya da mekanik olarak sağlanabilir. Mekanik havalandırma sistemlerinin kullanımının sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için bakım ve onarımının düzenli olarak yapılması gerekir. Aksi halde sağlığa zararlı hava iç mekanda bulunur ve insan sağlığını olumsuz yönde etkiler. Havalandırmada en ekonomik, sağlıklı ve çevre dostu yöntem doğal havalandırmadır. Herhangi bir enerji tüketimi söz konusu olmadığından sürdürülebilir ve ekonomiktir. Ayrıca doğal taze havanın kullanılmasından dolayı sağlıklıdır. Doğal havalandırma tüm iç mekanlarda belirli bir temiz hava seviyesini sağlamak, kötü kokuları önlemek ve iç mekan hava kirleticilerini uzaklaştırmak için gereklidir.

Son yıllarda yapıların belirli bir sıcaklık aralığında tutulması için yaygın olarak iklimlendirme sistemleri kullanılmaktadır. İklimlendirme sistemleri özellikle yaz aylarını kapsayan soğutma döneminde büyük enerji tüketimine neden olarak çevreye de zarar vermektedir. Enerji krizinin dünyada kritik boyutlara ulaşması ile devletler de bu konuda önlemler alarak kısıtlamalar getirmektedir. Avrupa birliği de kamu binalarının soğutulmasında enerji krizi çerçevesinde önlem almaktadır. Bu önlemlere bir örnek olarak Yunanistan'da yazın kamu yapılarının en düşük 27 dereceye, Fransa'da en düşük 26 dereceye kadar soğutulmasına izin verilmektedir (Anadolu Ajansı, 2022). Ülkemiz ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer almaktadır ve yaz aylarında yapıların soğutma yüklerinde büyük artış görülmektedir. Camiler de özellikle yaz aylarında yüksek enerji tüketmektedir. Budaiwi ve arkadaşlarının (2013) çalışmasına göre bir caminin yıllık tükettiği enerjinin %70'i yaz aylarındaki soğutma için kullanılmaktadır. Bu da sadece soğutma enerjisinin azaltılmasına yoğunlaşıldığı takdirde bile enerji tüketiminin büyük ölçüde azaltılabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda doğal havalandırma bir pasif soğutma aracı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Pasif soğutmada, bir yapının soğutma ve havalandırma ihtiyaçlarını sağlamak için sıcaklık farklarından oluşan hava akımları ve rüzgar gibi doğal kaynaklar kullanılır. Bu ayrıca mekanik soğutma kullanma ihtiyacını da ortadan kaldırır ya da azaltır. Pasif soğutmanın uygulanması, iç hava kalitesinin iyileştirilmesi ve binanın daha konforlu bir yaşama ortamı haline getirilmesi anlamına gelir. İklimlendirme cihazları kullanımlarının azalacağından ya da tamamen ortadan kalkacağından, yapının enerji kullanımı seviyeleri ve sera gazı emisyonları gibi çevresel etkiler de azalacaktır.

Camiler bağlamında da pasif soğutmanın yasal düzenlemelerle teşvik edilmesi ve camilerin mimarlar tarafından doğal kaynakların verimli kullanımını sağlayacak bir şekilde tasarlanması sürdürülebilirlik açısından çok önemlidir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Camilerin harim bölümü toplu ibadet etmek amacı ile genellikle tek ve büyük bir hacim şeklinde düzenlenir. Bu hacmin üç boyutlu mekan etkisini sağlaması için genişliğine uygun oranlarda tavan yüksekliği belirlenir. Cami yapıları bu sebeple genellikle kat yüksekliğinin insan ölçeğinden 5-6 kat fazla olduğu yapılar şeklinde

tasarlanır. Bu yükseklik caminin kabuğunda doğal havalandırma için kullanılabilecek çeşitli seviyelerde açıklıklar tasarlanmasına imkan tanır. Ancak günümüzde cami yapılarında bu yüzeylerdeki pencereler açılır pencere olarak tasarlanmamakta, daha çok estetik kaygılarla tasarlanarak doğal havalandırma potansiyeli göz ardı edilmektedir. Mevcut uygulamalar incelendiğinde yalnızca zemin seviyesinde açılabilir pencerelerin tasarlandığı görülmektedir. Üst kotlarda ya da çatı bölümünde bulunan pencereler doğal ışık amacıyla tasarlanmakta, açılabilir şekilde uygulanmamaktadır. Ancak günümüzde insan erişiminin olmadığı bu kotlarda da açılabilir pencereler otomasyon aracılığı ile uzaktan kontrol edilebilir şekilde tasarlanabilmektedir. Buna rağmen bu imkan kullanılmamakta ve cami iç mekanları mekanik olarak koşullandırılmaktadır. Bu tip tasarımların sonucunda da yaz aylarında büyük enerji tüketen yapılara dönüşen cami yapıları olumsuz çevresel etkilere sebep olmaktadır.

Çalışma kapsamında camilerdeki bu sorunsalın tasarım aşamasında çözülebilmesine yardımcı olacak tasarım kriterleri oluşturmak hedeflenmiştir. Bu tez çalışmasının amacı camiler için pasif soğutma amacıyla kullanılabilecek doğal havalandırma potansiyellerini değerlendirmek ve mimarların erken tasarım evresinde kullanabilecekleri bir takım tasarım kriterlerini ortaya koymaktır.

Diyanet İşleri Başkanlığının Cami Planlama ve Tasarım Kılavuzunda yalnızca bir sayfada kısaca değinilen sürdürülebilirlik konusu mimarlara rehberlik konusunda yetersiz kalmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen tasarım kriterlerinin cami tasarımlarında mimarlar tarafından kullanılarak daha sürdürülebilir cami yapıları tasarlamaları, ülkemizin kalkınma planlarında da yer alan kamu yapılarında enerji tüketimini azaltmak hedefine de katkıda bulunması açısından oldukça önemlidir. Ayrıca dünyamızın içinde bulunduğu enerji krizi ortamında enerji tüketiminin en aza indirilmesini teşvik eden tasarım kriterlerinin elde edilmesi, sürdürülebilir geleceğimize de katkıda bulunacaktır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışma kapsamında öncelikle ılıman-kuru iklimi temsil eden Konya ilindeki mevcut on adet cami, doğal havalandırma bağlamında incelenmiştir. Sonrasında ülkemizdeki yönetmeliklere ve literatüre uygun bir prototip cami tasarlanmıştır. Prototip

camî tasarımı üzerinde farklı pencere konfigürasyonları oluşturularak altı farklı senaryo geliştirilmiştir.

Geliştirilen senaryolar kapsamında, ilk olarak camî duvarlarında tasarlanan açıklıkların seviyelerinin değişmesi ile pasif soğutmanın nasıl etkilendiği incelenmiştir. Sonrasında çatıda tasarlanan açıklıkların etkisi ve toplam açıklık büyüklüğü aynı kalmak kaydıyla çatı açıklıklarının sayısının artmasının pasif soğutmayı nasıl etkilediği incelenmiştir. Son olarak ülkemizde güneydoğu yönünde bulunan mihrap duvarına bitişik bir termal baca tasarlanarak soğutma etkisi incelenmiştir.

Çalışma kapsamında iç sıcaklıklar ve iç akış modelleri ele alınmıştır. Çalışmanın kapsamı ılıman kuru iklimi temsil eden Konya ilinin verileri ile yalnızca yaz aylarındaki soğutma etkisini inceleyecek şekilde sınırlandırılmıştır. Çalışma sonunda ise enerji yüklerinin azaltılabilmesi için tasarım kriterlerinin oluşturulması hedeflenmiştir.

1.3. Kaynak Araştırması

Fanger (1970), termal konfor üzerine yaptığı çalışmasında insanların iç mekanlarda konforlu hissettiği sıcaklık aralığı için bir formül önermiştir. Daha sonra bu çalışma ISO tarafından standartlaştırılmıştır. Günümüzde ISO ve ASHRAE gibi kuruluşlar Fanger metodunu konfor koşulları için bilimsel bir metot olarak kabul etmektedir.

Clements-Croome (1997) editörlüğünde hazırlanmış binalarda doğal havalandırma konulu bir kitaptır. Doğal havalandırmanın ölçülmesi ve termal konfor gibi konuları ele almaktadır.

Linden (1999), binalarda doğal havalandırma prensiplerini akışkanlar mekaniğini temel alarak çeşitli formüller üzerinden açıklamıştır. Rüzgar, sıcaklık farkları, baca etkisi ve yapıdaki açıklıklar sayesinde oluşan doğal havalandırma akışlarını ortaya koymuştur.

Brager ve De Dear (2000), çalışmalarında mekanik havalandırma ve doğal havalandırma yapılan yapılarda insanların termal konfor aralıklarını ölçerek

karşılaştırmışlardır. Mekanik havalandırma yapılan yapılarda insanların daha dar bir sıcaklık aralığında memnun oldukları, doğal havalandırılan yapılarda ise daha geniş bir aralıkta memnuniyetin sağlandığı tespit edilmiştir.

Imam (2003), Bangladeş'in Dakka kenti için camilerin minarelerinin rüzgar bacası olarak kullanılabileceğini çeşitli termodinamik denklemlerle test ederek yeterli akış hızlarının sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Günümüzde görsel bir fonksiyonu olan minarelere teknik bir işlev önermiştir.

TS EN ISO 7730 (2006), ISO'nun "Isıl çevrenin ergonomisi – PMV (predicted mean vote) ve PPD (predicted percentage of dissatisfied) indislerinin hesabını ve bölgesel ısı konfor kriterlerini kullanarak ısı konforun analitik olarak belirlenmesi ve yorumu" isimli standardının Türkçe tercümesidir. Bu standartta Fanger'in termal konfor metodu temel alınmıştır. Avrupa'da yürürlükte olan ISO 7730 ABD'de geçerli olan ASHRAE 55 standardı ile uyumludur.

Darçın (2008), yapı içi hava kirleticilerinin doğal havalandırma ile uzaklaştırılması konusunda yüksek lisans tezini tamamlamıştır. Tez kapsamında doğal havalandırma prensipleri detaylı biçimde ele alınmıştır.

Al-Homoud vd. (2009), Suudi Arabistan'da üç mevcut cami üzerinde enerji tüketimi analizi gerçekleştirmişlerdir. Enerji tüketiminde en büyük paya soğutucu iklimlendirme cihazları sahip olmuştur. Özellikle yaz aylarında enerji tüketimi bu sebeple önemli ölçüde artmıştır.

Asfour (2009), Klasik dönem Osmanlı üslubu ve Arap üslubunu taşıyan iki tip cami tasarlanmış ve Ecotect yazılımında termal performansları ölçülmüştür. Çalışmanın sonuçları Osmanlı tipi caminin yaz aylarında daha iyi performans gösterdiğini ancak kış aylarında Arap tipi caminin daha başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

ASHRAE-55 (2010), Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği tarafından yayınlanmış bir standarttır. İç mekan termal konfor koşullarını etkileyen faktörleri ve kullanıcı faktörlerini belirlemek amacı ile oluşturulmuştur. İlk olarak 1966 yılında yayınlanmıştır. Günümüzde de sürekli olarak güncellenmektedir.

Yang ve Clements-Croome (2012), tarafından yapılan çalışma yapılarında doğal havalandırma prensiplerinin ele alındığı bir kitap bölümüdür. Beş örnek yapı üzerinden doğal havalandırma stratejileri değerlendirilmiştir.

Bakhlah ve Hassan (2012), Malezya’da bulunan bir caminin harim alanının sıcaklık performansını cihazlar yardımı ile ölçerek bir çalışma gerçekleştirmiştir. Gün içinde farklı saatlerde farklı noktalarda ve dış mekanda ölçümler yapılmıştır.

TS825 (2013), binalarda net ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarına ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi değerlerinin belirlenmesine dair standarttır. İzin verilebilecek maksimum ısı geçirgenlik değerleri Türkiye’deki iklim bölgelerine göre hesaplanarak belirtilmiştir.

Demir (2013), tarafından hazırlanan “Doğal havalandırma yöntemlerinin sayısal modellenmesi” isimli bir yüksek lisans çalışmasıdır. Makine mühendisliği ana bilim dalında yapılmış bir çalışmadır. Doğal havalandırma, ısı konfor, akış modelleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği modellemesi ele alınmıştır.

Maarof (2014), tarafından yapılan çalışmada tipik doğal havalandırmalı Malezya Camilerinde farklı çatı tasarımlarının termal konfora etkisi doktora tezi kapsamında değerlendirilmiştir. Kırmı çatılı ve kubbeli tip karşılaştırılmıştır. Çalışma dört adet mevcut cami üzerinden yapılmıştır. Çalışma sonucunda 5000 kişi ve üzerindeki camilerde kubbe tipi daha iyi sonuç verirken 5000 kişiden daha az kapasiteli camiler için kırmı çatı tipi daha olumlu sonuçlar vermiştir.

Al Sudany (2015), Bağdat’ta bir caminin minaresini rüzgar yakalayıcı olarak değerlendirmiş, minarelere su püskürtme sistemi ekleyerek hem nemlendirme hem de soğutma etkisi HAD simülasyonu ile test edilmiştir. Sonuçlar bu sistemin camiler için sürdürülebilir ve başarılı bir sistem olduğunu ortaya koymuştur.

Şenkal Sezer ve Kaymaz (2016), Bursa’da sekiz adet tarihi camide kullanıcıların termal konfor memnuniyetlerini bir anket yardımı ile ölçmüşlerdir.

Jomehzadeh vd. (2017), iç mekan hava kalitesi ve termal konfor bağlamında rüzgar yakalayıcı ile ilgili mevcut olan çalışmaları bir makalede derlemişlerdir. Derlenen çalışmalarda iki tip yaklaşım bulunmaktadır. İlki tam ölçekli test ve laboratuvar ölçekli testleri içeren deneysel yaklaşım ve ikincisi HAD analizi ve analitik modellemeyi içeren teorik yaklaşımdır.

Mushtaha ve Helmy (2017), çalışmalarında sıcak nemli iklimde cami yapılarının formlarının termal performansa etkilerini Ecotect yazılımı üzerinden simülasyon modellemesi ile incelemiştir. Kare, dikdörtgen ve çokgen plan değerlendirilmiştir. Sonuçlar en az yüzey alanına sahip yapı formunun en iyi sıcaklık performansını verdiğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda çokgen plan diğer tiplere göre daha başarılı olmuştur.

Nordin ve Misni (2017), Malezya’da yaptıkları çalışmada bir eski bir de yeni mevcut cami seçerek termal performanslarını incelemiştir. Hava akış hızı, sıcaklıklar ve nem, cihazlar yardımı ile ölçülerek çalışma gerçekleştirilmiştir. Yeni camide sıcaklıklar gün boyu dalgalanma yaşarken, eski camide öğleden sonra belirli bir sıcaklık artışı gözlemlenmiştir.

Ray vd. (2017), gerçek bir cami projesinin tasarım sürecine doğal havalandırma tasarımını HAD analizi modelleriyle dahil ederek bu süreci değerlendirmişlerdir.

Nordin ve Misni (2018), Malezya’da mevcut üç caminin termal performansını cihaz ölçümleri yaparak değerlendirmişlerdir.

Alhasan ve Yuning (2019), Çin’de bulunan camiler üzerinde yaptıkları araştırmada cami avlularının termal performanslarını HAD analizi ile ölçmüşler yönlere göre hangi avlu tiplerinin daha verimli olduğu konusunda değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

Atmaca ve Gedik (2019), ılıman nemli iklimde mevcut iki caminin enerji tüketimi ve termal konfor koşullarını inceleyerek karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Küçük (2019), konut yapıları özelinde doğal havalandırma tekniklerini inceleyerek bir vaka çalışması üzerinden Flow Design yazılımı ile tekil bir konut incelemiştir.

Othman vd. (2019), Malezya’da tipik bir kubbeli camide farklı açıklık tiplerinde yapının iç mekan konforunun nasıl etkilendiği Flow Design yazılımında test edilmiştir. Küçük giriş ve çıkış açıklığı kullanıldığında yapı içinde akış hızının arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık küçük giriş ve büyük çıkış açıklığı tasarlandığında hızın bir miktar düştüğü görülmüştür. Sonuç olarak hakim rüzgar hızının yüksek olduğu alanlarda büyük giriş açıklığı, rüzgar hızının düşük olduğu alanlarda ise daha küçük giriş açıklıklarının tercih edilmesi daha doğru olacaktır.

Rahim ve Marassabessy (2019), Endonezya’da mevcut bir caminin doğal havalandırma özelliklerini çeşitli ölçümler ile incelenmiştir.

Sanusi vd. (2019), Malezya’da İngiliz kolonisi döneminde inşa edilmiş üç camiye çevresel performans açısından değerlendirmiştir. Isıl performansları cihazlar yardımı ile ölçülmüş, havalandırma performansları simülasyon ile elde edilmiştir.

Yusoff ve Jaafar (2019), Malezya’da tarihi bir cami seçerek termal konfor koşullarını cihazlar yardımı ile ölçerek değerlendirmişlerdir.

Azmi ve İbrahim (2020), cami yapılarının termal performansı hakkında daha önce yayınlanmış makaleler üzerinden kapsamlı bir değerlendirmede bulunmuştur. Cami yapılarında en çok enerji tüketen işlemin soğutma sistemi olduğu vurgulanarak bu alanda yapılacak iyileştirmelerin büyük fark yaratacağı belirtilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizi ile daha kapsamlı incelenebileceği ve çeşitli çatı ve pencere konfigürasyonlarının bu şekilde değerlendirilerek sağlıklı sonuçlara ulaşılabileceği ifade edilmiştir.

Mohammed vd. (2020), Mısır’da mevcut tarihi bir cami yapısını modelleyerek rüzgar tüneline test etmiştir. Caminin mevcut halinde kapatılmış bulunan orijinal pencerelerinin tekrar açılarak caminin termal performansının arttırılabileceği görülmüştür.

Yüksel vd. (2020), mevcut bir cami üzerinde CO₂ ve sıcaklık değerlerini ölçerek iç mekan konfor değerlendirmesi yapmıştır.

Azmi vd. (2021), camilerde enerji etkinliğini etkileyen faktörleri bir derleme makalesinde toplamıştır. Makale sonucunda camileri etkileyen parametreler bir listede toplanmıştır.

Diler vd. (2021), Manisa’da tarihi bir caminin termal performansını ölçümler aracılığı ile değerlendirmiştir. Ayrıca Design Builder programında da simülasyonlar gerçekleştirilerek gerçek ölçümlerle birlikte değerlendirilmiştir.

Raslı vd. (2021), Malezya’da 21 cami üzerinde çalışarak termal performans değerlendirmesi yapmıştır. Çatı tiplerinin büyük ölçüde termal konfora etkisinin olmadığını tespit etmiştir. Termal konfora en çok etki eden faktörlerin pencere duvar oranları ve havalandırmanın türü olduğu görülmüştür.

Yüksel vd. (2021), dini yapılarda termal konfor, iç mekan hava kalitesi ve enerji tüketimi konularında yapılmış çalışmaları derlemiştir.

Yıldırım vd. (2022), pencere şekli boyutu ve konumunun binaların doğal havalandırmasına etkisi üzerine çalışmıştır. Çalışma sonucunda yapıların pencere açıklıklarının yapısının dışarıya doğru genişleyecek şekilde yapılmasının havalandırmayı arttırdığı görülmüştür. Bu genişleme yüzeyi ne kadar artarsa havalandırma performansı da o denli artmıştır.

Camilerde termal konforun incelendiği çalışmalar daha çok mevcut yapıların incelenmesi ve mevcut performansın tespit edilmesi şeklindedir (Al-Homoud v.d. 2009, Bakhlah ve Hassan 2012, Şenkal Sezer ve Kaymaz 2016, Nordin ve Misni 2017, Nordin ve Misni 2018, Alhasan ve Yuning 2019, Atmaca ve Gedik 2019, Rahim ve Marassabessy 2019, Sanusi v.d. 2019, Yüksel v.d. 2020, Yusoff 2020, Yusoff 2021, Raslı v.d. 2021, Diler v.d. 2021). Azmi ve İbrahim’in yapmış olduğu derleme çalışmasında (2020) camilerde doğal havalandırma konusunun hesaplamalı akışkanlar

dinamiği (HAD) analizi ile daha kapsamlı incelenebileceği ve bu şekilde değerlendirilerek sağlıklı sonuçlara ulaşılabileceği ifade edilmiştir.

Azmi ve arkadaşlarının (2021) çalışmasında camilerde enerji etkinliğinin hangi yönleriyle çalışıldığı çok detaylı bir şekilde derlenmiştir. Literatürdeki çalışmaların çoğunun mevcut enerji tüketimini pasif soğutma sistemleri ile azaltmak üzerine olduğu ancak yenilikçi sistemlere değinilmediği ve bunun araştırılması gereken bir alan olduğu belirtilmiştir. Yüksel ve arkadaşlarının (2021) çalışmasında ibadet yapılarının enerji etkinlik performansı üzerine yapılan çalışmalar, konuları ve nitelikleri bakımından derlenmiştir. Bu alanda yapılan çalışmaların %45'inin termal konfor üzerine olduğu tespit edilmiştir. Bu da ibadet yapılarında iç sıcaklıkların önemini vurgulamaktadır.

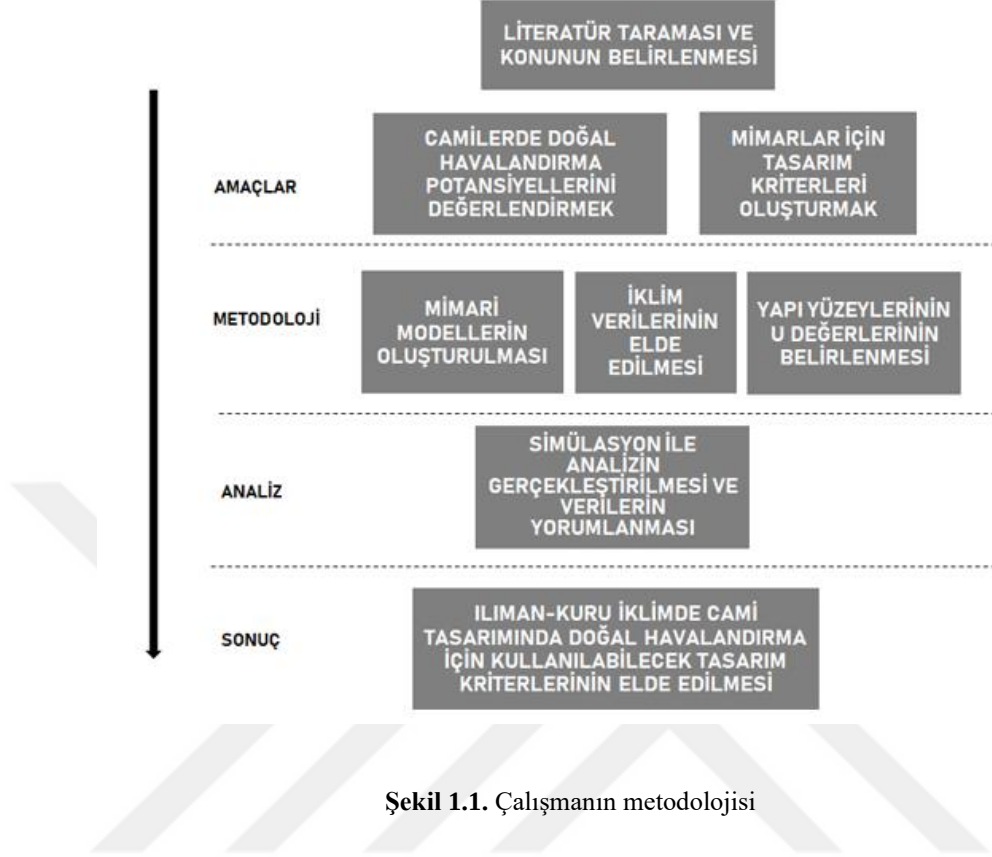
Uluslararası literatürde de belirtildiği gibi camilerin iç mekan koşulları son yıllarda araştırılmaya başlanmış bir alandır ve yapılacak çalışmalar literatürdeki bu boşluğu doldurması bakımından büyük önem taşımaktadır. Özellikle HAD analizi ile yapılan çalışmaların yeni başlaması bu alandaki boşluğa işaret etmektedir. Bu sebeple camilerin iç mekan koşullarının sayısal simülasyon yöntemleriyle incelenmesi literatüre katkıda bulunması açısından önemli bir çalışmadır.

Özellikle Brager ve De Dear'ın (2000) çalışması doğal havalandırılan yapılarda kullanıcıların termal konfor aralığının daha geniş olduğunu ortaya koyması bakımından çok önemlidir. Bu çalışmaya bakılarak doğal havalandırılan yapılarda kullanıcı memnuniyetinin sağlanması için mekanların çok düşük sıcaklıklara kadar soğutulmasına gerek olmadığını ortaya koymaktadır. Yapıları 1 derece bile daha fazla soğutmanın enerji tüketimini daha da arttırdığı düşünülürse doğal havalandırılan yapıların önemi daha da anlaşılmış olur. Bu sebeple doğal havalandırmanın teşvik edilmesi ve bu alan üzerinde yapılan çalışmaların artırılması sürdürülebilirlik hedeflerimize katkıda bulunması açısından dikkate değerdir.

1.4. Çalışmanın Yöntemi

Çalışma yaz aylarında camilerdeki doğal havalandırmanın soğutma etkisine odaklanmıştır. Cami binalarına uygun doğal havalandırma potansiyellerini değerlendirmek ve çatıda ve duvarlarda oluşturulacak doğru açıklık konfigürasyonunu

bularak mimarlar için tasarım kriterleri oluşturmak amacıyla Şekil 1.1'deki metodoloji uygulanmıştır.



Çalışmanın amacına uygun hipotez ve alt hipotezler aşağıdaki şekilde ortaya konulmuş ve test edilmiştir.

Hipotez: Cami yapılarında pencere açıklıklarının doğru şekilde konumlandırılmasıyla pasif soğutma arttırılabilir.

Alt Hipotezler :

- Cami yapılarında pencere konfigürasyonunun değişmesi ile pasif soğutma arttırılabilir.
- Cami yapılarında toplam açıklık sabit kalacak şekilde çatı pencerelerinin sayısının arttırılması ile pasif soğutma arttırılabilir.
- Cami yapılarında mihrap cephesinin termal baca olarak değerlendirilmesi ile pasif soğutma arttırılabilir.

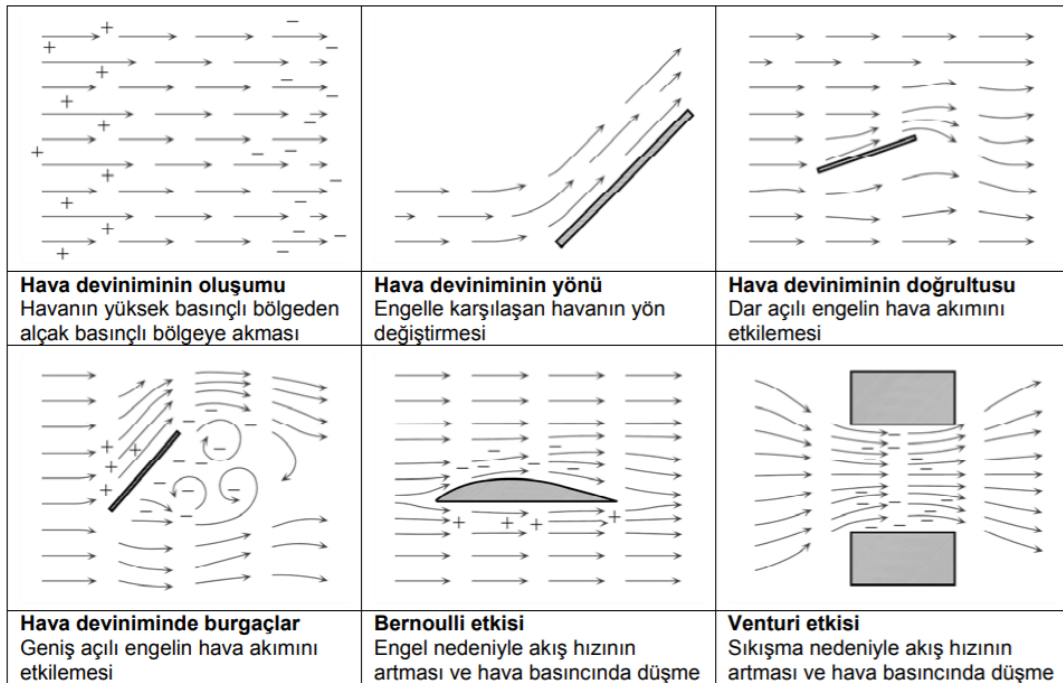
Çalışmanın hipotezlerini test etmek amacıyla öncelikle Türkiye'deki ve uluslararası literatürdeki güncel uygulama ve düzenlemeler dikkate alınarak prototip bir cami tasarlanmıştır. Binanın duvar, taban ve çatı detayları çizilerek bu yüzeylerin U

değerleri TS825'e göre hesaplanmıştır. Sonrasında Konya ilinde yılın en sıcak zamanını temsil eden Temmuz ayının beş yıllık iklim verileri (2018-2022) elde edilmiştir. HAD yazılımına yüklenen model bu veriler doğrultusunda şekillendirilmiş ve analizler yapılmıştır. Son olarak analiz çıktıları karşılaştırmalı olarak yorumlanmış ve mimarların tasarım aşamasında kullanabilecekleri tasarım kriterleri önerilmiştir.



2. BİNALARDA DOĞAL HAVALANDIRMA VE PASİF SOĞUTMA

Doğal havalandırma, binaların havalandırmasını sağlamak için rüzgarın veya sıcaklık farkının doğal itici güçlerinin kullanılmasıdır (Ji vd., 2009). Hava, yüksek basınç noktasından alçak basınç noktasına doğru akar. Bir iç mekanda hava hareketinin sağlanabilmesi için havanın mekana girdiği nokta ile mekandan çıktığı nokta arasında basınç farkının yaratılması gerekmektedir. Basınç farkı ne kadar yüksek olursa içeriye o kadar fazla hava akacaktır. Mekan içindeki hava akışı, kullanıcının hava hareketini algılaması ve hava kirleticilerinin mekandan uzaklaştırılması açısından önemlidir. Kullanılan hava kirli ve sıcak olur. Isındıkça genişler, hafifler ve böylece yükselir. Yükselen sıcak havanın yerini açıklıklardan gelen soğuk ve temiz hava alır. Buna göre bir iç mekanda temiz ve soğuk hava zemine yakın, kirli ve sıcak hava ise tavana yakın konumlanır. Hava hareketinin yavaş bir şekilde değişmesi hava akışının düzenliliğini korurken, ani değişiklikler, hava akışlarının girdap gibi döndüğü ve öngörülemeyen yönlere bölündüğü türbülanslı akımlar yaratır (Şekil 2.1). Bir hava akımının hızı, yanındaki hava akımının hızına göre artarsa, bu hava akımının basıncı azalır. Uçak kanatları bu prensiple havalanır. Buna Bernoulli etkisi denir. Katmanlı bir hava akışı bir açıklıktan geçmek üzere sıkıştırıldığında hızı artar ve basıncı düşer. Bu duruma da Venturi etkisi adı verilmektedir (Darçın, 2008).



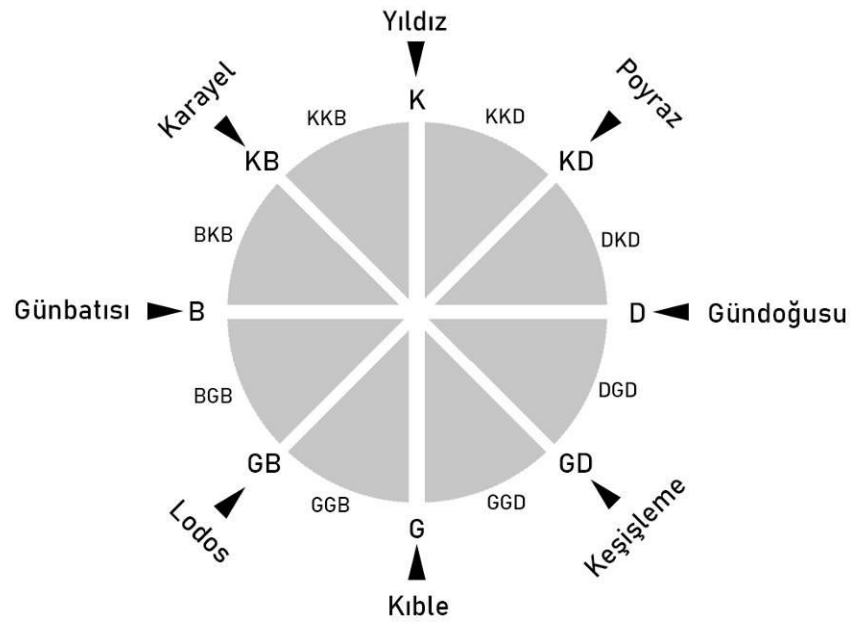
Şekil 2.1. Hava devinim davranışları (Darçın ve Balanlı, 2011)

2.1. Doğal Havalandırma Prensipleri

Binalarda doğal havalandırma temel olarak rüzgar kaynaklı kuvvetler ve akışkan içindeki sıcaklık farkları sayesinde oluşan hareketi temsil eden konveksiyon kaynaklı kuvvetler ile sağlanır.

2.1.1. Rüzgar Kaynaklı Kuvvetler

Rüzgar kaynaklı kuvvetler, binaları doğal olarak havalandırmanın tipik bir yoludur. Yerleşim alanlarının konum ve iklim yapısına göre bir hakim rüzgar yönü vardır. Hakim rüzgarın esme yönü, o yerleşimdeki nemi ve sıcaklığı etkiler. Şekil 2.2’de yönlerine göre rüzgarlar ifade edilmiştir. Yıldız ve poyraz kuzey bölgelerde denize bakan kesimlerde yağış getirir. Lodos sıcak havayı getirir ve kurutucu etkisi vardır. Karayel, yıldız ve poyraz ise soğuk havayı getirir (Yüceer, 2015).

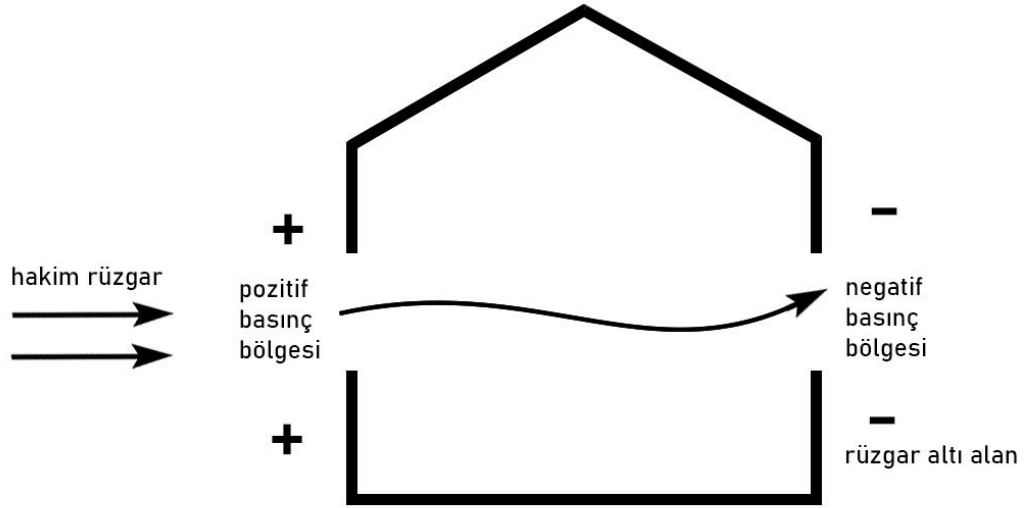


Şekil 2.2. Yönlerine göre rüzgar isimleri

Hakim rüzgar doğrultusunda oluşturulan iç mekandaki hava koridorları etkili doğal havalandırmayı sağlar. Binanın havalanması iç mekandaki kirli havanın dış ortamdaki temiz hava ile yer değiştirmesidir. İç mekandaki aşısı sıcak havanın sürekli bir hava hareketi ile tasfiyesi iç mekanda soğutma ve fazla nemin uzaklaştırılmasını

sağlar (Yüceer, 2015). Bu sebeple yapı yerleşim yönüne karar verilirken yalnızca güneşlenme yönüne değil hakim rüzgar yönünde de dikkat etmek gerekir.

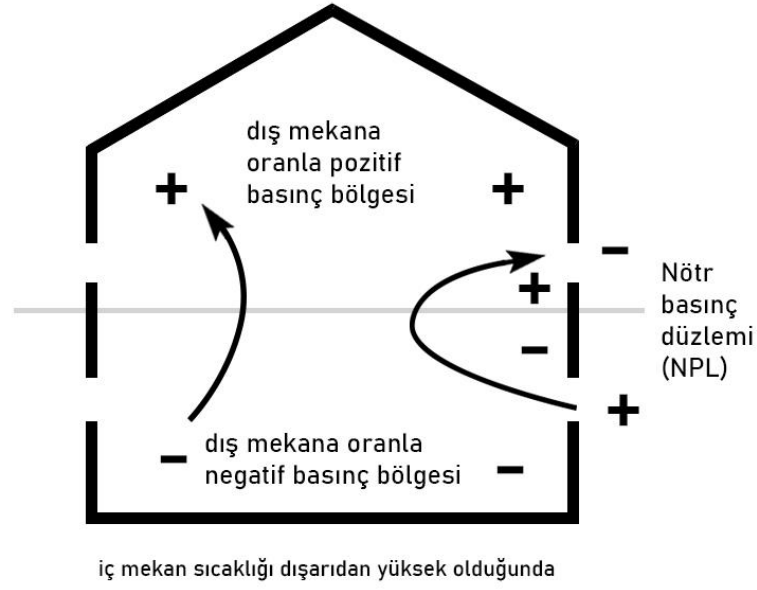
Binalarda dış rüzgar altında, rüzgar yönündeki statik basıncın dağılımı artar ve bu da pozitif veya yüksek basınç bölgesi oluşmasına neden olur. Düşük basınçlı veya negatif basınçlı bir bölge oluşturan rüzgar altı bölgelerinde girdaplar oluşabilir. Basınç altında hava, pozitif basınçlı bölgeden negatif basınçlı bölgeye doğru hareket eder (Şekil 2.3). Havalandırma yoğunluğu, hava giriş ve çıkış yüzey alanları ve rüzgar kuvvetinin büyüklüğü ile ilgilidir (Zhang vd., 2021).



Şekil 2.3. Rüzgar kaynaklı kuvvetlerle oluşan basınç bölgeleri

2.1.2. Konveksiyon Kaynaklı Kuvvetler

Sıcaklık tarafından yönlendirilen havalandırmaya konveksiyon kaynaklı havalandırma denir. Baca etkisinin yoğunluğu, hava giriş ve çıkış yüksekliğindeki farkla ve iç ve dış havanın yoğunluğundaki farkla ilişkilidir. Bina içerisinde herhangi bir ısıtma kaynağı bulunduğunda iç hava sıcaklığı dış hava sıcaklığını aşabilir. Isınan hava mekanın üst kısmına doğru yükselerek dış ortama göre aşırı basınca neden olur (Şekil 2.4). Daha sonra hava içeriden dışarıya doğru yönlendirilir. (Zhang vd., 2021).



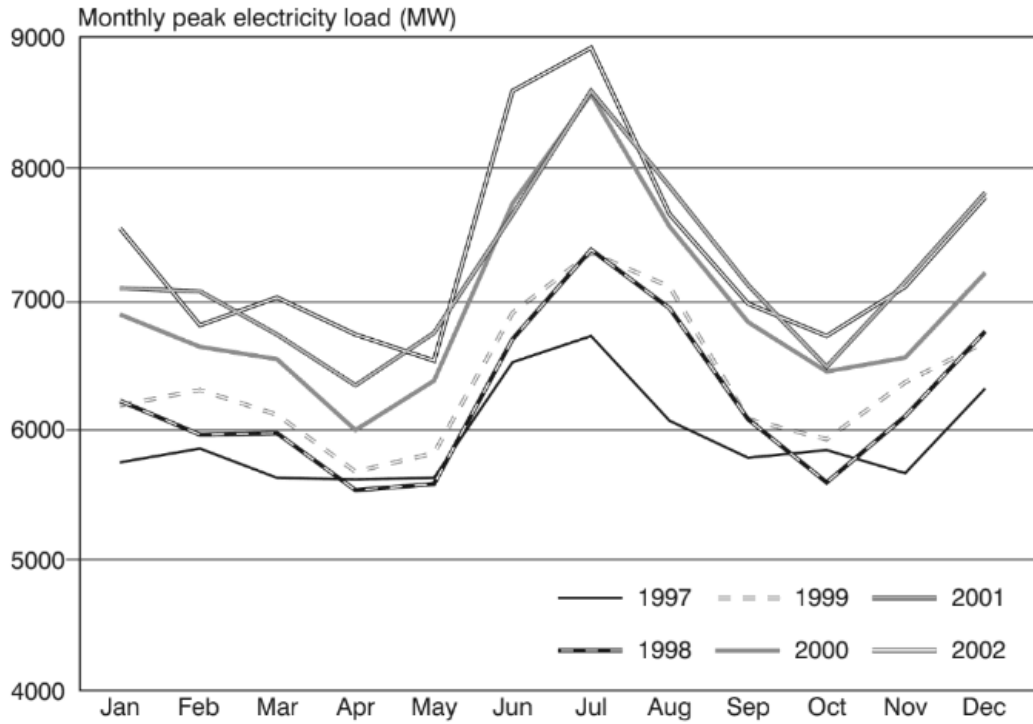
Şekil 2.4. Konveksiyon kaynaklı kuvvet ile havalandırma (Zhang vd'nin., (2021) çalışmasından yeniden üretilmiştir)

2.2. Binalarda Pasif Soğutma Yöntemleri

Pasif soğutma, bir yapının soğutma ve havalandırma ihtiyaçlarını sağlamak için sıcaklık farkları ve rüzgar gibi doğal kaynakları kullanır. Bu ayrıca mekanik soğutma kullanma ihtiyacını da azaltır ya da tamamen ortadan kaldırır. Pasif soğutmanın uygulanması, iç hava kalitesinin iyileştirilmesi ve binanın daha konforlu bir yaşama ortamı haline getirilmesi anlamına gelir. Enerji kullanımı seviyeleri ve sera gazı emisyonları gibi çevresel etkileri azaltır.

Sürdürülebilir mimariye doğru hareketin bir parçası olarak, ısıtma veya soğutma için pasif tasarıma olan ilgi son zamanlarda artmıştır. İyi tasarlanmış yapı kabukları, havanın soğutma etkisini en üst düzeye çıkarır ve yaz mevsiminde aşırı ısınmayı engeller. Farklı iklimlerde kullanılmak üzere önerilebilecek birçok pasif soğutma stratejisi vardır. Uygun pencere yerleşimi ve gün ışığı tasarımı, pencereler veya çatı pencereleri için uygun cam seçimi, bina kabuğu ve çatısı için ışık veya yansıtıcı renkli malzemelerin kullanılması, uygun peyzaj tasarımının yanı sıra dikkatli konumlandırma ve akıllı yönlendirme kararları bu stratejilerden bazılarıdır (Taleb, 2014).

Pasif soğutma özellikle ılıman ve sıcak iklim kuşaklarında enerji tüketiminin azaltılmasında büyük fark yaratabilir. Şekil 2.5'te Yunanistan için yapılan bir çalışmada 1997-2002 yılları arasında aylara göre enerji tüketimi gösterilmiştir (Santamouris, 2007). Grafikten de anlaşıldığı üzere Temmuz ayında enerji tüketimi pik yapmaktadır. Bu bağlamda yaz aylarında enerji tüketiminin azaltılması için pasif soğutma çok önemlidir.

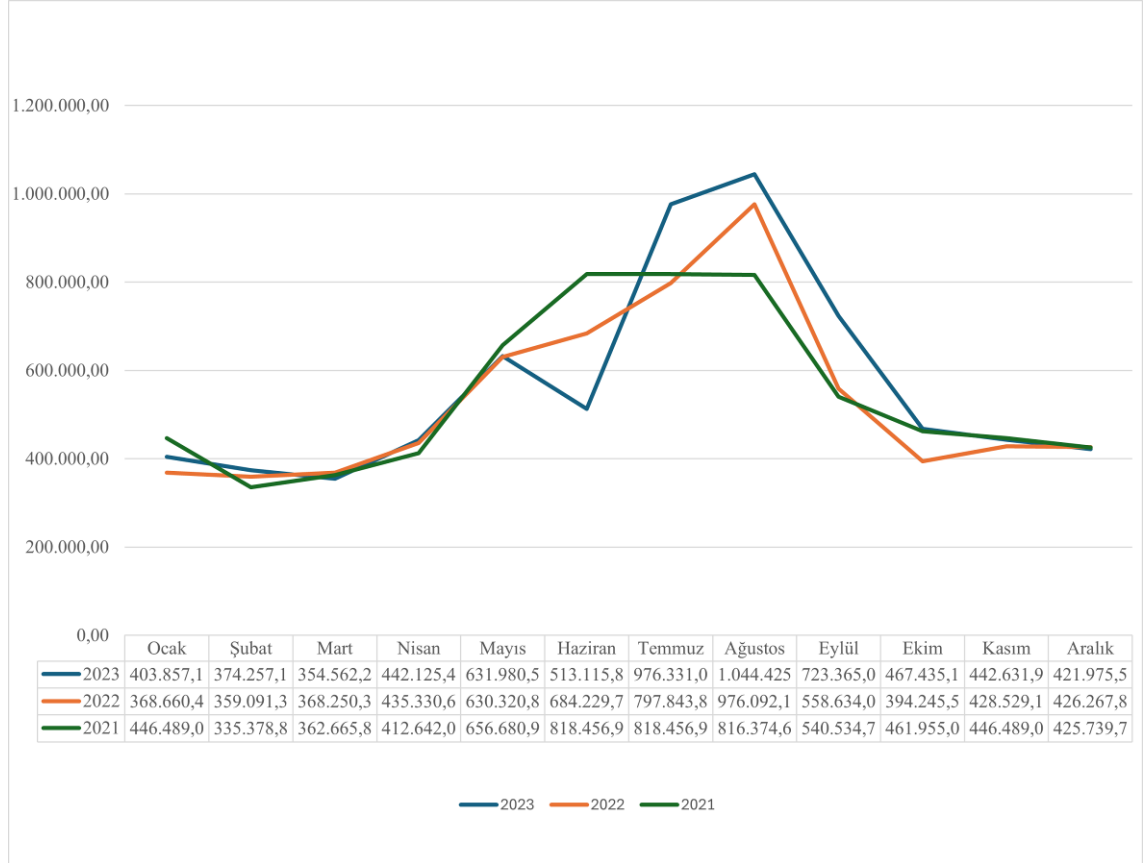


Şekil 2.5. 1997-2002 zaman aralığında Yunanistan için aylara göre enerji tüketimi grafiği (Santamouris, 2007)

Şekil 2.6'da 2021-2023 yılları arasında Konya ili için aylara göre elektrik tüketimi grafiği verilmiştir. Grafik oluşturulurken EPIAŞ (Enerji Piyasaları İşletme A.Ş) verilerinden faydalanılmıştır. Grafiğe göre her yıl toplam elektrik tüketimi artmaktadır. Temmuz ve Ağustos aylarında tüketim en üst seviyeye ulaşmaktadır.

Konya için sıcaklık verilerine bakıldığında en sıcak ay Temmuz ayı olarak görülmektedir ancak elektrik tüketimi verilerine bakıldığında Ağustos ayı yılın en çok enerji tüketilen ayı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun sebebi Ağustos ayında

Konya’da tarımsal sulama kaynaklı elektrik tüketiminin pik yapmasıdır. Örneğin Temmuz 2023 yılında mesken kaynaklı elektrik tüketimi 143.880,33 MWh iken, Ağustos 2023’te 138.132,78 MWh’e düşmektedir. Ancak Temmuz 2023 yılında tarımsal sulama kaynaklı elektrik tüketimi 541.146,26 MWh iken, Ağustos 2023’te 585.102,01 MWh’e çıkmaktadır (EPİAŞ, 2024).



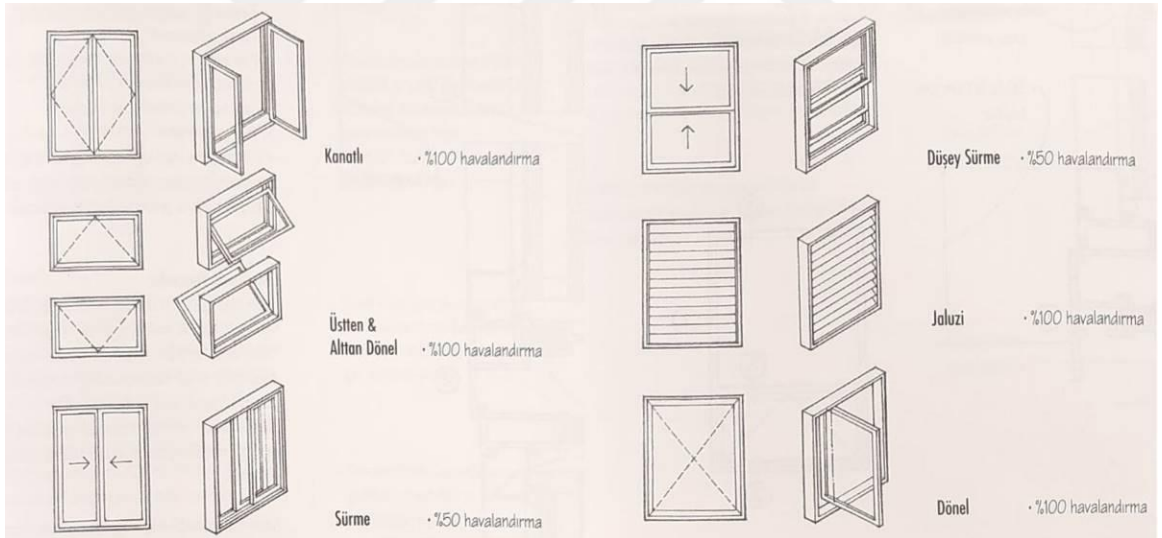
Şekil 2.6. 2021-2023 zaman aralığında Konya ili için aylara göre elektrik enerjisi tüketimi grafiği MWh cinsinden

2.2.1. Açılabilir Pencere ve Yapı Boşlukları

Açılabilir pencerelerin bir strateji olarak sunulması garip karşılanabilir ancak günümüzde pek çok yapı kullanıcıların doğal havalandırma ihtiyacını yok sayarak sadece sabit pencerelerle ve mekanik havalandırma sistemleriyle tasarlanmaktadır. Bu nedenle açılabilir pencerelere tasarımlarda daha çok yer vermek doğal havalandırma ve pasif soğutma için imkan sağlamak anlamına gelmektedir.

Farklı açılış biçimlerine sahip pencerelerin havalandırma oranları birbirinden farklıdır (Şekil 2.7). Bina tasarımında kullanılacak farklı pencere konfigürasyonlarının da havalandırmaya etkileri değişkenlik gösterir. Örneğin;

- Üstte ve altta açıklığı bulunan yüksek pencereler konveksiyon sağlamak ve dış mekandan içeriye rüzgarları almak için verimlidir.
- Açılabilir pencereleri olan yapılar kullanıcıların fiziksel çevrelerini kontrol edebilmelerini sağlayarak kullanıcı memnuniyetini artırır.
- Asma kat pencereleri veya çatıya yakın pencereler konveksiyonu artırarak sıcak havanın tahliyesinde etki sağlar.
- Kapı üstlerinde tasarlanacak vasistas pencereler hem ışık hem de doğal havanın içeri alınmasında etkilidir.
- Açılabilir pencereler bina alanının yaklaşık %20'si oranında olmalıdır (Jaffe vd., 2020).



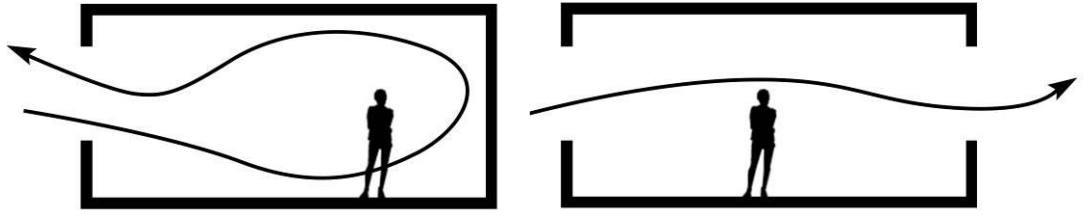
Şekil 2.7. Açılabilir pencere çeşitleri (Ching ve Adams, 2001)

Avlular, atriumlar, ışıklıklar gibi doğal çevreye açık yapı boşlukları da yapının toplam duvar yüzeyini artırarak pasif soğutma ve havalandırmaya yardımcı olmaktadır. Bu boşluklar çapraz havalandırmaya olanak sağlar. Farklı yönlerde açılan avlulardaki sıcaklık farkları yapı içinde doğal hava akımlarının oluşmasını sağlar.

2.2.2. Tek Yönlü Havalandırma ve Çapraz Havalandırma

Tek yönlü havalandırma yapının tek bir yüzeyinde açılan boşluk yardımı ile havalandırmayı ifade ederken, çapraz havalandırma yapının farklı yüzeylerinden farklı doğrultularda oluşturulan açıklıkların kullanılarak içeri alınan havanın yapı içinde yönlendirilmesiyle oluşan havalandırmayı ifade eder (Şekil 2.8). Hakim rüzgar yönünde cephede pozitif basınç oluşur ve rüzgar yapının içine alınır. Rüzgar, rüzgar altı cephede oluşan negatif basınç bölgesine doğru hareket ederek bu kısımdan yapı dışına çıkar. Eğer yapı hakim rüzgar yönünde konumlandırılamıyorsa uygun ağaçlandırma ve bitkilendirme ile rüzgar yönlendirilebilir. Etkili bir çapraz havalandırma için;

- Hakim rüzgar yönüne ve rüzgar altı cephelere büyük açıklıklar yerleştirilmeli
- Rüzgar giriş ve çıkış açıklıklarını aynı doğrultuda yerleştirmek yerine doğrultu şaşırtılarak yerleştirilmeli (Jaffe vd., 2020).



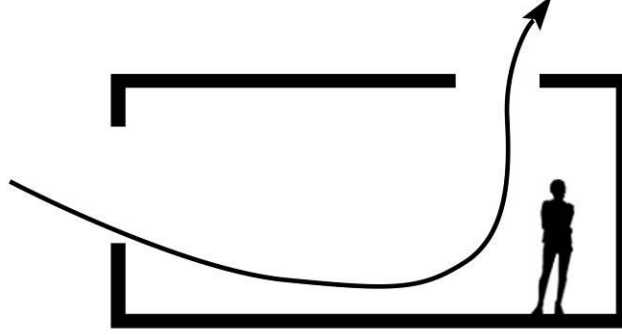
Şekil 2.8. Plan düzleminde tek yönlü ve çapraz havalandırma çeşitleri

2.2.3. Baca Etkisi ile Havalandırma

Baca etkisi daha önce bahsedilen Bernoulli prensibi ve Venturi etkisinin birlikte kullanıldığı konveksiyon teknikleri ile gerçekleşir. Hava basınç farkları etkisi ile yapı içinde hareket eder. Sıcak hava yapıyı üst kotlardan terk etmek için yükselir (Şekil 2.9).

Yapının hakim rüzgar yönündeki basıncını azaltmak için daha çok serin hava zemine yakın açıklıklardan içeri alınmalıdır. Baca etkisini kullanmak için yapı içinde termal bacalar düzenlenebilir. Güneş alabilecek bir pozisyonda kurgulanan termal baca gün içinde ısınarak yapı içindeki havanın doğal olarak o yöne yönelmesini sağlar ve ısınan hava baca yoluyla yapıyı terk eder. Soğuk aylarda ise bu baca kapatılarak sıcak

havanın yapı içinde kalmasına zorlanır. Bu yöntemde etkili bir hakim rüzgar olmadan da yalnızca sıcaklık farklarıyla hava hareketi oluşturularak havalandırma sağlanmış olur.



Şekil 2.9. Baca etkisi ile havalandırma

2.2.4. Gece Havalandırması

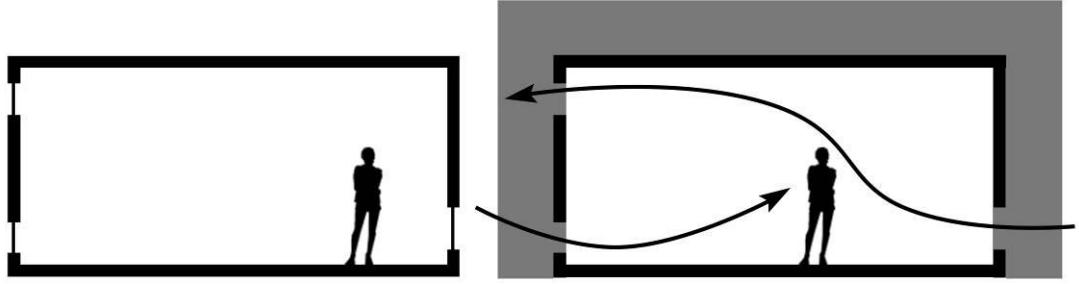
Bütün iklim tiplerinde gece hava sıcaklığı gündüz hava sıcaklığından daha düşüktür. Gece düşen hava sıcaklığı ertesi gün için depolanarak soğutucu olarak kullanılabilir. Bu tip soğutmaya gece havalandırması yoluyla soğutma denir (Şekil 2.10).

Gece havalandırması yöntemi gün ve gece arasındaki sıcaklık farklarının 17°C 'nin üzerinde olduğu sıcak ve kuru iklimlerde en verimli şekilde çalışmaktadır. Bu iklimlerde gündüz sıcaklıkları 38°C 'leri bulurken geceleri 21°C 'lere kadar düşebilmektedir. Gece ve gündüz sıcaklık farkı 11°C seviyesinde olan bazı nemli iklimlerde de olumlu sonuçlara ulaşılabilir. Gece ve gündüz sıcaklık farkları denizel bölgelerden ziyade karasal bölgelerde daha fazladır. Bu sebeple karasal bölgelerde daha verimli sonuçlar alınabilir.

Gece havalandırması iki aşamada gerçekleştirilir. Öncelikle gece açık konuma getirilen pencereler ile tüm gece boyunca yapı soğutulur. Ertesi gün ise sıcak havanın eve girişini engellemek amacı ile pencereler kapalı tutulur. Bu şekilde iç mekandaki soğuk hava korunarak konfor şartları sağlanır. Gün içinde belirli bir süre sonra havada ısınma gerçekleştiğinde de fanlara ihtiyaç duyulur.

Etkili bir gece havalandırması için;

- Bu tekniğin uygulandığı yapılarda iyi gölgelenmiş pencereler, etkili bir ısı yalıtımı ve dış cephede kullanılacak açık renkler önemlidir.
- Geceleyin ısıнын dışarı etkili bir şekilde atılabilmesi için pencere alanı taban alnının yaklaşık %10-15'i olmalıdır.
- Sıcak havanın boşaltılması yetersiz kaldığında fanlardan yardım alınabilir.
- Pencereler gündüz kapalı ve geceleri açık olmalıdır (Yüksek ve Esin, 2011).

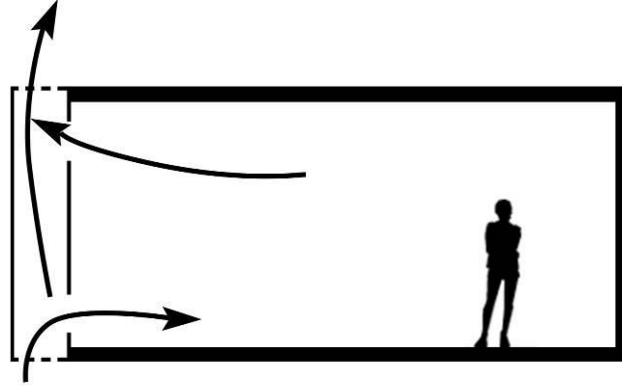


Şekil 2.10. Gece havalandırması ile soğutma

2.2.5. İki Katmanlı Cepheler

Çift cephe uygulamasında binanın dış cephesi iki katmanlı olarak tasarlanır. Güneş ışığından yararlanmak ve cepheyi dış iklim koşullarından korumak amacıyla binanın saydam veya sağır bileşenleri aralarında boşluk kalacak şekilde tasarım oluşturulur (Şekil 2.11). İki katman arasında kalan boşluğun bir havalandırma kanalı olarak görev yapması esas alınır (Yüceer, 2015). İkinci cam tabakası, güneş ışıının bina kabuğu ile cam arasındaki boşluk veya koridordaki havayı ısıtmasına olanak sağlar. Isınan hava yükselir ve güneş bacasına benzer şekilde, iç katmandaki havalandırma deliklerinden ısıtılmış havayı alır ve boşluğun üst kısmındaki havalandırma deliklerinden dışarıya atar.

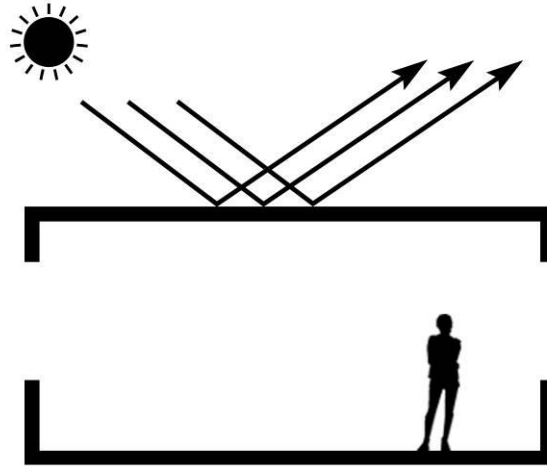
Çift cephe arasındaki hava boşluğu, doğal havalandırmayı kolaylaştıran temiz hava girişi ve çıkışı ile bir koridor tampon alanı olarak da işlev görür. En çok ılıman iklimlerde tercih edilmektedir (Jaffe vd., 2020). Bu cephe tipinin avantajlarından birisi de cephedeki boşluk katmanı sayesinde ısı ve ses yalıtımının güçlenmesidir.



Şekil 2.11. Çift katmanlı cephe ile havalandırma

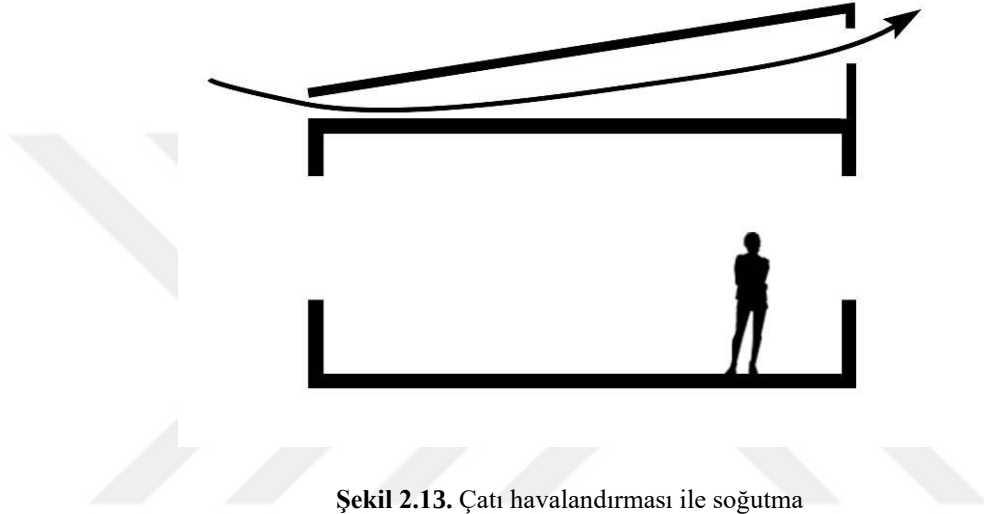
2.2.6. Soğuk Çatılar

Soğuk çatılar çatı malzemesinin özellikleri ve rengi ile güneş ışığını ve ısıyı yansıtarak yapının aşırı ısınmasını önler (Şekil 2.12). Genel olarak soğuk çatı malzemeleri, yüksek güneş yansıtma değerleri ile karakterize edilir ve bu malzemeler çatının dış katmanı tarafından emilen güneş ışınımı miktarını büyük ölçüde azaltır ve gün içinde biriken ısıнын dağıtılmasına katkıda bulunan yüksek kızılötesi emisyon değerleri sayesinde geceleri yoğun bir radyant ısı değişimi yoluyla soğutma gerçekleşir (Costanzo vd. 2013).



Şekil 2.12. Çatı kaplama materyali ile güneş ışığının yansıtılması

Bir diğer çatıyı soğutma yöntemi de çatı konstrüksiyonu ve en üst kat tavan döşemesi arasında bırakılacak boşluk ile bu kısımda havalandırma sağlamaktır (Şekil 2.13). Bu kısımdaki hava sirkülasyonu sayesinde etkili bir pasif soğutma sağlanır. Özellikle soğutma yüklerinin ısıtma yüklerinde fazla olduğu iklimlerde soğuk çatı uygulamaları büyük fark yaratabilir. Çatılar kent yüzeylerinin %20-25'ini temsil etmektedir (Costanzo vd., 2013). Bu sebeple çatıların fazla ısınmasını önlemek kentsel ısı adası etkisini de azaltmaktadır.



Şekil 2.13. Çatı havalandırması ile soğutma

2.2.7. Bitkilendirilmiş Çatılar

Bitkilendirilmiş çatı, yeşil çatı, yaşayan çatı, eko-çatı, ve çatı bahçesi gibi terimler, tamamen veya kısmen, bitki örtüsü ve büyüme ortamı ile kaplanmış bir bina çatısını ifade etmektedir. Tamamen işlevsel bir çatı görevi görenin yanı sıra, bitki örtüsünü beslemek için tasarlanmış eğimli bir çatı yüzeyi veya bir düz yüzey tasarlanmış olabilir (Abass vd. 2020). Şekil 2.14'te hem düz (teras) çatı şeklinde düzenlenmiş hem de eğimli çatı şeklinde düzenlenmiş bir yeşil çatı görülmektedir.

Yeşil çatılar hem sürdürülebilirlik adına yapının fazla ısınmasını önlemekte, hem yeşil dokuyu arttırdığı için oksijen üretimine destek olmakta, hem de estetik olarak yapıyı çevreye olumlu katkıda bulunmaktadır.



Şekil 2.14. Yeşil çatılı yapı (URL-1)

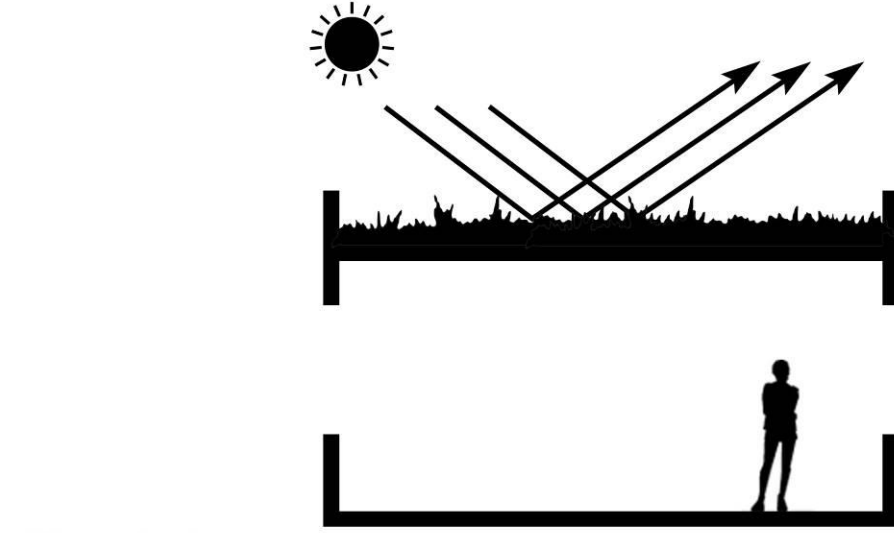
Yeşil çatıların kökeni, binaların tepelerinde ağaç yetiştiren Babil bahçelerine ve Roma İmparatorluğu'na kadar uzanmaktadır (Şekil 2.15). 19. ve 20. yüzyıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin büyük çoğunluğunun çatıları, şehir merkezinde park inşa etmenin artan arsa maliyetlerini karşılamak için yeşillendirilmiştir. Günümüzde Almanya'daki yapıların %10'u kadarı yeşil çatılara sahiptir. 1983'ten 1996'ya kadar başlatılan teşvik programları, kent merkezindeki binalar için geniş yeşil çatıların kurulumunu desteklemiştir. Günümüzde yeşil çatılar, diğer Avrupa ülkelerinde de yaygındır. Kanada'da, kentsel çevre sorunlarının üstesinden gelmek için sürdürülebilir alternatiflere sahip yeşil çatıların daha geniş olarak uygulanması teşvik edilmektedir (Li ve Yeung, 2014). Diğer ülkelerde yerel yönetimlerin teşvik ve desteğiyle gittikçe yaygınlaşan yeşil çatı sistemleri Türkiye'de daha çok tekil uygulamalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde henüz yeşil çatıları destekleyici ve yol gösterici bir yasal düzenleme ya da teşvik bulunmamaktadır (Aras, 2019).



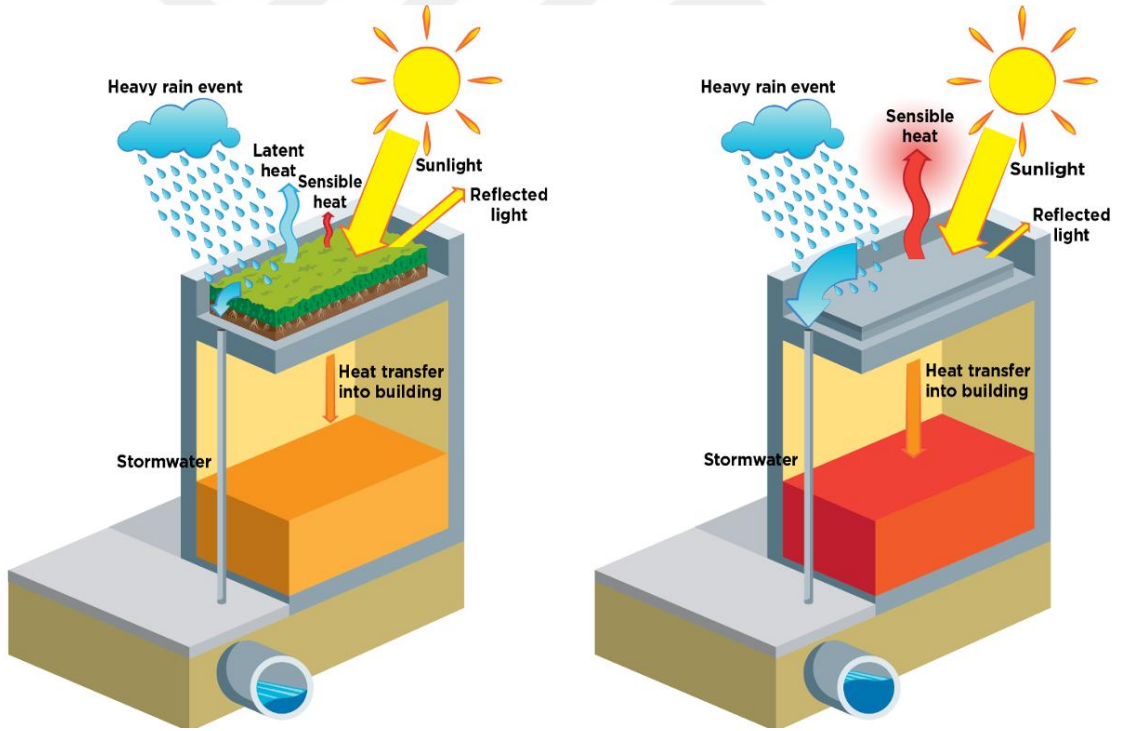
Şekil 2.15. Babil çatı bahçeleri (URL-2)

Yeşil çatılar yoğun (intensif) bitkilendirilmiş çatılar ve seyrek bitkilendirilmiş çatılar şeklinde iki tipte uygulanmaktadır. Yoğun bitkilendirilmiş çatılar 15cm'den daha derin bir bitki büyüme katmanına sahip daha yoğun bitkilendirilmiş ve bakıma daha çok ihtiyaç duyan yeşil çatı tipidir. Seyrek (ekstensif) bitkilendirilmiş yeşil çatı tipinde kullanılan bitki türleri, bakım gerektirmeyen, doğal yaşam döngüsünde kendi kendine varlığını sürdürebilecek ve üreyebilecek bitkilerdir. Bu tip çatılarda bitki büyüme katmanı kalınlığı 2 ile 15 cm arasında değişmektedir (Külekçi, 2017).

Yeşil çatı termal yalıtımının termal performansını ve soğutma etkisini etkileyen bir parametredir (Şekil 2.16, Şekil 2.17). Temel olarak yetiştirme ortamının kalınlığına bağlı olan yeşil çatıların termal yalıtımı, soğutma etkisini önemli ölçüde etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Araştırmalar, yalıtım malzemesi olmayan yeşil çatıların yüzey sıcaklıklarının geleneksel çatılardan daha soğuk olduğunu göstermiştir (Jamei vd., 2021). Bunun başlıca sebebi yeşil çatının güneş radyasyonunu emerek fazla ısınmayı engellemesidir. Isı etkisi ile havaya nem salan toprak ve bitkiler bu ısı transferi ile soğuma sağlamaktadır ve bu durum literatürde “evapotranspiration” olarak geçmektedir. Yeşil çatıların yaygınlaşması kentsel ısı adası etkisinin de azalmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.16. Yeşil çatı ile aşırı ısınmanın engellenmesi

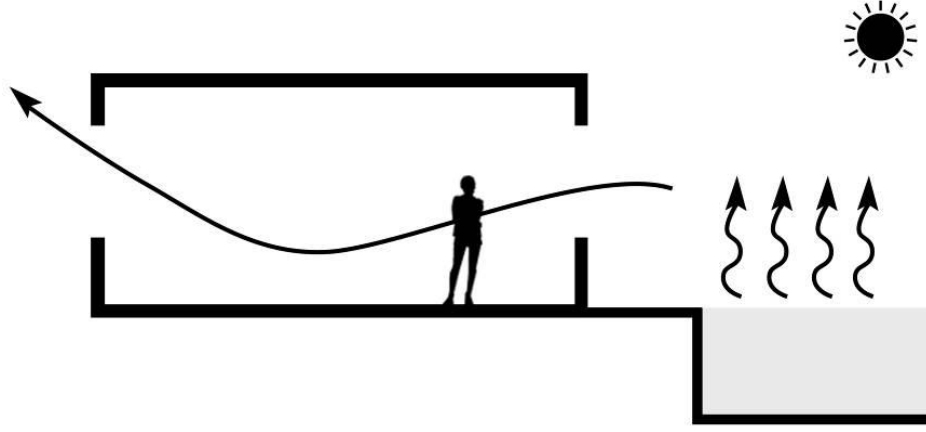


Şekil 2.17. Yeşil çatı ve geleneksel çatının karşılaştırılması (EPA, 2018)

2.2.8. Buharlaştırma ile Soğutma

Buharlaştırarak soğutma, kuru ve sıcak iklimlerdeki binaları soğutmak için elverişlidir. Su buharlaştığında ısıyı uzaklaştırır ve soğutma etkisi yaratır. Avlulardaki

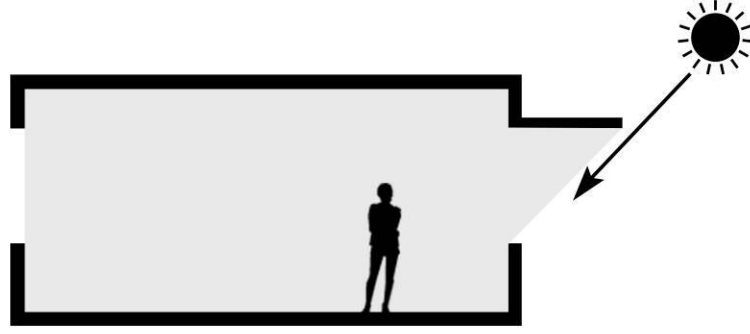
çeşmeler veya bir binanın yakınındaki veya bir binanın çatısındaki gölet gibi su ögeleri, su buharlaştıkça çevredeki hava üzerinde soğutma etkisi yaratacaktır (Şekil 2.18). Buharlaşma ile soğutma, havaya nem eklemenin yararlı olduğu ve ortamdaki kuru havanın verimli buharlaştırmayı kolaylaştırdığı sıcak kuru iklimlerde en etkili şekilde uygulanmaktadır.



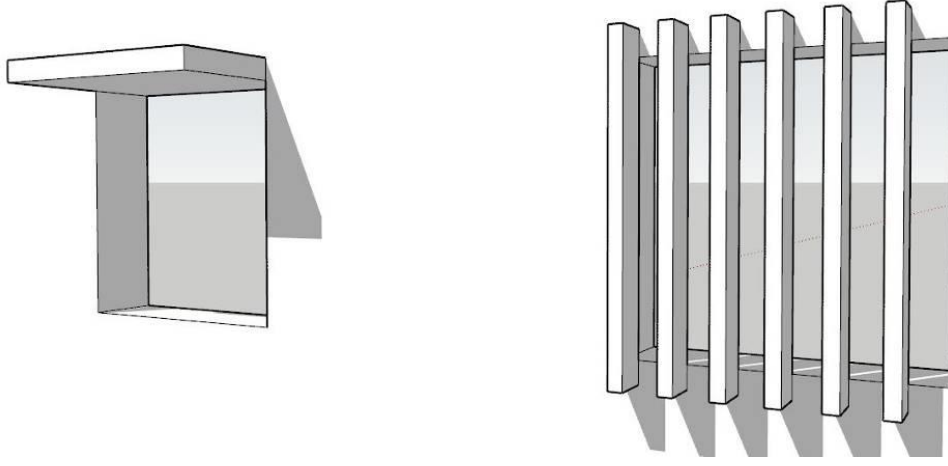
Şekil 2.18. Buharlaşma ile soğutma

2.2.9. Gölgeleme Elemanları

Gölgeleme elemanları görsel konforu bozan kamaşmayı ve fazla solar ısı kazanımını azaltmak için yapının şeffaf yüzeylerinde kullanılan elemanlardır (Şekil 2.19). Pencere gölgeleme elemanları yatay ya da düşey olarak kullanılabilirler (Şekil 2.20). Yatay saçaklar güneşin dik geldiği yaz aylarında yapıyı fazla ısı kazanımından korurken, kışın daha yatay açılarla gelen güneş ışınlarının içeri alınmasına izin verir. Bu tip yatay güneş kırıcılar daha çok güney yönünde kullanılırlar. Batı yönünden gelen ve gün içinde ısınmış olan yapının tekrar güneş ışığı olarak fazla ısınmasına neden olan batı ışığını azaltmak için de düşey yönlü güneş kırıcılar tercih edilir. Düşey güneş kırıcılar manuel olarak ya da uzaktan kontrolle güneş açışına göre rahatlıkla ayarlanabilir. Bu şekilde yatay güneş ışınları düşey gölgeleme elemanları ile kırılarak günün öğleden sonra kısmında gerçekleşen aşırı ısınmanın önüne geçilmiş olur.



Şekil 2.19. Gölgeleme elemanları ile güneşten fazla ısısından korunma



Şekil 2.20. Yatay (solda) ve düşey (sağda) gölgeleme elemanları

2.2.10. Rüzgar Bacaları

Rüzgar bacaları temiz havayı iç mekana alan ve kirli havayı da dışarı atan havalandırma kuleleridir. Genellikle hava akımının kent içinde az olduğu hava sirkülasyonun yavaş olduğu bölgelerde üst kotlardaki hızlı hava akımının yapı içine alınmasını ve yapının doğal yollarla soğutulmasını sağlar. Rüzgar bacaları, rüzgar yakalayıcıları, rüzgar kuleleri, badgir ve malkaf adları ile de bilinirler.

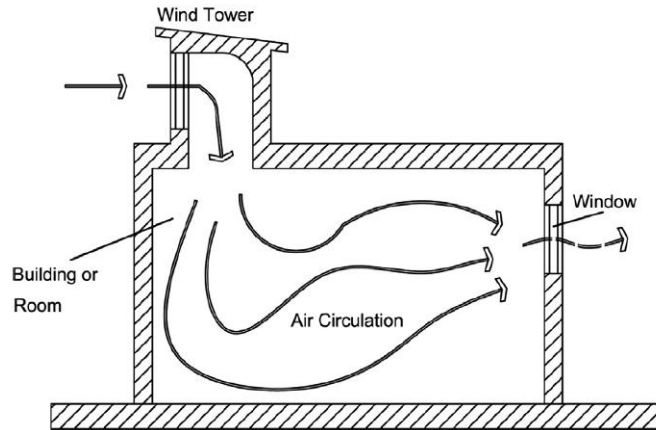
Rüzgar kuleleri genellikle Ortadoğu’da, Mısır, Afganistan, Irak, İran ve Pakistan’da görülmektedir. Fars körfezi çevresinde yer alan Bandar Abbas, Abu Dhabi, Bahreyn ve Kahire gibi sıcak nemli iklime sahip eski yerleşimlerde bulunmaktadır. Ayrıca Kerman, Yazd, Kashan, Bam, Meshed ve Herat gibi iç kesimlerde yer alan sıcak kuru iklime sahip kentlerin eski kent dokularında görülmektedir. Zaman içinde kentlere

göre yerel özellikler geliştirilerek küçük farklara sahip olmuşlardır. Özellikle İran'ın orta kısmında, sıcak kuru iklime sahip Yazd kenti için rüzgar yakalayıcılar mimari bir sembol olarak görülmektedir (Şekil 2.21). Kentte günümüzde mevcut 713 adet rüzgâr yakalayıcı bulunmaktadır (Ali ve Özer, 2012).

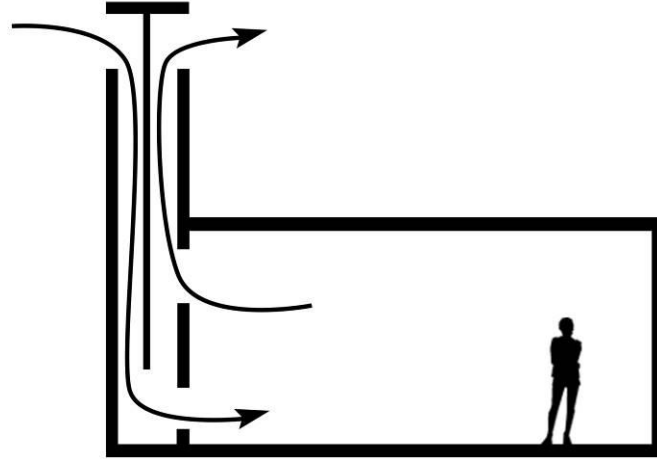


Şekil 2.21. Yazd kentinde rüzgar bacaları (URL-3)

Hava sirkülasyonunun meydana gelmesi için, rüzgar kuvvetinden kaynaklanan basınç farklılıkları veya sıcaklık değişiklikleri gereklidir. Hava basıncının pozitif olduğu bir açıklıktan sisteme girer. Rüzgar, kulenin giriş noktasında yüksek basınç alanı oluşur. Rüzgar kulesi tek yönlü ise içeri alınan hava yapı içindeki başka bir açıklıktan dışarı yönlendirilir (Şekil 2.22). Rüzgar kulesi çift yönlü ise kirli hava negatif basıncın olduğu açıklıktan dışarı atılır (Şekil 2.23) (Rabeharivelo vd. 2022).



Şekil 2.22. Tek yönlü rüzgar bacası şematik çizimi (Dehghani-sanij vd., 2015)



Şekil 2.23. Çift yönlü rüzgar bacası kesiti

2.3. Bölüm Değerlendirmesi

Doğal havalandırma ve pasif soğutma, iç mekan konforunu artırmak ve binalardaki mekanik sistemlere olan ihtiyacı azaltmak için tasarlanmış sürdürülebilir stratejilerdir. Doğal havalandırma, iklimlendirme sistemlerine ihtiyaç duymadan yapı içinde temiz havanın bulunmasını sağlamak ve iç ortam hava kirleticilerini uzaklaştırmak için doğal hava hareketlerinin kullanılmasıdır. Doğal havalandırma için basınç ve sıcaklık farkları ile oluşan hava akışları pencere, kapı ya da havalandırma boşlukları ile yapı içine alınır yapı içinde dolaşması sağlanır. Mekanik sistemlere olan ihtiyacı azalttığı için sürdürülebilirdir. Yapı içine temiz hava akışını desteklediği için ayrıca yapı içindeki iç hava kalitesini de artırmaktadır. Mekanik sistemlerle karşılaştırıldığında enerji tüketimi ve bakım giderleri açısından tasarruf sağlamaktadır.

Pasif soğutma, mekanik soğutma cihazları olmadan iç mekan sıcaklığının konforlu aralıkta tutulması için kullanılan sürdürülebilir bir tasarım yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın uygulanması için öncelikle yapının güneş aracılığı ile aşırı ısınması bölüm içinde değinilen yöntemler ile azaltılır. Ayrıca rüzgar gibi doğal hava hareketleri yapı içine alınarak doğal havalandırma yoluyla pasif soğutma gerçekleştirilmektedir. Bunun için hakim rüzgar yönüne dikkat edilerek ve açıklıkların doğru konumlandırılması ile pasif soğutmaya uygun tasarımlar yapılabilir. Böylece yaz ayları gibi yılın en

yüksek enerji maliyetlerinin olduğu aylarda enerji tasarrufu yapılabilmekte ve sürdürülebilir bir tasarım gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Özetle, doğal havalandırma ve pasif soğutma, konforlu ve enerji tasarrufu sağlayan iç mekanlar tasarlamak için doğal süreçlerden yararlanan sürdürülebilir bina stratejileridir. Daha az enerji tüketimi, daha iyi iç mekan hava kalitesi ve minimum maliyet avantajı sunmaktadırlar.



3. MEVCUT CAMİLER VE DOĞAL HAVALANDIRMA

Cami yapıları özellikle yaz aylarında soğutma amacıyla yüksek enerji tüketmektedir. Budaiwi ve arkadaşlarının (2013) çalışmasına göre bir caminin yıllık tükettiği enerjinin %70'i yaz aylarındaki soğutma için kullanılmaktadır. Bu da sadece soğutma enerjisinin azaltılmasına yoğunlaşıldığı takdirde bile enerji tüketiminin büyük ölçüde azaltılabileceğini ortaya koymaktadır.

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'na göre, Türkiye 2024-2030 döneminde sadece enerji verimliliği ile enerji tüketimini %16 azaltarak 100 milyon ton emisyon azaltımını hedeflemektedir (TRT Haber, 2024). Bu bağlamda camilerde pasif soğutma tasarımı uygulandığı takdirde enerji tüketimi büyük ölçüde azalacak ve ülkemizin enerji hedefine katkıda bulunulacaktır.

Bu bağlamda öncelikle mevcut camilerin doğal havalandırma ve pasif soğutma performansları incelenmiştir. Camilerde doğal havalandırma açısından Konya ilindeki mevcut durumu belirlemek adına 10 adet cami seçilerek yalnızca harim alanları doğal havalandırma açısından değerlendirilmiştir. Diyanet İşleri Başkanlığının 2024 verilerine göre Türkiye'de 89.817 adet cami bulunmaktadır. Konya ili 3255 adet cami ile Türkiye'de cami sayısı bakımından İstanbul'dan sonra (3555 cami) ikinci sırada bulunmaktadır. Çok sayıda caminin inşa edildiği bu büyük kentte camilerin doğal havalandırma bakımından incelenmesi enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerimiz adına önem taşımaktadır.

3.1. Mevcut Camilerin Doğal Havalandırma Bağlamında Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında Selçuklu ilçesinden son dönemde inşa edilmiş on adet cami seçilmiştir. Selçuklu ilçesinin seçilmesinin sebebi Konya ili merkez ilçelerinden en yüksek nüfusa sahip olan ilçe olması ve yeni yapılaşmanın hızla devam ettiği bir konumda olmasıdır. Ayrıca Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının 2022 yılında gerçekleştirdiği “Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması (SEGE)” kapsamında değerlendirilen Türkiye ilçelerinde, Konya kapsamında en gelişmiş ilçe

Selçuklu ilçesi olmuştur (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022). Bu sebeple inceleme Selçuklu ilçesi ile sınırlandırılmıştır.

Bu bağlamda Selçuklu ilçesinden seçilen camiler; Ecdat Cami, Bastonlu Cami, Tevhit Cami, Hz. Ebubekir Cami, Mehmet Yalçın Cami, Huzur Cami, Elmalılı Hamdi Yazır Cami, Hacı Yusuf Özönder Cami, Hz. Eyyüb Cami ve Mehmet Işıkçeviren Camidir. Seçilen camiler 2014 ile 2021 yılları arasında inşa edilmiş son yıllardaki uygulamayı temsil eden camilerdir. Cami harim alanı büyüklükleri yaklaşık 200 m² ile yaklaşık 500 m² arasında değişmektedir.

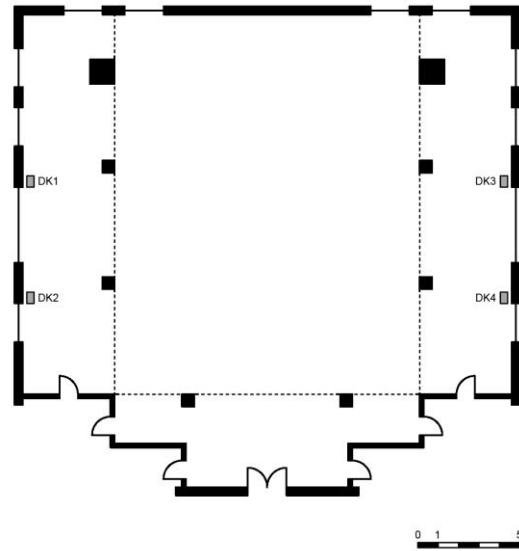
Doğal havalandırma prensiplerine göre pencere açıklık oranları zemin metrekaresinin %20'si civarında olduğunda etkili bir havalandırma sağlanmaktadır (Jaffe vd., 2020). Bu bağlamda öncelikle seçilen camilerin harim büyüklükleri ölçülerek metrekaresi hesaplanmıştır. Daha sonra harimdeki açılabilir pencerelerin toplam büyüklükleri ölçülerek metrekaresi cinsinden hesaplanmıştır. Son olarak açılabilir büyüklüklerin zemin metrekaresine oranları hesaplanarak %20'lik oranı sağlayıp sağlayamadıkları tespit edilerek değerlendirme tamamlanmıştır. Camilerde çalışma sırasında göze çarpan diğer havalandırma problemlerine de “Mevcut Camilerin Doğal Havalandırma Performans Sonuçları” başlığında değinilmiştir.

3.1.1. Hacı Yusuf Özönder Cami

Hacı Yusuf Özönder Cami Konya ili Selçuklu ilçesi Sancak mahallesinde bulunmaktadır (Şekil 3.1). 2014 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.2’de caminin harim alanı fotoğrafı ve harim alanının şematik planı yer almaktadır. Yapıda açılır pencereler hem zemin seviyesinde hem de üst kotlarda bulunmaktadır. Kadınlar mahfili bu tasarımda U biçiminde tasarlandığından hem giriş cephesinde hem de girişin sağ ve sol tarafındaki cephelerde üst kotlardaki pencerelere erişim bulunmaktadır. Bu da doğal havalandırma açısından olumlu bir özelliktir.



Şekil 3.1. Hacı Yusuf Özönder Cami (Azkur, 2023)



Şekil 3.2. Hacı Yusuf Özönder Cami harim alanı ve şematik planı (Azkur, 2023)

Cami içerisinde diğer camilerle benzer şekilde dikey klimalar kullanılmaktadır. Bu klimaların konumları caminin harim alanı şematik planında gösterilmiştir. Bu camide farklı bir uygulama yapılarak klimalar için nişler bırakılmıştır (Şekil 3.3). Bu sayede klimaların verdiği görsel rahatsızlık kısmen engellenmiş, zeminde kapladığı alandan da tasarruf edilmiştir.



Şekil 3.3. Hacı Yusuf Özönder Cami klima nişi (Azkur, 2023)

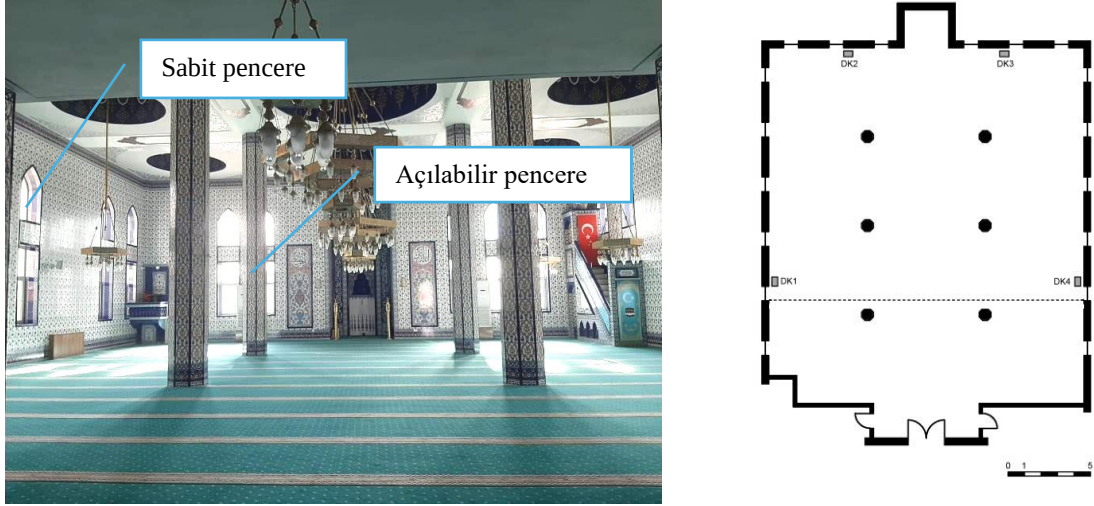
Caminin harim alanı 498,44 m² olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise 22,80 m² olarak ölçülmüştür. Hacı Yusuf Özönder Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %4,57 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir.

3.1.2. Ecdat Cami

Ecdat Cami, Konya ili Selçuklu ilçesi Yazır mahallesinde bulunmaktadır. 2015 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.4'te caminin fotoğrafı yer almaktadır. Yapıda açılır pencereler zemin seviyesinde bulunmaktadır. Üst kottaki pencereler sabit olarak uygulanmıştır. Yapının harim mekanı ve şematik planı Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Ecdat Cami (Azkur, 2023)



Şekil 3.5. Ecdat Cami harim alanı ve şematik planı (Azkur, 2023)

Yapı yaz aylarında dört adet dikey klima ile soğutulmaktadır (Şekil 3.6). Bu klimaların ikisi mihrabın sağ ve sol yanında, diğer ikisi ise yan cephelerde konumlandırılmıştır.



Şekil 3.6. Ecdat Camide kullanılan klima tipi (Azkur, 2023)

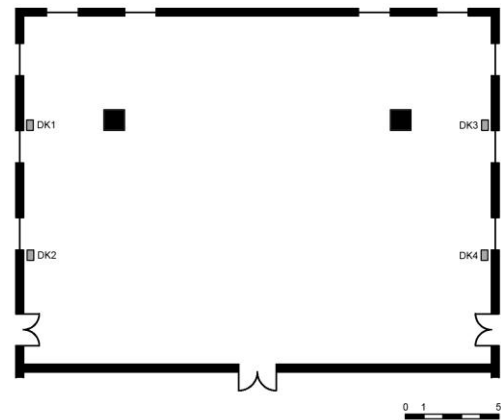
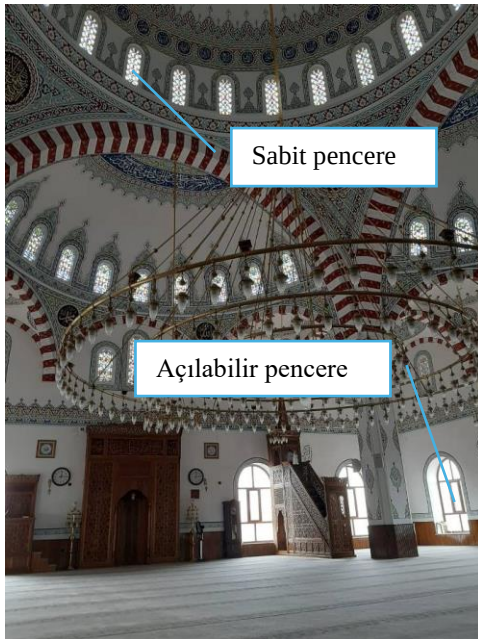
Çalışma kapsamında yalnız harim mekanları incelendiğinden bu alanların metrekaresi hesaplanmıştır. Bu bağlamda Ecdat Caminin harim alanı 426 m^2 olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise $19,89 \text{ m}^2$ olarak ölçülmüştür. Ecdat Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %4,67 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir.

3.1.3. Mehmet Işıkçeviren Cami

Mehmet Işıkçeviren Cami Konya ili Selçuklu ilçesi Sancak mahallesinde bulunmaktadır (Şekil 3.7). 2015 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.8’de caminin harim alanı fotoğrafı ve şematik planı yer almaktadır. Yapıda açılır pencereler zemin seviyesinde bulunmaktadır. Üst kottaki pencereler ve kubbe kasnağındaki pencereler sabit ve geleneksel süslemeli olarak uygulanmıştır. Camide soğutma amacıyla dört adet dikey klima kullanılmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.7. Mehmet Işıkçeviren Cami (Azkur, 2023)

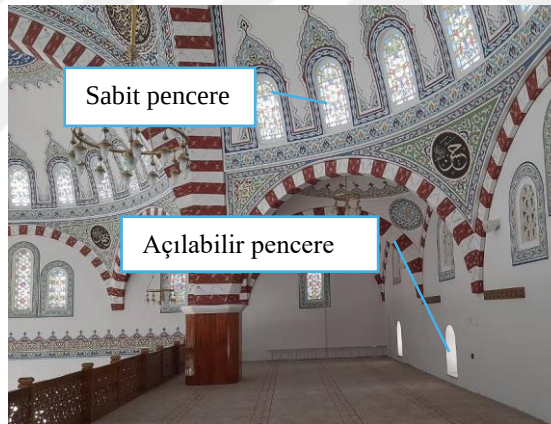


Şekil 3.8. Mehmet Işıkçeviren Cami harim alanı ve şematik planı (Azkur, 2023)



Şekil 3.9. Mehmet Işıkçeviren Camide kullanılan klima tipi (Azkur, 2023)

Üst katta kadınlar mahfili bulunmaktadır. Ancak kadınlar mahfilinde çok kısıtlı büyüklükte (58cm x 62cm) dört adet açılabilir pencere bulunmaktadır (Şekil 3.10). Bu sebeple havalandırma açısından oldukça yetersiz kalmaktadır.



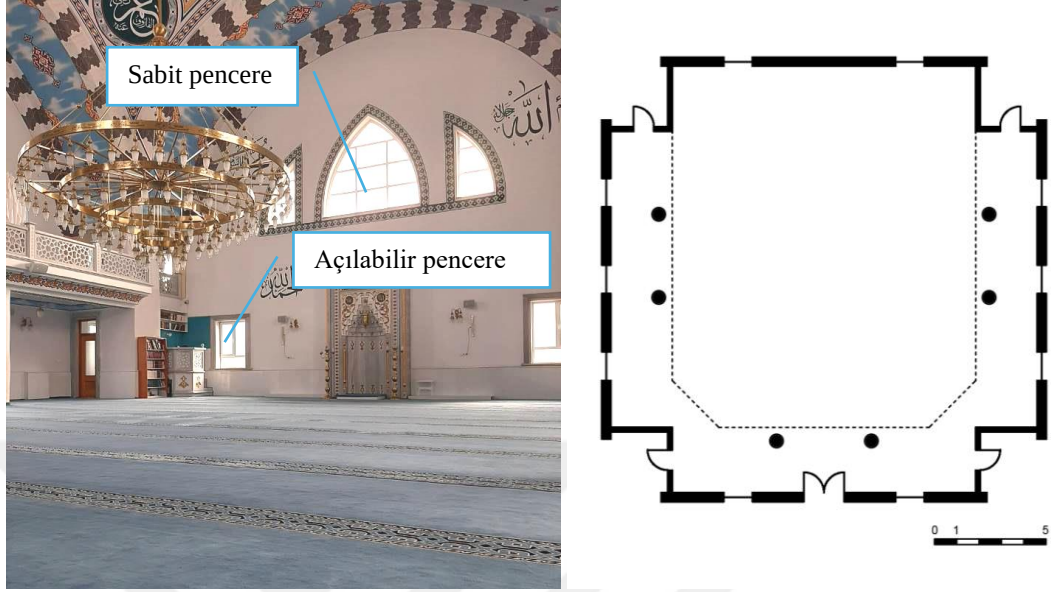
Şekil 3.10. Mehmet Işıkçeviren Cami kadınlar mahfili (Azkur, 2023)

Caminin harim alanı 465 m² olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise 7,96 m² olarak ölçülmüştür. Mehmet Işıkçeviren Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %1,71 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir.

3.1.4. Bastonlu Cami

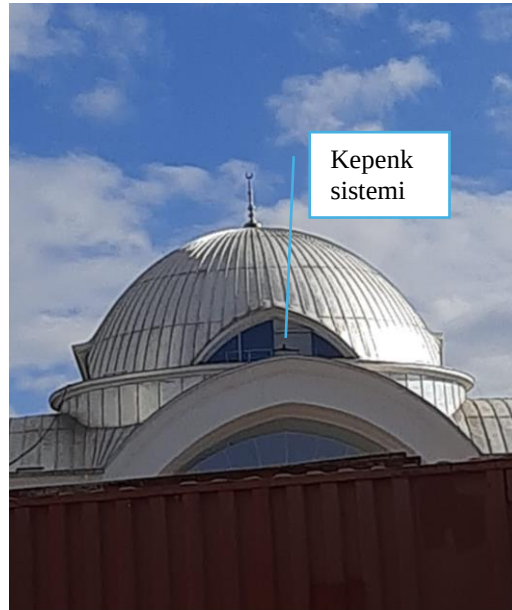
Bastonlu Cami Konya ili Selçuklu ilçesi Buhara mahallesinde bulunmaktadır. 2016 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.11'de caminin iç mekan fotoğrafı ve şematik planı

yer almaktadır. Yapıda açılır pencereler zemin seviyesinde bulunmaktadır. Üst kottaki pencereler sabit olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.11. Bastonlu Cami harim alanı ve şematik planı (Azkur, 2023)

Diğer pencerelere ek olarak kubbe çevresinde yer alan pencerelerin bir kısmında otomatik kepenk sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.12). Görsel algısı pencerenin geri kalanıyla uyumsuz olsa da yapıdaki kirli havanın tahliyesinde etkili olmaktadır. Bastonlu Camide herhangi bir harici klima ya da sabit bir soğutma sistemi bulunmamaktadır.



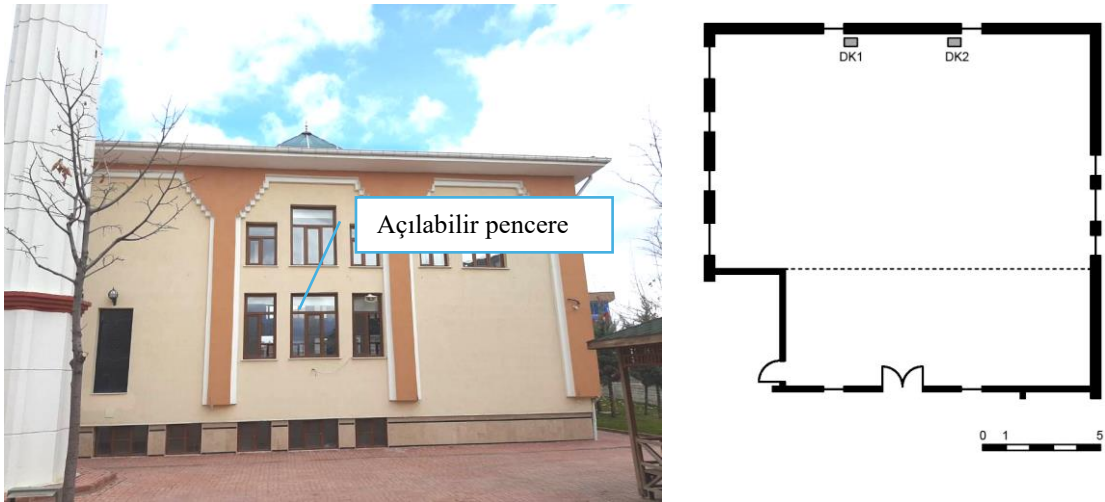
Şekil 3.12. Bastonlu Camide kubbedeki kepenk sistemi (Azkur, 2023)

Caminin harim alanı 346,95 m² olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise 7,2 m² olarak ölçülmüştür. Bastonlu Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %2,08 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir.

3.1.5. Tevhit Cami

Tevhit Cami, Konya ili Selçuklu ilçesi Buhara mahallesinde bulunmaktadır. 2016 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.13'te caminin fotoğrafı ve harim alanının şematik planı yer almaktadır. Yapıda zemin seviyesinde açılabilir pencereler bulunmaktadır. Bunun haricinde üst kotlarda da açılabilir pencereler görülmektedir. Ancak pencerelere herhangi bir ulaşım imkanı veya pencereleri kontrol eden otomasyon sistemi de bulunmamaktadır. Bu açılabilir pencerelerin temizlik amaçlı tasarlandığı düşünülmektedir. Bunun dışında asma kattaki kadınlar mahfilinde açılabilir pencereler bulunmaktadır.

Yapı yaz aylarında dikey klimalar ile soğutulmaktadır. Kullanılan iki adet klimanın konumları, yapının harim alanı şematik planında gösterilmiştir. Şekil 3.14'te harim alanında mihrabın sağ ve sol tarafında konumlandırılan klima tipi görülmektedir.



Şekil 3.13. Tevhit Cami ve harim alanı şematik planı (Azkur, 2023)



Şekil 3.14. Tevhit Camide kullanılan klima tipi (Azkur, 2023)

Caminin harim alanı 210 m^2 olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise $10,15 \text{ m}^2$ olarak ölçülmüştür. Tevhit Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %4,83 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir.

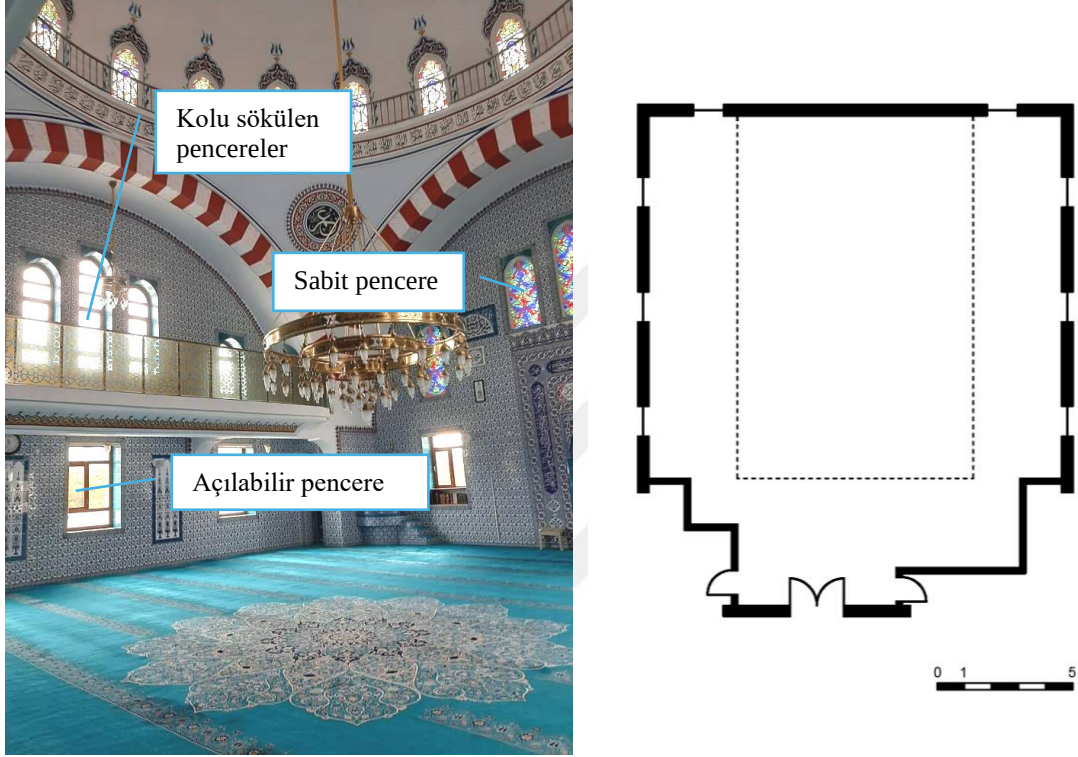
3.1.6. Hz. Eyyüb Cami

Hz. Eyyüb Cami Konya ili Selçuklu ilçesi Yazır mahallesinde bulunmaktadır (Şekil 3.15). 2016 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.16'da caminin harim alanı fotoğrafı ve harim alanının şematik planı yer almaktadır. Yapıda açılır pencereler hem zemin seviyesinde hem de üst kotlarda bulunmaktadır.

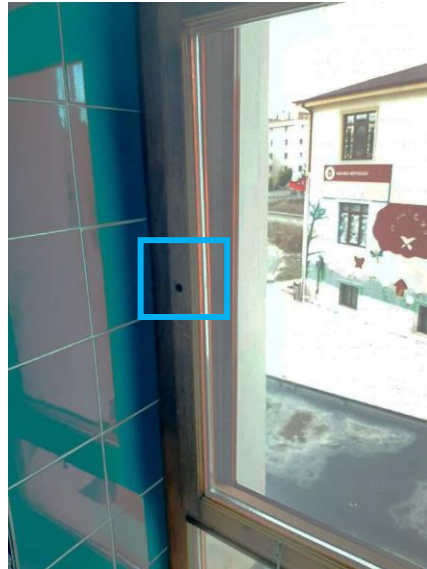


Şekil 3.15. Hz. Eyyüb Cami (Azkur, 2023)

Kadınlar mahfili bu tasarımda U biçiminde tasarlandığından hem giriş cephesinde hem de girişin sağ ve sol tarafındaki cephelerde üst kottaki pencerelere erişim bulunmaktadır. Ancak üst kottaki açılabilir pencerelerin tamamının pencere kolları sökülmüştür bu sebeple üst kottaki pencerelerin tamamı sabit pencerelere dönüştürülmüştür (Şekil 3.17). Kubbe kasmağındaki pencereler ise sabit, geleneksel süslemeli şekilde tasarlanmıştır. Camide klima cihazı bulunmamaktadır.



Şekil 3.16. Hz. Eyyüb Cami harim alanı ve şematik planı (Azkur, 2023)



Şekil 3.17. Hz. Eyyüb Cami açılmayan pencereler (Azkur, 2023)

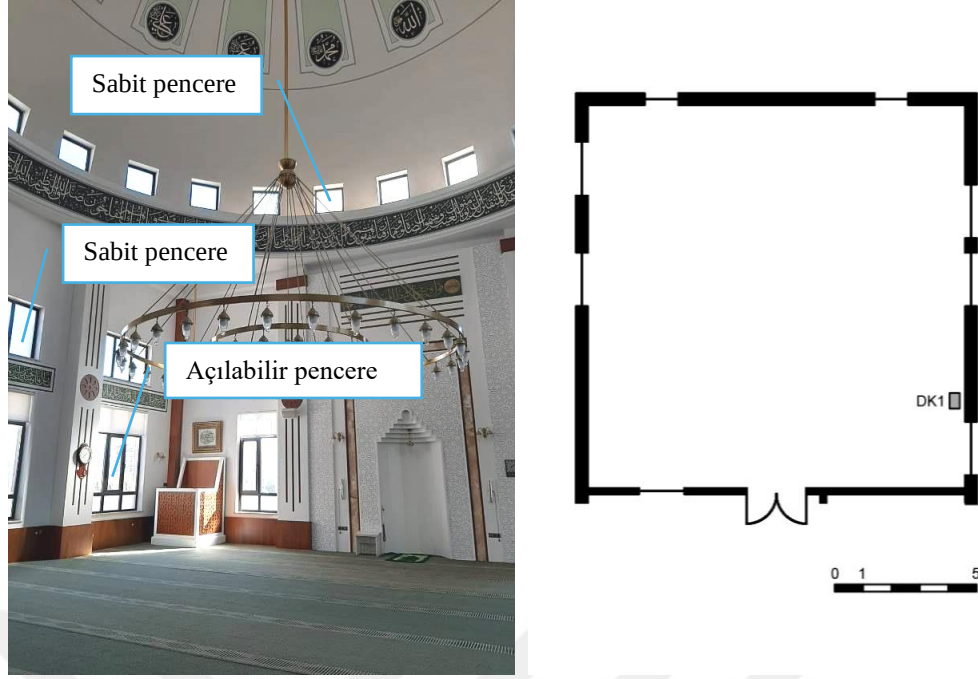
Caminin harim alanı 246,56 m² olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise 15,44 m² olarak ölçülmüştür. Bu açıklık büyüklüğü hesaplanırken açılabilir pencerelerin engellenmediği varsayılarak ölçüm yapılmıştır. Hz.Eyyüb Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %6,26 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir.

3.1.7. Mehmet Yalçın Cami

Mehmet Yalçın Cami, Konya ili Selçuklu ilçesi Hocacihan mahallesinde bulunmaktadır (Şekil 3.18). 2017 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.19'da caminin harim alanı fotoğrafı ve harim alanının şematik planı yer almaktadır. Yapıda zemin seviyesinde açılabilir pencereler bulunmaktadır. Üst kottaki pencereler ve kubbe kasnağındaki pencereler sabit pencere şeklinde tasarlanmıştır. Yapıda bir adet dikey klima soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Şekil 3.20'de yapıda kullanılan klima cihazı görülmektedir.



Şekil 3.18. Mehmet Yalçın Cami (Azkur, 2023)



Şekil 3.19. Mehmet Yalçın Cami harim alanı ve şematik planı (Azkur, 2023)



Şekil 3.20. Mehmet Yalçın Camide kullanılan klima tipi (Azkur, 2023)

Caminin harim alanı $206,15 \text{ m}^2$ olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise $5,88 \text{ m}^2$ olarak ölçülmüştür. Mehmet Yalçın Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %2,85 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir.

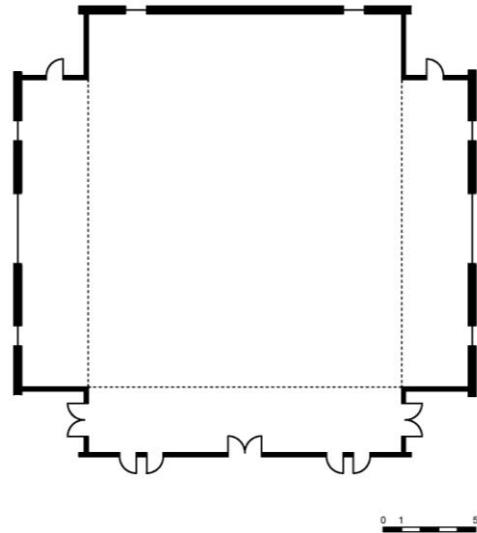
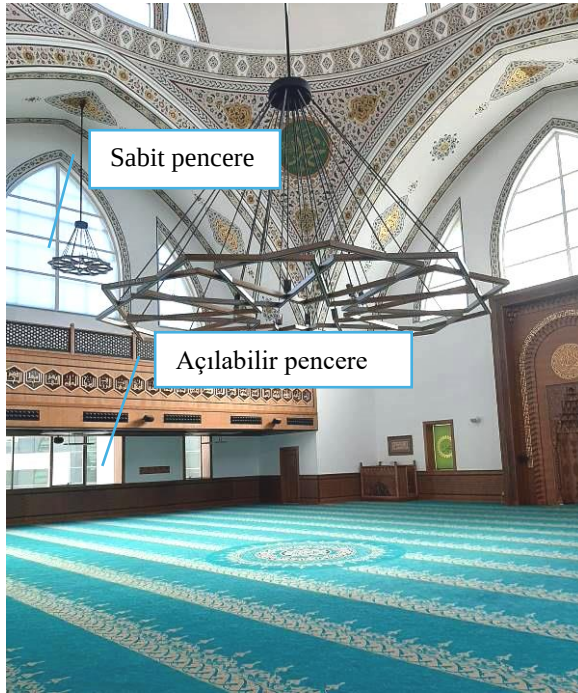
3.1.8. Hz. Ebubekir Cami

Hz. Ebubekir Cami, Konya ili Selçuklu ilçesi Şeker mahallesinde bulunmaktadır (Şekil 3.21). 2019 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.22'de caminin harim alanı fotoğrafı ve

harim alanının şematik planı yer almaktadır. Yapıda zemin seviyesinde dışarıya açılan ters vasistas tipi açılabilir pencereler bulunmaktadır. Üst kottaki pencereler sabit pencere şeklinde tasarlanmıştır. Yapı mekanik olarak havalandırılmakta ve soğutulmaktadır. Bunun için tavan tipi gizli klimalar yapıda kullanılmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.21. Hz. Ebubekir Cami (Azkur, 2023)



Şekil 3.22. Hz. Ebubekir Cami harim alanı ve şematik planı (Azkur, 2023)



Şekil 3.23. Hz. Ebubekir Cami tavana gömülü iklimlendirme sistemi (Azkur, 2023)

Caminin harim alanı 520 m^2 olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise $16,02 \text{ m}^2$ olarak ölçülmüştür. Hz. Ebubekir Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %3,08 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir. Mekan tümüyle mekanik olarak iklimlendirilmek üzere tasarlandığından açılır pencerelerin çok kısıtlı olduğu görülmektedir.

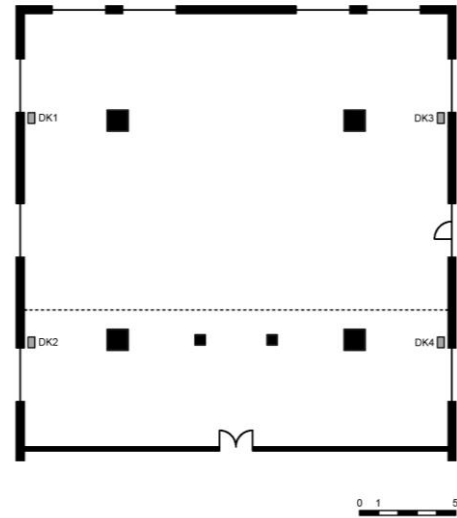
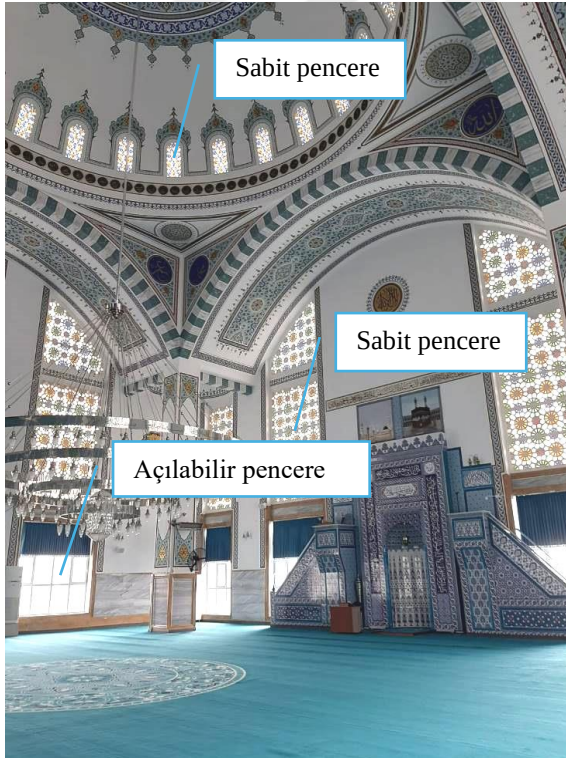
3.1.9. Huzur Cami

Huzur Cami Konya ili Selçuklu ilçesi Yazır mahallesinde bulunmaktadır (Şekil 3.24). 2021 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.25'te caminin harim alanı fotoğrafı ve harim alanı şematik planı yer almaktadır. Yapıda açılır pencereler zemin seviyesinde bulunmaktadır. Üst kottaki pencereler ve kubbe kasnağındaki pencereler sabit ve geleneksel süslemeli olarak uygulanmıştır.

Asma katta kadınlar mahfili bulunmaktadır ancak bu alanda da sabit pencereler kullanılmıştır. Soğutma amacıyla üç adet dikey klima ve bir adet vantilatör cihazı kullanılmaktadır (Şekil 3.26).



Şekil 3.24. Huzur Cami (Azkur, 2023)



Şekil 3.25. Huzur Cami harim alanı ve şematik planı (Azkur, 2023)



Şekil 3.26. Huzur Camide kullanılan klima (solda) ve vantilatör (sağda) (Azkur, 2023)

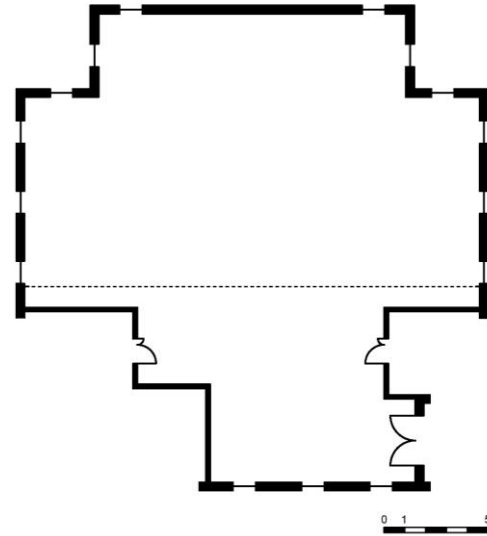
Caminin harim alanı 495 m^2 olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise $12,45 \text{ m}^2$ olarak ölçülmüştür. Huzur Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %2,51 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir.

3.1.10. Elmalılı Hamdi Yazır Cami

Elmalılı Hamdi Yazır Cami Konya ili Selçuklu ilçesi Yazır mahallesinde bulunmaktadır (Şekil 3.27). 2021 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.28'de caminin harim alanı fotoğrafı ve harim alanı şematik planı yer almaktadır. Yapıda açılır pencereler hem zemin seviyesinde hem de üst kotlarda bulunmaktadır. Ancak üst kotlardaki pencerelere herhangi bir ulaşım imkanı veya pencereleri kontrol eden otomasyon sistemi de bulunmamaktadır. Bu açılabilir pencerelerin temizlik amaçlı tasarlandığı düşünülmektedir. Asma katta kadınlar mahfili bulunmaktadır ve bu kısımdaki pencerelere ulaşım sağlanabildiğinden bu pencereler havalandırma amaçlı kullanılabilir. Yapıda herhangi bir soğutma cihazı görülmemiştir.



Şekil 3.27. Elmalılı Hamdi Yazır Cami (Azkur, 2023)



Şekil 3.28. Elmalılı Hamdi Yazır Cami harim alanı ve şematik planı (Azkur, 2023)

Yapıda açılabilir olarak tasarlanan iki merdiven evi penceresi de merdiven tarafından engellenmekte ve açılmamaktadır (Şekil 3.29). Bu tasarım hatası bazı açılabilir pencerelerin sabit pencereye dönüşmesine sebep olmuştur.



Şekil 3.29. Elmalılı Hamdi Yazır Cami içindeki hatalı pencere uygulaması (Azkur, 2023)

Caminin harim alanı 368,78 m² olarak ölçülmüştür. Harimdeki açıklık miktarı ise 39,15 m² olarak ölçülmüştür. Elmalılı Hamdi Yazır Cami için toplam açıklığın alan büyüklüğüne oranı %10,61 olarak hesaplanmıştır. Bu oran %20'nin altında olduğu için doğal havalandırma için yeterli değildir.

3.2. Mevcut Camilerin Doğal Havalandırma Performans Sonuçları

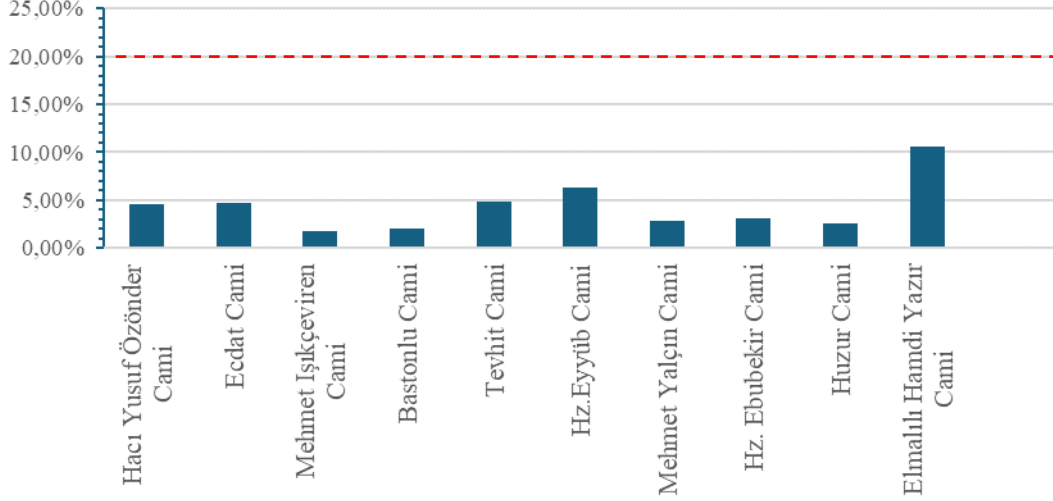
Çalışma kapsamında mevcut camilerdeki havalandırma sorununun tespit edilmesi için Konya ili, Selçuklu ilçesinde son dönemde (2014 ile 2021 yılları arasında) inşa edilmiş on adet cami incelenmiştir. İncelenen on caminin açılabilir pencere büyüklüğü – harim alanı büyüklüğü oranları Çizelge 3.1'de detaylı olarak verilmiştir. Çizelgeye göre literatürde optimum oran olarak verilen %20 değerine incelenen hiçbir cami ulaşamamıştır. Oranlar %1,71 ile %10,62 arasında değişmektedir.

Çizelge 3.1. Camilerin harim alanları, pencere açıklığı alanları ve bu büyüklüklerin birbirine oranları

Cami Adı	Harim Alanı (m ²)	Pencere Açıklık Alanı (m ²)	Oran (yüzde)
Hacı Yusuf Özönder Cami	498,44	22,8	%4,57
Ecdat Cami	426	19,89	%4,67
Mehmet Işıkçeviren Cami	465	7,96	%1,71
Bastonlu Cami	346,95	7,2	%2,08
Tevhit Cami	210	10,15	%4,83
Hz. Eyyüb Cami	246,56	15,44	%6,26
Mehmet Yalçın Cami	206,15	5,88	%2,85
Hz. Ebubekir Cami	520	16,02	%3,08
Huzur Cami	495	12,45	%2,52
Elmalılı Hamdi Yazır Cami	368,78	39,15	%10,62

Şekil 3.30’da incelenen on adet caminin pencere açıklıklarının harim alanlarına oranları bir sütun grafiği üzerinden gösterilmiştir. Şekildeki kırmızı kesikli çizgi ile belirtilen değer optimum değeri temsil etmektedir. Grafikten de anlaşıldığı üzere incelenen camilerin tamamı literatürdeki doğal havalandırma ile ilgili belirtilen açıklık oranının çok altında kalmıştır. İncelenen camiler arasında en iyi sonucu veren cami dahi literatürdeki değerin ancak yarısına tekabül etmektedir. Bu da mevcut uygulamalarda doğal havalandırmanın göz önünde bulundurulmadığını bir tasarım girdisi olarak görülmediğini göstermektedir. Camilerden yalnızca bir tanesinde kullanılan kubbe penceresinden havalandırma stratejisi, olumlu ve yenilikçi bir uygulama olarak değerlendirilmiştir. Burada da estetik açıdan olumsuz bir tasarım karşımıza çıkmakta, kapalı konumda iken motorlu kepenk sisteminin opak görüntüsü pencerenin tamamı ile bütünlük sağlamamaktadır. Kepenklerin toplandığı kısımların gizlenmesi için mimari

olarak özel bir çözüm üretilmediğinden estetik olarak negatif bir sonuç karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.30. İncelenen camilerin pencere açıklıklarının harim alanlarına oranları

Bunların dışında camilerde doğal havalandırmayı olumsuz etkilediği tespit edilen tasarım ve kullanım problemleri şunlardır;

- Üst kotlardaki açılır pencerelerin pencere kollarının sökülmesi suretiyle sabit pencereye dönüştürülmesi
- Bazı yapı elemanlarıyla cephe tasarımının birbirinden bağımsız tasarlanması sebebiyle ortaya çıkan uyumsuzluklar nedeniyle açılabilir pencerelerin açılabilmesi
- Üst kotlardaki açılabilir pencerelere herhangi bir ulaşım düzenlenmemesi ya da uzaktan kontrol sistemi kurulmamış olması sebebiyle bu pencerelerin açılmasının imkansızlaşması
- Kubbeli camilerde kubbe kasnağındaki pencerelerin tüm camilerde sabit tasarlanması, çatı açıklığı kullanılmaması.

3.3. Bölüm Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında mevcut camilerin doğal havalandırma potansiyellerini değerlendirmek açısından Konya ili Selçuklu ilçesindeki on adet cami incelenmiştir.

Literatürde belirtilen yeterli doğal havalandırma için gereken ideal açıklık oranına hiçbir mevcut cami ulaşamamıştır. Bu sonuç mevcut tasarımlarda doğal havalandırmanın dikkate alınmadığını göstermektedir. Ayrıca cephe tasarımı ile iç mekanın tasarım uyumsuzlukları, açılır pencerelerin sabit pencerelere dönüştürülmesi, çatı açıklıklarının tasarımlarda düşünülmemesi tespit edilen diğer sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu bağlamda çalışma için tasarlanan prototip camide literatüre uygun pencere duvar oranları ve açıklık oranları düşünülerek bir tasarım yapılmıştır. Sonrasında bu tasarım üzerinde açıklıkların seviyeleri, toplam büyüklükleri değişmeyecek şekilde adetlerinin değişmesi gibi farklı tasarım yaklaşımları test edilmiştir. Oluşturulan prototip cami ideal camiye temsil etmemektedir. Mimarların özgürce tasarımlarını gerçekleştirebilmeleri için ideal bir yapı üretilip tipleştirme doğru bir yaklaşım değildir. Bu çalışma kapsamında üretilen tip, üzerinde farklı tasarım fikirlerinin test edileceği, literatür ve yönetmelikleri yansıtacak şekilde tasarlanmış bir prototiptir. Prototip üzerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi ile simülasyonlar gerçekleştirilerek karşılaştırılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar ile mimarların erken tasarım evresinde kullanabilecekleri bir takım tasarım kriterleri oluşturulmuştur.

4. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) İLE DOĞAL HAVALANDIRMA SİMÜLASYONU

Hesaplamaalı akışkanlar dinamiğı (HAD), kısmi diferansiyel denklemlerin, bu denklemleri yaklaşık olarak temsil eden ayırıklaştırılmış cebirsel denklemlerle ifade edilmesini içerir. Daha sonra bu denklemler sayısal olarak çözümlenerek belirli bir uzay ve zamanda oluşturulan ayırıklaştırma noktalarındaki akış alanı bulunur. Navier-Stokes denklemleri akış alanı için akışkanın kapladığı uzayın her noktasında geçerli olduğundan, bu denklemlerin analitik çözümü sonsuz sayıda noktadaki akışın çözümünü verir. Ancak sınırlı sayıda ve basitleştirilmiş akış ve geometriler için analitik çözümler mevcuttur. Bu sınırlamanın üstesinden gelmek için akışı temsil eden denklemler ayırıklaştırılabilir ve bilgisayarda çözülebilecek cebirsel formda ifade edilebilir. HAD simülasyonları yalnızca ayırıklaştırma noktaları için ilgili akış değişkenlerini bulur. Ayırıklaştırma noktalarına karşılık gelmeyen noktalardaki değerler enterpolasyon yöntemleriyle elde edilir (Young vd., 2018).

4.1. HAD'ın Tarihçesi

HAD'ın başlangıcı ENIAC isimli ilk elektrikli bilgisayarların geliştirilmesi ile başlamıştır. ENIAC, elektronik veri işleme kapasitesine sahip ilk bilgisayardır. II. Dünya Savaşı esnasında Amerikalı bilim insanları tarafından üretilmiştir. ENIAC, yaklaşık 167 m² bir alana sığıyordu ve ağırlığı 30 tondur. Bu bağlamda bilimsel literatürde ortaya çıkan ilk küçük ölçekli simülasyonlar 1950'lerde yayınlanmıştır (Bhattacharyya vd., 2021).

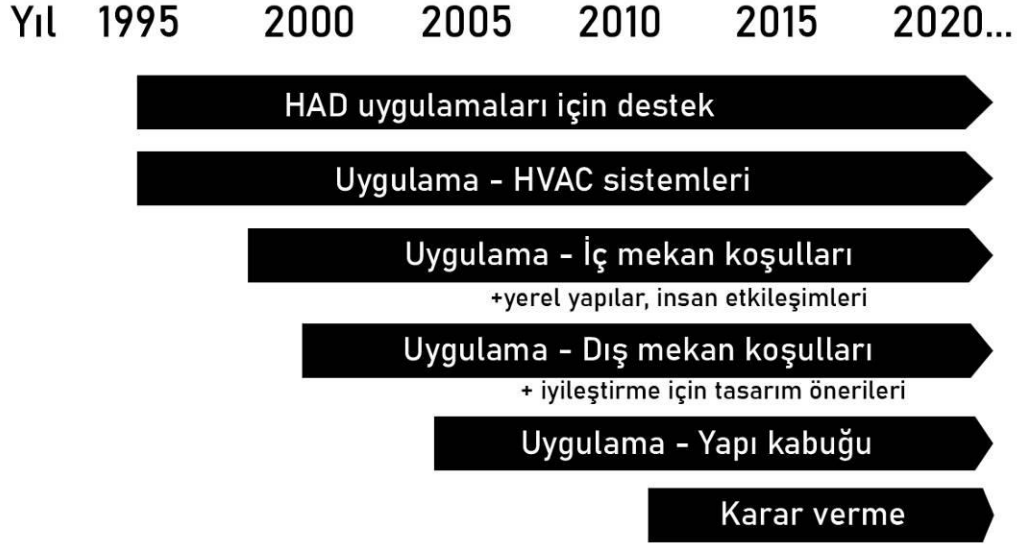
Başlangıçta, ABD'de HAD'in geliştirilmesi büyük ölçüde, mevcut en büyük bilgisayarların bulunduğu Los Alamos ve Livermore'daki ulusal laboratuvarlardaki bilim adamları tarafından silah araştırmaları için kullanılmasıyla olmuştur. 1950'lerde, deforme olabilen ortamların her türlü kombinasyonuyla başa çıkabilen büyük bilgisayar kodları oluşturulmuştur. Kullanılan metodolojilerin açıklamaları, Livermore'lu bilim insanları Alder, Fernbach ve Rotenberg tarafından hazırlanan ve Academic Press tarafından yayınlanan "Methods in Computational Physics" kitap serisinde bulunmaktadır. Daha sonra bu serinin yerini 1967'de aynı editörlükle "Journal of Computational Physics" almıştır (Van Leer, 1999).

Bu ilk kodlardaki çekirdek algoritma orijinal Von Neumann-Richtmyer yöntemine göre modellenmiştir. İlginç bir ayrıntı da bu dönemde astrofizik camiasının patlayan ve titreşen yıldızları simüle etmek için silah kodlarından faydalanması olmuştur. Lax-Wendroff şeması gibi ikinci ve daha yüksek dereceli yöntemler 1960'larda araştırılmıştır. Bu on yılda, bilgisayarlar daha geniş akademik topluluğun kullanımına sunuldukça, üniversitelerin HAD yöntemine katkısı keskin bir şekilde artmıştır (Van Leer, 1999).

Salınımlı olmayan yüksek dereceli yöntemler 1970'lerin başında Boris ve Van Leer tarafından tanıtılmıştır. 1970'lerde hesaplamalı aerodinamik, bir dizi potansiyel akış modelinden geçmiştir. 1980'lerde havacılık ve uzay bilimleri, birçok disiplindeki akış problemlerine uygulanabilecek güçlü sayısal tekniklerin geliştirilmesinin finansmanında lider konumuna gelmiştir. Bu aktivitenin çoğu NASA Langley Araştırma Merkezi ICASE'de gerçekleşmiştir (Van Leer, 1999).

Günümüzde HAD sanayide bir tasarım aracı olarak kendine yer edinmiştir. Otomotiv, ısıtma, havalandırma, denizcilik, inşaat, kimya gibi geniş bir sanayi alanında HAD'ın kullanıldığı görülmektedir. Sanayi genel olarak deneysel ve teorik akışkanlar dinamiği çalışmalarını tamamlayıcı bir mühendislik aracı olarak kullanmaktadır (Young, 2018).

HAD, mimari alanda 1990'lı yıllarda tanıtılmış ve HAD tabanlı çalışmaların sayısı 1997'den bu yana artarak devam etmektedir (Zhai, 2006). Bu büyüme, araştırmacıların HAD'ın potansiyelini fark ettiğini, dolayısıyla HAD ile ilgili konulara olan ilginin mimari alana nüfuz ettiğini göstermektedir. HAD analizi ile binaların ısı transferi senaryoları, doğal ve mekanik havalandırma ile akış simülasyonları, kentsel mekanda ısı veya hava akışının simülasyonu gibi pek çok fiziksel olay simüle edilebilmektedir. Bu açıdan mimarlar için de hem kentsel, hem de tek bina ölçeğinde kullanmak için elverişli bir araçtır. Araştırma eğilimleri aynı zamanda HAD'ın mimari tasarımın ilk aşamalarına yönelik bir araç olarak potansiyelini de göstermektedir. Başlarda mimari alanda HAD analizi genel olarak bitmiş tasarımları değerlendirme amacıyla kullanılmıştır. Ancak son zamanlarda yapılan çalışmalar HAD'ın karar verme sürecinde de etkili rol oynayabileceğini göstermiştir. Şekil 4.1, mimari alanda HAD ile ilgili araştırmaların gelişimini göstermektedir (Jo vd., 2018).



Şekil 4.1. Mimari alanda HAD çalışmaları (Jo vd.'nin (2018) çalışmasından yeniden üretilmiştir)

4.2. HAD'ın Avantajları ve Zorlukları

Akış simülasyonlarında HAD kullanmanın pek çok avantajı vardır. Bu avantajlardan en önemlisi de zaman ve maliyetten sağladığı tasarruftur. Geçmişte yeni bir tasarımın incelenmesi için çok sayıda prototip imal etme ve bunların laboratuvar ortamında test edilmesi gerekiyordu. Böylece hatalar giderilip yeni tasarımlar tekrar tekrar test edilerek optimum düzeye getiriliyordu. Günümüzde ise pek çok akış problemi deneysel yöntemlere başvurmadan HAD ile simüle edilebilmektedir. HAD tamamen deneysel yöntemin yerine geçmemekle birlikte deneylerle birlikte de kullanılabilmekte ve deneylerin süresini kısaltmaktadır. HAD'ın başlıca avantajları aşağıdaki gibidir:

- Deneysel yöntemlerle ölçülemeyen akışların simüle edilebilmesi
- Gerçek akış koşullarının simüle edilebilmesi
- Daha kısa bir zaman diliminde yeni tasarımlar üzerinde parametrik analizlerin yapılabilmesi
- Karmaşık akış olaylarının görselleştirilmesinin artırılması (Young vd., 2018)

HAD simülasyonlarının avantajlarının yanında bazı zorlukları da vardır. Bir HAD simülasyonunda tamamıyla yakınsayan bir çözüm elde etmek mümkün olabilir fakat bunun fiziksel olarak doğru çözüm olduğunu garanti etmez. Bu nedenle akış fiziğini iyice anlamak ve nasıl modellendiğini bilmek önem taşımaktadır. HAD uygulamasındaki zorluklar aşağıdaki gibidir :

- Navier-Stokes denklemlerinin lineer olmayan terimlerinin davranışındaki zorluklar
- Türbülanslı akışların modellenmesi ve yakalanmasındaki zorluklar
- Yakınsama problemleri
- Karmaşık geometriler için kaliteli çözüm ağı oluşturmada zorluklar
- Üç boyutlu zamana bağlı olmayan karmaşık problemlerde hem zaman hem de sayısal kaynakların idaresi (Young vd., 2018)

4.3. HAD Yönteminde Doğrulama (Ağdan Bağımsızlaştırma)

Simülasyonun doğrulanması HAD sürecinde önemli aşamalardan biridir. Bir HAD simülasyonunda sonuçların doğruluğundan emin olmadan önce birkaç kademe içeren testlerin yapılması gerekir. Yapılması gereken en önemli test çözüm ağı yakınsama testidir. Düğüm noktalarının arttırılarak çözüm ağının sıklaştırılmasıyla sonuçların artık değişmediği bir noktaya kadar çözüm yaptırılarak yakınsamanın doğru olduğu gösterilmelidir. Bu durum sağlandığında bu çözüme ağdan bağımsız çözüm denir. Başka bir doğrulama yöntemi de çözümlerin mevcut veriler ile kıyaslanmasını içermektedir.

4.4. Çalışmanın Metodolojisi

Çalışmanın yöntemi başlığında değinilen metodolojinin uygulanması amacıyla izlenen araştırma basamakları bu başlık altında detaylı olarak verilmiştir. Prototip caminin tasarımı, yapı detaylarının belirlenmesi, U değerlerinin yazılım aracılığı ile hesaplanması, iklim verilerinin elde edilmesi ve simülasyon çalışmasının basamakları gibi başlıklar ayrıntıları ile açıklanmıştır.

4.4.1. Prototip Caminin Tasarımı

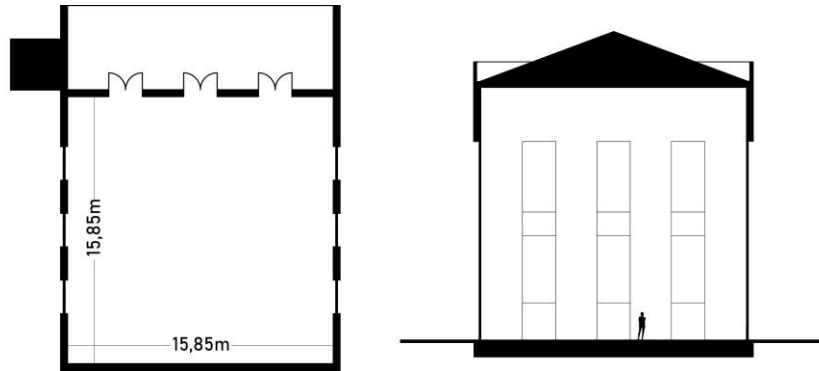
Çalışma kapsamında Türkiye'de ılıman kuru iklimi temsil eden bir il olan Konya'nın iklim koşullarında analiz edilmek üzere prototip bir cami tasarlanmıştır. Caminin büyüklüğü Diyanet İşleri Başkanlığı ile yapılan görüşme sonrasında belirlenmiştir. Diyanet İşleri Başkanlığı, en çok kullanılan cami türünün 500 kişi kapasiteli camiler olduğunu belirtmiştir. Çalışma için Türkiye'de en yaygın kullanılan plan tipi olan merkezi kare planlı, 500 kişi kapasiteli bir cami tasarlanmıştır. Diyanet İşleri Başkanlığı'nın Cami Planlama ve Tasarım Kılavuzuna göre camiler tasarlanırken kişi başına 0,5 m² alan ayrılması gerekmektedir. Bu nedenle 500 kişinin kullanabileceği prototip bina için 15,85m x 15,85m'lik yaklaşık 251,22 m²'lik (iç hacim) bir ibadet alanı tasarlanmıştır.

Şeffaf kısmı temsil eden pencereler, opak kısımlara göre ısı transferine karşı daha düşük direnç göstermeleri nedeniyle bina kabuğundaki zayıf noktalar olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca opak kısımlar ısı transferini en aza indirmeyi ve ısıtma ve soğutma için tüketilen enerjiyi azaltmayı amaçlayan ısı yalıtım katmanlarını da içermektedir. Pencere-duvar oranının (window-to-wall ratio (WWR)) en aza indirilmesiyle, termal olarak işlenebilecek daha büyük katı alanların varlığı nedeniyle daha yüksek bir ısı akışını kontrol etmek mümkündür. Ancak bu aynı zamanda yapay aydınlatmanın tükettiği enerjinin artmasına da neden olabilir. Çünkü pencere yüzeyleri azaldıkça yapı içine giren güneş ışığı da doğal olarak azalacaktır. WWR'yi artırarak, aydınlatma için tüketilen enerji azalacak, ancak alan, iletim yoluyla ısı transferine daha duyarlı hale gelecek ve soğutma için tüketilen enerjide bir artışa neden olabilecek doğrudan güneş ışıının nüfuz etme sorumluluğu daha yüksek hale gelecektir (El-deeb, 2013). Bu nedenle optimum WWR oranını ayarlamak doğru tasarım için önemlidir. Bu çalışma için WWR, Goia'nın (2016) çalışmasında ılıman kuru iklim için belirlenen değere göre kuzey, doğu ve batı yönleri için %35 olarak belirlenmiştir. Pencere açıklık oranları zemin metrekaresinin %20'si civarında olduğunda etkili bir havalandırma sağlanmaktadır (Jaffe vd., 2020). Bu doğrultuda prototip camide de güneybatı ve kuzeydoğu cephelerindeki toplam pencere açıklıkları %22 oranını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bunlara ek olarak pasif soğutma için yaz aylarında hakim rüzgardan yararlanmak amacıyla giriş cephesinde ekstra üç adet pencere daha tasarlanarak soğutma etkisini güçlendirmek amaçlanmıştır. Böylece kış mevsiminde

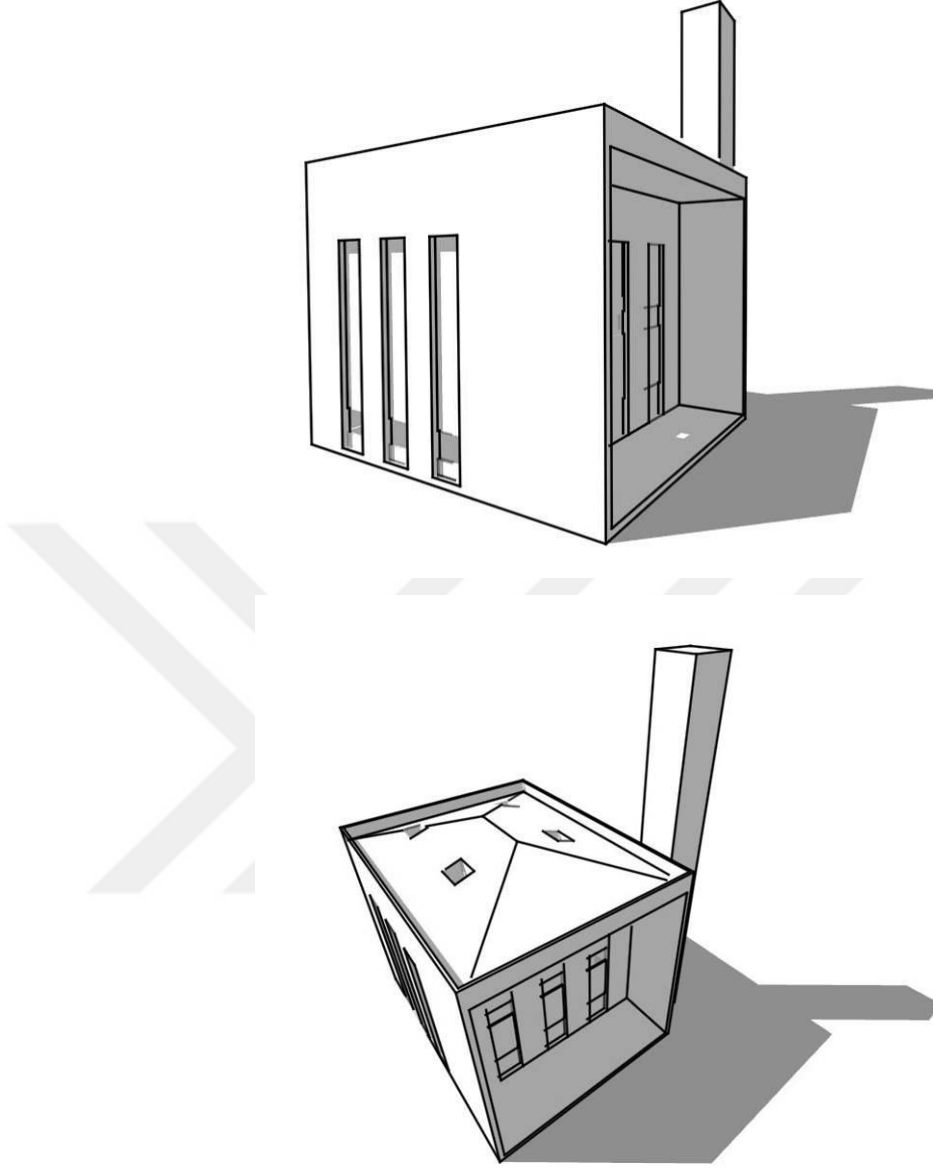
giriş cephesindeki açıklıklar hakim rüzgarın soğutucu etkisinden korunmak amacıyla kapalı konuma getirildiğinde diğer cephelerdeki açıklıklar ile yeterli havalandırma sağlanabilecektir.

Türkiye için güneydoğu yönü camilerin kible yönüdür. Namaz ibadeti bu yöne (kıbleye) dönülerek yapılır ve bu yönde dikkat dağıtıcı unsurların olmaması gerektiğinden genellikle bu yönde pencere bulunmaz ya da opak perdeler ile kapatılır. Prototip camide de bu yönde herhangi bir açıklık düzenlenmemiştir. Hakim rüzgar caminin kuzeybatı cephesindeki giriş cephesinden içeri girecek olup hava girişleri (inlet) giriş cephesinde üç kapı ve üç pencere şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 4.3). Kible cephesi dışındaki diğer cephelerde pencereler hava çıkış elemanları (outlet) şeklinde tasarlanmıştır. Bu pencerelerin büyüklükleri ve konumları çalışma kapsamında senaryolara göre değişmektedir. Bu pencerelerin büyüklükleri her senaryonun kendi başlığında verilmiştir. Cami yapı yüksekliği, Gürsoy'un (2018) derlediği çalışmada Türkiye Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün belirlediği oranlara uygun olarak tasarlanmıştır. Bu bağlamda 15 metre iç yükseklik olacak şekilde tasarlanmıştır.

Yapıda gizli kırma çatı tasarımı tercih edilmiştir (Şekil 4.4). Ülkemizde cami yapılarında genellikle üst örtü olarak kubbe kullanılmaktadır. Bu anlayış geleneksel mimariye öykünen bir anlayışı temsil edecek şekilde nostalji duygusu ile yapılmaktadır. Ancak İslam dini belirli bir yapı formunu tarif etmemektedir ve ilk İslam mabetleri kubbesiz yapılmıştır. Geçmişte büyük açıklıkları geçmek için kubbe inşa edilmesi gerekiyordu ancak günümüzde geniş açıklıklar çok çeşitli yapı elemanlarıyla düz atkılı şekilde de geçilebilmektedir. Bu bağlamda bu konuya daha fonksiyonel ve çağdaş bir şekilde yaklaşmak adına iklim özelliklerine de uygun olacak şekilde kırma çatı tercih edilmiştir.



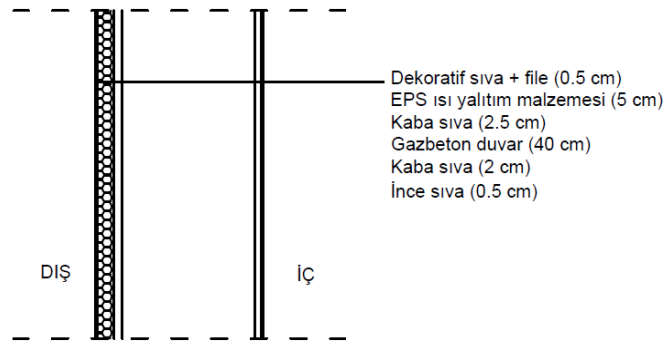
Şekil 4.3. Prototip caminin planı ve kesiti



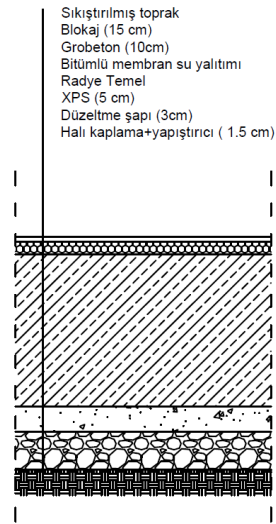
Şekil 4.4. Prototip caminin modeli

4.4.2. Yapı Detaylarının ve U Değerlerinin Belirlenmesi

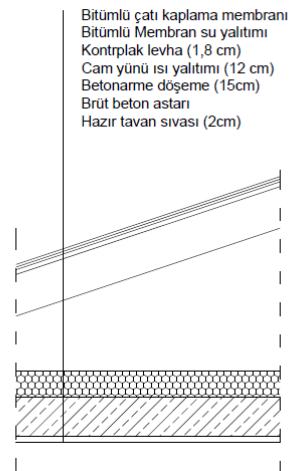
Model yüzeylerinin U değerlerini elde edilecek şekilde camilerin ısı yalıtım detayları çizilmiştir (Şekil 4.5, 4.6, 4.7). Detaylar IZODER TS825 programına girilerek U değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.8). U değerleri duvarlar için $0,275 \text{ W/m}^2\text{K}$, tavanlar için $0,255 \text{ W/m}^2\text{K}$, zeminler için $0,363 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve pencereler için $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ (12-4-12 mm çift camlı low-E kaplama) olarak belirlenmiştir. Bu değerler Türkiye'nin ısı yalıtım kurallarını belirleyen standardı TS825:2013'te Konya için belirtilen aralıklara uygundur. Çatı için gizli kırma çatı tercih edilmiştir.



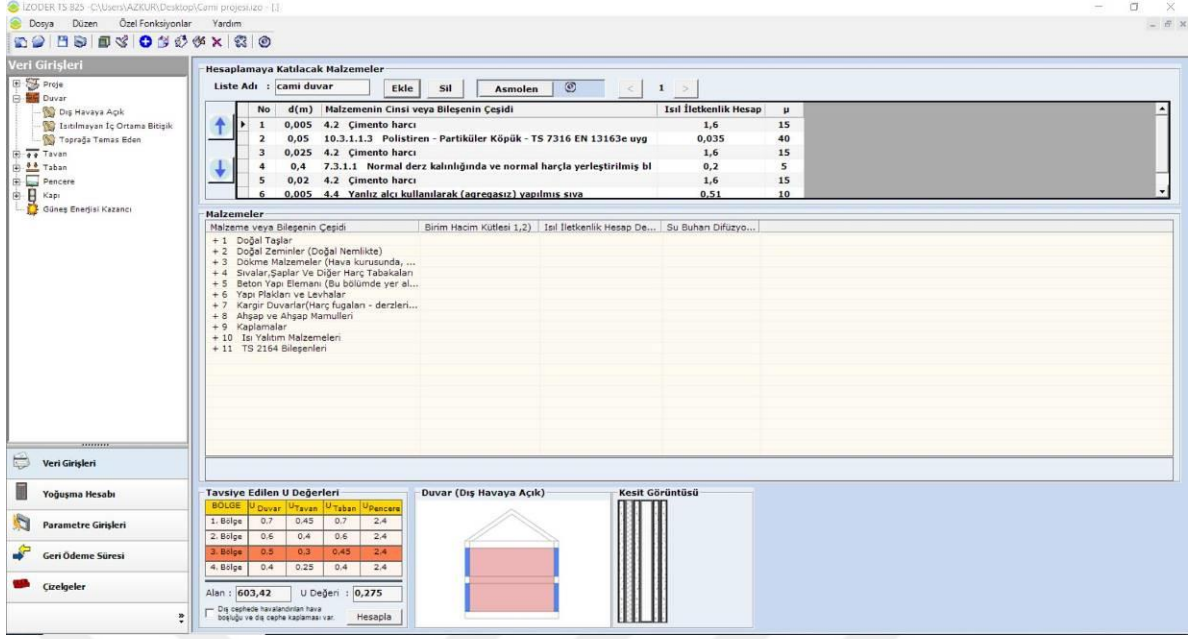
Şekil 4.5. Duvar uygulama detayı



Şekil 4.6. Temel uygulama detayı



Şekil 4.7. Çatı uygulama detayı eğimli gizli çatı



Şekil 4.8. IZODER TS 825 arayüzü

4.4.3. İklim Koşullarının Belirlenmesi

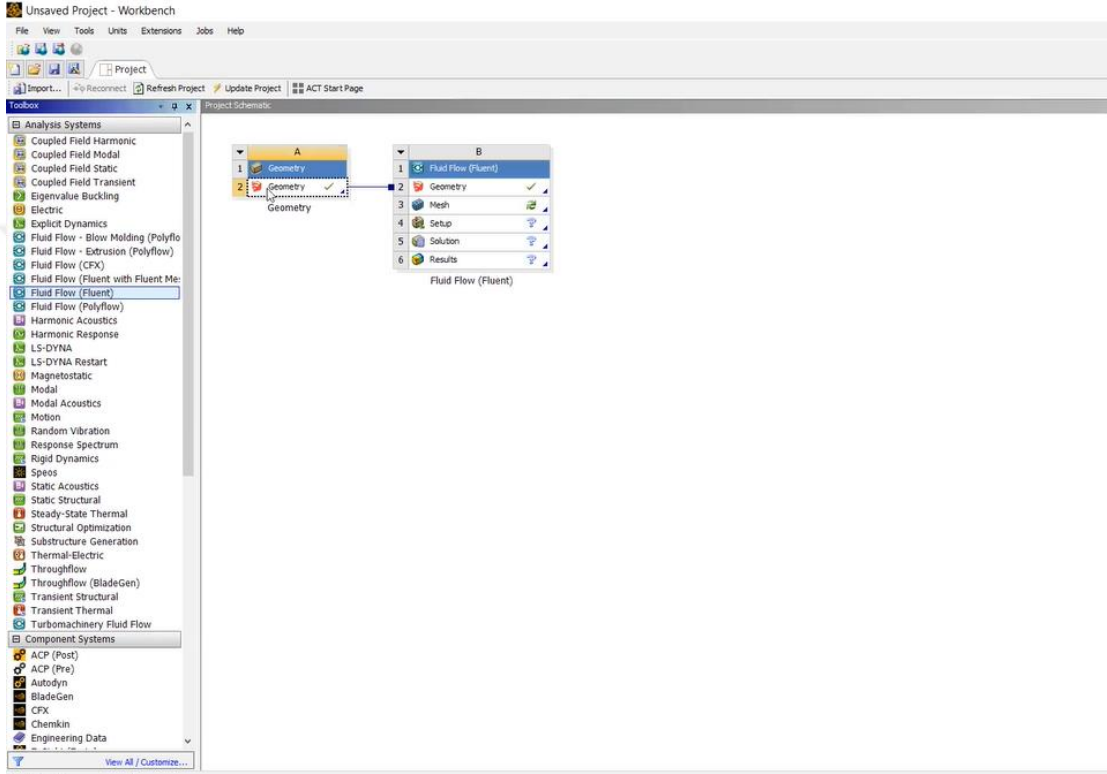
Camilerde doğal havalandırma ve soğutma inceleneceği için, analiz yılın en sıcak ayına göre yapılmıştır. Konya için yılın en sıcak ayını temsil eden Temmuz ayının beş yıllık (2018-2022) ait sıcaklık ve rüzgâr verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Temmuz ayında beş yılın (2018-2022) ortalama gündüz sıcaklığı 25,7 °C'dir. Temmuz ayında 5 yıllık (2018-2022) ortalama rüzgar hızı 3,8 m/sn olup, hakim rüzgar yönü kuzeybatıdır.

4.4.4. Simülasyon Çalışması

Tüm simülasyon çalışması süreçleri ANSYS Fluent 2022'de yürütülmüştür. ANSYS programında, geometry, mesh, setup, solution ve results modülleri kullanılarak simülasyon çözümü gerçekleştirilmiştir. Geometry bölümünde modelin geometrisinin düzenlenmesi, mesh bölümünde çözüm ağının modellenmesi, setup bölümünde çözüm için ayarların yapılması, solution bölümünde akışın çözümünün gerçekleştirilmesi ve results bölümünde de sonuçların görselleştirilmesi yapılmıştır.

4.4.4.1. Geometrinin Modellenmesi

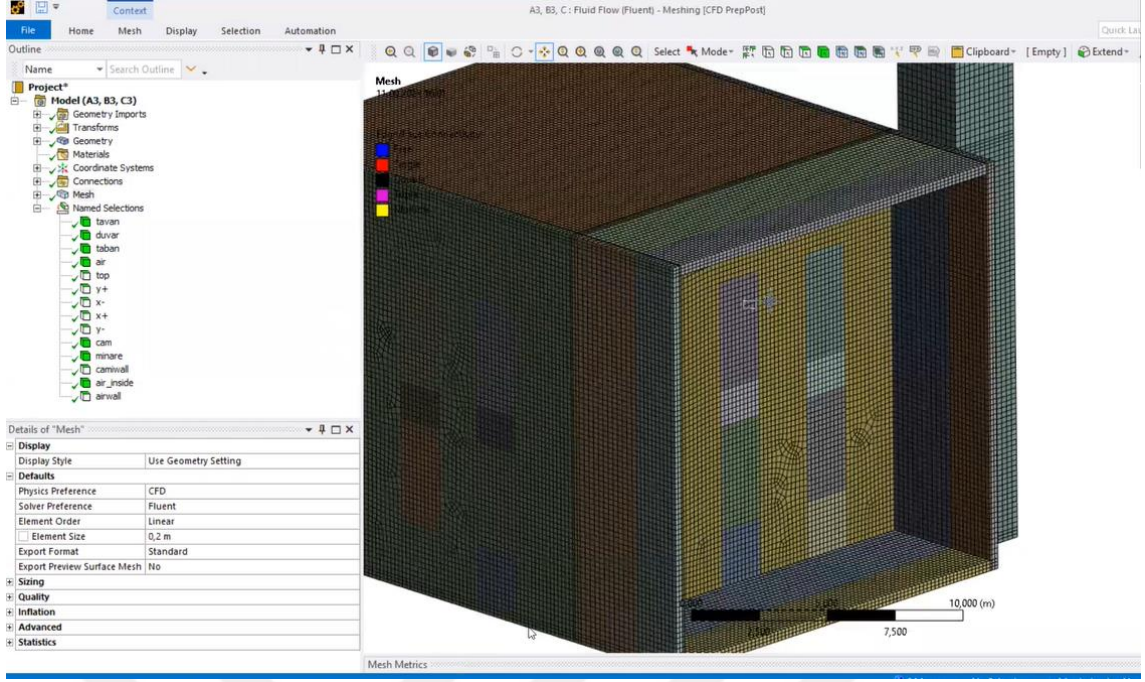
Prototip öncelikle Sketchup yazılımında ölçülere uygun olarak modellenmiş sonrasında ANSYS Spaceclaim'e aktarılmıştır (Şekil 4.9). Spaceclaim modülünde yapı geometrisi düzenlenmiş ve içinde akışın gerçekleşeceği akış geometrileri belirlenmiş ve çözüm ağı oluşturmaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.9. ANSYS arayüzü

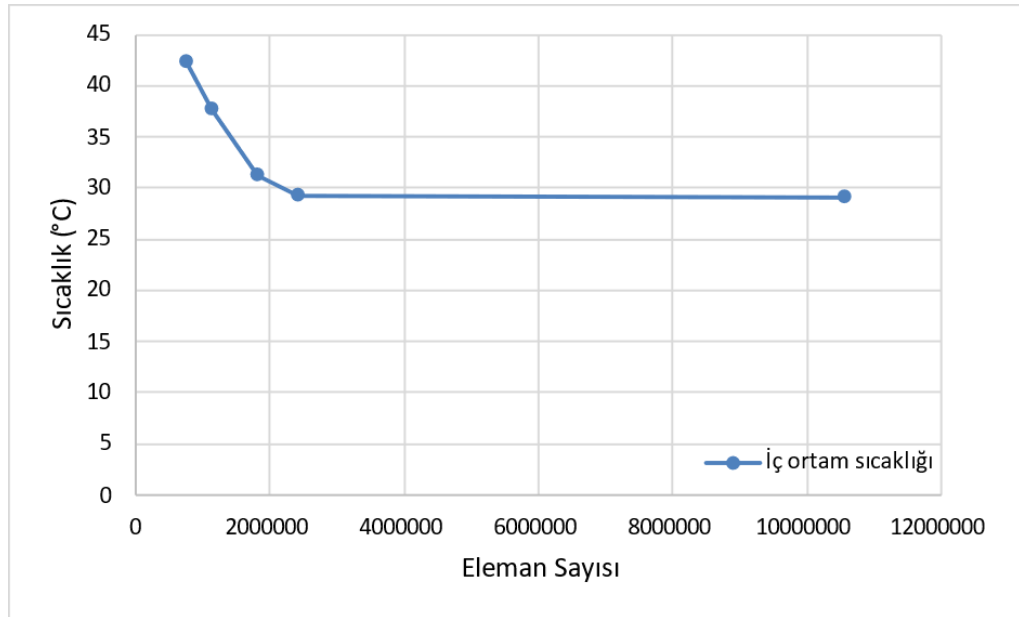
4.4.4.2. Akışın Çözümlemesi ve Doğrulama

Çözüm ağı (mesh yapısı) ANSYS mesh modülünde oluşturulmuştur. Çözüme aktarılan modelin toplam eleman sayısı yaklaşık 2,5 milyondur. Modeller yalnızca dörtgen hücrelerden oluşturulmuştur. Modelin ağ yapısı tüm kenarların, yüzeylerin ve hacimlerin minimum eleman boyutu 20 cm olacak şekilde oluşturulmuştur. Fluent modülünde korunum, enerji denklemleri, başlangıç, sınır koşulları ve yüklemeler belirlenmiştir. Şekil 4.10'da modelin mesh yapısı ANSYS arayüzünde görülmektedir.



Şekil 4.10. Modelin mesh yapısı

Çözümüne aktarılan modelin yaklaşık eleman sayısı 2.5 milyon elemanda durdurulmuştur. Şekil 4.11’de görülen grafikte yaklaşık 2 milyon civarından sonra çözüm değerleri değişmemeye başlamıştır. Bu da çözüm eleman sayısının bu aralıkta durdurulabileceğini göstermektedir. Bu şekilde simülasyonun mesh yapısının doğrulanması yakınsama grafiği ile yapılmıştır.



Şekil 4.11. Modelin ağdan bağımsızlaştırma grafiği

Viskoz bölgelerde daha iyi sonuçlar ve yakınsama sağladığı için türbülans modeli olarak “Kayma gerilimi taşınımı (Shear-stress transport (SST)) k- ω modeli” kullanılmıştır. Modelde hem doğrudan güneş ışığının hem de dağınık güneş ışıının etkilerinin görülmesine yardımcı olan güneş ışıını için "Solar ray tracing" modeli kullanılmıştır.

“Solar ray tracing” ışın izleme algoritması, gelen güneş radyasyonundan kaynaklanan doğrudan aydınlatma enerji kaynağını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Güneşin konumu, vektörü ve aydınlatma parametreleri kullanılarak modellenen ışın alınarak, belirtilen duvarların veya giriş/çıkış sınır bölgelerinin herhangi birine veya tümüne uygulanır, tüm sınır yüzlerinde iyi tanımlanmış gölgeleri belirlemek için yüz yüze gölgeleme analizi gerçekleştirilir. İç duvarlar incelenir ve gelen radyasyondan kaynaklanan sınır yüzlerindeki ısı akışı hesaplanır. Doğrudan güneş aydınlatması için iki bantlı bir spektral model kullanılır ve görünür ve kızılötesi bantlardaki ayrı malzeme özellikleri hesaba katılır. Yaygın radyasyon için tek bantlı yarı küre ortalamalı spektral model kullanılır. Opak malzemeler iki bantlı emicilik açısından karakterize edilir. Yarı şeffaf bir malzeme var ise, emicilik ve geçirgenlik özelliklerinin belirtilmesi gerekir. İletkenlik ve soğurma için belirtilen değerler gelen ışınlar için tanımlanır. Fluent, belirli bir geliş açısı için bu değerleri yeniden hesaplar ve interpolasyon yapar (ANSYS Fluent 12.0 Kullanıcı Kılavuzu, 2009).

Çalışma için “Solar ray tracing” modeline Konya ilinin koordinatları girilerek, belirlenen tarih ve saat için güneş ışınlarının yönü ve şiddeti belirlenmiştir. Bu çalışma için belirlenen zaman Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan bilgiye göre yılın en sıcak ayı olarak belirlenen Temmuz ayından bir gün olarak 20 Temmuz seçilmiştir. Saat 14:00 olarak belirlenmiştir. Bu saat, camilerin yoğun olarak kullanıldığı öğleden sonra saatlerini temsil etmek üzere seçilmiştir. Ayrıca analizde öğleden sonra güneşi ile ısınan mihrap cephesindeki etkinin görülmesi de amaçlanmaktadır.

4.4.4.3. Sonuçların Görselleştirilmesi

Sonuçların görselleştirilmesi için “Results” modülünden sonuçların istenilen birimde ($^{\circ}\text{C}$, m/sn) görselleştirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma için sonuçlar kontur

diyagramları şeklinde renklendirilmiş haritalar olarak elde edilmiştir. Karşılaştırmanın daha doğru ve kolay yapılabilmesi için aynı sıcaklıkların ve aynı hızların aynı renklerle temsil edilmesi sağlanmıştır.

4.5. Bölüm Değerlendirmesi

Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (HAD), hava akışı düzenleri, termal davranış ve çevresel koşullar hakkında detaylı bilgi sağlayarak binalardaki pasif soğutma stratejilerinin geliştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. HAD analizi, yapı içindeki ya da çevresindeki hava akışlarını simüle ederek havanın nasıl hareket ettiğinin anlaşılabilmesi için kapsamlı bir analiz sunar. Bu sayede mimarlar hava akışının durgunlaştığı bölgeleri tespit ederek tasarımdaki hataları görebilir ve uygun tasarımı gerçekleştirebilir. HAD simülasyonları ayrıca yapıların termal performansının değerlendirilmesinde de kullanılabilir. Bu bağlamda yapı malzemesinin değişmesi ile termal performans simülasyonlarının nasıl değiştiği anlaşılabilir. Yapı elemanlarının gölgeleme etkisi ya da kışın güneşten ısı kazancı için de termal performans simülasyonları mimarlara yol göstermektedir.

Özetle, HAD analizi mimarlara daha sürdürülebilir yapılar tasarlamak adına etkili bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle hava akışı, termal koşulların değerlendirilmesi ve çevre ile fiziksel etkileşimin kapsamlı bir şekilde incelenmesi için oldukça önemlidir.

Bu bağlamda çalışma kapsamında HAD analizi, havalandırma ve termal performansın ölçülmesi ile pasif soğutma sağlamaya yönelik olarak bir araç olarak kullanılmıştır. Tez kapsamında oluşturulan farklı senaryolar bu analiz yöntemi ile incelenerek mimarların tasarım evresinde kullanabileceği tasarım kriterlerine ulaşılmıştır.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında ANSYS Fluent yazılımı yardımıyla akış hızları ve iç ortam sıcaklıkları ölçülmüştür. Hız kontur haritaları ve sıcaklık kontur haritaları elde edilmiştir. Senaryoların doğru bir şekilde karşılaştırılması için haritaların renk aralığı, aynı sıcaklıkları aynı renklerle ve aynı hızları aynı renklerle temsil edecek şekilde düzenlenmiştir. ASHRAE-55 standardında ölçüm yüksekliği 1,10 m olarak belirlendiğinden sıcaklıklar ve akış hızları 1,10 metre yükseklikten alınmıştır (Al-Homoud vd., 2009; Çalış vd., 2017). ASHRAE (Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği), bina tesisat sistemleri, enerji verimliliği, iç hava kalitesi ve sürdürülebilirlik alanlarında çalışan uluslararası bir kuruluştur. ASHRAE-55 standardı, binaların tasarımı ve işletilmesi aşamalarında kullanılmak üzere konforlu ortamlar oluşturmak için gerekli koşulları belirleyen bir standarttır.

5.1. Farklı Pencere Konfigürasyonlarının Yapı İçi Sıcaklıklara Etkisi

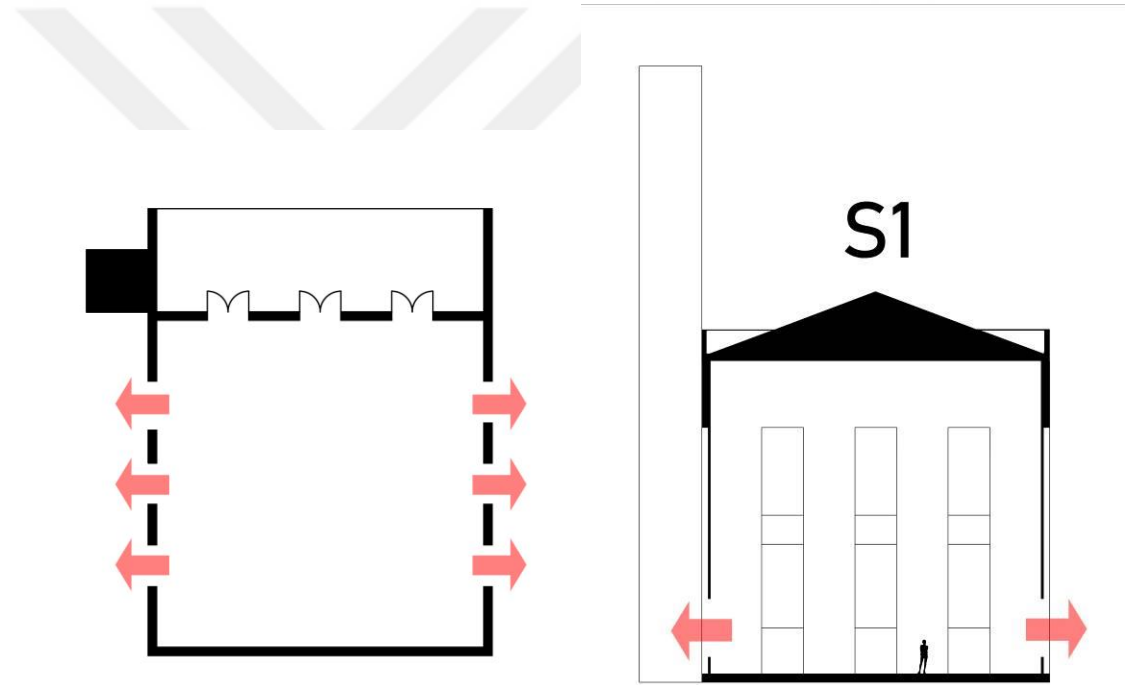
Tez kapsamında üç farklı pencere konfigürasyonu senaryosu hazırlanarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme iç sıcaklıklar ve akış hızları üzerinden yapılmıştır. Önce solar modelle yapı ısıtılmış sonrasında hakim rüzgarın uygun yön ve sıcaklıkta iç mekana alınarak mekanı soğutma kapasitesi incelenmiştir. Mekan giriş cephesinden alınan hakim rüzgar, diğer cephelerdeki farklı yükseklikte tasarlanmış pencerelerden çıkış yaparak yapıdaki sıcaklıkları düşürerek pasif soğutma gerçekleştirmektedir. Doğru bir değerlendirme yapılabilmesi için alternatiflerin toplam açıklık büyüklükleri üç senaryoda da aynı tutulmuştur. Senaryolar arasında hava sirkülasyonunun nasıl etkilendiğini ve iç sıcaklığın nasıl değiştiğini anlamak için yalnızca pencerelerin konumları ve adetleri değiştirilmiştir.

5.1.1. Zemin seviyesinde açıklıkların düzenlendiği model (S1)

Senaryo 1 (S1) Türkiye'deki camilerdeki yaygın tasarımı temsil etmektedir. Ülkemizde camilerdeki genel uygulama zemin seviyesinde açılabilir pencereler kullanmak ve üst kotlarda sabit pencereler tasarlamak şeklindedir. Bu bağlamda S1

senaryosunda, bu uygulamayı temsil edecek şekilde yalnızca zemin seviyesinde açıklıklar tasarlanmıştır.

Konya için kible yönü kuzey ile 153 derece yapacak şekilde güneydoğu yönündedir. Bu bağlamda çalışma için tasarlanan yapı bu yöne yönlenecek şekilde konumlandırılmıştır. Güneybatı ve kuzeydoğu cephelerinde her cephede üçer pencere olmak üzere toplam altı pencere açıklığı tasarlanmıştır. Açıklıklar zemin kat seviyesinde, zeminden 90 cm yükseklikte konumlandırılmıştır (Şekil 5.1). Açıklık büyüklükleri her pencere için $2,00\text{m} \times 2,80\text{m} = 5.6 \text{ m}^2$ şeklinde tasarlanmıştır. Hava, giriş cephesindeki üç pencere ve üç kapıdan içeri alınır ve bu altı pencereden dışarı çıkar.

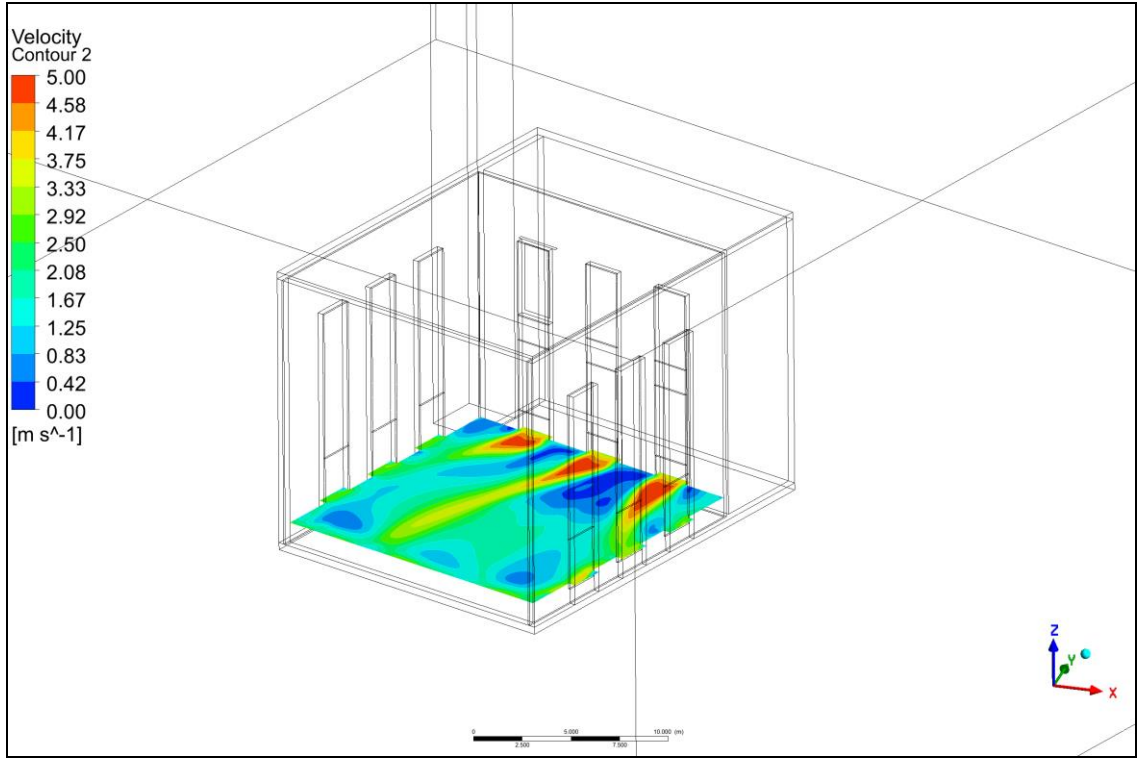


Şekil 5.1. Senaryo 1'de pencere açıklıklarının konumları

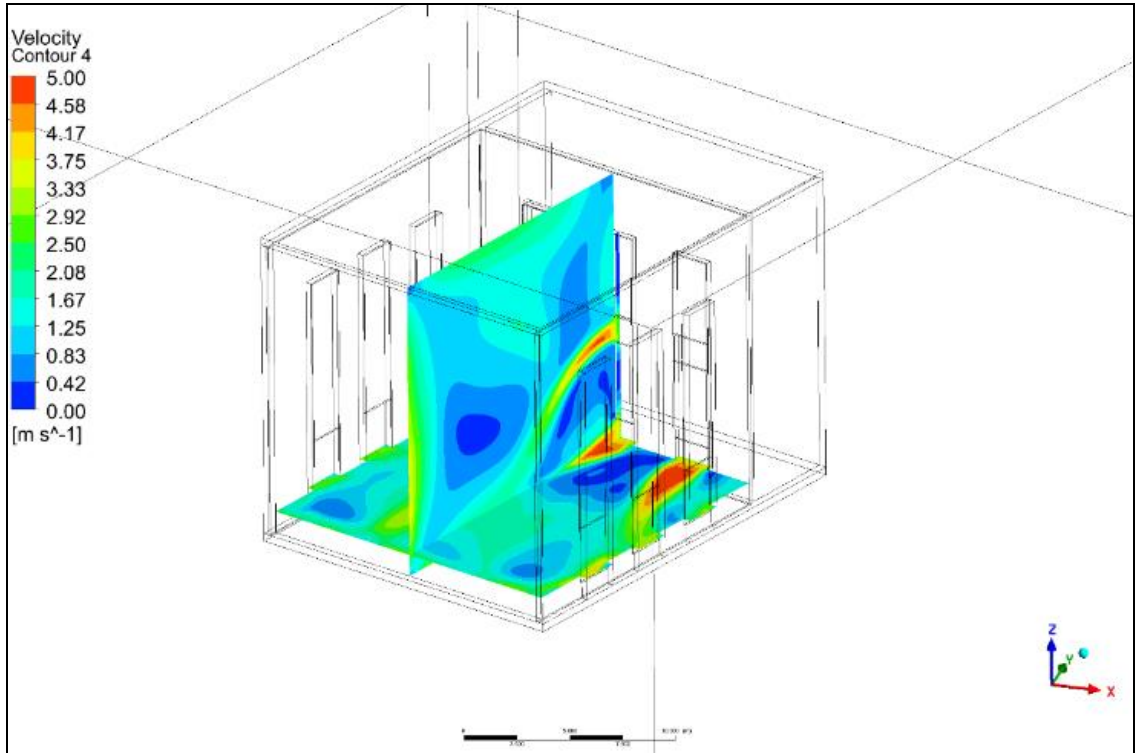
5.1.1.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi

Akışlar Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te renkli kontur diyagramları şeklinde verilmiştir. Mavinin tonları gibi soğuk renklerden kırmızının tonları gibi sıcak renklere doğru gidildikçe akış hızları artmaktadır. S1'in akış hızı diyagramı havanın içeriye yaklaşık 5 m/sn hızla girdiğini göstermektedir. Orta kapıdan gelen hava akımı mihrap mahalline ulaşarak tavana doğru bükülerek cami içerisinde bir sirkülasyon oluşturup zemin

seviyesindeki pencerelerden dışarı çıkmaktadır. Bu senaryo çapraz havalandırmayı temsil etmektedir. Yatayda incelenen kesit 1,10m yükseklikten alınmıştır.

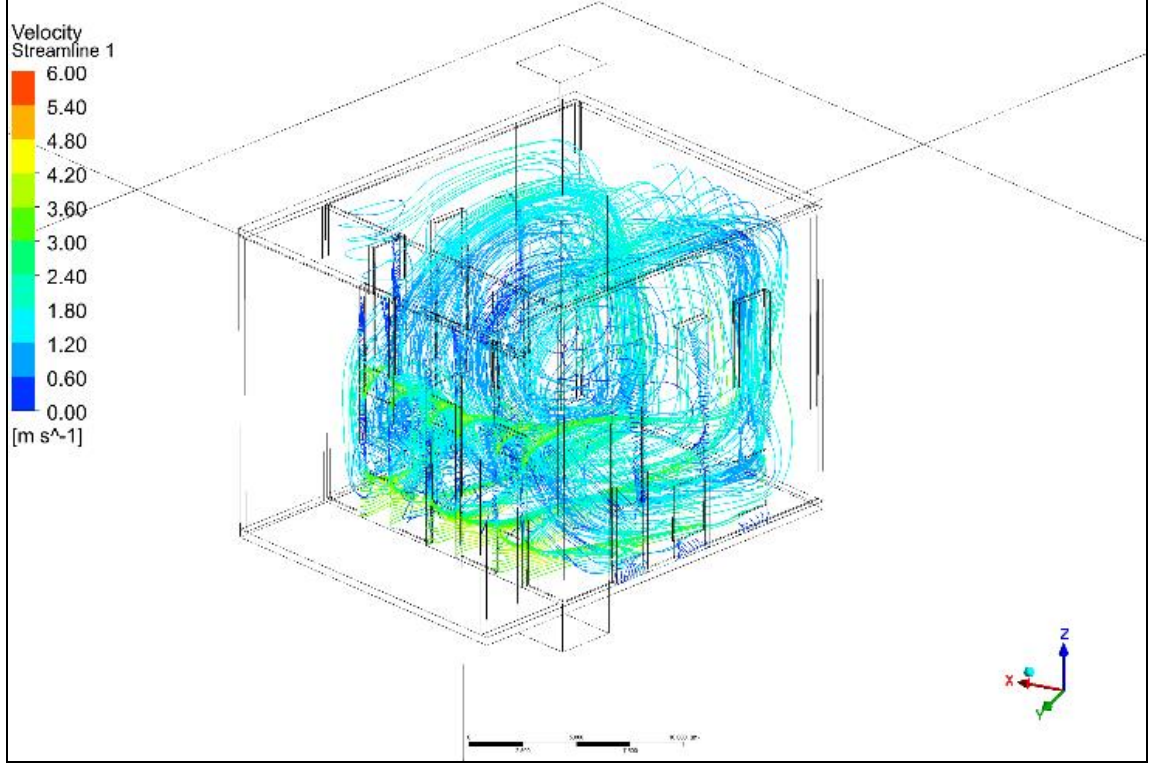


Şekil 5.2. S1'e ait hız kontur diyagramı (yatay kesit)



Şekil 5.3. S1'e ait hız kontur diyagramı (dikey kesit)

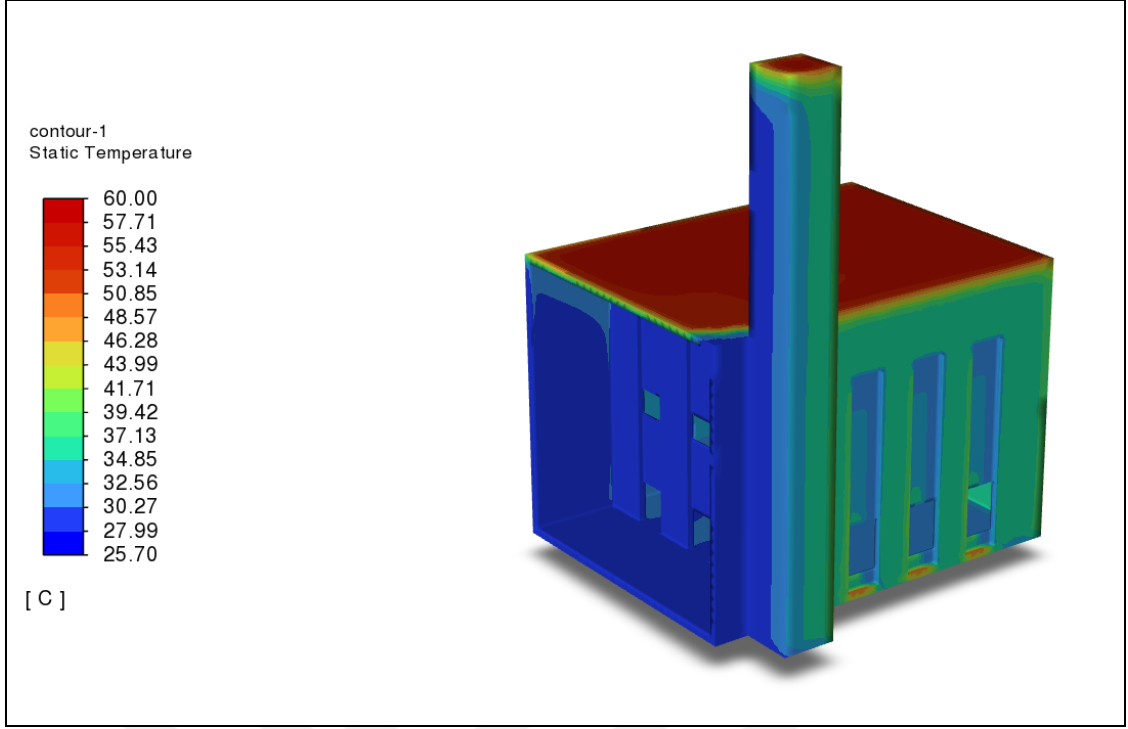
Hava akış diyagramına bakıldığında giriş cephesinden giren hakim rüzgar içeride bir miktar yavaşlayarak sonrasında türbülanslı bir akış meydana getirmektedir (Şekil 5.4). Yapı içinde dolaşan akış zemin seviyesindeki pencerelerden yapıyı terk etmektedir.



Şekil 5.4. S1'e ait akış diyagramı

5.1.1.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan Temmuz ayına ait gündüz sıcaklıklarının ortalaması 25,7 °C'dir. Bu sebeple modeldeki en düşük sıcaklık bu değerden başlamaktadır. Solar model yapıyı belirlenen tarihteki güneşin etkisine göre ısıtmaktadır. Güneşin etkisi ile yapının yüzeylerinin ulaştığı sıcaklıklar Şekil 5.5'te görülmektedir. Dış sıcaklık grafiğine göre çatı ve minarenin en üst noktası oldukça yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Ayrıca güney yönündeki cepheler de diğer cephelere göre daha çok ısınmaktadır. Analize ayrıca hakim rüzgar verisi de meteorolojiden alınan Temmuz ayı ortalama hakim rüzgar hızı olan 3,8 m/sn (kuzeybatı yönünde) olarak girilmiştir. Bu hava akımı iç mekanda sıcaklıkları düşürerek pasif soğutma sağlamaktadır.



Şekil 5.5. S1'e ait dış sıcaklık diyagramı

Mekanın yüzde kaçının hangi sıcaklık aralığında olduğunu ifade eden değerler Çizelge 5.1'de bir tablo ile ifade edilmiştir. Diyagrama göre mekanın %37,09'u, 27,80 °C -28,33 °C sıcaklık aralığında olup en büyük yüzdeyi temsil etmektedir. İç mekanın %29,25'i, 28,33 °C -28,85 °C sıcaklık aralığında bulunmaktadır. Mekanın %17,05'i, 27,27 °C -27,80 °C sıcaklık aralığındadır. İç mekanın %11,49'u ise 26,75 °C -27,27 °C sıcaklık aralığında bulunmaktadır. Diğer kısımlar alanın %10'undan daha az bir kesimini temsil etmektedir.

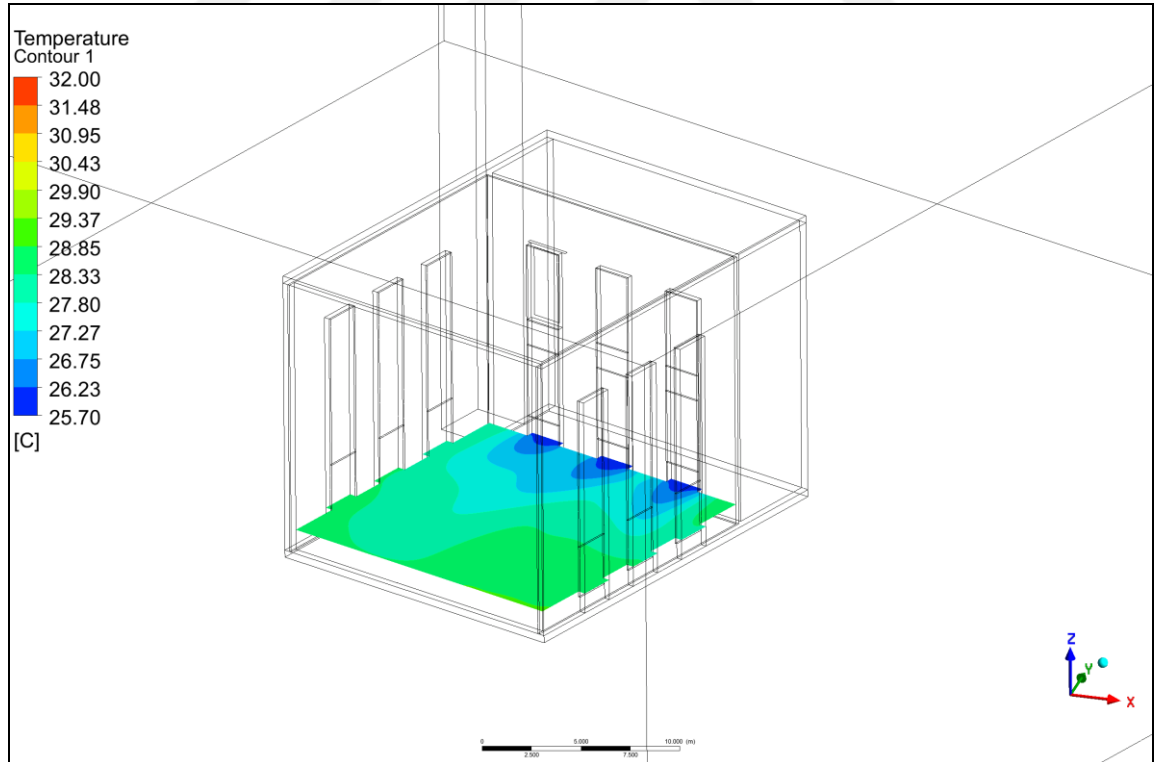
Çizelge 5.1. S1 senaryosunda mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi

Sıcaklık Aralığı	Mekanın yüzdesi
25,70-26,23 °C	%0,85
26,23-26,75 °C	%3,72
26,75-27,27 °C	%11,49
27,27-27,80 °C	%17,05
27,80-28,33 °C	%37,09
28,33-28,85 °C	%29,25
28,85-29,37 °C	%0,55

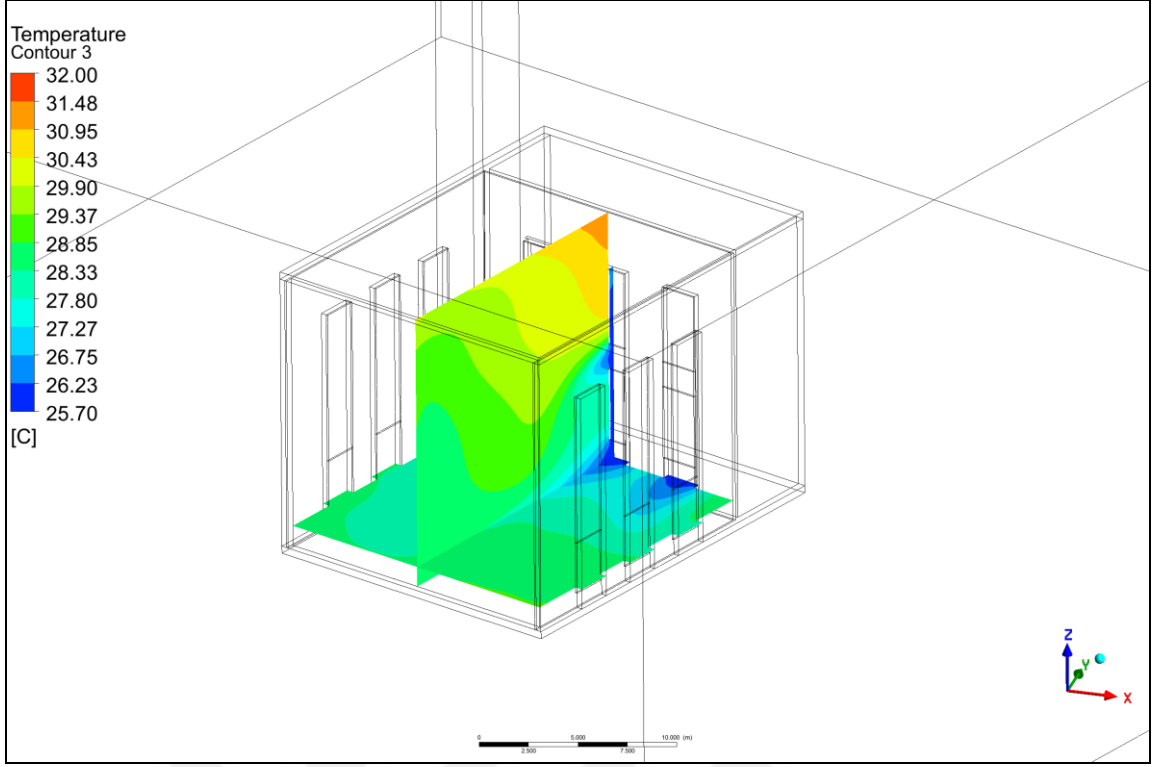
Şekil 5.6, S1'e ait iç sıcaklıkları yatay bir kesit ile göstermektedir. İç sıcaklıkları gösteren yatay düzlem 1,10 metre yükseklikten alınmıştır. Şekil 5.7'de hem yatay kesit hem de dikey kesit birlikte görülmektedir. Dikey kesit yapının giriş - mihrap aksında tam merkezden alınmıştır.

Sıcaklık haritası akış hızının en yüksek olduğu caminin giriş kısmında sıcaklıkların daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu da akış hızlarının yüksek olduğu noktalarda pasif soğutmanın daha verimli bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

Güneydeki mihrap duvarına yaklaştıkça sıcaklıklar bir miktar artmaktadır. Hız grafiklerinde daha önce bahsedilmiş olan hava akış hızının yavaşlaması sebebiyle soğutma etkisi mihraba yaklaştıkça oldukça azalmaktadır. Dikey kesitte ise üst kotlara çıkıldıkça sıcak havanın birikmesiyle (üst kotlarda tahliye açıklıkları bulunmadığından dolayı) sıcaklığı yüksek bölgeler oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.6 S1'e ait sıcaklık kontur diyagramı (yatay kesit)



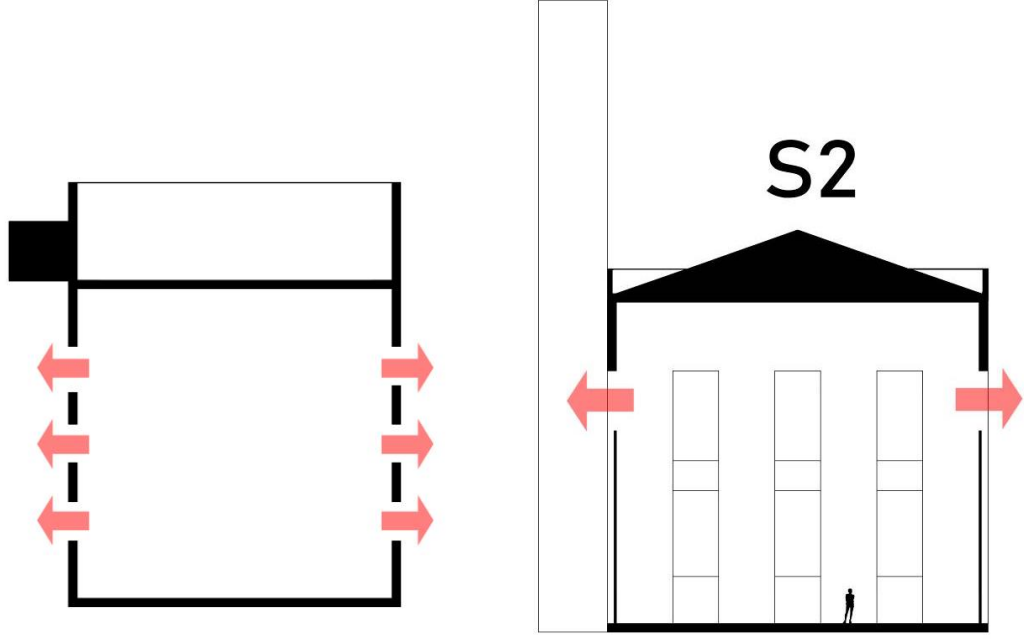
Şekil 5.7 S1'e ait sıcaklık kontur diyagramı (dikey kesit)

5.1.2. Üst kotta açıklıkların düzenlendiği model (S2)

Bu alternatifte açıklık büyüklüğü S1 ile aynı tutulmak kaydıyla 9.00m kotundan başlayacak şekilde tasarlanmıştır. Açıklık büyüklükleri her pencere için $2.00\text{m} \times 2.80\text{m} = 5.6\text{m}^2$ şeklindedir. Bu açıklıklar karşılıklı iki cephede toplam altı adet olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu alternatif S2 olarak adlandırılmıştır (Şekil 5.8). Bu alternatif S1 senaryosu ile aynı pencerelere sahip olmakla birlikte pencerelerin konumu değişmektedir. Hakim rüzgar, giriş cephesindeki üçü kapı üçü pencere şeklinde tasarlanan altı açıklıktan içeri alınmaktadır. Hava yapı içinde dolaşımını tamamladıktan sonra üst kottaki pencere açıklıklarından yapıyı terk etmektedir. Burada çapraz havalandırmaya yardımcı olarak baca etkisi de havalandırma sistemine katkıda bulunmaktadır.

Baca etkisi ısınan havanın yapının üst kotlarına doğru hareket ederek yapı içinde oluşturduğu hava devinimini ifade eder. Bu şekilde hakim rüzgar olmadan da yapı içinde hava sirkülasyonu gerçekleştirilebilmektedir. Ancak burada hakim rüzgarın da yapı içine alınmasıyla sirkülasyonun hızı daha da artmaktadır. Ayrıca yapının çatı

bölümünde oluşan yüksek sıcaklık bölgesinin oluşturduğu negatif basınç alanı üst kottaki pencerelerden dışarıya tahliyeyi desteklemektedir.

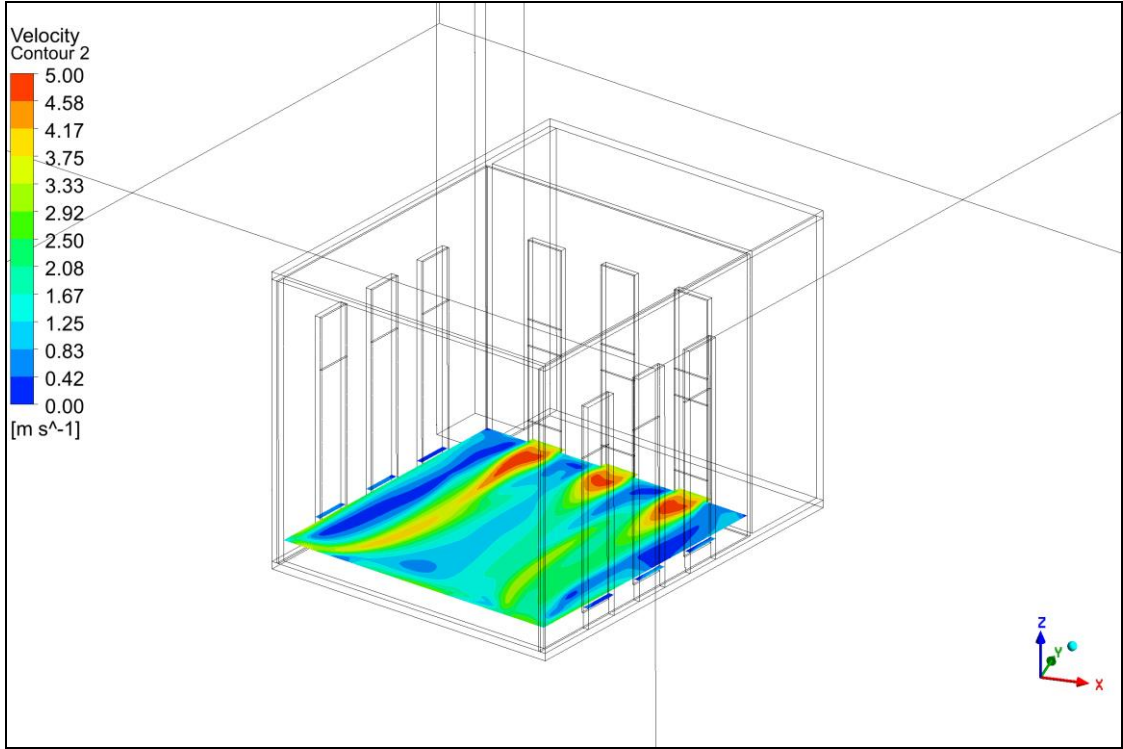


Şekil 5.8. Senaryo 2’de pencere açıklıklarının konumları

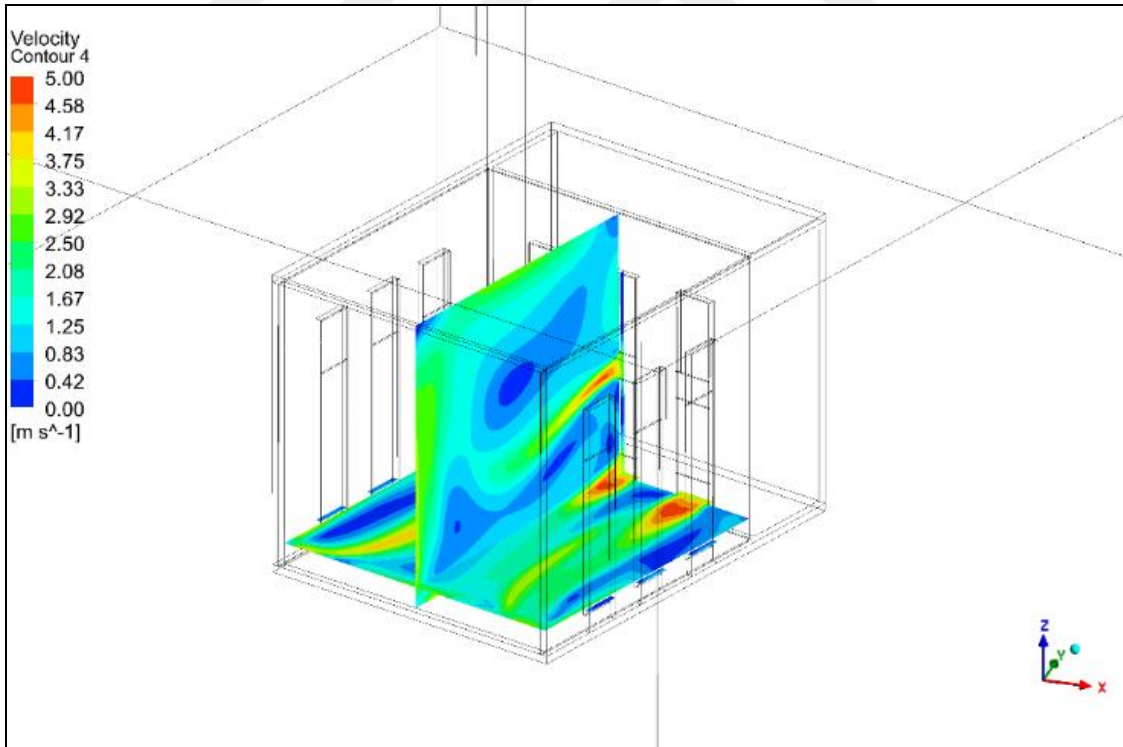
5.1.2.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi

S2 senaryosuna ait akış hızı kontur haritası incelendiğinde, giriş cephesinden 3,8 m/sn hızla alınan hakim rüzgarın kapılardan geçerken hızlanarak (Venturi etkisi) yaklaşık 5 m/sn hıza ulaşarak yapıya alındığı görülmektedir (Şekil 5.9). Aynı şekilde giriş cephesindeki pencerelerden alınan hava akımının da hızlandığı dikey kesitte görülmektedir (Şekil 5.10).

Hava akışı yapıya alındıktan sonra akışlardan güneybatı cephesine yakın olan akışın hızlı bir şekilde mihrap cephesine ulaştığı görülmektedir. Ancak diğer akışlar güçlü hızlarını daha erken kaybetmişlerdir. Zemin seviyesinde bu alternatifte açıklık olmadığından akışların tamamı üst kotlara yönelmektedir.



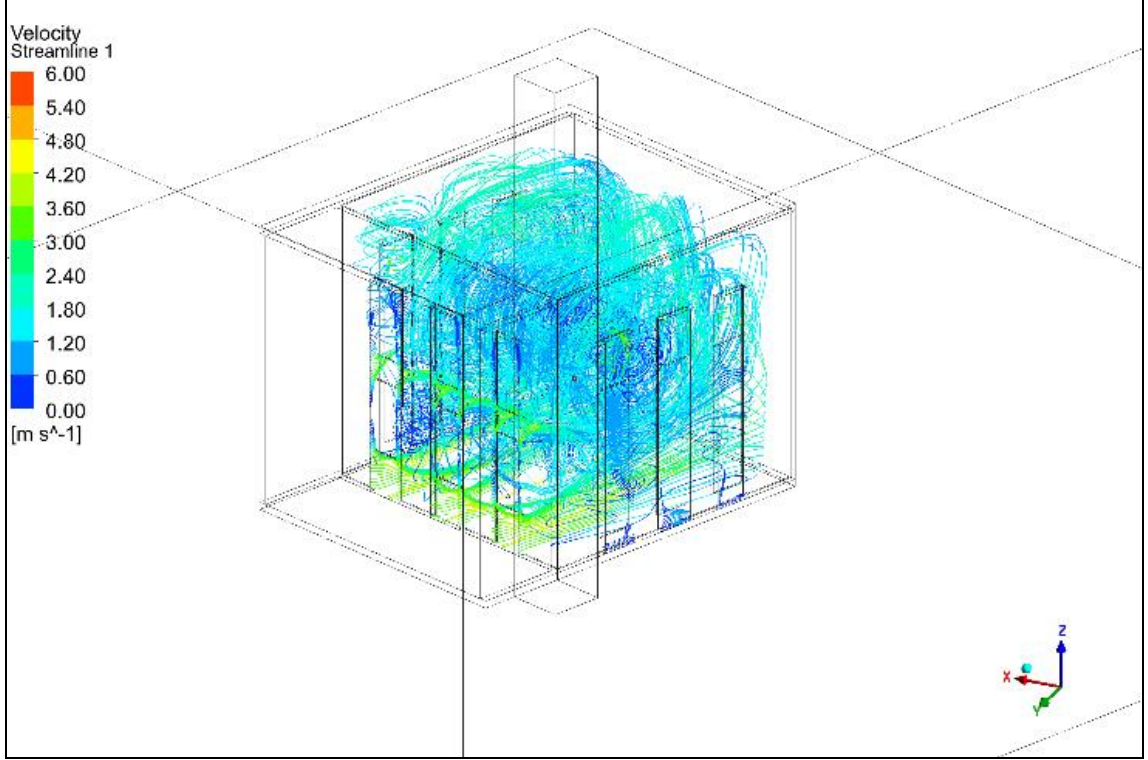
Şekil 5.9. S2'ye ait hız kontur diyagramı (yatay kesit)



Şekil 5.10. S2'ye ait hız kontur diyagramı (dikey kesit)

S2'ye ait akış diyagramı Şekil 5.11'de görülmektedir. Bu grafikte akış hızları çizgisel bir ifade ile gösterilerek havanın hareket güzergahı net bir şekilde ifade

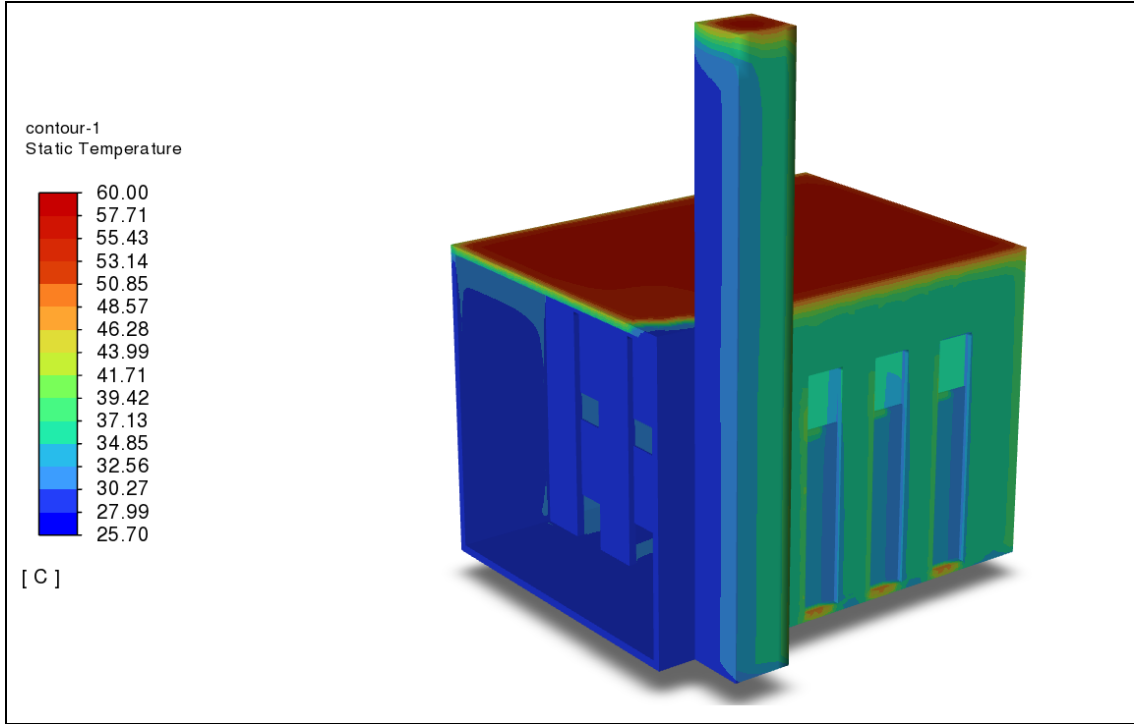
edilmiştir. Havanın yapı içinde pek çok kez yön değiştirerek tüm yapıyı dolaştığı görülmektedir. Akış çizgilerindeki karmaşıklık verimli bir türbülanslı akımı ifade etmektedir. Türbülanslı akımın karmaşık bir şekilde gerçekleşmesi soğutma üzerinde olumlu bir etki yaratarak, hava akımının soğutma etkisini kuvvetlendirmektedir. Ayrıca yapı içindeki kirli hava da bu yolla dışarıya tahliye edilerek temiz hava iç mekanda artırılmış olmaktadır.



Şekil 5.11. S2'ye ait akış diyagramı

5.1.2.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi

Güneşin etkisi ile yapının yüzeylerinin ulaştığı sıcaklıklar Şekil 5.12'de görülmektedir. Dış sıcaklık grafiğine göre çatı ve minarenin en üst noktası 65 °C'ye kadar ısınmaktadır. Güneşe bakan cepheler de giriş cephesine göre daha fazla ısınmaktadır. Giriş cephesi 25-27 °C'ye kadar ısınırken, güneybatı cephesinin 37-39 °C'ye kadar ısındığı görülmektedir. Yapının hava tahliye cephelerindeki bu ısınma yapı içini de ısı transferi yoluyla ısıtsa da bir yandan da bu cephelerde negatif basınç alanları oluşturduğundan yapı içindeki pozitif basınç alanından yapı dışına havanın hareket etmesini kuvvetlendirmektedir.



Şekil 5.12. S2'ye ait dış sıcaklık diyagramı

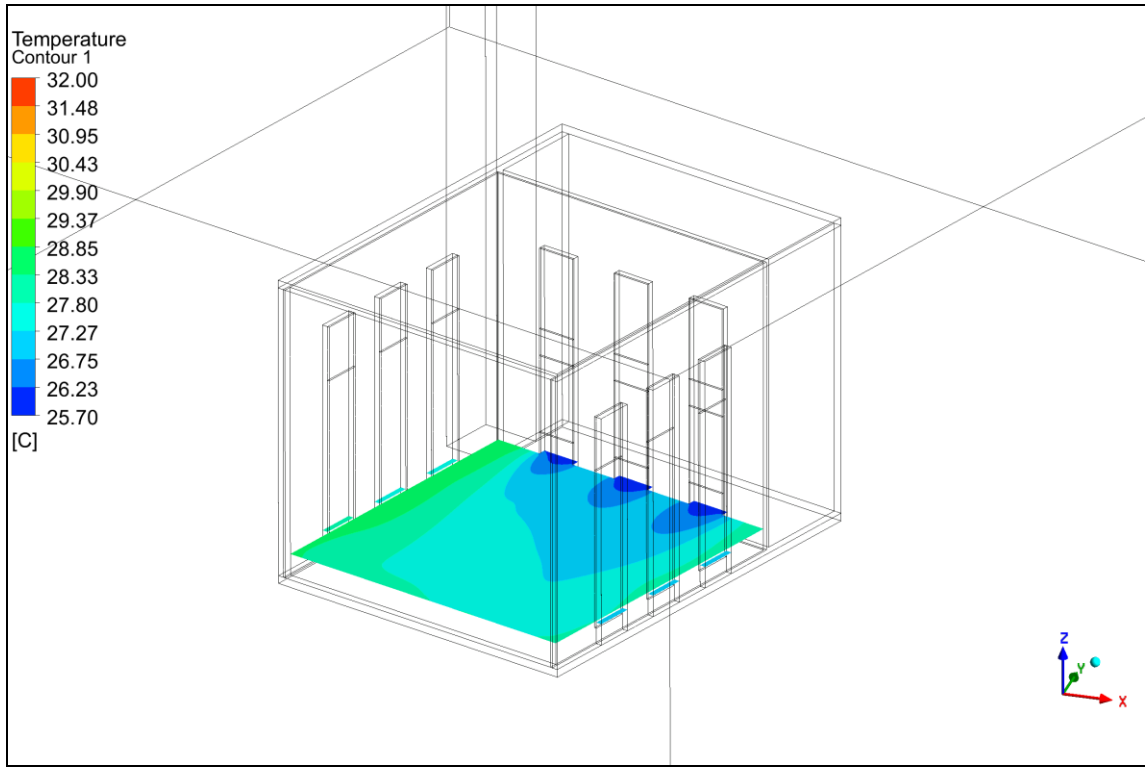
Çizelge 5.2'de S2'nin iç mekanından alınan yatay kesitte mekanın yüzde kaçının hangi sıcaklık aralığında olduğu verilmiştir. Çizelgeye göre mekanın %42,93'ü 27,27 °C -27,80 °C sıcaklık aralığında olup en büyük yüzdeyi temsil etmektedir. Mekanın %25,96'sı 26,75 °C -27,27 °C sıcaklık aralığındadır. Alanın %17,36'sı 27,80 °C -28,33 °C sıcaklık aralığındadır. Diğer kısımlar alanın %10'undan azını temsil etmektedir.

Çizelge 5.2. S2 senaryosunda mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi

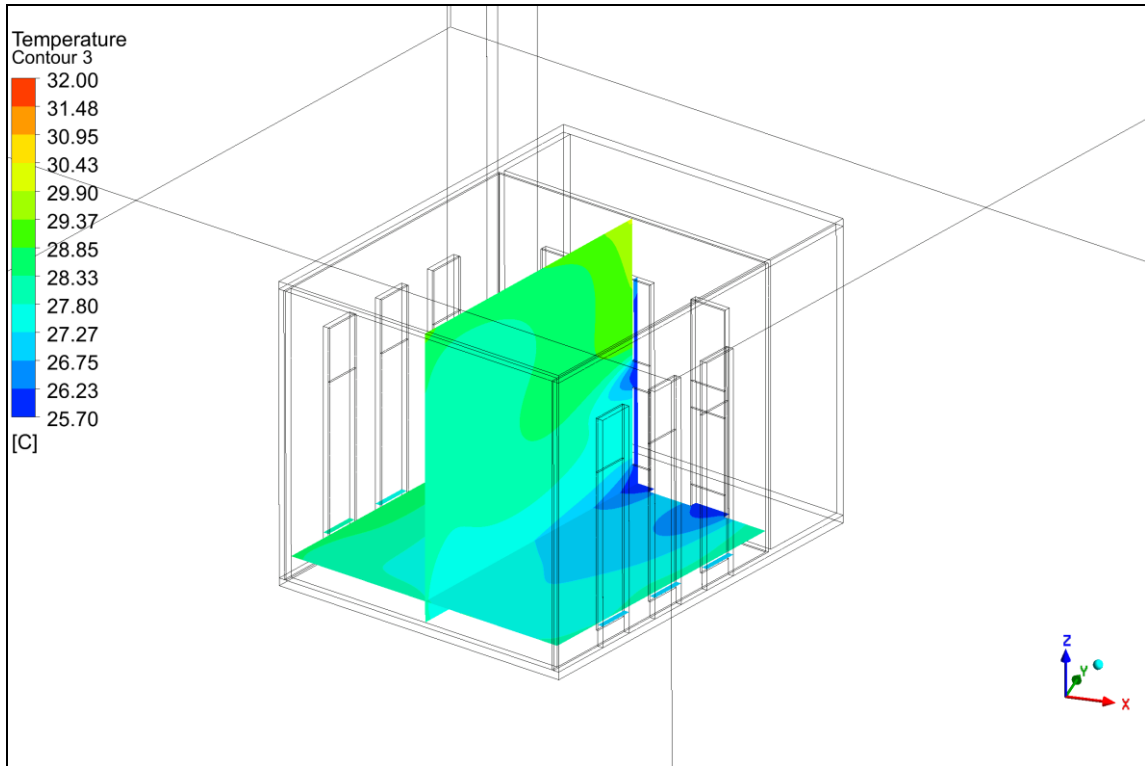
Sıcaklık Aralığı	S2
25,70-26,23 °C	%1,02
26,23-26,75 °C	%5,38
26,75-27,27 °C	%25,96
27,27-27,80 °C	%42,93
27,80-28,33 °C	%17,36
28,33-28,85 °C	%7,35

S2'ye ait yapı içi sıcaklıkları, sıcaklık kontur diyagramında yatay kesitte görülmektedir (Şekil 5.13). Giriş cephesine yakın alanlarda sıcaklıklar daha düşük olup, güneybatı cephesinde zemin seviyesinde pencere açıklığı bulunmadığından sıcaklıkların

bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca dikey kesit incelendiğinde üst kotlara doğru sıcaklıkların arttığı görülmektedir (Şekil 5.14).



Şekil 5.13. S2'ye ait sıcaklık kontur diyagramı (yatay kesit)

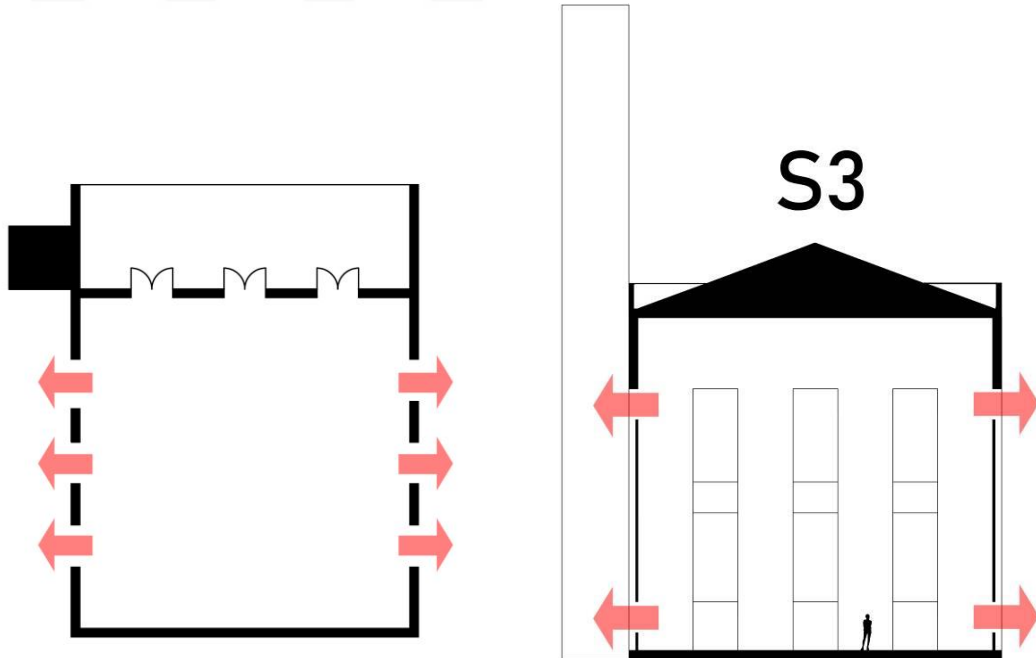


Şekil 5.14. S2'ye ait sıcaklık kontur diyagramı (dikey kesit)

5.1.3. İki ayrı seviyede açıklıkların düzenlendiği model (S3)

Bu alternatifte toplam açıklık büyüklüğü S1 ve S2 ile aynı tutulmak kaydıyla açıklıklar iki ayrı kotta tasarlanmıştır. Açıklık büyüklükleri her pencere için $2,00\text{m} \times 1,40\text{m} = 2,8 \text{ m}^2$ şeklindedir. Açıklıkların yarısı zemin seviyesinde yarısı üst kotta tasarlandığından her bir pencerenin alanı yarıya inmiştir ve sayısı 6'dan 12'ye çıkarılmıştır. Bu şekilde toplam açıklık metrekaresi değişmemiştir. Bu alternatif S3 olarak adlandırılmıştır (Şekil 5.15).

Hakim rüzgar, giriş cephesindeki üçü kapı üçü pencere şeklinde tasarlanan altı açıklıktan içeri alınmaktadır. Havanın yapıya giriş açıklıklarını temsil (inlet) eden bu kısımda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Senaryo 1,2 ve 3'ün giriş cephesi tasarımları tamamen aynıdır. Değişiklik havanın yapıyı terk ettiği açıklıklarda (outlet) yapılmıştır. Hava yapı içinde dolaşımını tamamladıktan sonra üst kottaki ve zemin seviyesindeki pencere açıklıklarından yapıyı terk etmektedir. Burada çapraz havalandırma ve baca etkisi doğal havalandırmayı sağlamaktadır.

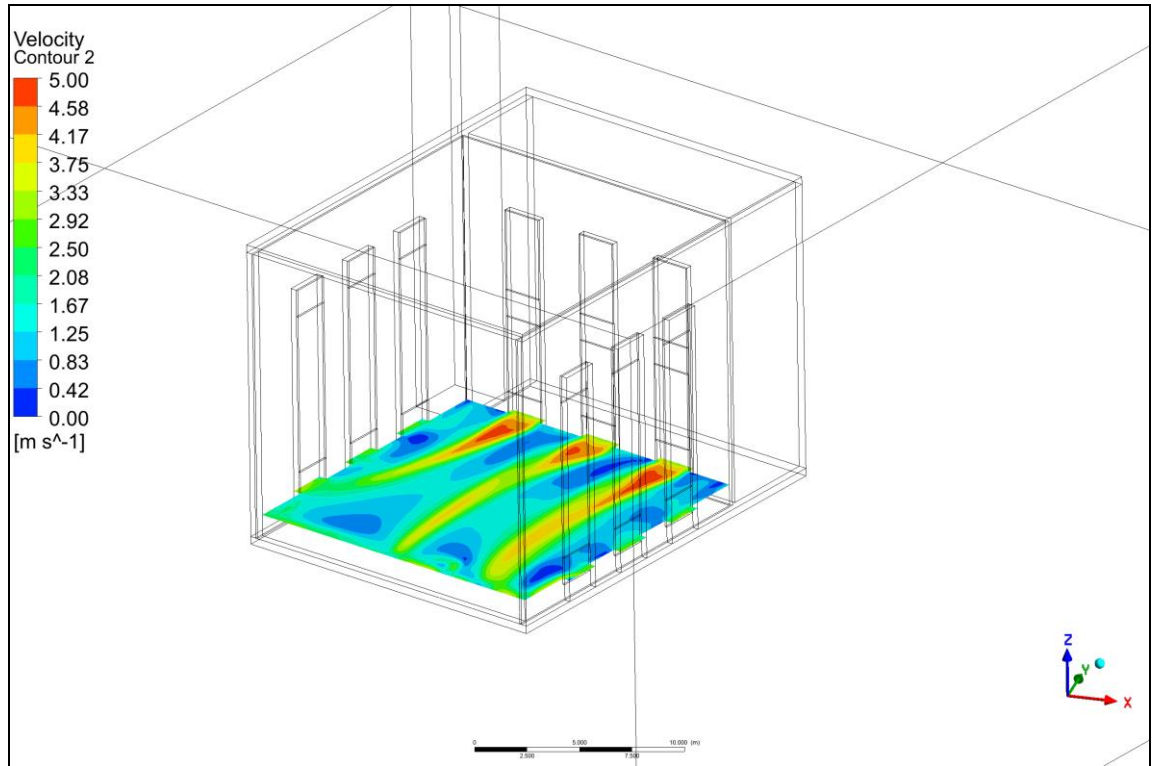


Şekil 5.15. Senaryo 3'te pencere açıklıklarının konumları

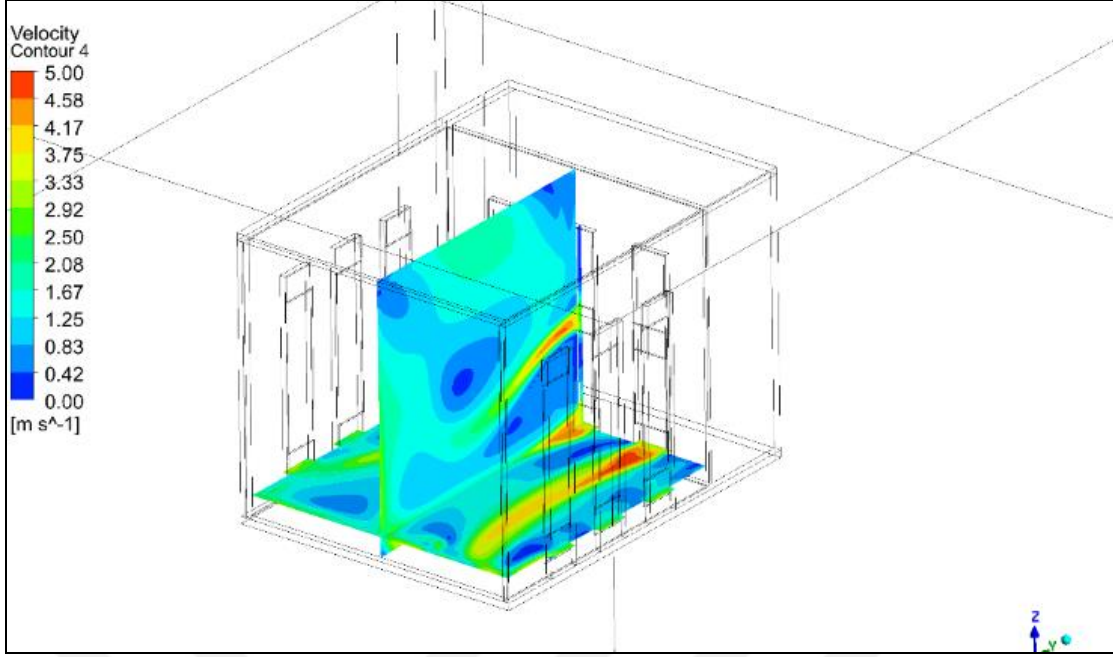
5.1.3.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi

S3 senaryosuna ait yatay kesiti ifade eden akış hızı kontur haritası incelendiğinde, giriş cephesinden 3,8 m/sn hızla alınan hakim rüzgarın kapılardan geçerken hızlanarak yaklaşık 5 m/sn hıza ulaşarak yapıya alındığı görülmektedir (Şekil 5.16). Şekil 5.17’de hem yatay hem de dikey kesitin birlikte yer aldığı hız kontur diyagramı bulunmaktadır. Giriş cephesindeki kapı üzerinde ayrıca tasarlanmış pencerelerden alınan hava akımının da hızlandığı dikey kesitte görülmektedir (Şekil 5.17).

Hava akımı yapı içerisine alındıktan sonra mihrap cephesine doğru hareket etmektedir. Akışların hızının azalmadan mihrap cephesine güçlü bir şekilde ulaştığı diyagramdan anlaşılmaktadır. Bazı akışların zemin seviyesinden yapıyı terk ettiği görülmektedir (güneybatı cephesi). Bazı akışların ise mihrap cephesinden yukarı yönlü hareket ederek yapı içindeki dolaşımına devam ettiği anlaşılmaktadır. Mihrap cephesinde yön değiştiren akımında hızlandığı görülmektedir.

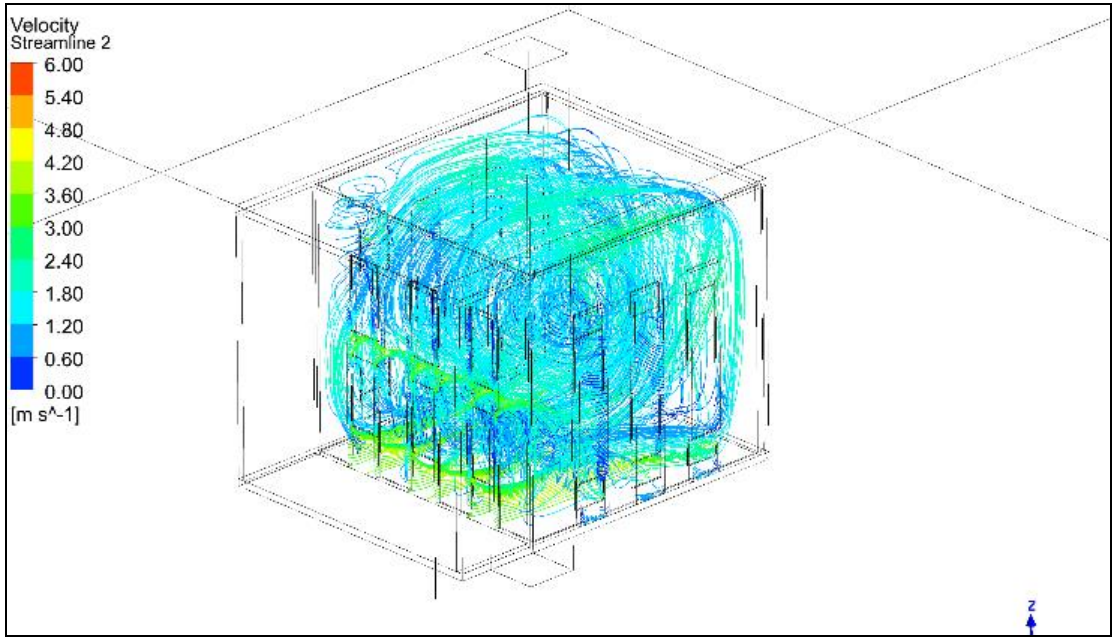


Şekil 5.16. S3’e ait hız kontur diyagramı (yatay kesit)



Şekil 5.17. S3'e ait hız kontur diyagramı (dikey kesit)

S3'e ait hava akış diyagramı Şekil 5.18'de görülmektedir. Bu grafikte akış hızları çizgisel bir ifade ile gösterilerek havanın hareket güzergahı ifade edilmiştir. Akış hızlarındaki renk değişimleri akışın hangi hızlarda gerçekleştiğini ifade etmektedir. Koyu maviden kırmızıya doğru gidildikçe akışlar hızlanmaktadır. Havanın yapı içinde pek çok kez yön değiştirerek tüm yapıyı dolaştığı görülmektedir. Akış çizgilerindeki karmaşıklık verimli bir türbülanslı akımı ifade etmektedir.

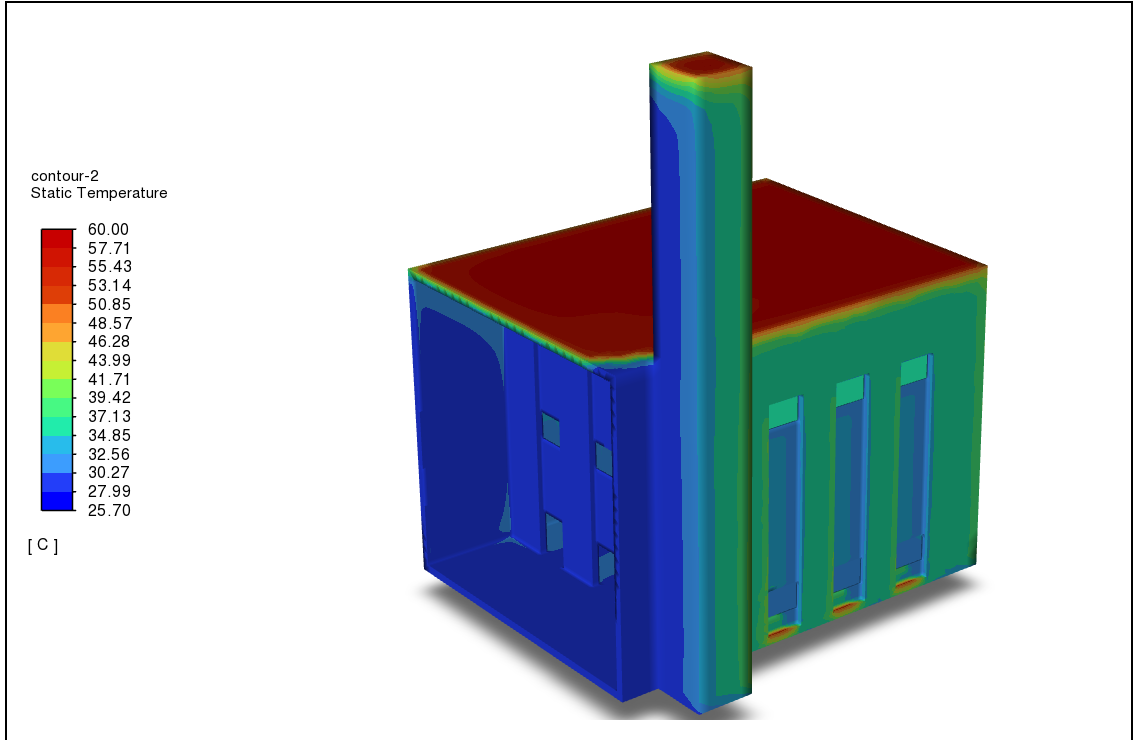


Şekil 5.18. S3'e ait akış diyagramı

Bu alternatifte yapının hava çıkış açıklık sayısı diğer alternatiflere göre daha fazla olduğundan hava farklı açıklıklara yönlenerak çok kez yön değiştirmiştir. Bu değişim karmaşık türbülans akışının oluşumuna katkıda bulunmuştur. Bu da soğutma etkisini arttırmaktadır. Ayrıca üst kotta tasarlanan pencereler yapı içindeki basınç farkları ve konveksiyonel etkiler sayesinde baca etkisi oluşturarak rüzgar etkisi ile gerçekleşen hava akışına katkıda bulunmaktadır. Bu alternatifte baca etkisi ve çapraz havalandırma birlikte çalışmaktadır.

5.1.3.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi

Güneşin etkisi ile yapının yüzeylerinin ulaştığı sıcaklıklar Şekil 5.19'da görülmektedir. Dış sıcaklık grafiğine göre çatı ve minarenin en üst noktası 65 °C'ye kadar ısınmaktadır. Güneşe bakan cepheler de giriş cephesine göre daha fazla ısınmaktadır. Yapının hava tahliye cephelerindeki bu ısınma yapı içini de ısı transferi yoluyla ısıtsa da bir yandan da bu cephelerde negatif basınç alanları oluşturduğundan yapı içindeki pozitif basınç alanından yapı dışına havanın hareket etmesini kuvvetlendirmektedir.



Şekil 5.19. S3'e ait dış sıcaklık diyagramı

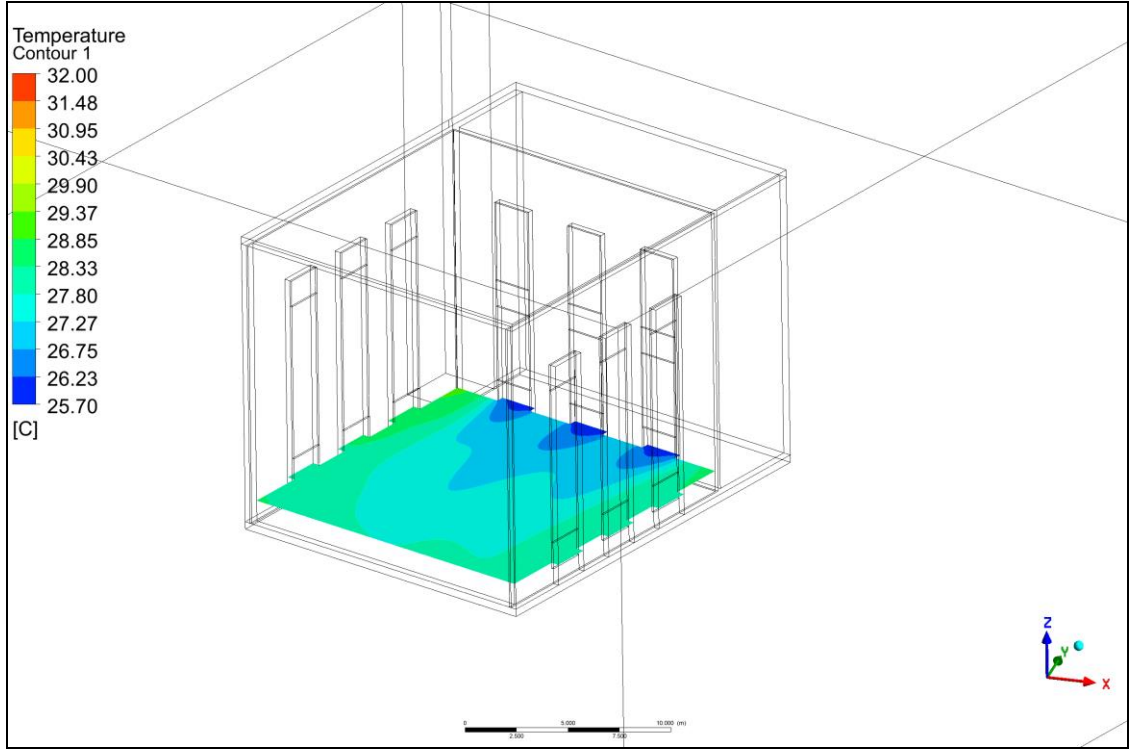
Çizelge 5.2’de S3’ün iç mekanından alınan yatay kesitte mekanın yüzde kaçının hangi sıcaklık aralığında olduğu verilmiştir. Çizelgeye göre mekanın %37,97’si 27,27 °C - 27,80 °C sıcaklık aralığında olup en büyük yüzdeyi temsil etmektedir. İç mekanın %31,99’unun 27,80 °C - 28,33 °C sıcaklık aralığında bulunduğu görülmektedir. Alanın %20,83’ü ise 26,75 °C - 27,27 °C sıcaklık aralığında bulunmaktadır. Diğer kısımlar alanın %10’undan azını temsil etmektedir.

Çizelge 5.3. S3 senaryosunda mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi

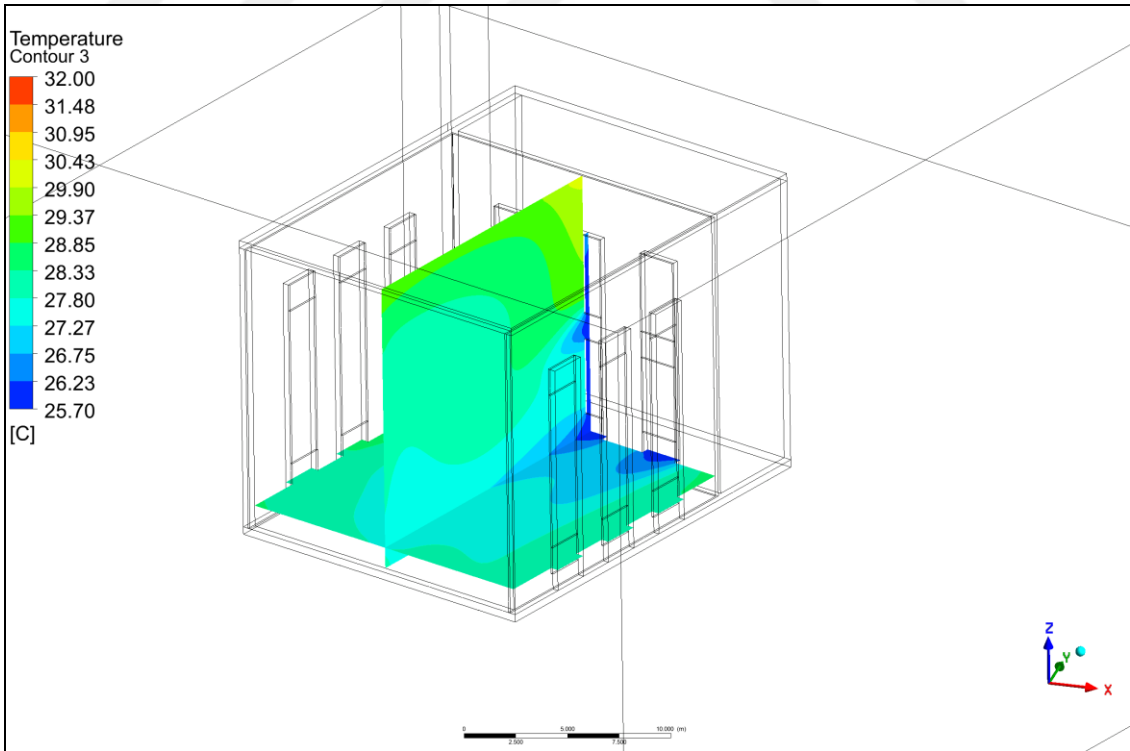
Sıcaklık Aralığı	S3
25,70-26,23 °C	%0,72
26,23-26,75 °C	%4,33
26,75-27,27 °C	%20,83
27,27-27,80 °C	%37,97
27,80-28,33 °C	%31,99
28,33-28,85 °C	%3,95
28,85-29,37 °C	%0,21

S3’e ait yapı içi sıcaklıkları, sıcaklık kontur diyagramında yatay kesitte görülmektedir (Şekil 5.20). Giriş cephesine yakın bölümlerde sıcaklıkların daha düşük olduğu, mihrap cephesine doğru sıcaklıkların bir miktar arttığı görülmektedir. Bu alternatifte sıcaklıklar daha dengeli bir dağılım göstermektedir. Herhangi bir cephede diğerine oranla belirgin bir fazla ısınma görülmemektedir.

Dikey kesit incelendiğinde üst kotlara doğru sıcaklıkların arttığı görülmektedir ancak S1’deki sıcaklıklara ulaşmamaktadır (Şekil 5.21). Bunun sebebi üst kotlardaki açıklıklar sayesinde bu kotlarda da akışın verimli gerçekleşmesi ve pasif soğutma sağlanmasıdır.



Şekil 5.20. S3'e ait sıcaklık kontur diyagramı (yatay kesit)



Şekil 5.21. S3'e ait sıcaklık kontur diyagramı (dikey kesit)

5.1.4. Modellerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

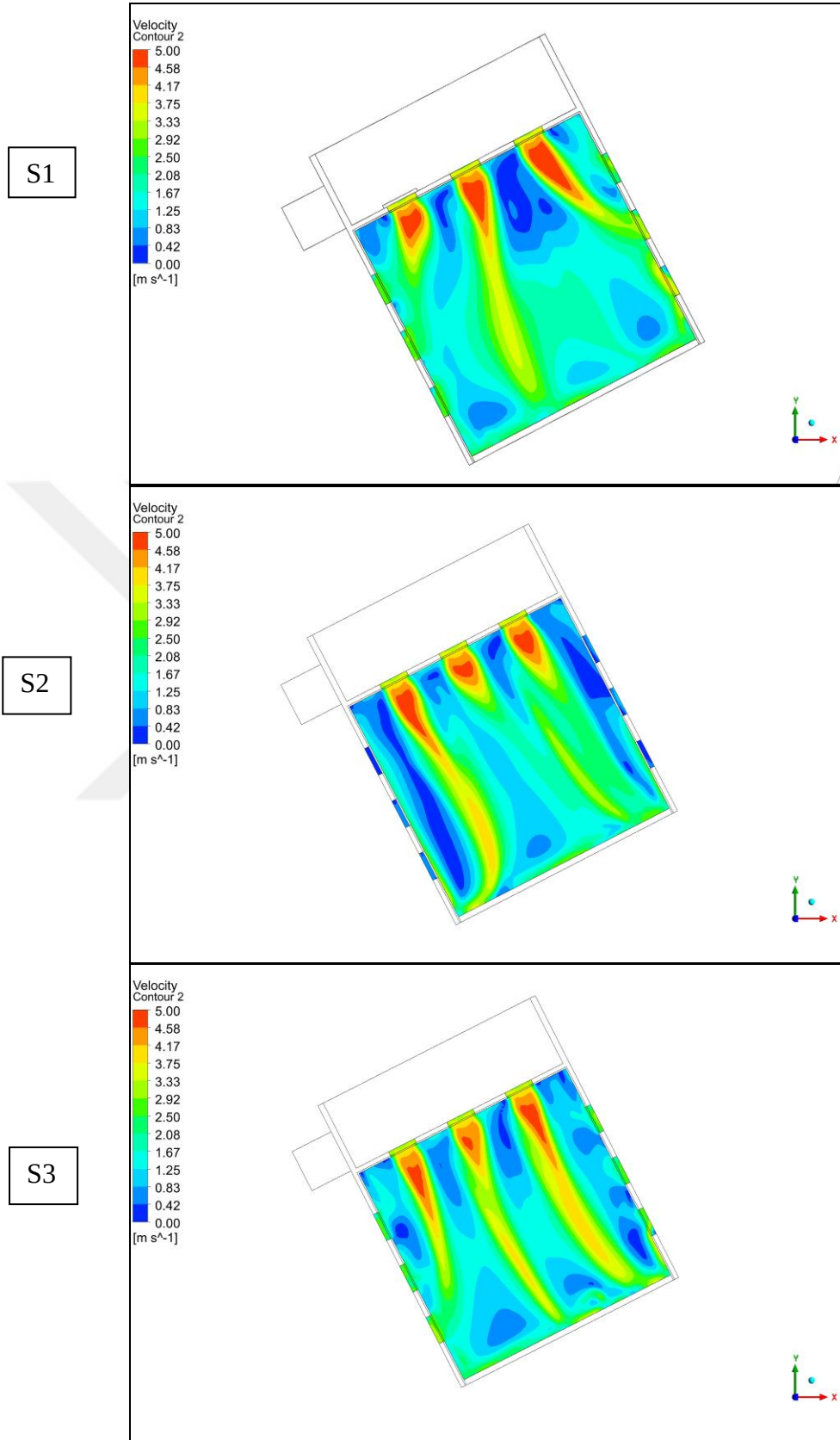
Senaryo 1 (S1), Senaryo 2 (S2) ve Senaryo 3 (S3)'e ait hız kontur haritaları Şekil 5.22'de karşılaştırmalı olarak bir arada verilmiştir. Şekil 5.22'deki grafikler yapının 1,10m kotundan alınan yatay kesitler ile elde edilmiştir. Grafikler plan düzleminde üstten bakış şeklinde verilmiştir.

Sıcak renkler yüksek hızları soğuk renkler düşük hızları ifade etmektedir. Hız kontur grafiklerindeki hızlar 0.00 m/sn ile 5.00 m/sn hız aralığını temsil etmektedir. Koyu mavi alanlar hızların sıfıra yaklaştığı alanları temsil ederken, kırmızı ve turuncu alanlar harim içindeki en yüksek akış hızlarını belirtmektedir.

Üç grafik karşılaştırıldığında akış hızlarının S1 senaryosunda belirgin bir şekilde daha yavaş olduğu görülmektedir. S2 ve S3'e oranla akışların mihrap cephesine doğrudan ulaşmadan yan cephelerden yapıyı terk ettiği görülmektedir. Bu bakımdan akış hızları karşılaştırılmasında en olumsuz alternatif Türkiye'deki yaygın uygulamayı temsil eden S1 senaryosu olarak görülmektedir.

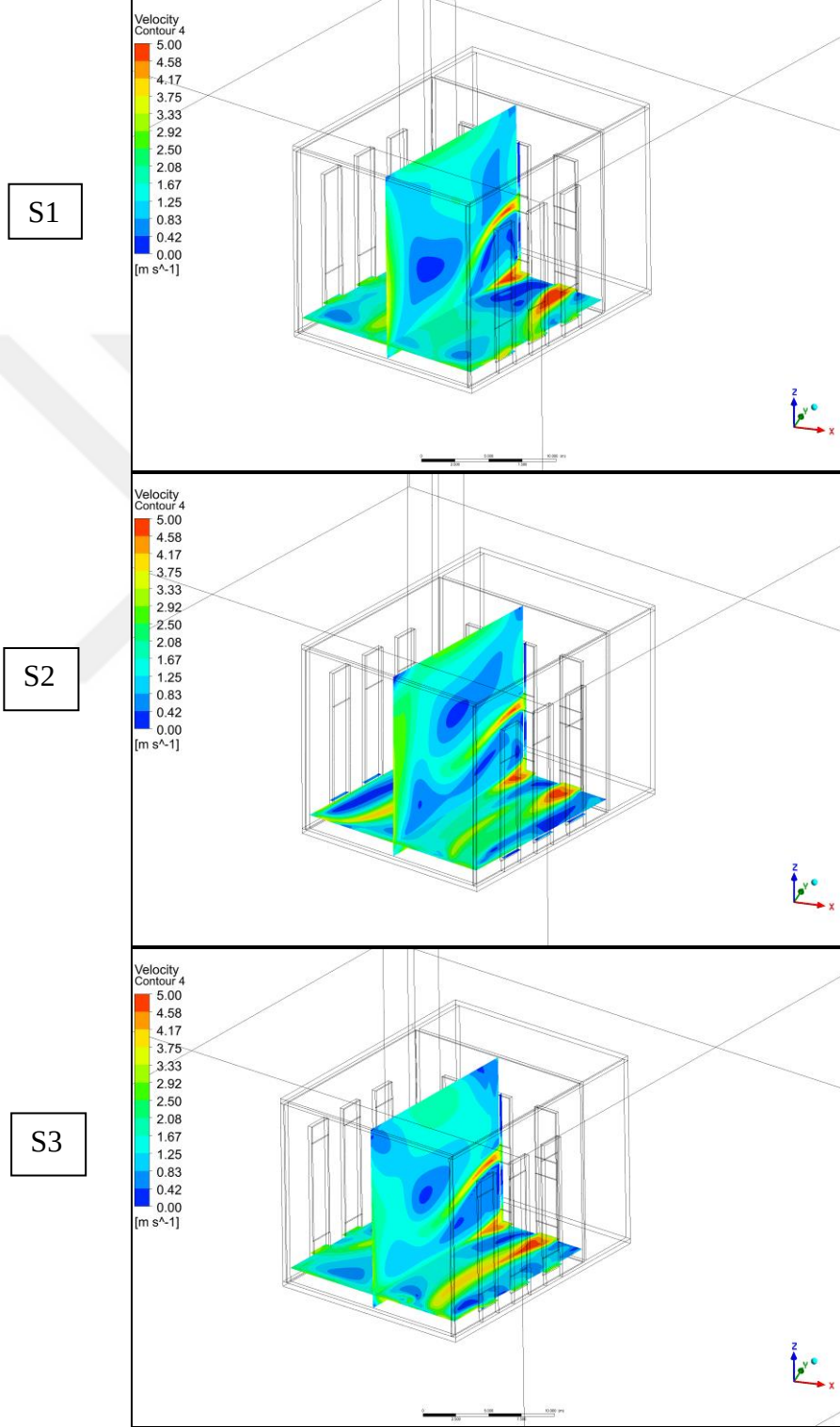
S2 ve S3 alternatifleri karşılaştırıldığında S2'de güneybatı ve kuzeydoğu cephelerine yakın bölgelerde akış hızlarının yavaşlayarak sıfıra yaklaştığı görülmektedir. S3 senaryosunda düşük akış hızlarını temsil eden koyu mavi alanların S2'ye göre oldukça azaldığı görülmektedir. Özellikle güneybatı cephesine yakın bölümde akış durgunluk göstermektedir. S2 senaryosunda zemin seviyesinde açıklıkların bulunmamasının bu alanda akışları bir miktar yavaşlattığı görülmüştür.

S3 alternatifinde hava akışları S2 alternatifine göre daha verimli bir şekilde mihrap cephesine hareket etmektedirler. Nispeten daha yüksek hızları temsil eden kırmızı, turuncu ve sarı alanlar S3 alternatifinde daha fazla bulunmaktadır. S2 senaryosunda akışlardan bir tanesi verimli bir şekilde mihrap cephesine ulaşırken diğer iki ana akış S3 senaryosu ile karşılaştırıldığında hızlarını daha erken kaybetmektedir.



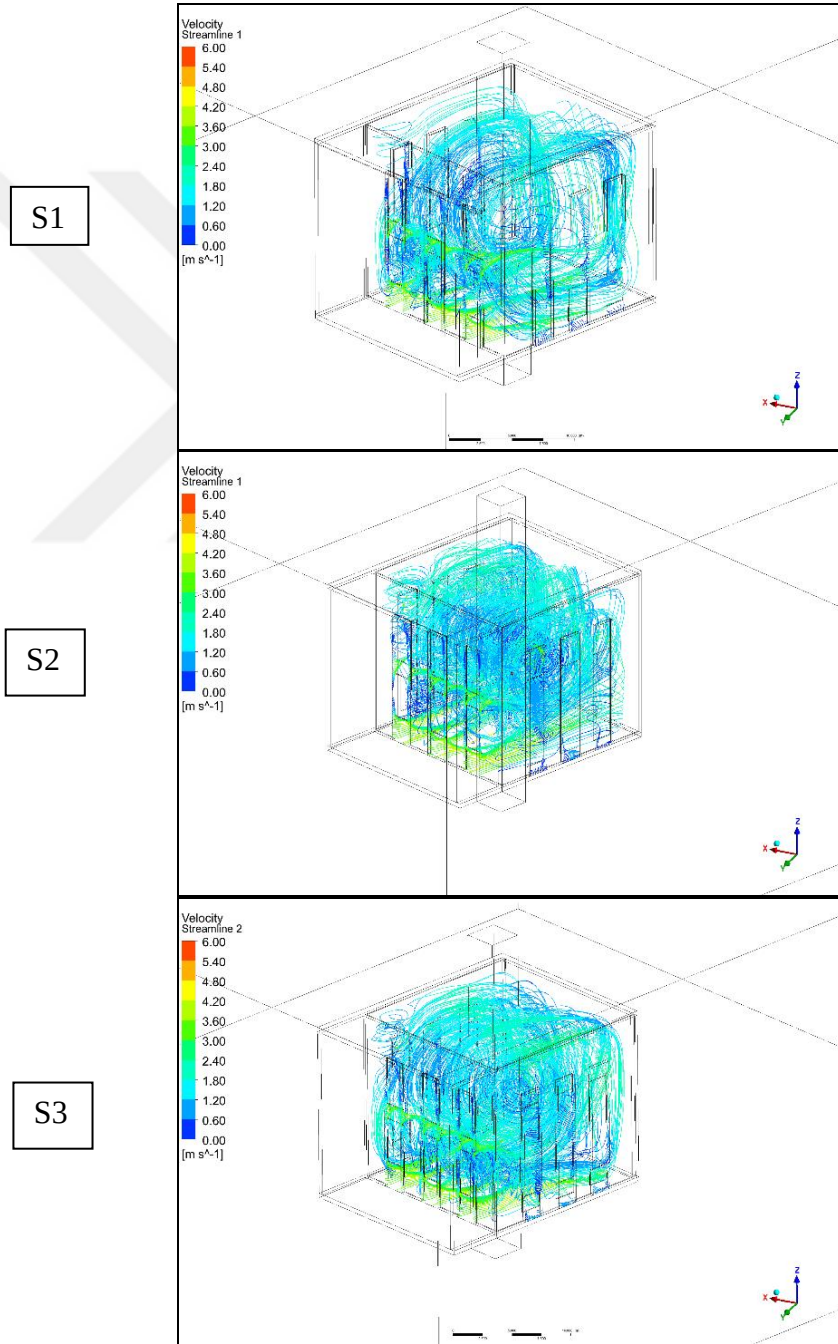
Şekil 5.22. S1, S2 ve S3 için hız kontur grafiklerinin karşılaştırılması (1,10m kotu)

Şekil 5.23'te ise dikey kesitteki akış hızları karşılaştırmalı olarak ifade edilmiştir. Üç senaryo kıyaslandığında S3 senaryosunda hava akışının yavaşladığı koyu mavi alanların diğer senaryolara kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Bu bağlamda dikey kesitte en verimli akışların S3 senaryosunda olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.23. S1, S2 ve S3 için hız kontur grafiklerinin karşılaştırılması (dikey kesit)

Hava akışkanının zikzaklar çizerek düzensiz şekilde hareket ettiği hareket biçimine türbülanslı akış denmekte ve verimli soğutma için özellikle türbülanslı akışın oluşması istenmektedir. Bu kapsamda S1, S2 ve S3'ün akış yörünge ve izleri çizgi şeklinde Şekil 5.24'te karşılaştırmalı olarak izlenmektedir. S1 ile kıyaslandığında S2 ve S3 senaryosunda akışların daha yoğun, düzlemsellikten uzak ve mekanı tümüyle dolaşacak şekilde dolaştığı görülmektedir. Bu bağlamda S2 ve S3'ün akış anlamında daha verimli olduğu görülmektedir.



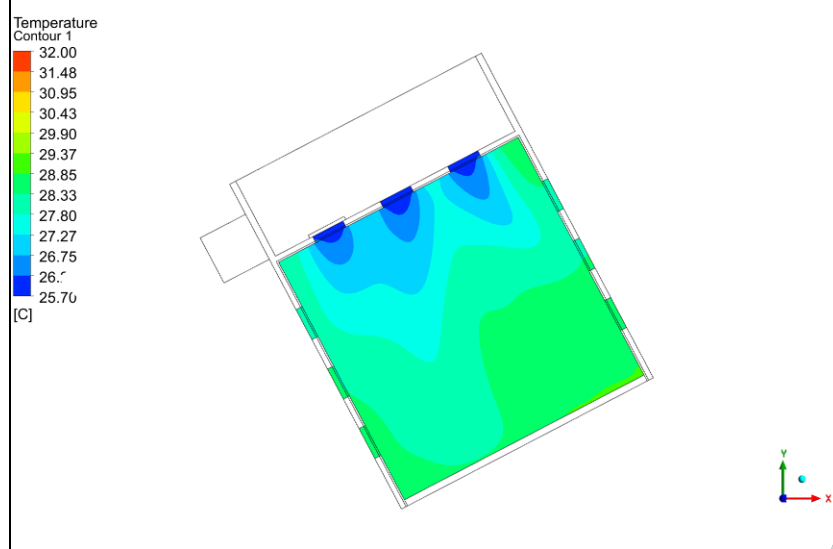
Şekil 5.24. S1, S2 ve S3 için akış diyagramlarının karşılaştırılması

Sonuç olarak üç senaryo akış hızları ve akışın verimliliği açısından yorumlandığında en olumlu alternatif hem zemin seviyesinde hem de üst kotta açıklıklarının bulunduğu Senaryo 3 (S3) olarak karşımıza çıkmaktadır.

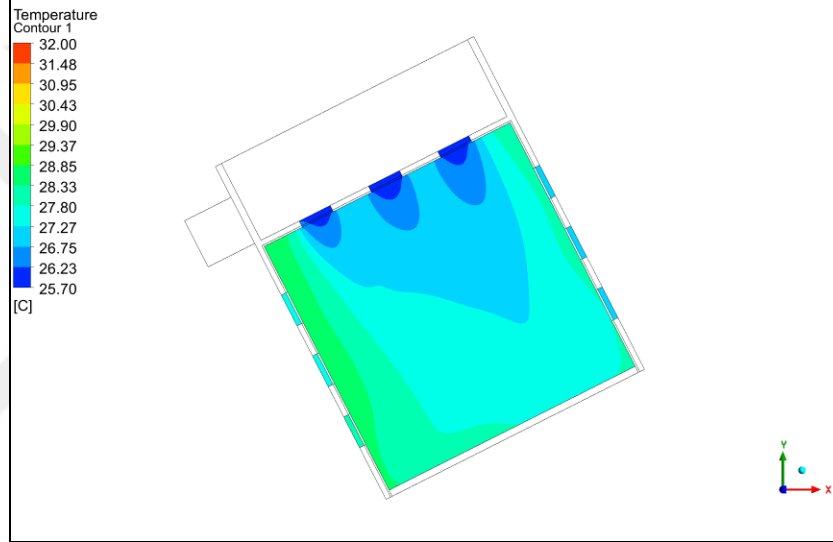
Senaryo 1, 2 ve 3'e ait sıcaklık kontur grafikleri Şekil 5.25'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Türkiye'deki yaygın uygulamayı temsil eden S1 senaryosu S2 ve S3'e göre daha olumsuz performans göstermiştir. Lejantta maviden yeşile gittikçe sıcaklıkların arttığı görülmektedir. S1 alternatifinde S2 ve S3'e göre yeşil tonlar daha yoğun olarak bulunmaktadır. Özellikle mihraba yakın alanlarda pasif soğutma yeterli şekilde gerçekleşmemektedir.

S2 ve S3 karşılaştırıldığında birbirine yakın sıcaklık aralıklarında olduğu görülmektedir. Ancak S2 alternatifinde güneybatı ve kuzeydoğu cephelerine yakın alanlarda S3'e göre sıcaklıkların daha yüksek olduğu görülmektedir. S2 senaryosunda özellikle güneybatı cephesinde zeminde hava tahliyesi için pencerelerin bulunmaması bu alanın daha fazla ısınmasına neden olmuştur. Sıcaklık dağılımı S3 alternatifinde daha homojen bir dağılım göstermektedir.

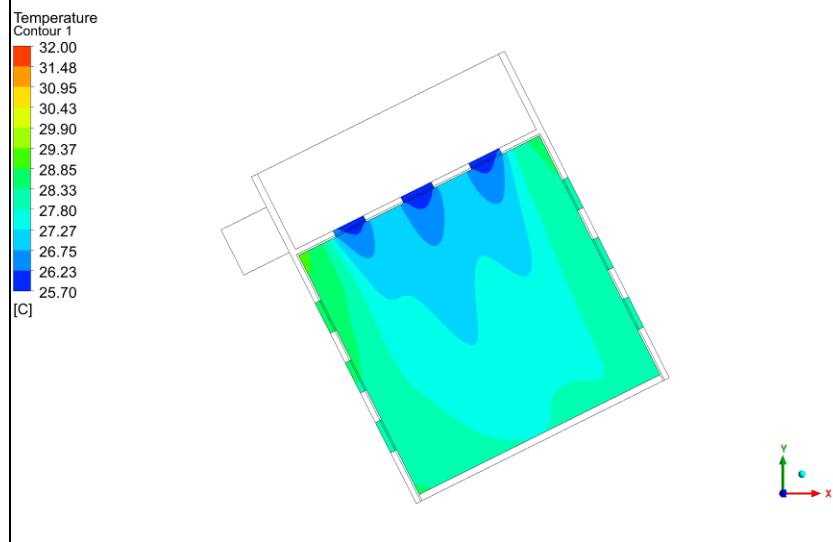
S1



S2

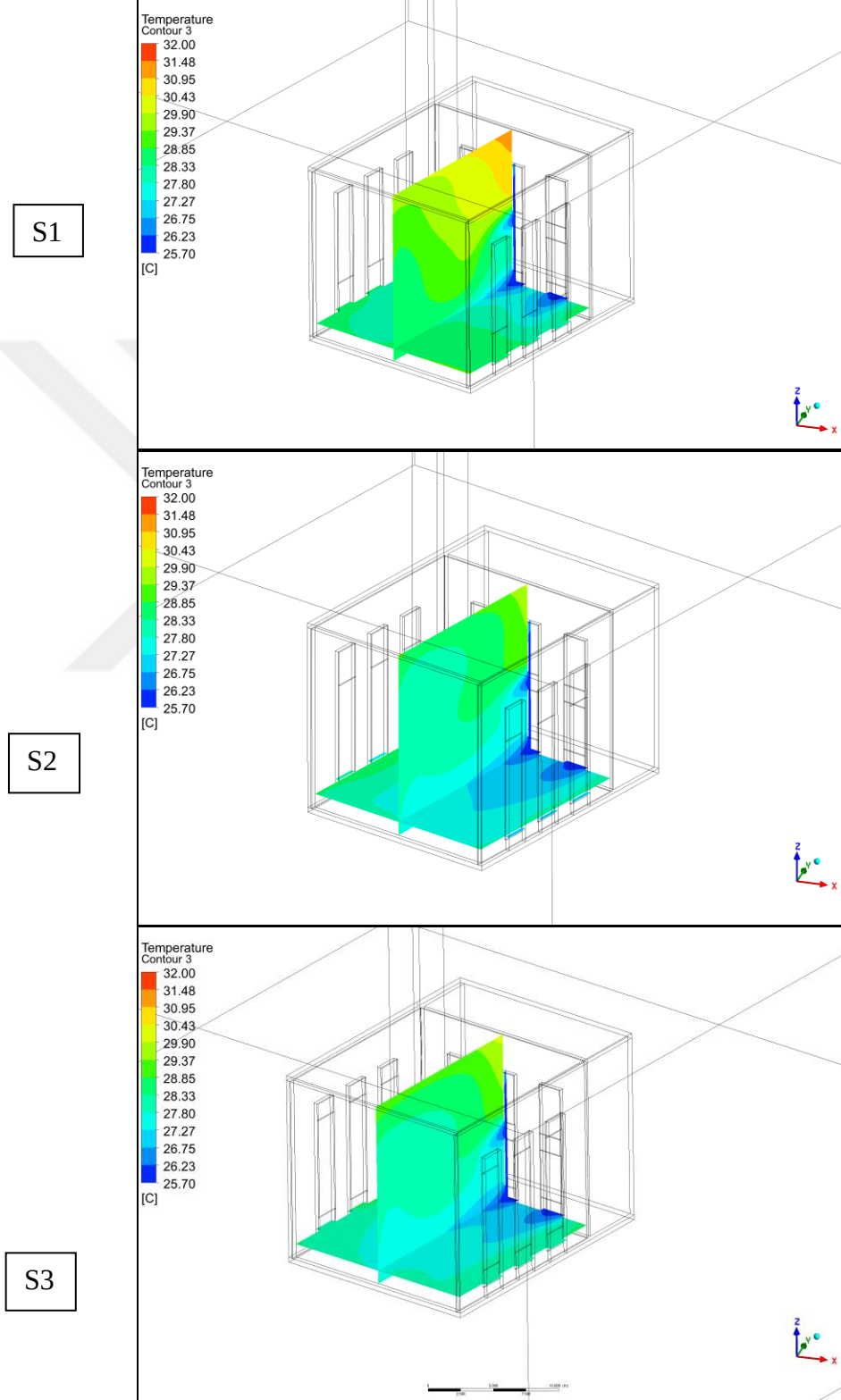


S3



Şekil 5.25. S1, S2 ve S3 için sıcaklık kontur grafiklerinin karşılaştırılması (1,10m kotu)

Şekil 5.26'da S1, S2 ve S3'ün dikey kesitleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikler karşılaştırıldığında S2 ve S3'ün sıcaklıklarının S1'e göre daha düşük olduğu görülmektedir. S2 ve S3'ün benzer sıcaklık aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.26. S1, S2 ve S3 için sıcaklık kontur grafiklerinin karşılaştırılması (dikey kesit)

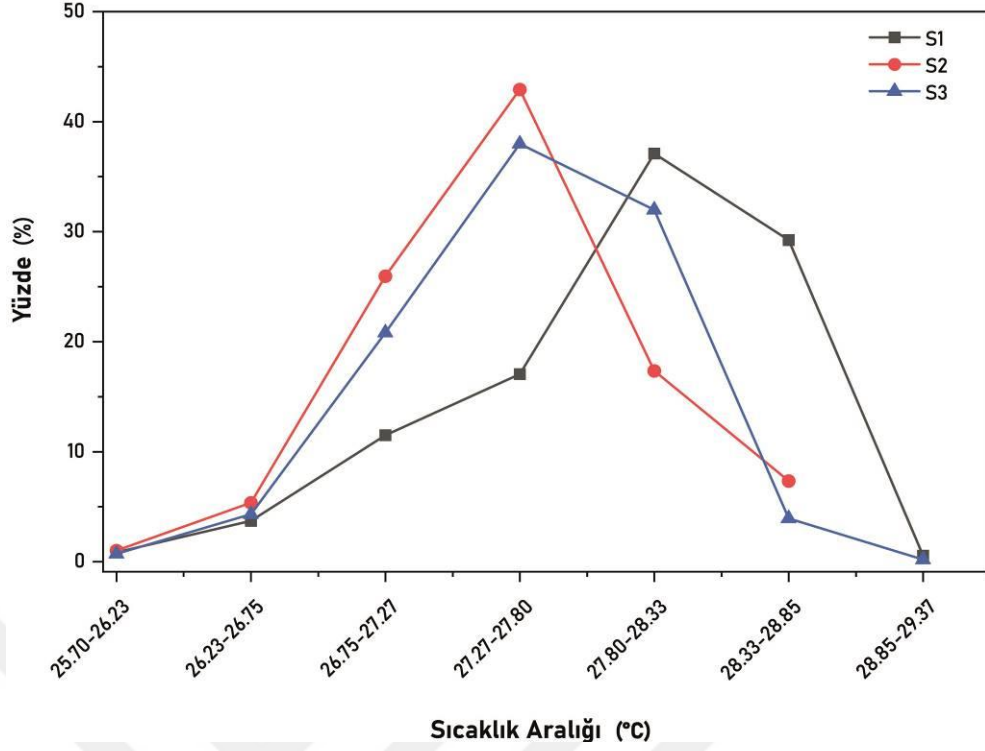
S1, S2 ve S3'ün 1,10m yükseklikte ölçülen sıcaklık aralıkları ve bu sıcaklık aralıklarının mekanın yüzde kaçını temsil ettiği Çizelge 5.4'te ifade edilmiştir.

Çizelge 5.4. S1, S2 ve S3 senaryolarında mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi

Sıcaklık Aralığı	S1	S2	S3
25,70-26,23 °C	%0,85	%1,02	%0,72
26,23-26,75 °C	%3,72	%5,38	%4,33
26,75-27,27 °C	%11,49	%25,96	%20,83
27,27-27,80 °C	%17,05	%42,93	%37,97
27,80-28,33 °C	%37,09	%17,36	%31,99
28,33-28,85 °C	%29,25	%7,35	%3,95
28,85-29,37 °C	%0,55	-	%0,21

Sıcaklıklar karşılaştırıldığında baca etkisinin bulunduğu S2 ve S3'ün sıcaklıklarının S1 alternatifine göre daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 5.27). S2 senaryosundaki mekanların %86,25'i, S3 senaryosundaki mekanların ise %90,79'u 26,75-28,33 °C aralığındadır. S1 senaryosunda alanın %83,39'u 27,27-28,85 °C aralığındadır.

Sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde S2 ve S3 senaryoları birbirlerine yakın sıcaklık aralığında bulunmaktadır. Ancak S1 senaryosu S2 ve S3 kadar soğutulamamıştır. Bu durum baca etkisi ile havalandırmanın cami binaları için önemini vurgulamaktadır. Cami yapıları için zemin kat seviyesinde sadece çapraz havalandırma stratejisine sahip olan S1 senaryosu, S2 ve S3 senaryosuna göre daha olumsuz performans göstermiştir.



Şekil 5.27. S1, S2 ve S3 senaryolarında mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi grafiği

5.2. Farklı Çatı Penceresi Konfigürasyonlarının Yapı İçi Sıcaklıklara Etkisi

Bu başlıkta camilerde çatı açıklıklarının pasif soğutmaya ve yapı içi sıcaklıklara etkisi incelenmiştir. Bu amaçla iki farklı senaryo tasarlanmıştır. Birinci senaryoda çatıda tek bir açıklık tasarlanarak bir tasarım alternatifi oluşturulmuştur. Bu senaryo S4 olarak adlandırılmıştır. İkinci senaryoda ise S4'teki çatı açıklık büyüklüğü toplamda aynı kalacak şekilde çatıdaki açıklık (pencere) sayısı dörde çıkarılmıştır. Bu alternatif ise S5 olarak adlandırılmıştır.

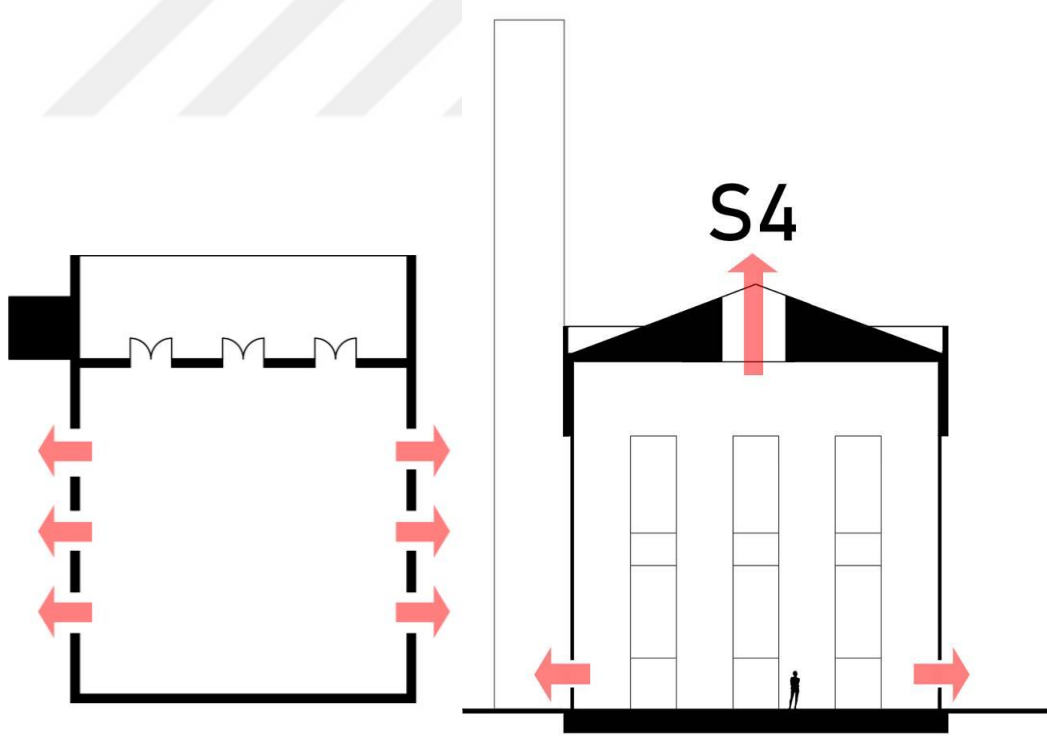
Burada amaç çatıdaki açıklık sayısının artırılması ile pasif soğutmanın nasıl etkilendiğini ölçmektir. Açıklığın tek ve büyük bir şekilde bir baca şeklinde mi yoksa küçük ve sayıca fazla olduğunda mı daha verimli olduğu sorusuna cevap aranmıştır. Bu amaçla toplam açıklık büyüklüğü sabit tutularak yalnızca açıklık sayısı değiştirilmiştir.

Bu alternatiflerde zemin seviyesinde yine pencereler tasarlanmış ancak üst kotta pencereler yerine çatıda pencerelere yer verilmiştir. S3 senaryosundaki üst kottaki pencere açıklıkları iptal edilerek S4 ve S5 senaryolarında çatı pencerelerine

dönüştürülmüştür. S4 ve S5 tasarımları yazılım arayüzüne aktararak, diğer alternatiflerde olduğu gibi iklim verileri (hakim rüzgar yönü ve hızı, ortalama sıcaklık ve tarihe bağlı güneşin açısı ve radyal ısısı) yazılıma girilerek iç mekan sıcaklıkları, akış hızları, akış yönleri gibi veriler renkli kontur haritalarına dönüştürülmüştür. Elde edilen grafikler ayrı bir başlıkta karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve hangi tip çatı açıklığı tasarımının daha etkili olduğu sayısal veriler yardımıyla ortaya konmuştur.

5.2.1. Tek bir çatı açıklığının düzenlendiği model (S4)

S4 senaryosu çatıda tek bir açıklığın düzenlendiği tasarım senaryosunu temsil etmektedir (Şekil 5.28). Zemin seviyesindeki açıklık büyüklükleri her pencere için $2.00\text{m} \times 1.40\text{m} = 2.8 \text{ m}^2$ şeklindedir. Toplam altı adet pencere bulunmaktadır. Bu zemin pencereleri toplamda 16.8 m^2 'lik bir açıklık büyüklüğüne karşılık gelmektedir. Çatıda ise $11,2 \text{ m}^2$ 'lik tek bir açıklık tasarlanmıştır. S5 alternatifinde bu pencereler 2.8 m^2 'lik dört adet pencereye bölünecektir.

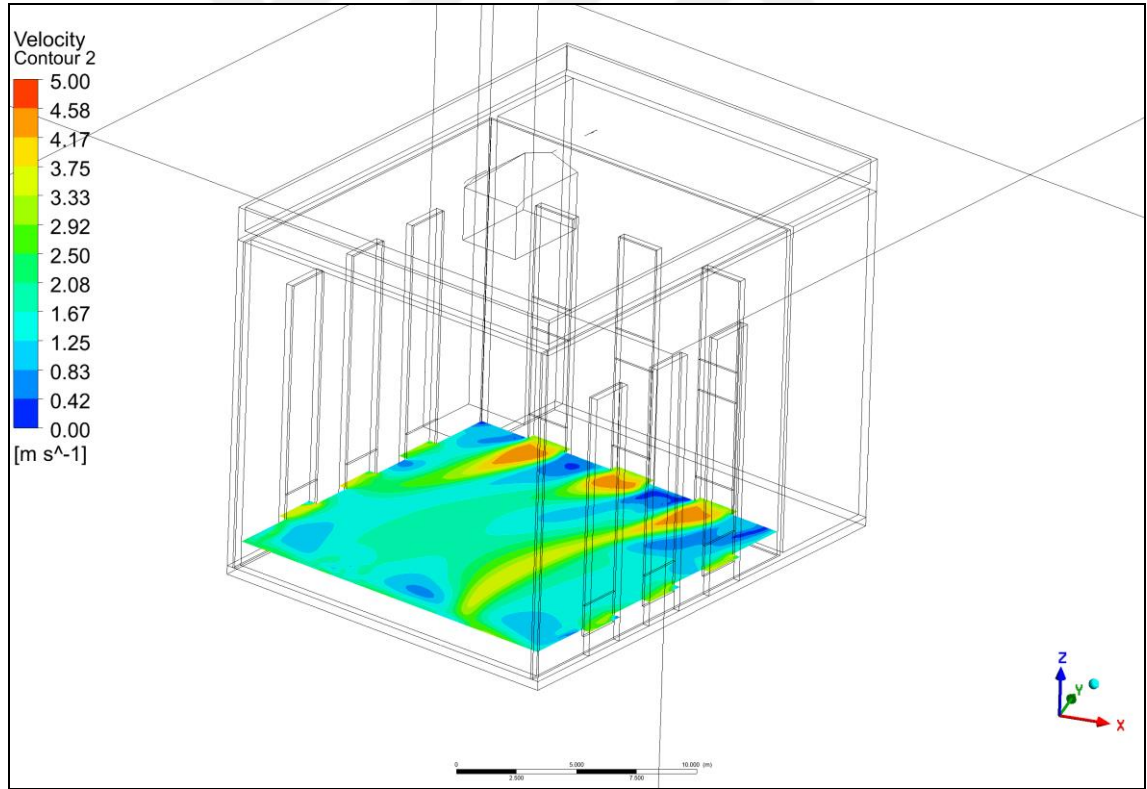


Şekil 5.28. Senaryo 4'te pencere açıklıklarının konumları

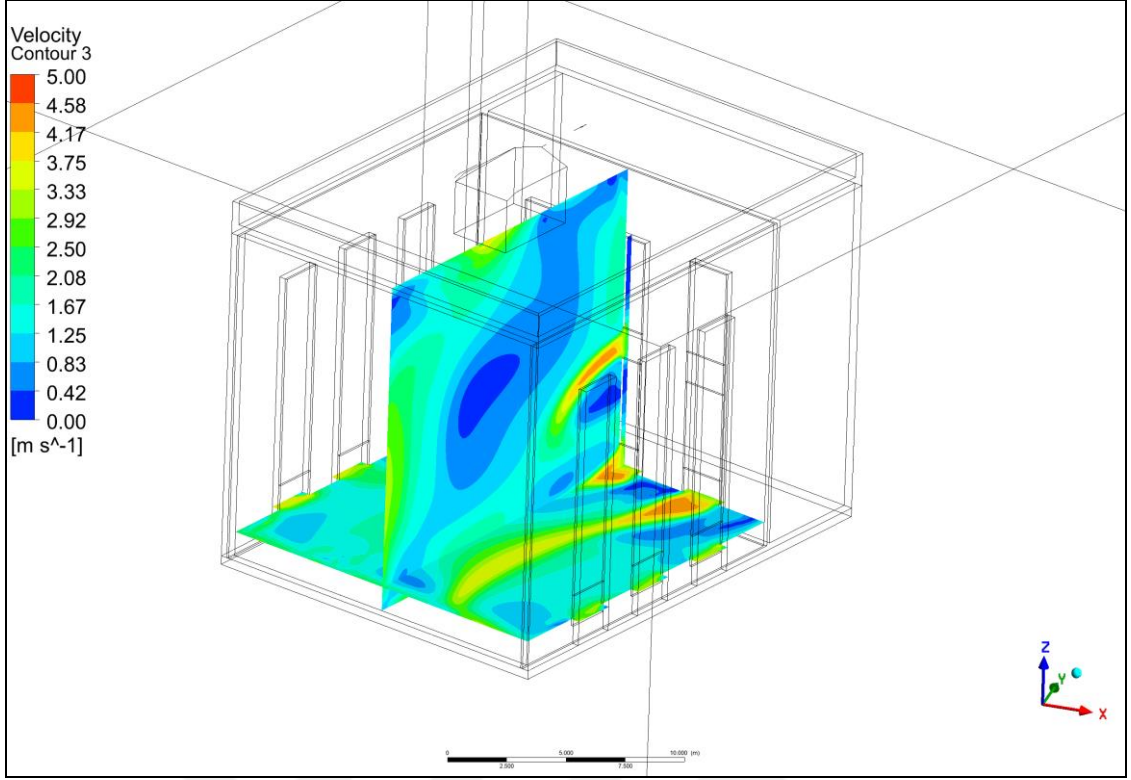
5.2.1.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi

S4'e ait yatay kesitteki hız kontur diyagramı Şekil 5.29'da gösterilmiştir. Diğer senaryolarla benzer şekilde hakim rüzgar yapı giriş cephesinden kapılar ve pencereler aracılığı ile akışın daraltılmasıyla hızlanarak yapı içine alınmaktadır.

Yapı içinde mihrap yönüne hareket eden hava akışının bir kısmı yapı içindeki dolaşımına devam ederek çatı açıklığından yapıyı terk etmektedir. Günaybatı cephesindeki bazı akışlar ise zemin kotundan tahliye olmaktadır. Çatı açıklığına yakın olan bölgede akışın kısmi bir hızlanma yaptığı görülmektedir. Dikey kesite bakıldığında yapının geometrik merkezinde akışın yavaşladığı koyu mavi alanlar göze çarpmaktadır (Şekil 5.30). Yine mihrap cephesinde ısınmış duvara çarpan akışın hızlanarak çatı akışına yöneldiği görülmektedir.



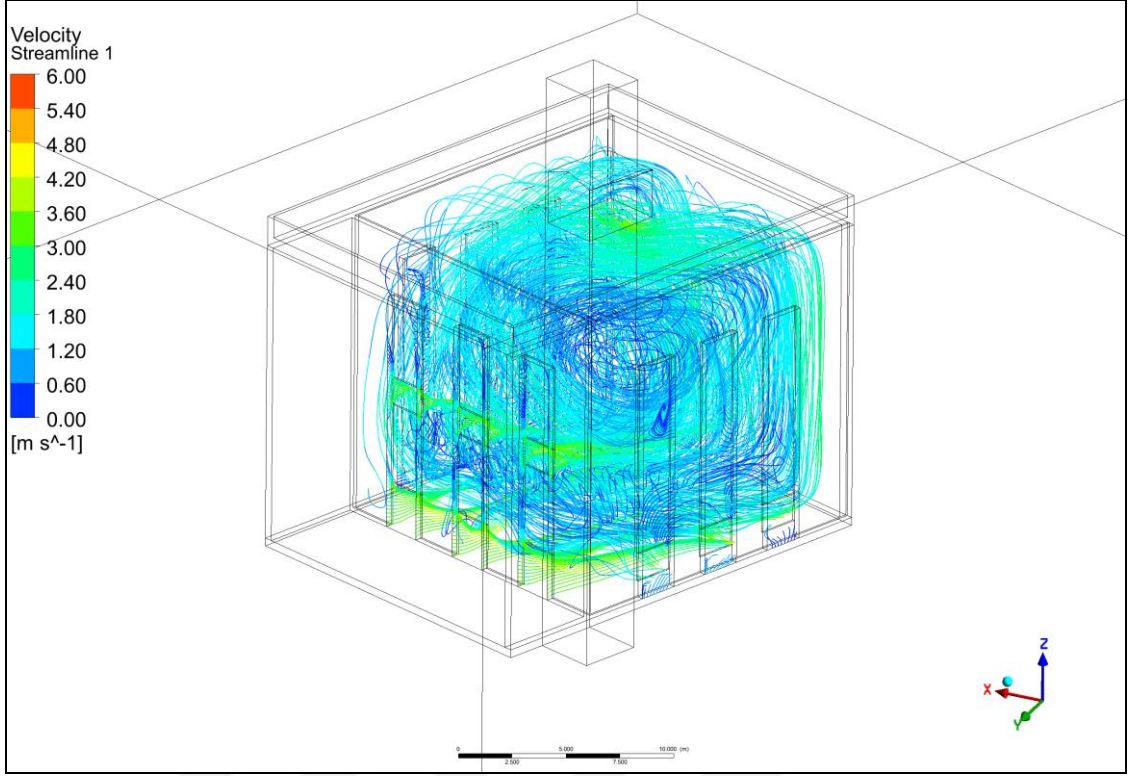
Şekil 5.29. S4'e ait hız kontur diyagramı (yatay kesit)



Şekil 5.30. S4'e ait hız kontur diyagramı (dikey kesit)

Şekil 5.31'de S4'e ait akış grafiği görülmektedir. Grafikteki çizgisel ifade havanın akış yönünü ve yapıyı terk edene kadar izlediği yolu göstermektedir. Çizgisel ifade yapı içindeki akış hızlarına göre renklendirilmiştir. Bu bağlamda sıcak renklere doğru gidildikçe akış hızlarının arttığı soğuk renklere gidildikçe akış hızlarının azaldığı lejantta ifade edilmiştir.

Grafik incelendiğinde yapı içine alınan hakim rüzgarın mihrap cephesine ulaşarak bu cephe boyunca ilerlerken hızlandığı ve çatı açıklığından yapıyı terk ettiği görülmektedir. Akışlar yapı iç duvarlarına yakın bölümlerde daha verimli gerçekleşmektedir. Yapının geometrik merkezine doğru akışlar yavaşlamaktadır. Bunun sebebi genel olarak türbülanslı bir akış yapı içinde gerçekleşse de akış nispeten düzenli bir yapıda gerçekleşmektedir. Daha detaylı ele almak gerekirse iç mekandaki akış yapı duvarlarına çarparak merkeze doğru düzenli bir şekilde hareket etmektedir. Ayrıca yapı güneybatı cephesindeki zemin seviyesindeki pencerelerden tahliye olan akışlar da grafikte görülmektedir. Bu kısımlarda akışların sıcaklık farkından dolayı hızlandığı ve yapıyı terk ettiği görülmektedir.

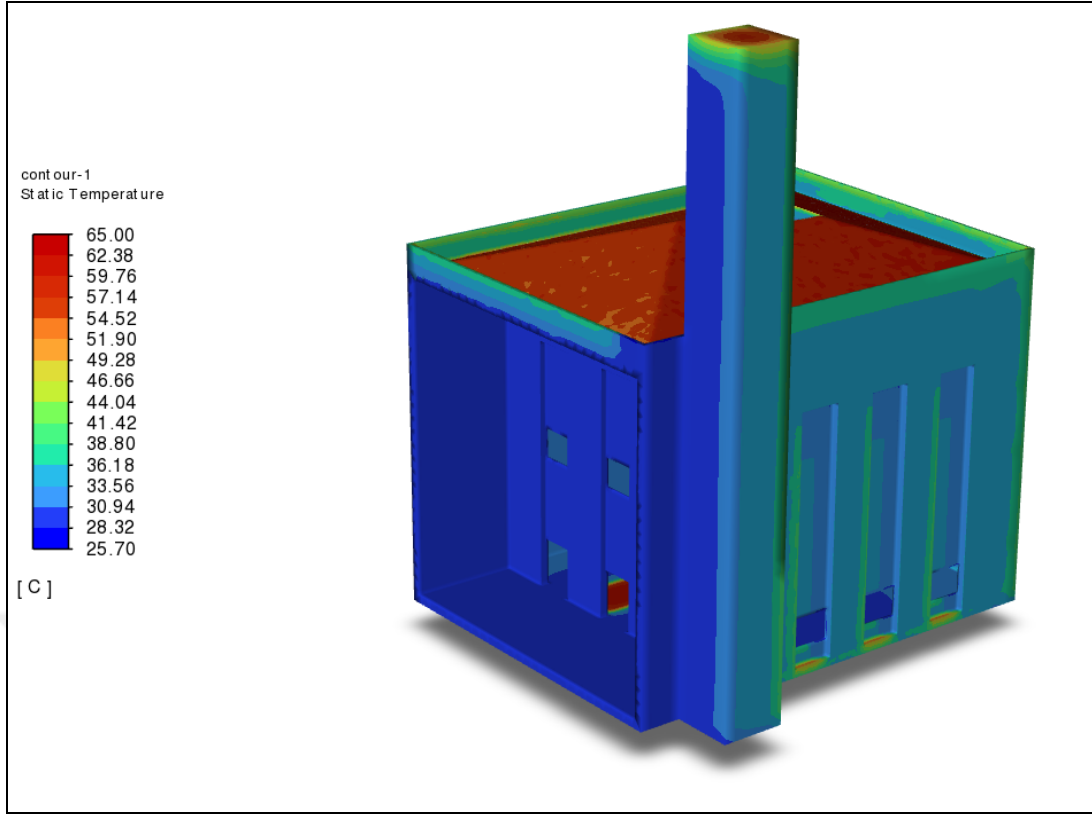


Şekil 5.31. S4'e ait akış diyagramı

5.2.1.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi

Şekil 5.32'de S4 senaryosuna ait dış sıcaklık grafiği görülmektedir. Dış sıcaklık grafiğine göre çatı ve minarenin en üst noktası 65 °C'ye kadar ısınmaktadır. Güneşe bakan cepheler de giriş cephesine göre daha fazla ısınmaktadır. Yapının hava tahliye cephelerindeki bu ısınma yapı içini de ısı transferi yoluyla ısıtsa da bir yandan da bu cephelerde negatif basınç alanları oluşturduğundan yapı içindeki pozitif basınç alanından yapı dışına havanın hareket etmesini kuvvetlendirmektedir.

Analiz güneşin yılın en sıcak ayındaki etkisini yansıtacak şekilde ayarlandığından dış sıcaklıklar grafikteki derecelere ulaşmaktadır. Özellikle bu senaryoda çatı açıklığı bulunduğundan çatıdaki ısınma negatif basınç alanı oluşturmakta ve yapı içindeki havanın bu alandan tahliyesine destek olmaktadır.



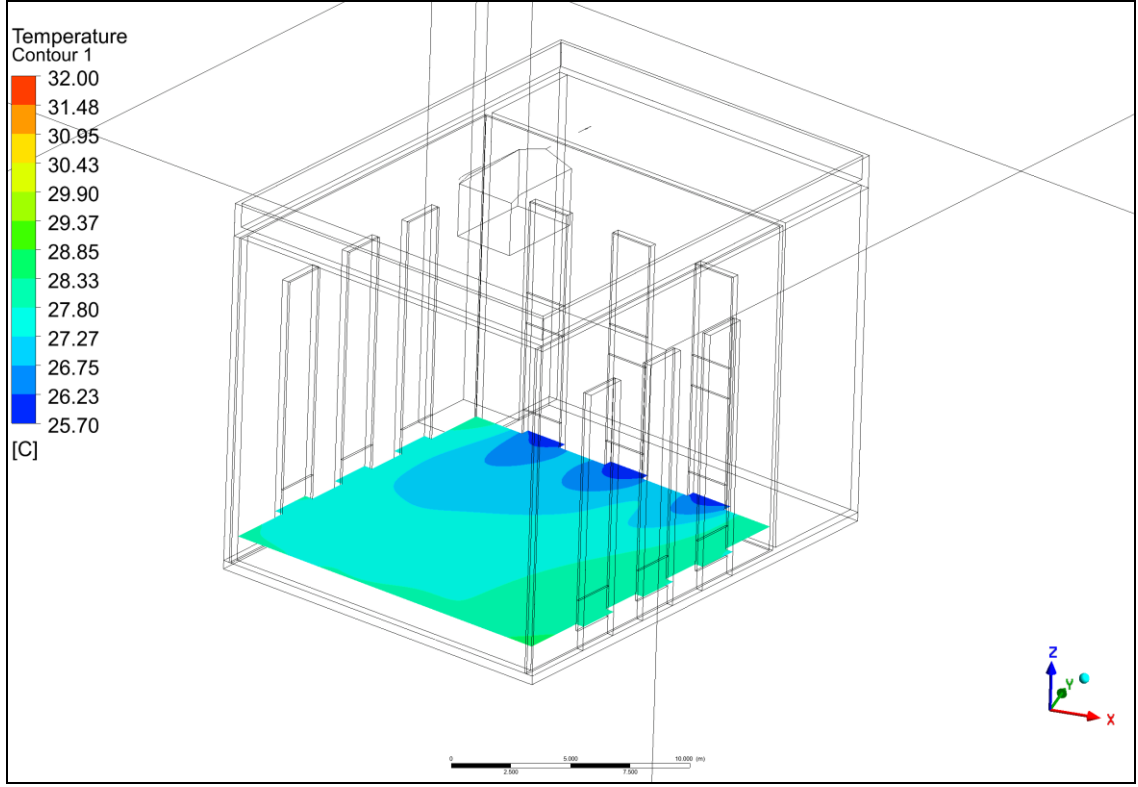
Şekil 5.32. S4'e ait dış sıcaklık diyagramı

Çizelge 5.5 mekanın yüzde kaçının hangi sıcaklık aralığında olduğunu ifade etmektedir. Bu bağlamda analiz sonucunda elde edilen sıcaklık verilerine göre alanın %23,99'u 27,80 °C – 28,33 °C aralığındadır. İç mekanın %48,47'si ise 27,27 °C – 27,80 °C sıcaklık aralığındadır ve en yüksek yüzdeyi temsil etmektedir. Alanın %20,70'i 26,75 °C - 27,27 °C sıcaklık aralığında bulunmaktadır. Diğer kısımlar ise alanın %10'undan az bir bölümünü temsil etmektedir.

Çizelge 5.5. S4 ve S5 senaryolarında mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi

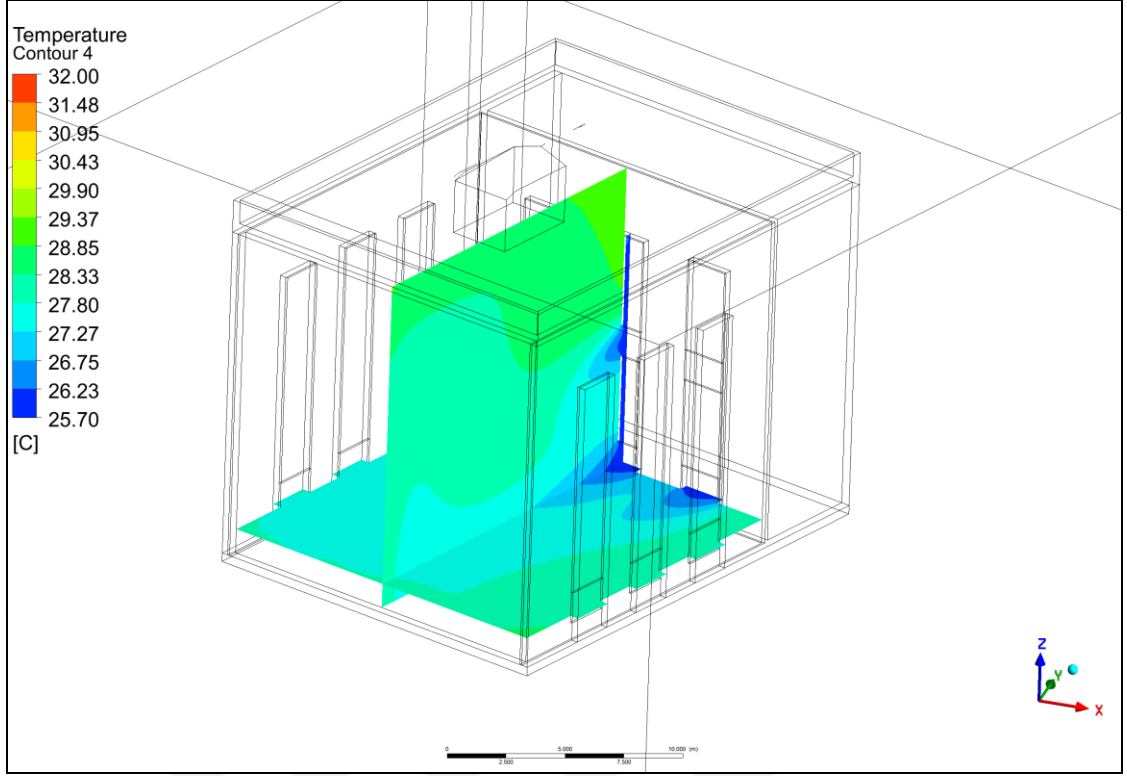
Sıcaklık Aralığı	S4
25,70-26,23 °C	%0,79
26,23-26,75 °C	%5,61
26,75-27,27 °C	%20,70
27,27-27,80 °C	%48,47
27,80-28,33 °C	%23,99
28,33-28,85 °C	%0,44

S4'e ait iç mekan sıcaklıklarını yatay bir kesit ile ifade eden sıcaklık kontur diyagramı Şekil 5.33'te görülmektedir. Giriş cephesine yakın alanlarda sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak harim genelinde de dengeli bir soğutma sağlandığı görülmektedir.



Şekil 5.33. S4'e ait sıcaklık kontur diyagramı (yatay kesit)

Şekil 5.34 S4 senaryosuna ait dikey kesitteki sıcaklık kontur diyagramını temsil etmektedir. Dikey kesit Giriş cephesi mihrap aksının tam merkezinden alınmıştır. Diğer senaryolarla benzer şekilde üst kotlara doğru sıcaklıklar bir miktar artış göstermektedir.

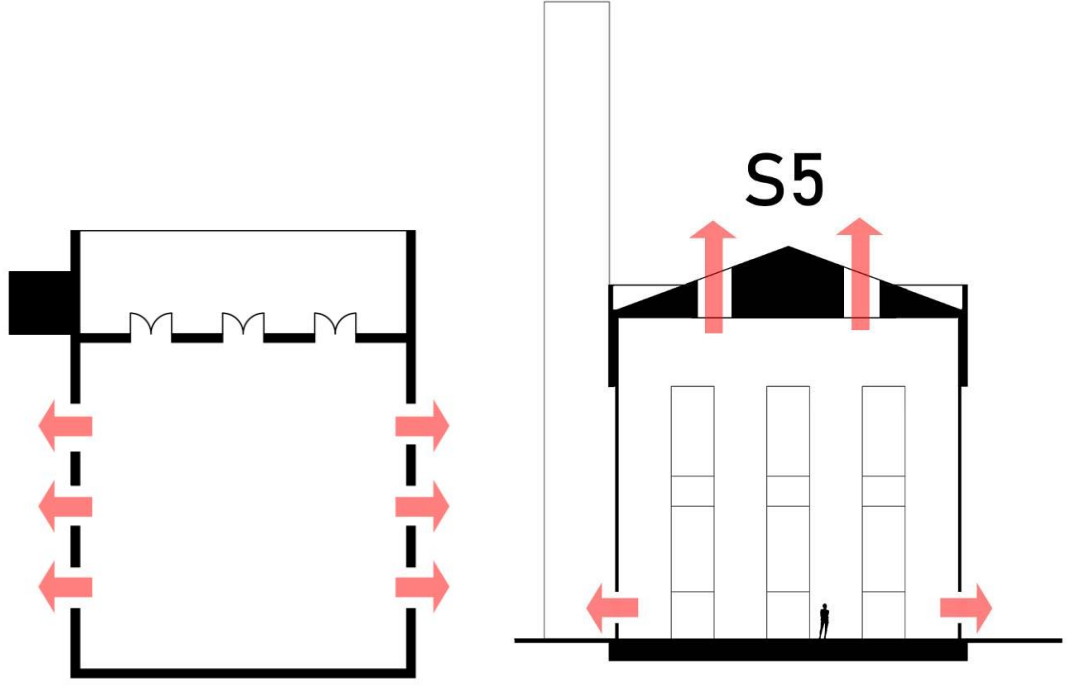


Şekil 5.34. S4'e ait sıcaklık kontur diyagramı (dikey kesit)

5.2.2. Birden fazla çatı açıklığının düzenlendiği model (S5)

S5 senaryosu çatıda birden fazla açıklığın düzenlendiği tasarım senaryosunu temsil etmektedir (Şekil 5.35). Zemin seviyesindeki açıklık büyüklükleri her pencere için $2,00\text{m} \times 1,40\text{m} = 2,8 \text{ m}^2$ şeklindedir. Toplam altı adet zemin seviyesinde pencere bulunmaktadır. Bu zemin pencereleri toplamda $16,8 \text{ m}^2$ 'lik bir açıklık büyüklüğüne karşılık gelmektedir. S4 alternatifindeki $11,2 \text{ m}^2$ 'lik çatı penceresi bu alternatifte dört adet pencereye bölünerek $2,8 \text{ m}^2$ 'lik pencereler oluşturulmuştur ve harim hacminin üzerine homojen bir biçimde yerleştirilmiştir.

Böylece S4 ve S5 senaryolarında toplam açıklık büyüklükleri aynı tutulmuştur. Değişen tek parametre açıklığın sayısıdır. Bu şekilde doğru bir karşılaştırma yapmak mümkün olmuştur ve hangi tasarımın daha verimli olduğu incelenebilmiştir.

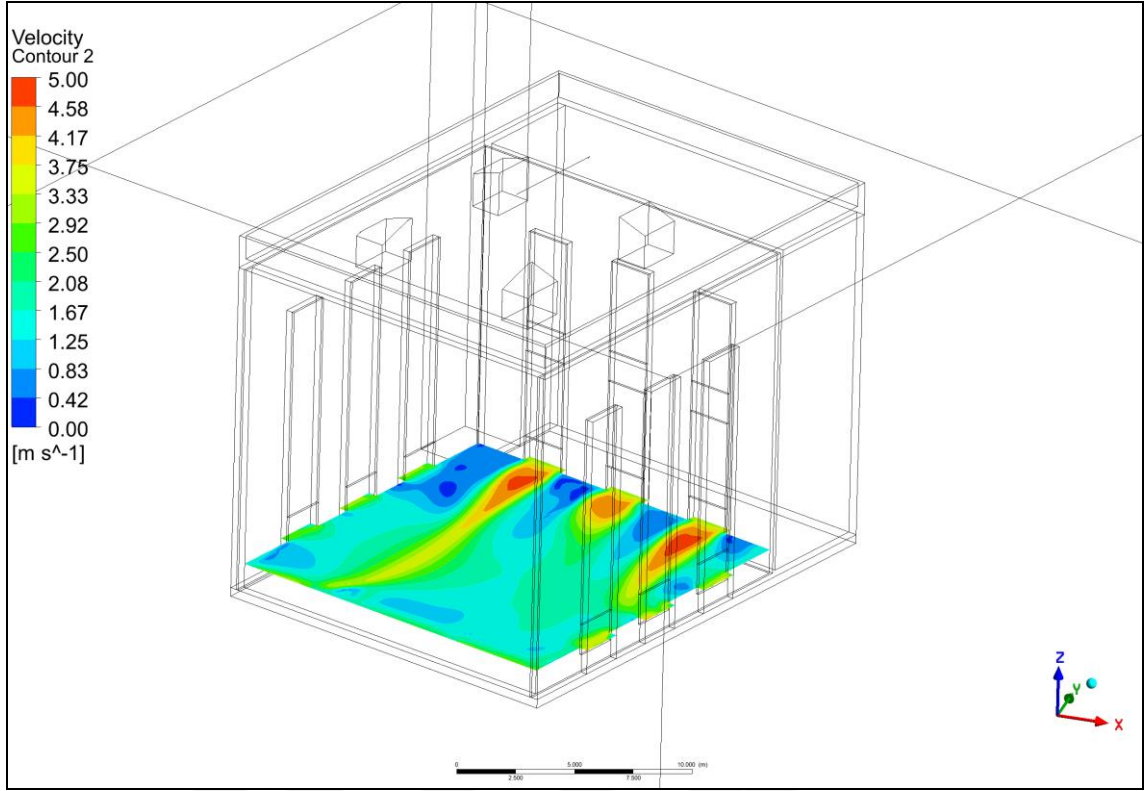


Şekil 5.35. Senaryo 5'te pencere açıklıklarının konumları

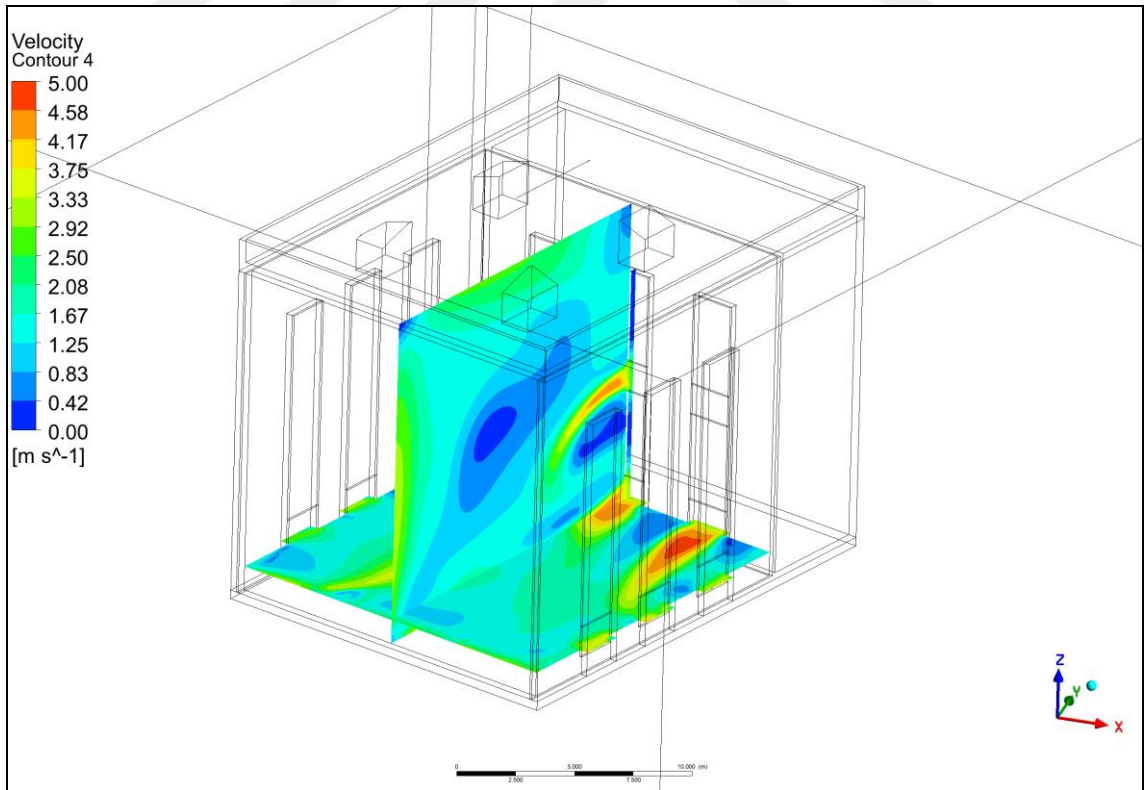
5.2.2.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi

S5'e ait hız kontur diyagramı Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Diğer senaryolarla benzer şekilde hakim rüzgar yapı giriş cephesinden kapılar ve pencereler aracılığı ile akışın daraltılmasıyla hızlanarak yapı içine alınmaktadır. Yapı içinde mihrap yönüne hareket eden hava akışının bir kısmı yapı içindeki dolaşımına devam ederek çatı açıklıklarından yapıyı terk etmektedir. Akışın bir bölümü zemin kotundaki açıklıklardan tahliye olmaktadır.

Şekil 5.37'da dikey kesit incelendiğinde kible yönündeki (güneydoğu) mihrap cephesine çarpan akış yön değiştirip hızlanmaktadır. Ayrıca tavana yakın bölgelerde akışın hızlandığı görülmektedir. Alanın geometrik merkezinde akışların bir miktar yavaşladığı dikey kesitte görülmektedir.

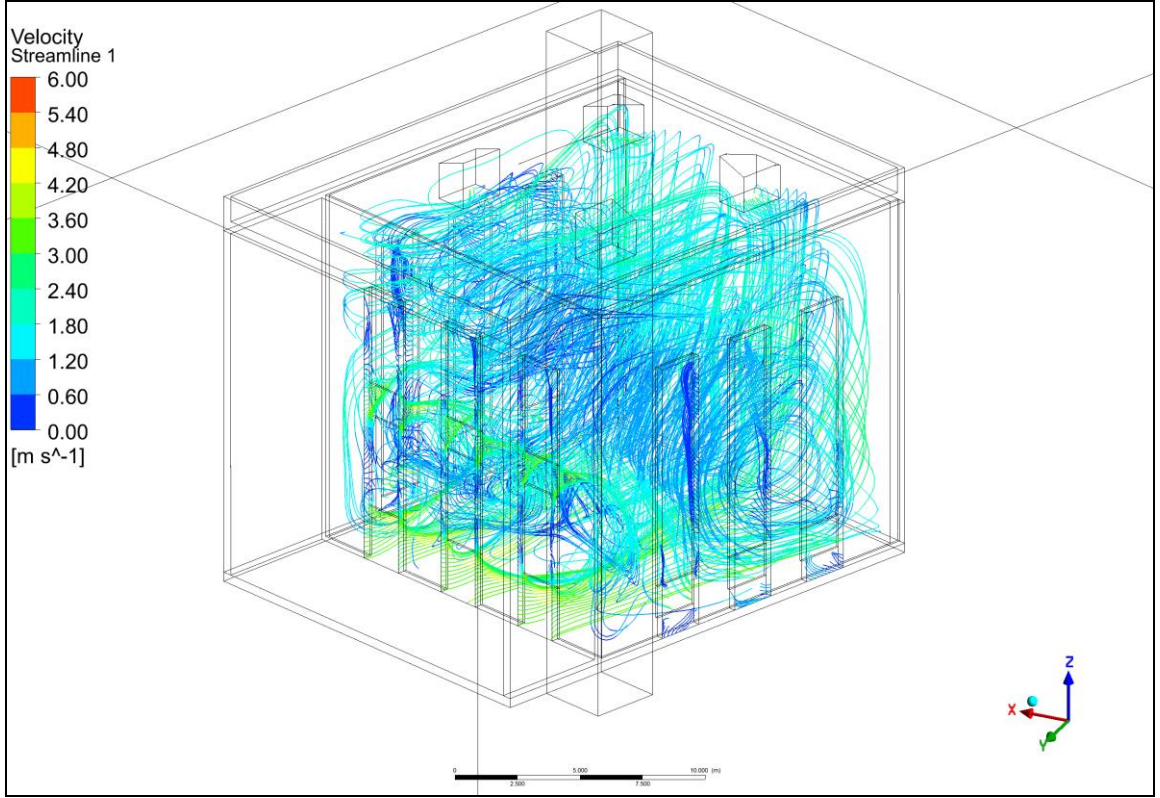


Şekil 5.36. S5'e ait hız kontur diyagramı (yatay kesit)



Şekil 5.37. S5'e ait hız kontur diyagramı (dikey kesit)

Şekil 5.38’de S5’e ait akış grafiği görülmektedir. Grafikteki çizgisel ifade havanın akış yönünü ve yapıyı terk edene kadar izlediği yolu göstermektedir. Çizgisel ifade yapı içindeki akış hızlarına göre renklendirilmiştir. Bu bağlamda sıcak renklere doğru gidildikçe akış hızlarının arttığı soğuk renklere gidildikçe akış hızlarının azaldığı lejantta ifade edilmiştir. Akış diyagramı incelendiğinde türbülanslı akışın yapı içinde oldukça düzensiz bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Yapı içindeki bu düzensiz türbülanslı akış yapının daha verimli soğutulmasında etkili olmaktadır. Akışların ısı farkları ile güçlenen baca etkisi ve hakim rüzgarın etkisiyle birden fazla çatı açıklığına yönlendirilmesi akışların daha karmaşık gerçekleşmesini sağlamıştır. Akışların daha fazla yön değiştirerek daha verimli bir havalandırma gerçekleştiği görülmüştür.

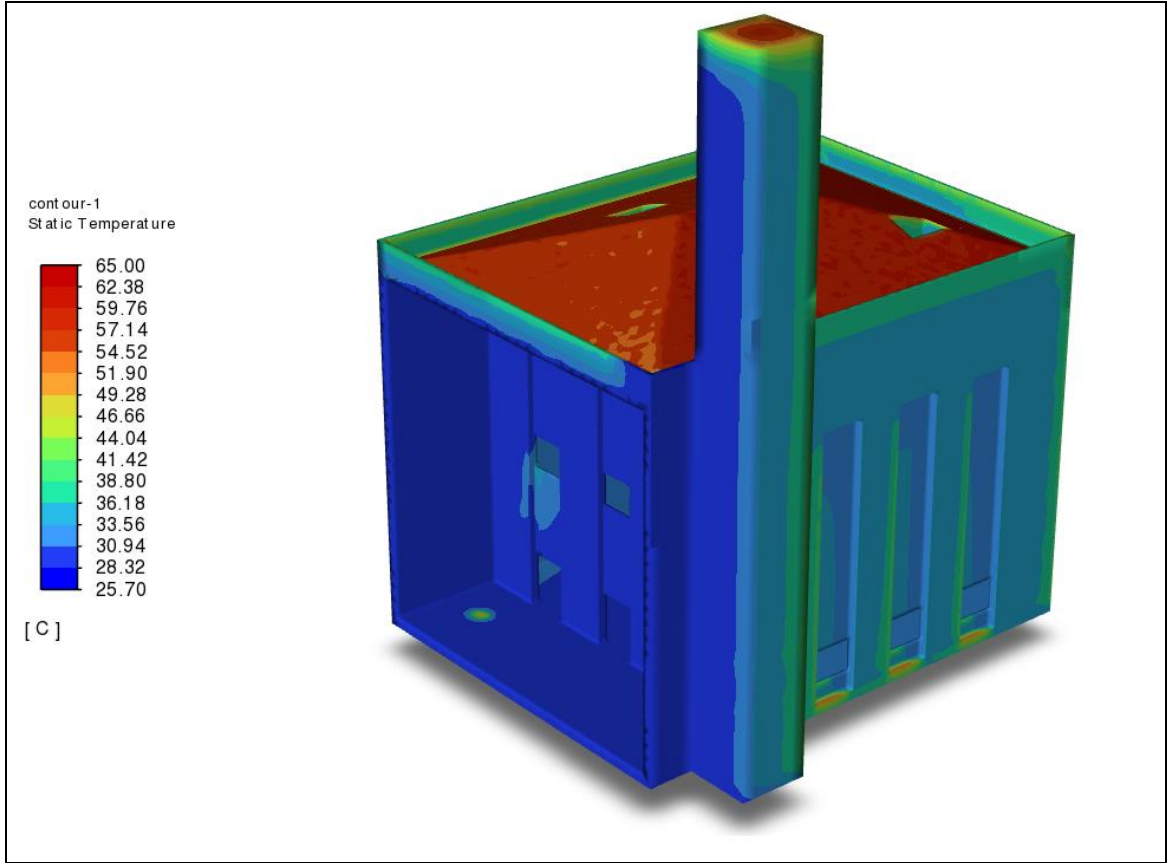


Şekil 5.38. S5’e ait akış diyagramı

5.2.2.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi

S5 senaryosuna ait dış sıcaklık grafiği Şekil 5.39’da görülmektedir. Dış sıcaklık grafiğine göre çatı ve minarenin en üst noktası 65 °C’ye kadar ısınmaktadır. Güneşe bakan cepheler de giriş cephesine göre daha fazla ısınmaktadır. Yapının hava tahliye

cephelerindeki bu ısınma yapı içini de ısı transferi yoluyla ısıtsa da bir yandan da bu cephelerde negatif basınç alanları oluşturduğundan yapı içindeki pozitif basınç alanından yapı dışına havanın hareket etmesini kuvvetlendirmektedir. Analiz güneşin yılın en sıcak ayındaki etkisini yansıtacak şekilde ayarlandığından dış sıcaklıklar grafikteki derecelere ulaşmaktadır. Özellikle bu senaryoda çatı açıklığı bulunduğundan çatıdaki ısınma negatif basınç alanı oluşturmakta ve yapı içindeki havanın bu alandan tahliyesine destek olmaktadır.



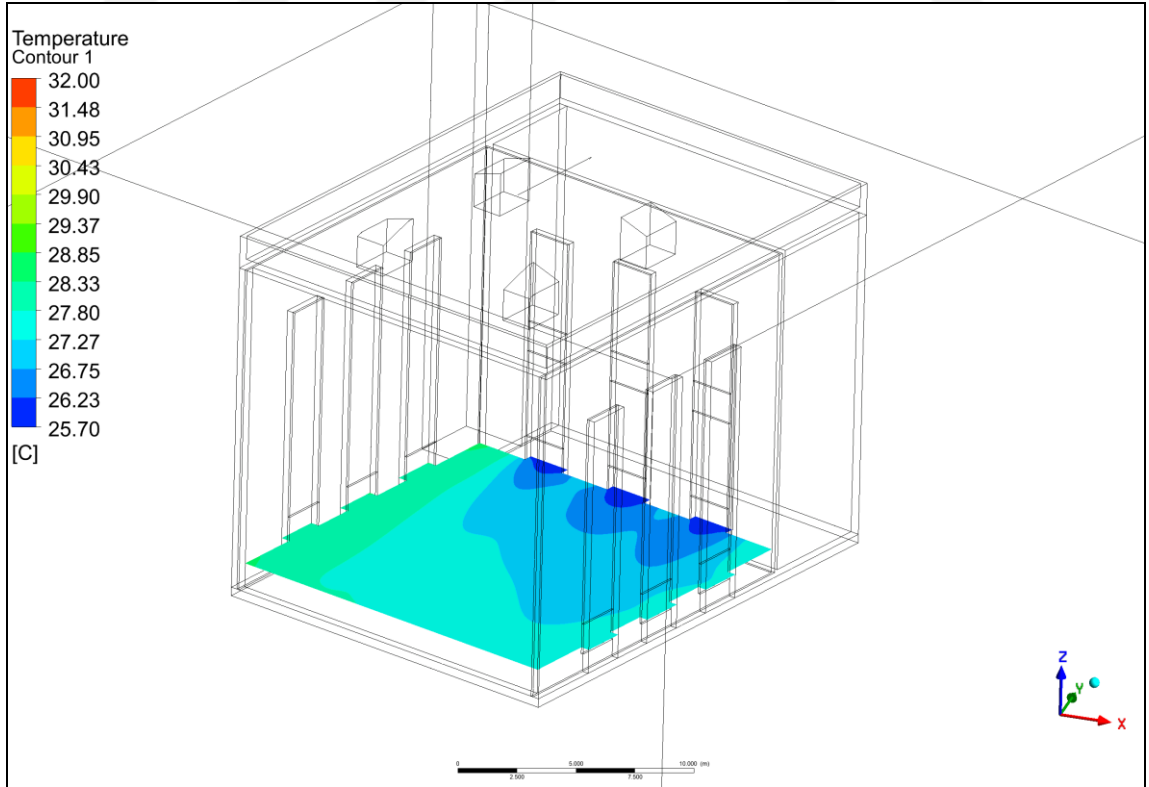
Şekil 5.39. S5'e ait dış sıcaklık diyagramı

Çizelge 5.6'da harim mekanının yüzde kaçının hangi sıcaklık aralığında olduğu görülmektedir. Bu değerler 1,10m yükseklikten alınan yatay kesitin sıcaklık değerlerini temsil edecek şekilde °C cinsinden verilmiştir. Diyagrama göre mekanın %15,51'i 27,80 °C -28,33 °C sıcaklık aralığında bulunmaktadır. İç mekanın %39,96'sı ise 27,27 °C - 27,80 °C sıcaklık aralığındadır. Alanın %32'sinin 26,75 °C - 27,27 °C sıcaklık aralığında olduğu görülmektedir. İç mekanın %10,69'u 26,23 °C - 26,75 °C sıcaklık aralığında bulunmaktadır. Diğer kısımlar harim mekanının %10'undan azını temsil etmektedir.

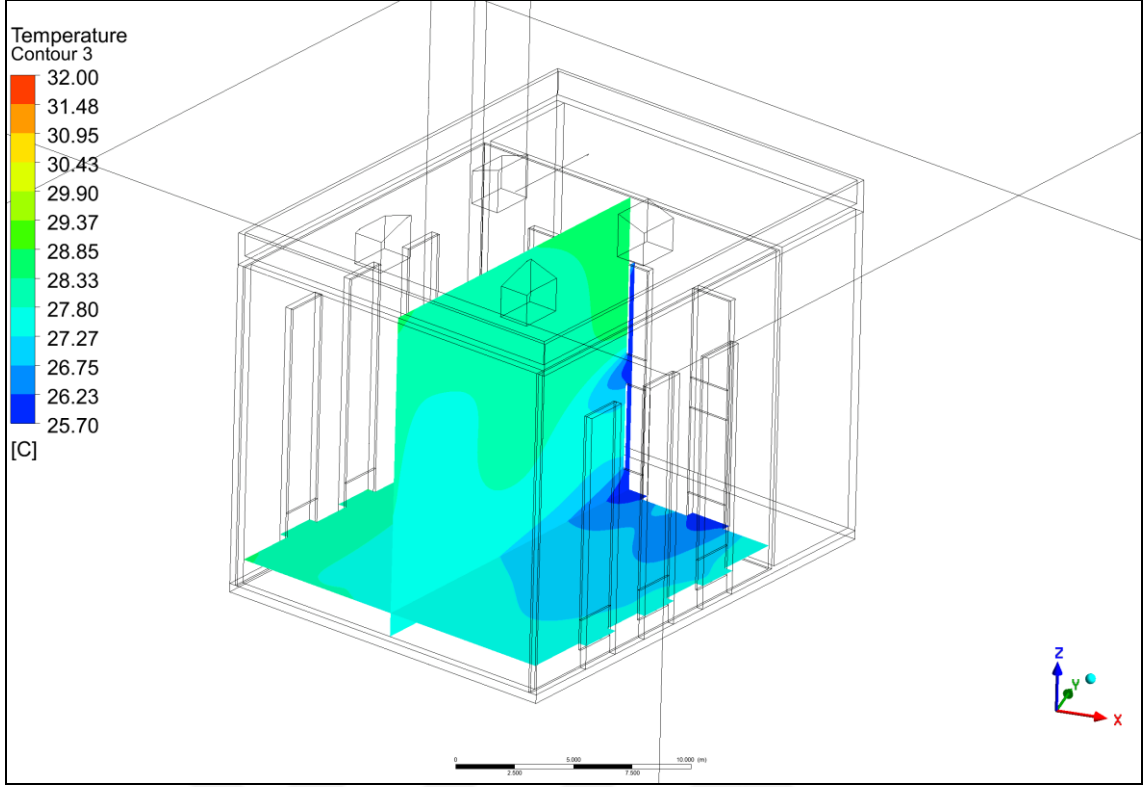
Çizelge 5.6. S5 senaryosunda mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi

Sıcaklık Aralığı	S5
25,70-26,23 °C	%1,59
26,23-26,75 °C	%10,69
26,75-27,27 °C	%32,00
27,27-27,80 °C	%39,96
27,80-28,33 °C	%15,51
28,33-28,85 °C	%0,25

S5'e ait iç mekan sıcaklıklarını ifade eden sıcaklık kontur diyagramı Şekil 5.40'ta görülmektedir. Giriş cephesine yakın alanlarda sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 5.41'de dikey kesit üzerinde sıcaklık kontur diyagramı görülmektedir. Dikey kesit incelendiğinde üst kotlara doğru sıcaklıkların arttığı görülmektedir.



Şekil 5.40. S5'e ait sıcaklık kontur diyagramı (yatay kesit)



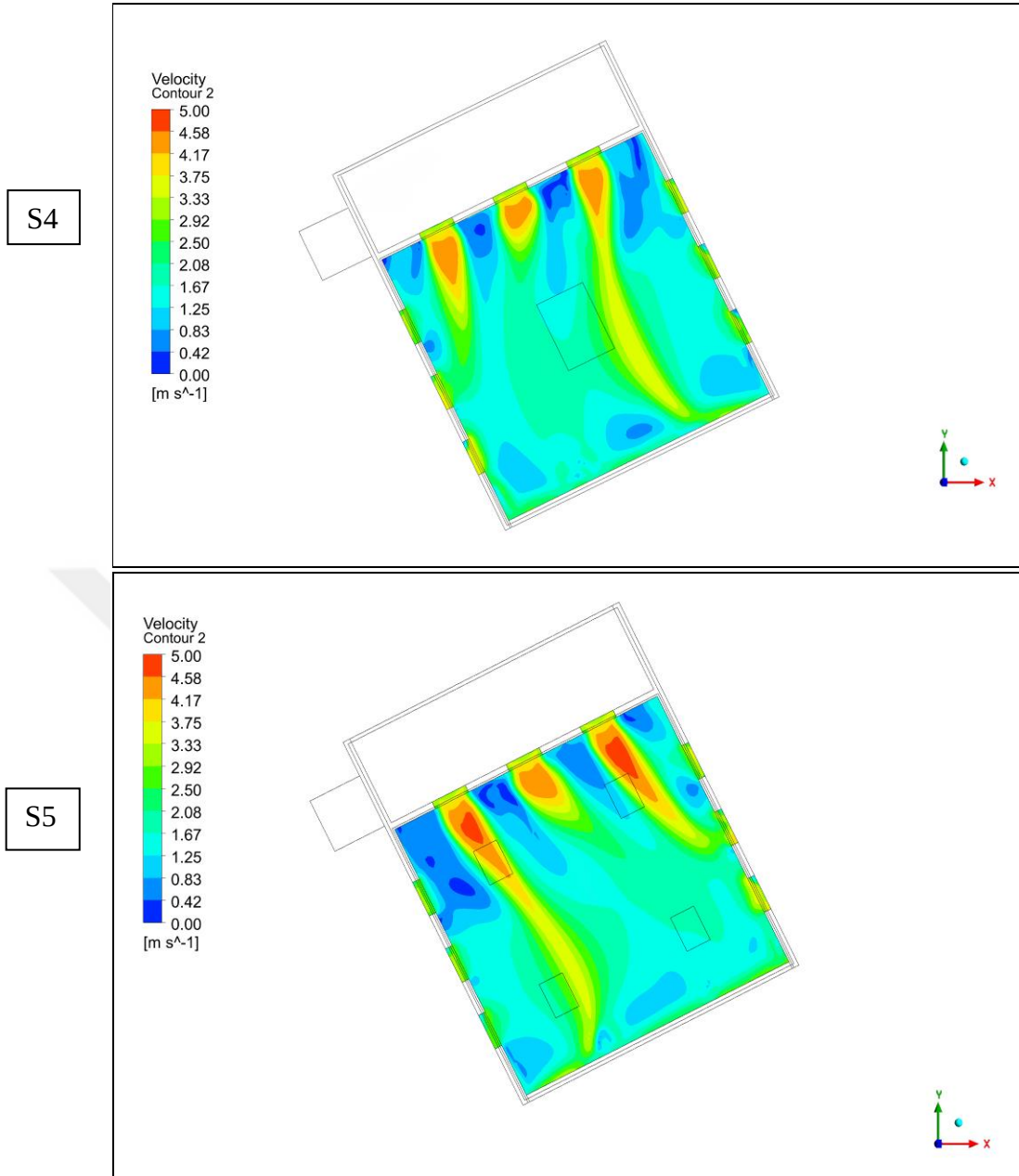
Şekil 5.41. S5'e ait sıcaklık kontur diyagramı (dikey kesit)

5.2.3. Modellerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

İki ayrı senaryoya ait (S4 ve S5) hız kontur grafikleri Şekil 5.42'de karşılaştırmalı olarak plan düzleminde bir arada verilmiştir. Bu grafikler yapının 1,10m kotundan alınan yatay kesitler ile elde edilmiştir.

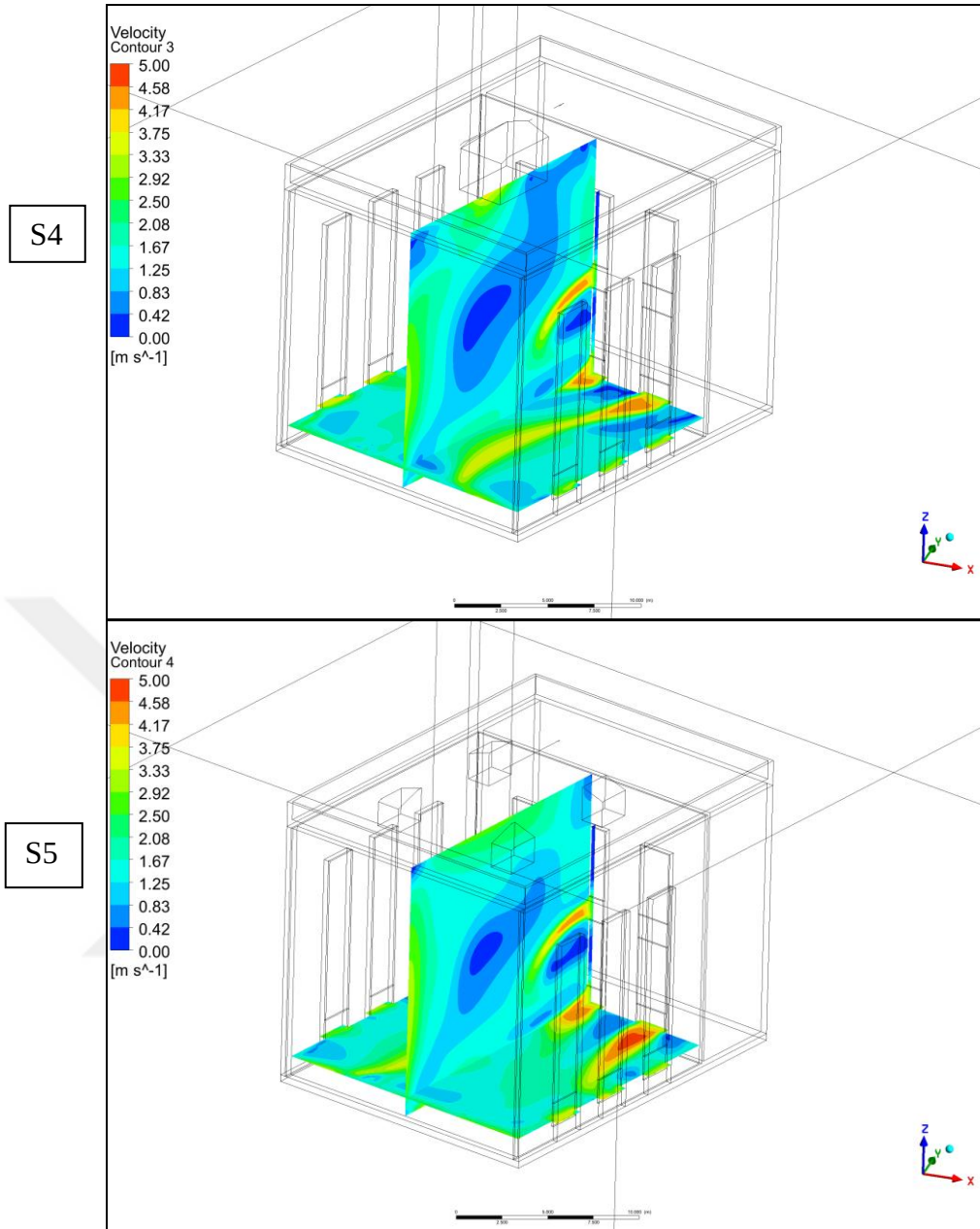
S4 alternatifinde güneybatı cephesine yakın olan akış zemin kotundan tahliye olmaktadır. S5 alternatifinde ise kuzeydoğu cephesine yakın olan akış zemin kotundan tahliye olmaktadır. Bu akışlar karşılaştırıldığında S5'teki akışın S4'e göre daha hızlı olduğu okunmaktadır. Diğer akışlar yapı içinde dolaşarak çatıdaki açıklıklardan yapıyı terk etmektedir.

S4 ve S5 grafiklerine bakıldığında en yüksek hızlar karşılaştırılırsa (giriş cephesine yakın akışlar) S5 senaryosundaki en yüksek hızın S4'ten fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca giriş cephesinden alınan hakim rüzgar yapı içinde S5 senaryosunda daha hızlı hareket etmektedir.



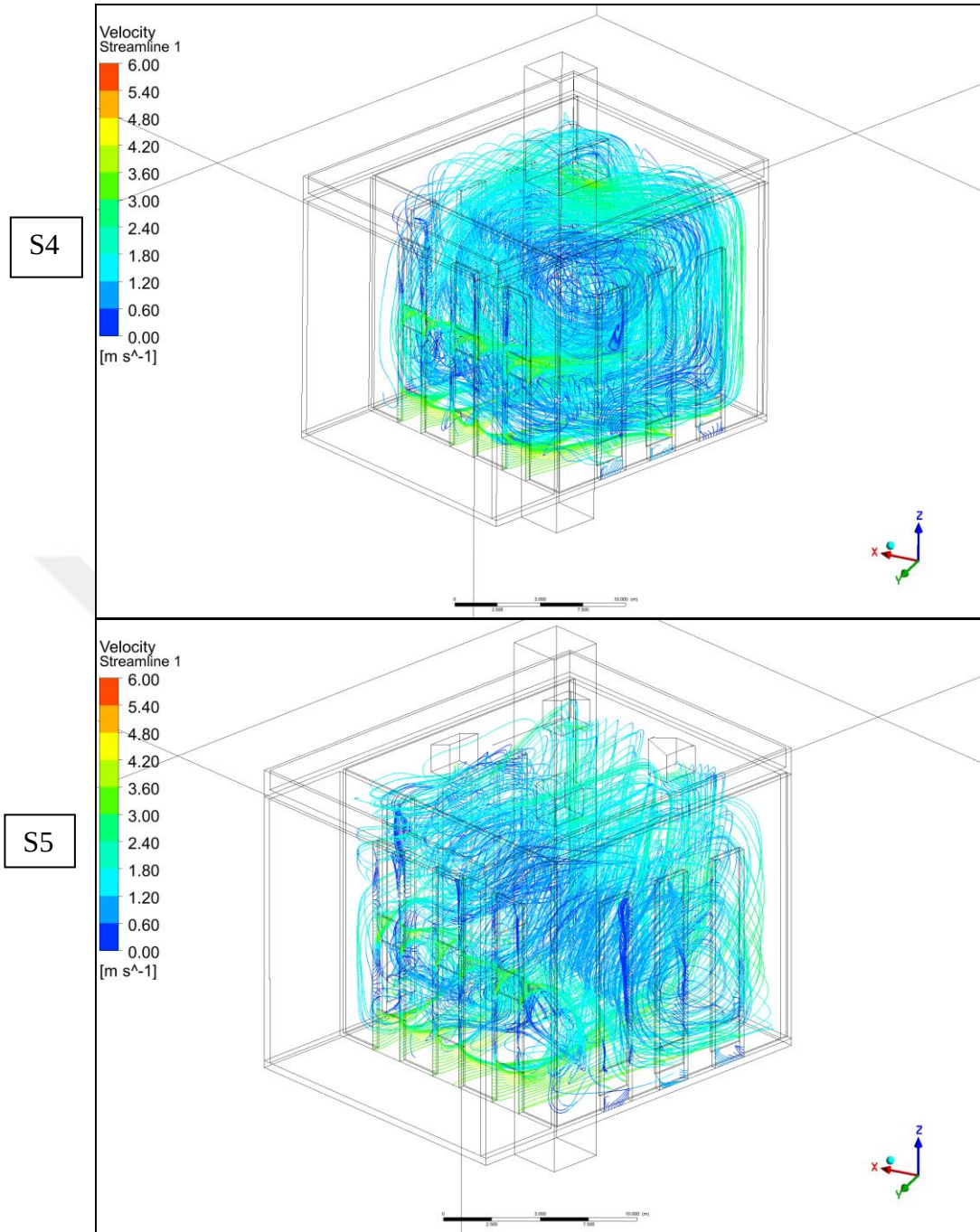
Şekil 5.42. S4 ve S5 için hız kontur grafiklerinin karşılaştırılması (yatay kesit)

Şekil 5.43 alandaki akış hızlarını dikey kesitte S4 ve S5 senaryoları için karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Bu grafikler incelendiğinde yavaşlayan akışları temsil eden koyu mavi alanlar S5'te S4'e göre daha küçük bir alanı temsil etmektedir. Bu da S5'teki akışların daha hızlı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak akış hızları açısından karşılaştırma yapıldığında S5 senaryosu S4 senaryosuna göre daha olumlu sonuçlar vermektedir.



Şekil 5.43. S4 ve S5 için hız kontur grafiklerinin karşılaştırılması (dikey kesit)

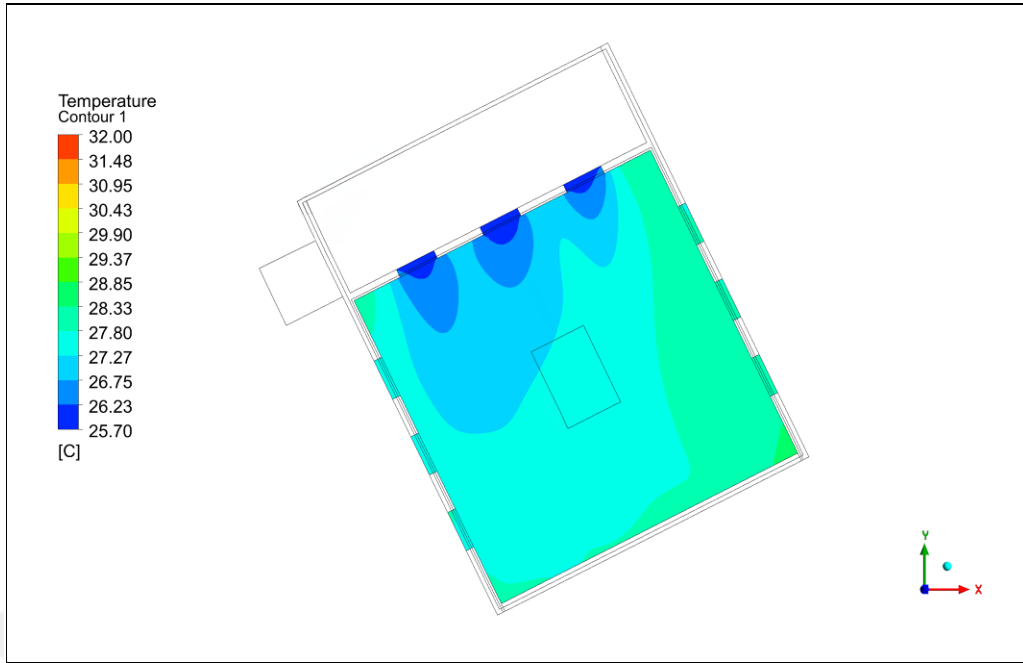
Şekil 5.44'te S4 ve S5 için akış grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Akış çizgilerini gösteren grafikler karşılaştırıldığında S5 senaryosunun S4 senaryosundan daha karmaşık ve türbülanslı bir akışa sahip olduğu görülmektedir. Bu da S5 senaryosunda doğal havalandırmanın ve pasif soğutmanın daha verimli gerçekleştiğini göstermektedir.



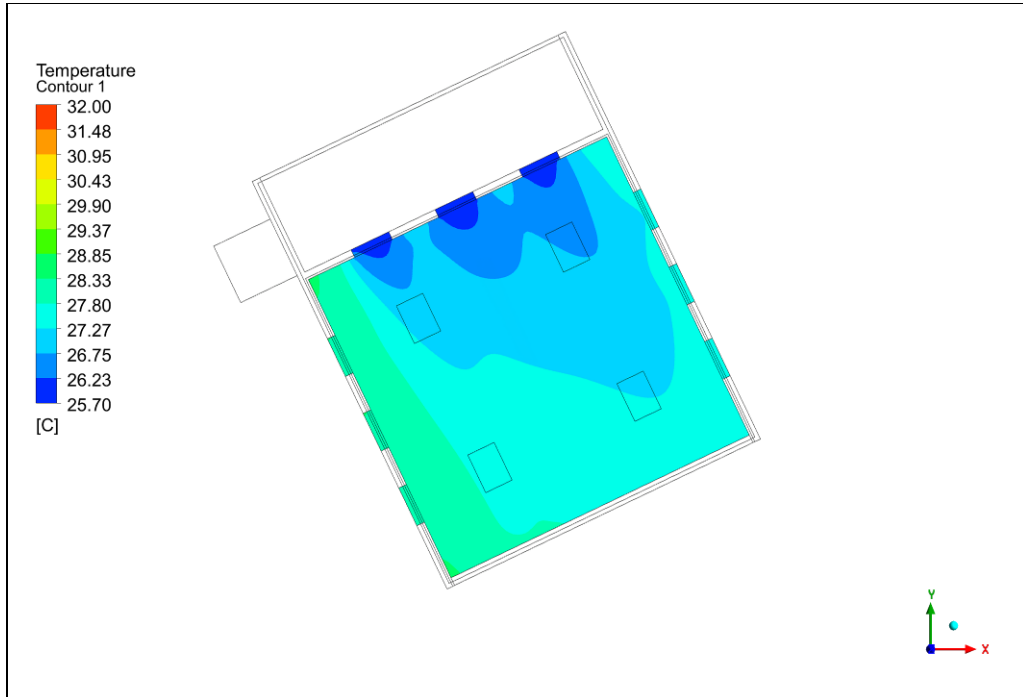
Şekil 5.44. S4 ve S5 için akış grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 5.45'te S4 ve S5'in sıcaklık değerleri plan düzleminde kontur haritaları ile gösterilmiştir. Renkli harita incelendiğinde S5'teki sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Özellikle alandaki en sıcak bölümün ifade edildiği açık yeşil renkli bölümün S4'te daha büyük bir alanı ifade ettiği görülmektedir.

S4

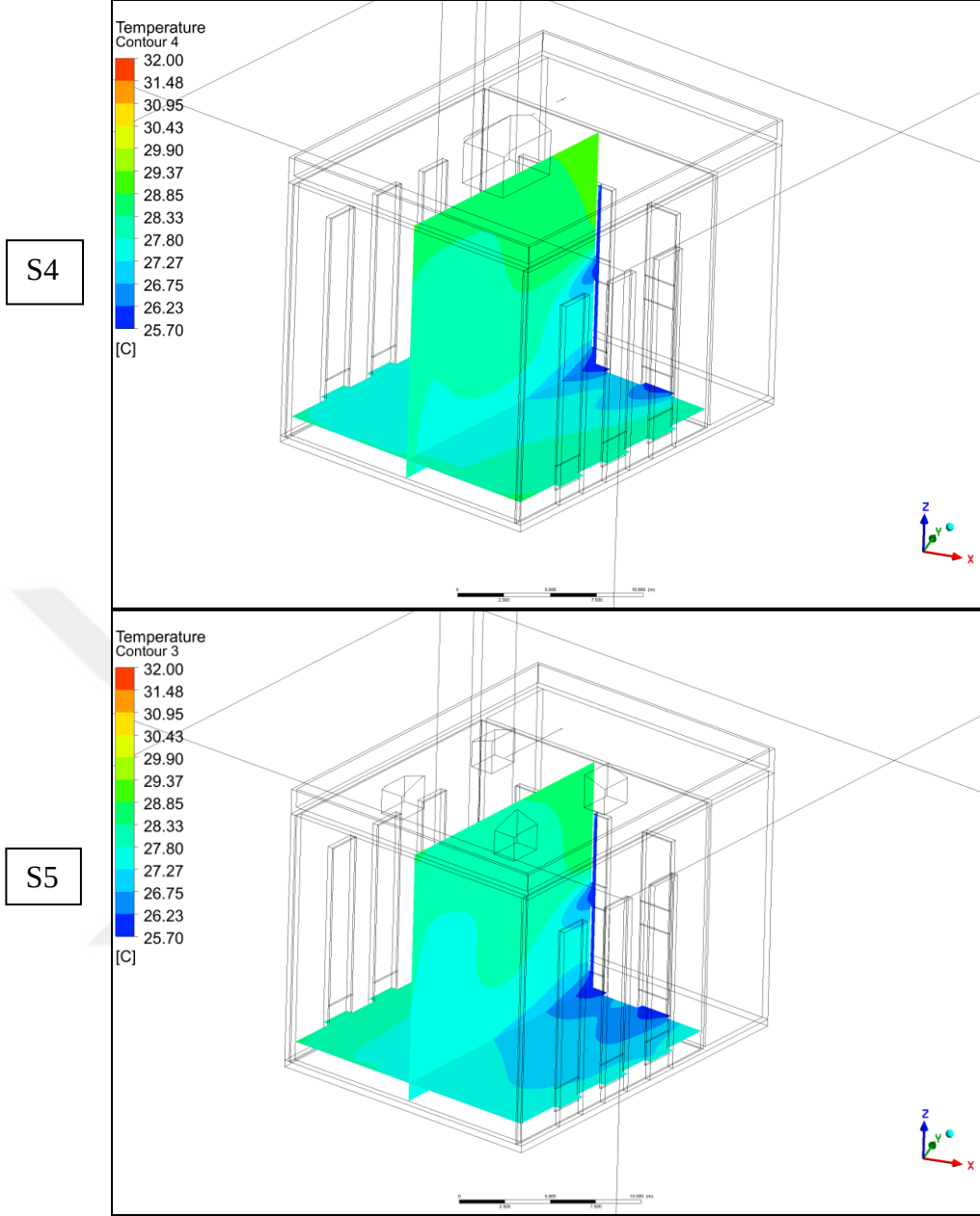


S5



Şekil 5.45. S4 ve S5 için sıcaklık kontur grafiklerinin karşılaştırılması (yatay kesit)

Şekil 5.46 S4 ve S5'in iç sıcaklıklarının dikey kesitlerini ifade etmektedir. Renkli haritalar incelendiğinde S4'te görülen tavana yakın bölgedeki sıcaklık birikimi S5'te görülmemektedir. Dolayısı ile S5'te daha dengeli bir tahliyenin ve pasif soğutmanın olduğu görülmektedir.



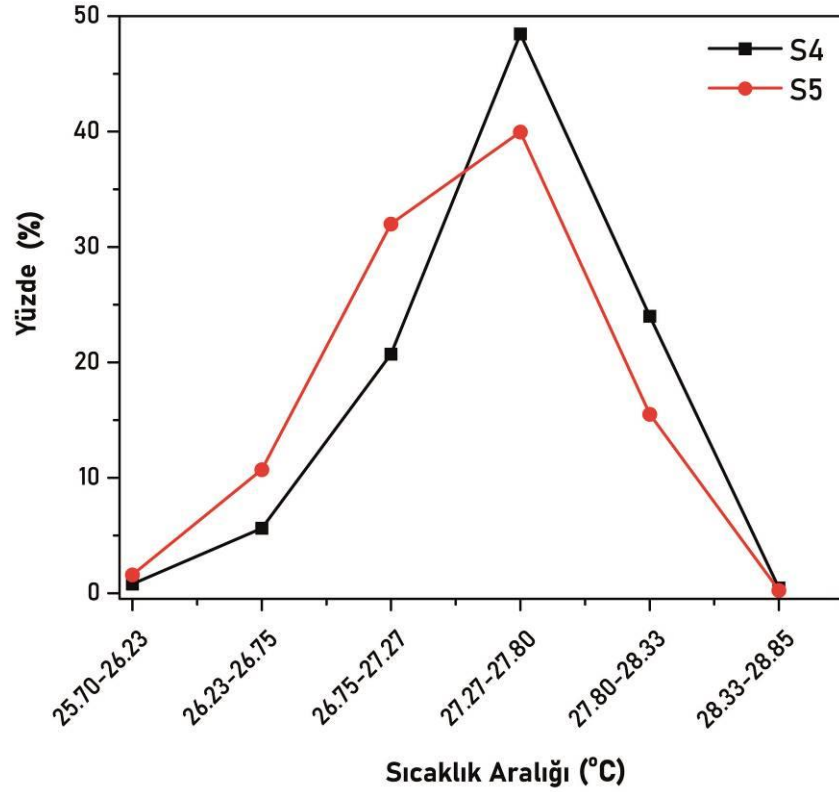
Şekil 5.46. S4 ve S5 için sıcaklık kontur grafiklerinin karşılaştırılması (dikey kesit)

Çizelge 5.2’de S4 ve S5’in 1,10m yükseklikte ölçülen sıcaklık aralıkları ve bu sıcaklık aralıklarının mekanın yüzde kaçını temsil ettiği bir tablo yardımı ile ifade edilmiştir. Ayrıca bu veriler karşılaştırmalı bir biçimde Şekil 5.47’de bir grafik şeklinde ifade edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre S4’ün iç mekanının %82,65’i, 26,23 °C - 27,80 °C sıcaklık aralığına bulunurken S5’in ise %74,80’i bu aralıkta yer almaktadır. S5’in iç mekanının %15,51’i, 27,8 °C - 28,33 °C sıcaklık aralığında iken, S4’ün %23,99’u bu sıcaklık aralığındadır. Sonuçlar karşılaştırıldığında Senaryo 5’in soğutma açısından daha

başarılı olduğu görülmektedir. Bu durum çıkış boyutu sabit kalırken açıklık sayısının artırılmasının pasif soğutma sağlanmasına olumlu etkisi olduğunu ortaya koymuştur.

Çizelge 5.7. S4 ve S5 senaryolarında mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi

Sıcaklık Aralığı	S4	S5
25,70-26,23 °C	%0,79	%1,59
26,23-26,75 °C	%5,61	%10,69
26,75-27,27 °C	%20,70	%32,00
27,27-27,80 °C	%48,47	%39,96
27,80-28,33 °C	%23,99	%15,51
28,33-28,85 °C	%0,44	%0,25

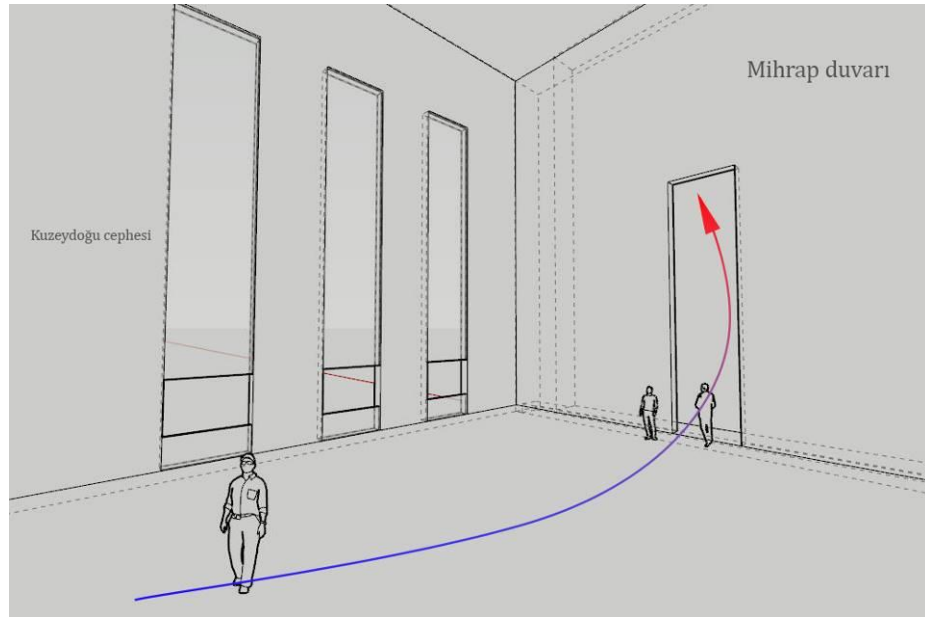


Şekil 5.47. S4 ve S5 senaryolarında mekan yüzdesi sıcaklık aralığı ilişkisi

5.3. Mihrap Duvarının Termal Baca Olarak Değerlendirilmesi (S6)

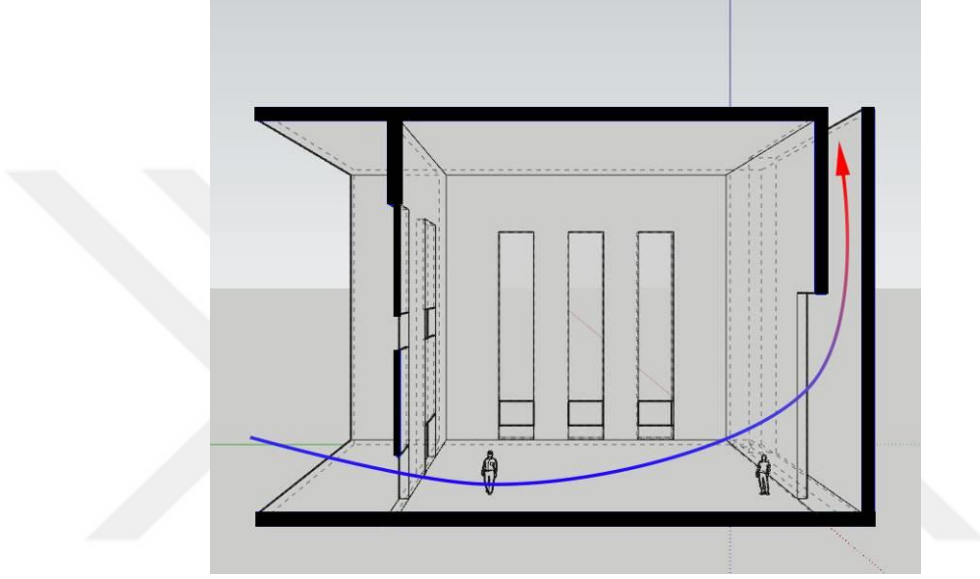
Ülkemizde camilerin yönlendirildiği kible yönü, her il için açılar değişse de genel olarak güneydoğu yönündedir. Bu da caminin en çok güneş ışınlamına maruz kalan cephelerinden birinin mihrap cephesi olduğunu göstermektedir. Özellikle caminin en çok kullanıldığı vakitler olan öğle ve öğleden sonra zaman diliminde bu cephe yoğun bir şekilde ısınmaktadır. Bu sebeple Senaryo 6'da bu kısımda (mihrap cephesi) bir termal baca tasarlanmıştır. Bu bağlamda bu senaryo cami mimarisi için özgün bir denemeyi temsil etmektedir.

Termal bacalar iç mekanda havalandırmayı iyileştirmek için sıcak havanın dışarıya tahliye olacağı hava boşluklarını temsil eder. Termal bacaların hava bacalarından farkı yapının en sıcak bölgesinde konumlandırılarak havanın dışarıya tahliyesini kolaylaştıracak şekilde tasarlanmasıdır (Zargari, 2016). Bu senaryo özelinde camilerde termal baca için en uygun alan mihrap cephesidir. Bu senaryo için mihrap cephesinde 1.4m x 12m'lik (16.8m²) bir kesiti olan bir termal baca tasarlanmıştır. Bu açıklık büyüklüğü S1, S2 ve S3'teki üst kottaki pencerelerin toplam büyüklüğü ile aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Mihrap duvarında bir açıklık şeklinde tasarlanan bu baca bağlantısı aynı zamanda imamın konumunu belirleyen özelleşmiş bir alan oluşturmaktadır (Şekil 5.48).

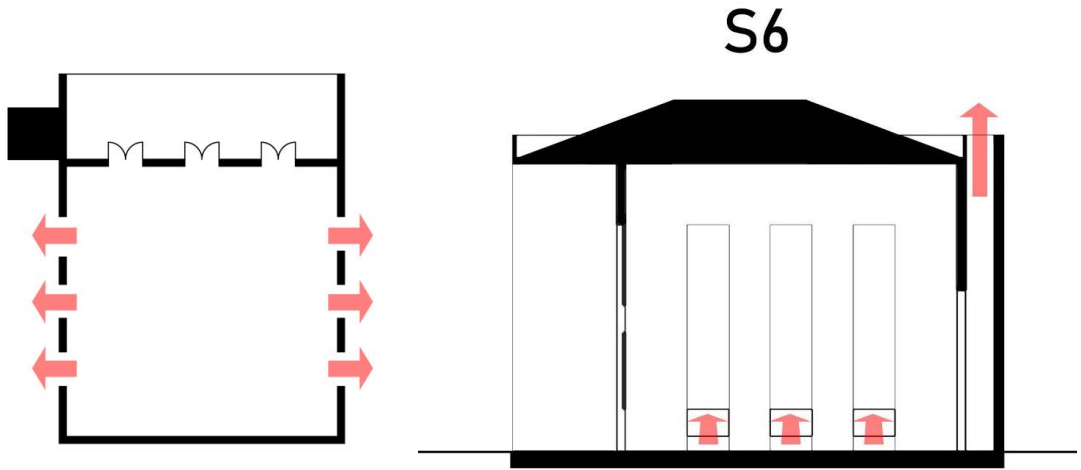


Şekil 5.48. Mihrap cephesindeki termal bacanın konumu ve havanın hareket yönü

Oluşturulan termal baca Şekil 5.49’da gösterildiği şekilde yapı içindeki ısınan havayı hızlandırarak tahliye edecek şekilde tasarlanmıştır. Mihrap duvarındaki maksimum ısınmanın oluşturduğu negatif basınç alanı yapı içindeki havanın bu bölüme doğru bir çekiş oluşturmasını sağlayarak mekanın soğutulmasına katkıda bulunmaktadır. Bu senaryo çalışma kapsamında S6 olarak isimlendirilmiştir. Şekil 5.50’de S6 senaryosunun şematik ifadesinde yapının hava tahliye noktaları gösterilmiştir.



Şekil 5.49. Mihrap cephesindeki termal bacadan sıcak havanın tahliyesi prensibi

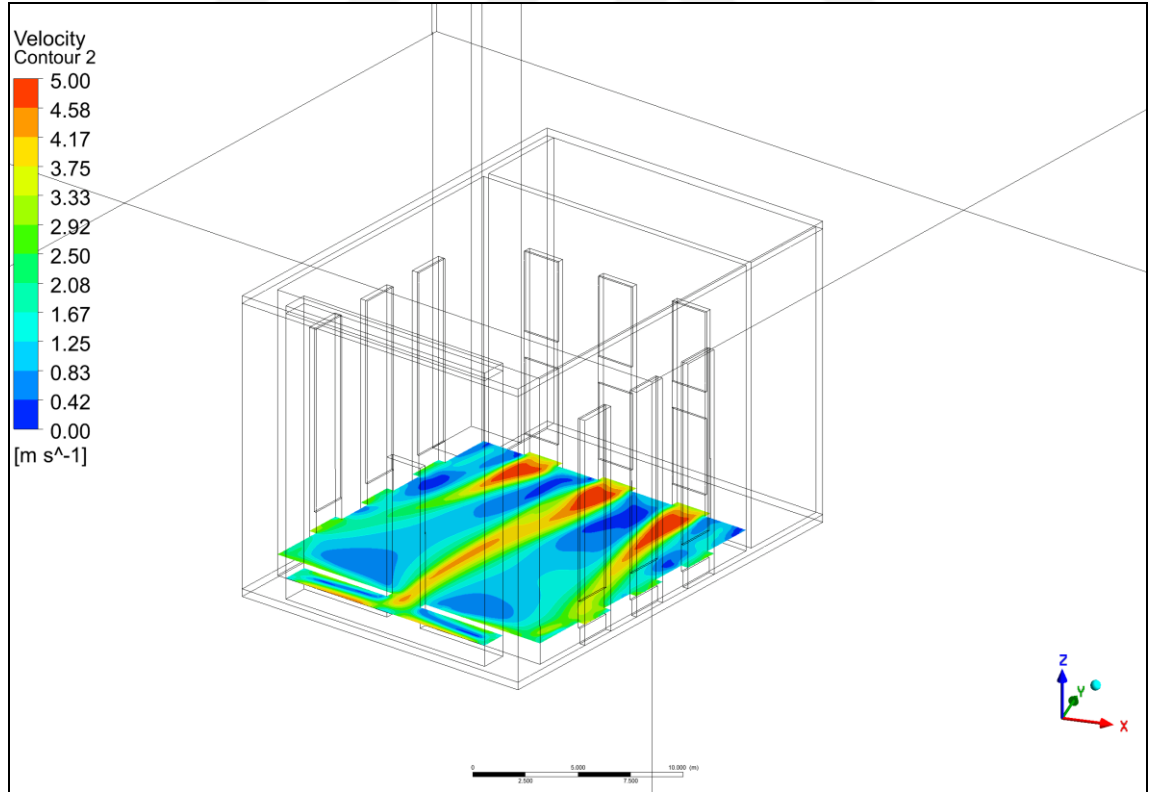


Şekil 5.50. Senaryo 6’da pencere açıklıklarının ve termal bacanın konumu

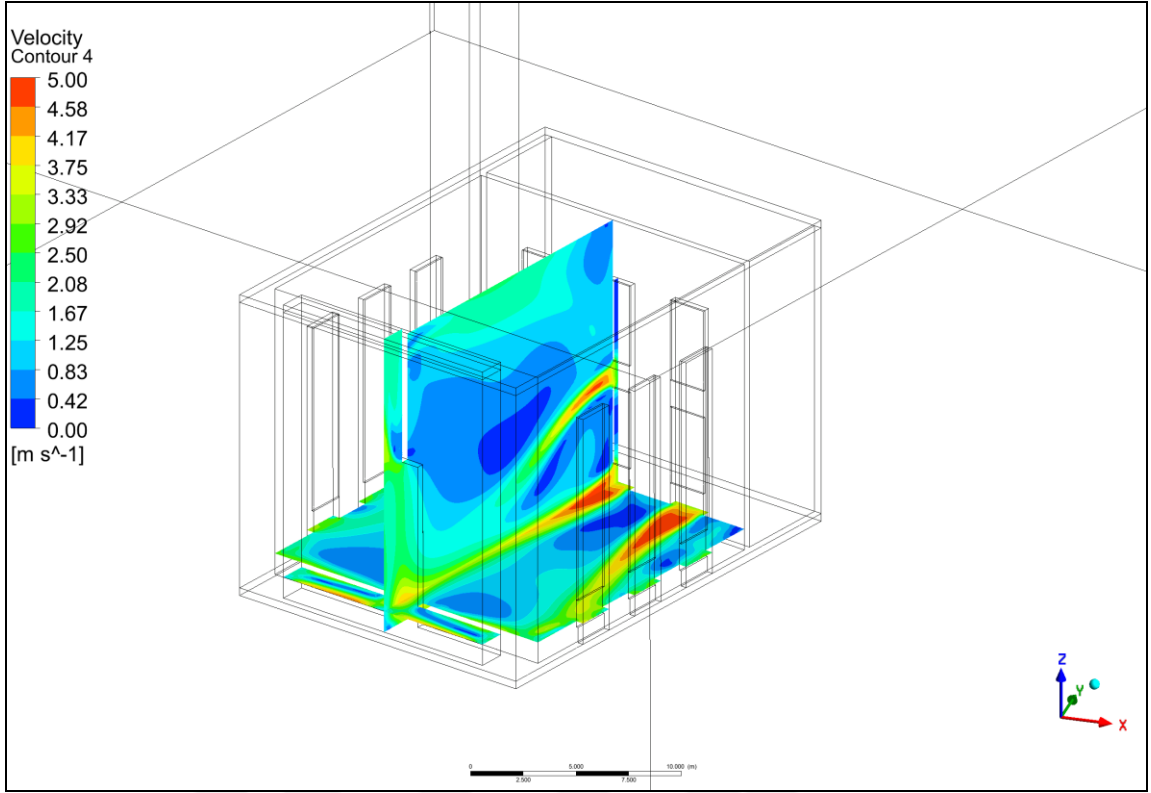
5.3.1. Akış hızlarının değerlendirilmesi

S6'ya ait hız kontur diyagramı Şekil 5.51'de gösterilmiştir. Diğer senaryolarla benzer şekilde hakim rüzgar yapı giriş cephesinden kapılar ve pencereler aracılığı ile akışın daraltılmasıyla hızlanarak yapı içine alınmaktadır. Yapı içinde mihrap yönüne hareket eden hava akışının bir kısmı yapı içindeki dolaşımına devam ederek mihrap yönündeki termal bacadan tahliye olmaktadır (Şekil 5.52). Akışın bir bölümü ise zemin kotundaki açıklıklardan tahliye edilmektedir.

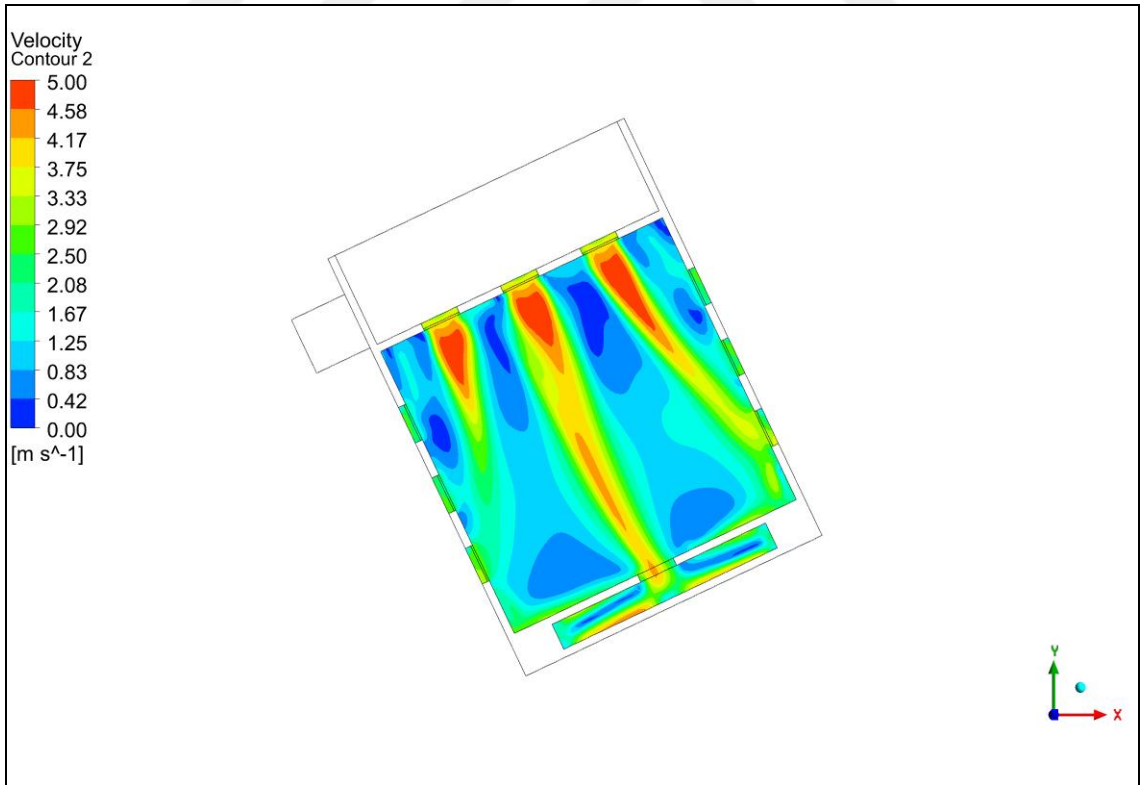
Akışın termal bacaya ulaştığı bölümlerde akışın hızlandığı görülmektedir (Şekil 5.53). Giriş cephesindeki orta kapıdan gelen akışın güçlü bir şekilde termal bacaya ulaştığı görülmektedir. Akış hızları bu senaryoda diğer senaryolara göre daha yüksektir. Diğer akışların yan cephelerdeki zemin seviyesindeki pencerelerden tahliye olduğu görülmektedir. İç hacmin geometrik merkezinde ise akışın yavaşladığı grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 5.51. S6'ya ait hız kontur diyagramı (yatay kesit)



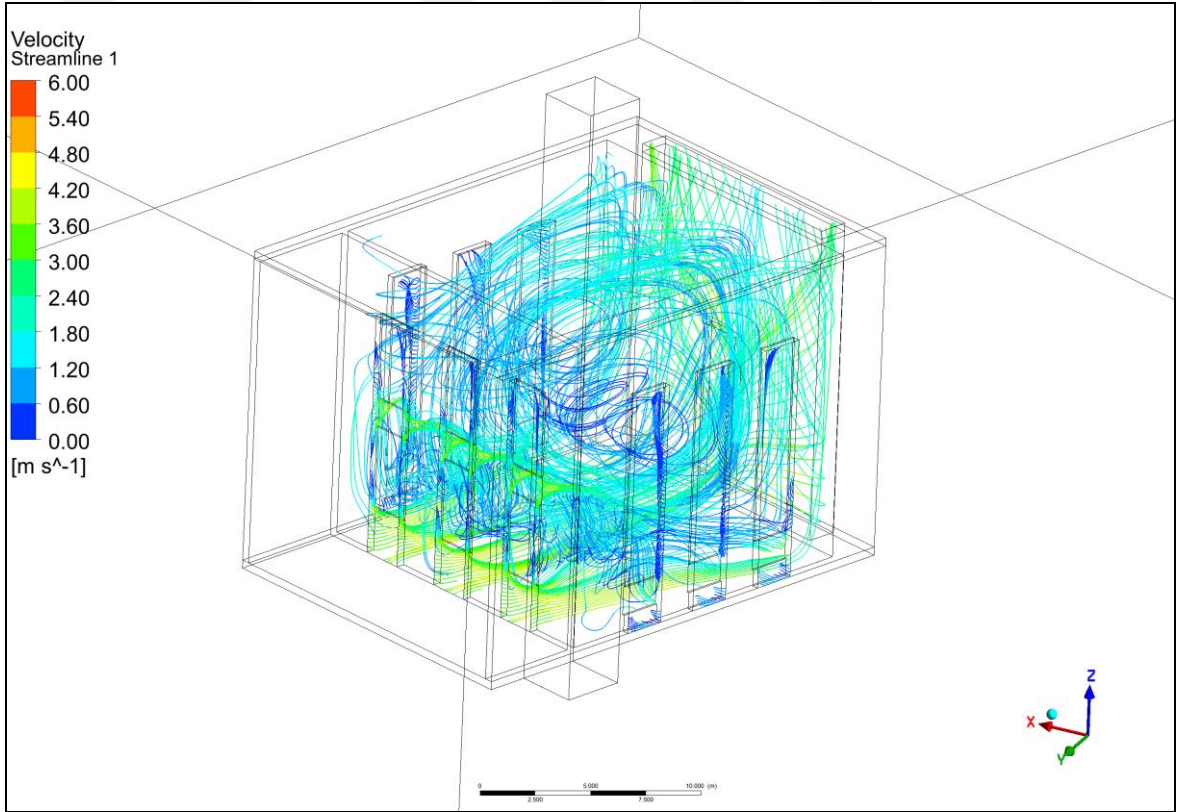
Şekil 5.52. S6'ya ait hız kontur diyagramı (dikey kesit)



Şekil 5.53. S6'ya ait hız kontur diyagramı (plan düzlemi)

Şekil 5.54'te S6'ya ait akış grafiği görülmektedir. Grafikteki çizgisel ifade havanın akış yönünü ve yapıyı terk edene kadar izlediği yolu göstermektedir. Çizgisel ifade yapı içindeki akış hızlarına göre renklendirilmiştir. Bu bağlamda sıcak renklere doğru gidildikçe akış hızlarının arttığı soğuk renklere gidildikçe akış hızlarının azaldığı lejanтта ifade edilmiştir.

Akış diyagramı incelendiğinde türbülanslı akışın yapı içinde oldukça düzensiz bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Bu da doğal havalandırma için olumlu bir durumdur. Akışın termal bacaya ulaştığı kısımlarda akışın hızlandığı anlaşılmaktadır. Yapı içindeki sıcak havanın bu termal bacadan tahliye olduğu akış çizgileri ile gösterilmiştir.

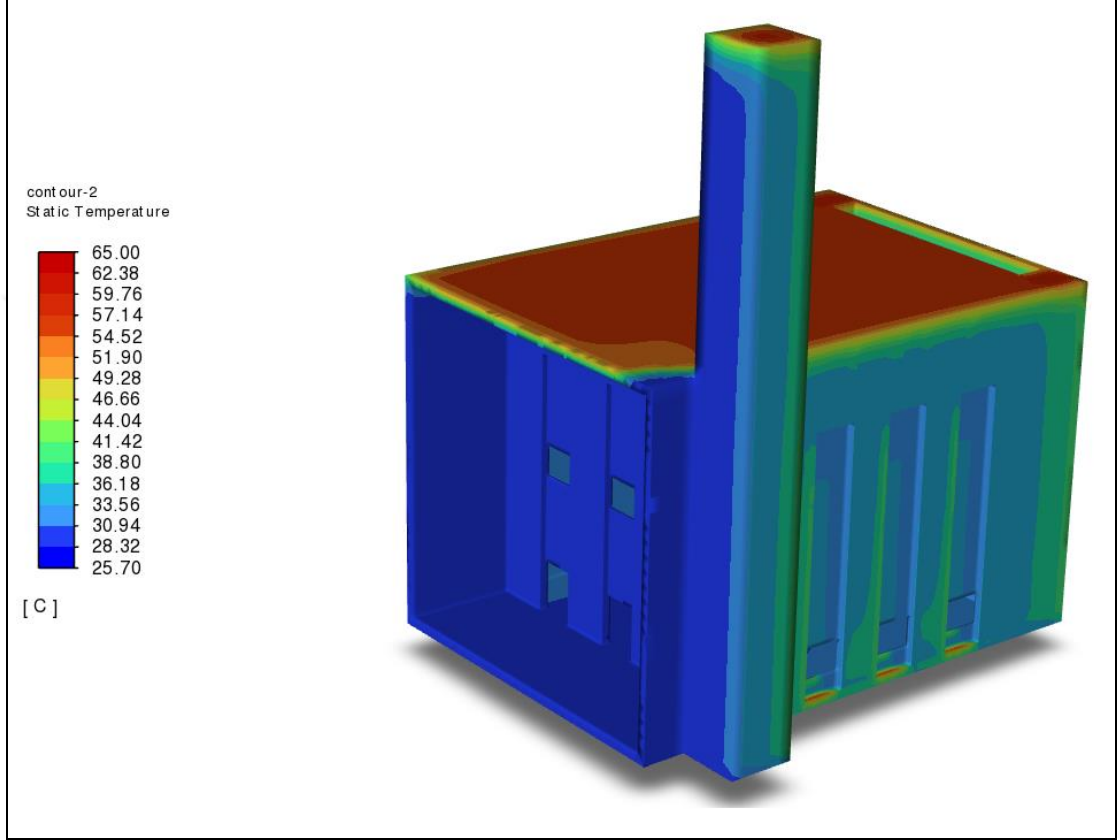


Şekil 5.54. S6'ya ait akış diyagramı

5.3.2. İç sıcaklıkların değerlendirilmesi

S6 senaryosuna ait dış sıcaklık grafiği Şekil 5.55'te görülmektedir. Dış sıcaklık grafiğine göre çatı ve minarenin en üst noktası 65 °C'ye kadar ısınmaktadır. Güneşe bakan cepheler de giriş cephesine göre daha fazla ısınmaktadır. Analiz güneşin yılın en

sıcak ayındaki etkisini yansıtacak şekilde ayarlandığından dış sıcaklıklar grafikteki derecelere ulaşmaktadır. Özellikle bu senaryoda termal baca bulunduğundan çatıdaki ısınma negatif basınç alanı oluşturmakta ve yapı içindeki havanın bu alandan tahliyesine destek olmaktadır.



Şekil 5.55. S6'ya ait dış sıcaklık diyagramı

Çizelge 5.8'de S6 senaryosuna ait mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi verileri gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre iç mekanın %13'lük bölümü 26,75-27,27 °C sıcaklık aralığındadır. Mekanın %20,28'lik kısmı 27,27-27,80 °C aralığındadır. Alanın %38,11'lik bölümü 27,80-28,33 °C'lik sıcaklık aralığında bulunmaktadır. %22,46'luk bölüm ise 28,33-28,85 °C sıcaklık aralığındadır. Geriye kalan kısımlar %10'dan düşük bir yüzdeyi temsil etmektedir.

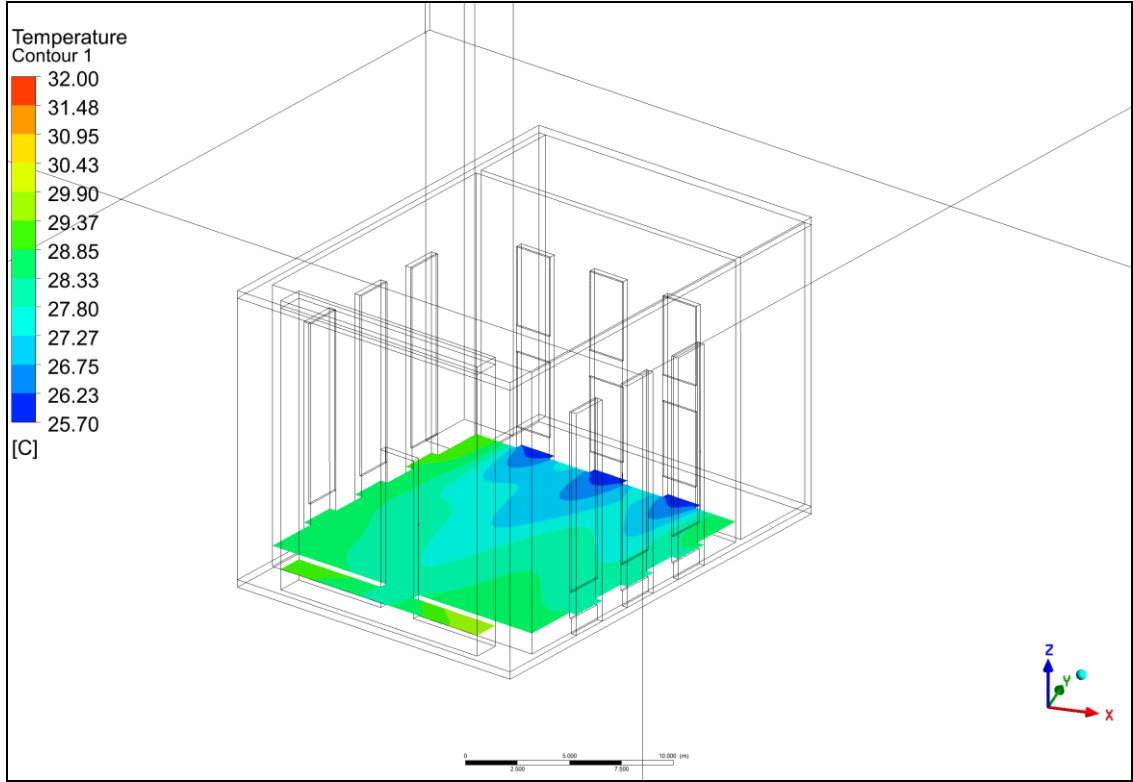
Şekil 5.56'da ise yapının iç sıcaklıkları sıcaklık kontur grafiği ile ifade edilmiştir. Grafiğe göre mihrap cephesine doğru yapı iç sıcaklıkları artmaktadır. Giriş cephesinde rüzgar hızının da etkisiyle soğutma daha verimli gerçekleşmiştir. Yapı üst kotlarına çıkıldıkçe dikey kesitte de görüldüğü gibi sıcaklar artmaktadır (Şekil 5.57).

Dikey kesitte görülen üst kottaki sıcaklıklar çatı açıklıkları düzenlenen alternatiflere göre (S4 ve S5) daha fazladır. Termal baca mekanın soğutulmasında olumlu görev yapmış olsa da çatı pencerelerinin sağladığı pasif soğutma değerlerine ulaşamamaktadır. Akış hızları diğer alternatiflere göre daha yüksek olan S6 alternatifi etkili bir havalandırma sağlamaktadır ancak sıcaklıkların üst kotlarda birikiminin önlenmesi için termal baca ile birlikte çatı yüzeylerinde de açıklık ihtiyacının olduğu anlaşılmaktadır.

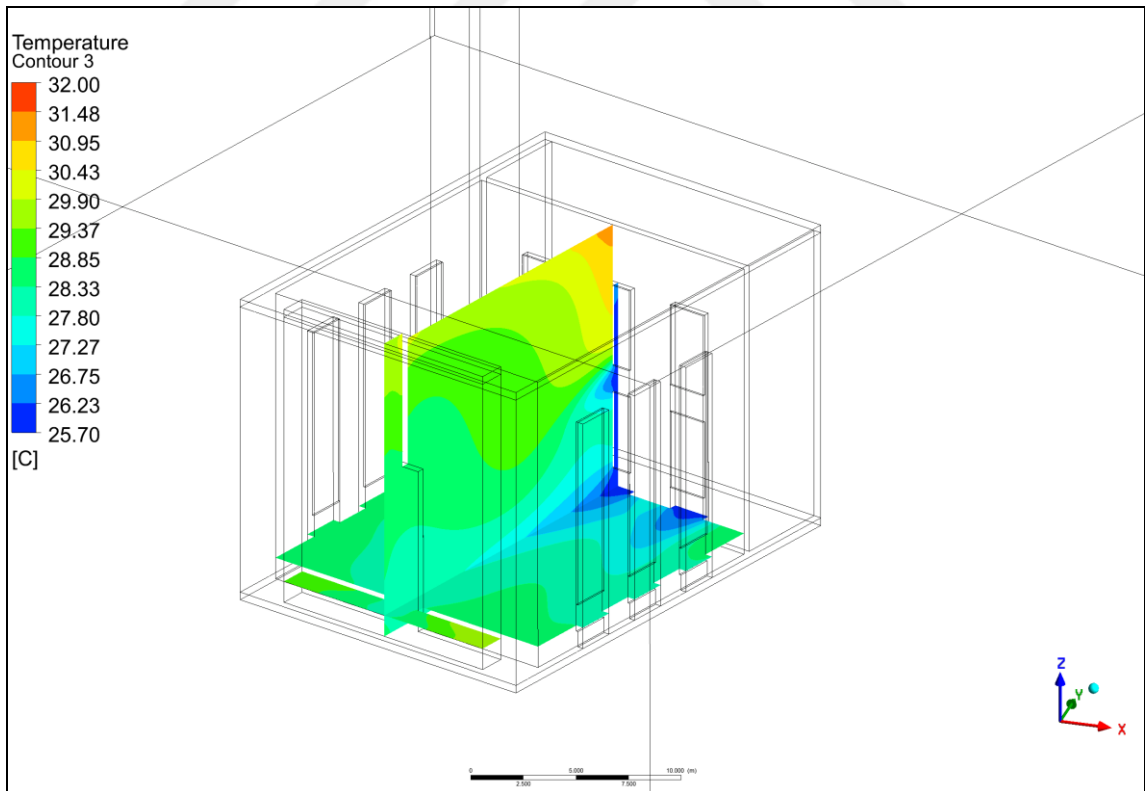
Çizelge 5.8. S6 senaryosunun mekan yüzdesi ve sıcaklık aralığı ilişkisi

Sıcaklık Aralığı	S6
25,70-26,23 °C	%0,85
26,23-26,75 °C	%3,80
26,75-27,27 °C	%13,00
27,27-27,80 °C	%20,28
27,80-28,33 °C	%38,11
28,33-28,85 °C	%22,46
28,85-29,37 °C	%1,50

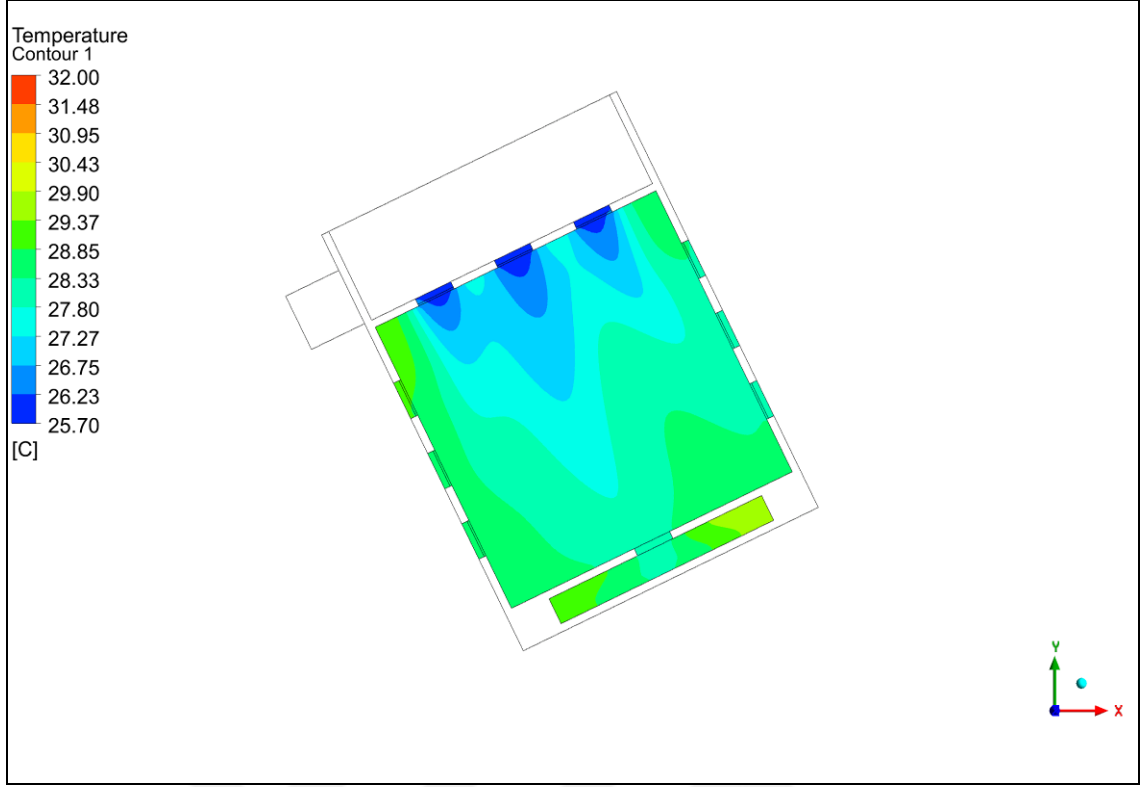
Şekil 5.58’de plan düzleminde iç sıcaklıklar görülmektedir. Bacanın içinde sıcaklıkların daha yüksek olduğu ve bu sebeple iç mekandan bir çekiş kuvveti oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bacaya hava geçişi için bırakılan boşluk kısmında mihrap cephesinin diğer kısımları ile kıyaslandığında iç sıcaklıklar daha düşüktür. Burada hava akış yolunun daraltılması ile bir hızlanma meydana gelmektedir. Hava hızının artması ile de soğutma artmaktadır.



Şekil 5.56. S6'ya ait sıcaklık kontur diyagramı (yatay kesit)



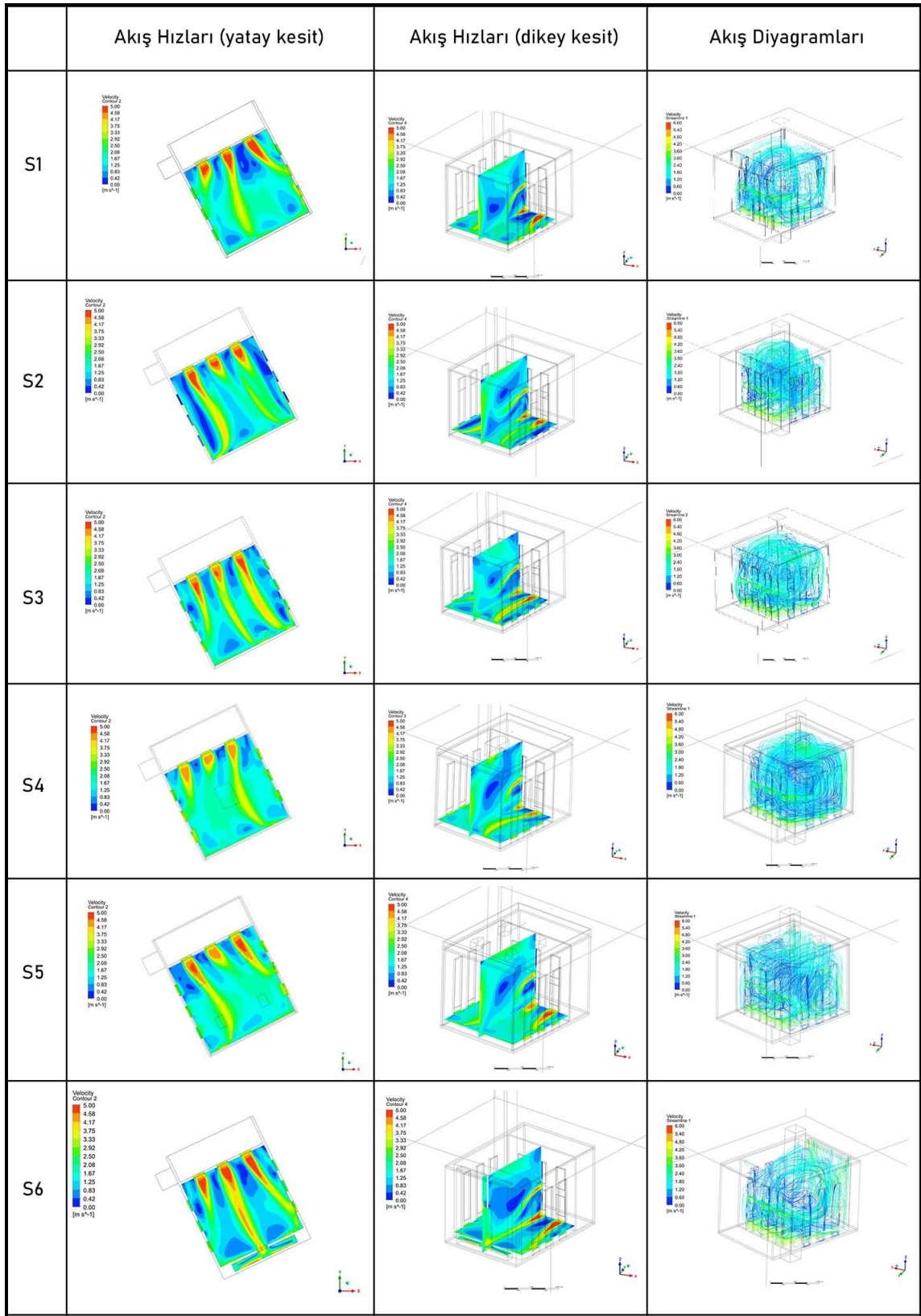
Şekil 5.57. S6'ya ait sıcaklık kontur diyagramı (dikey kesit)



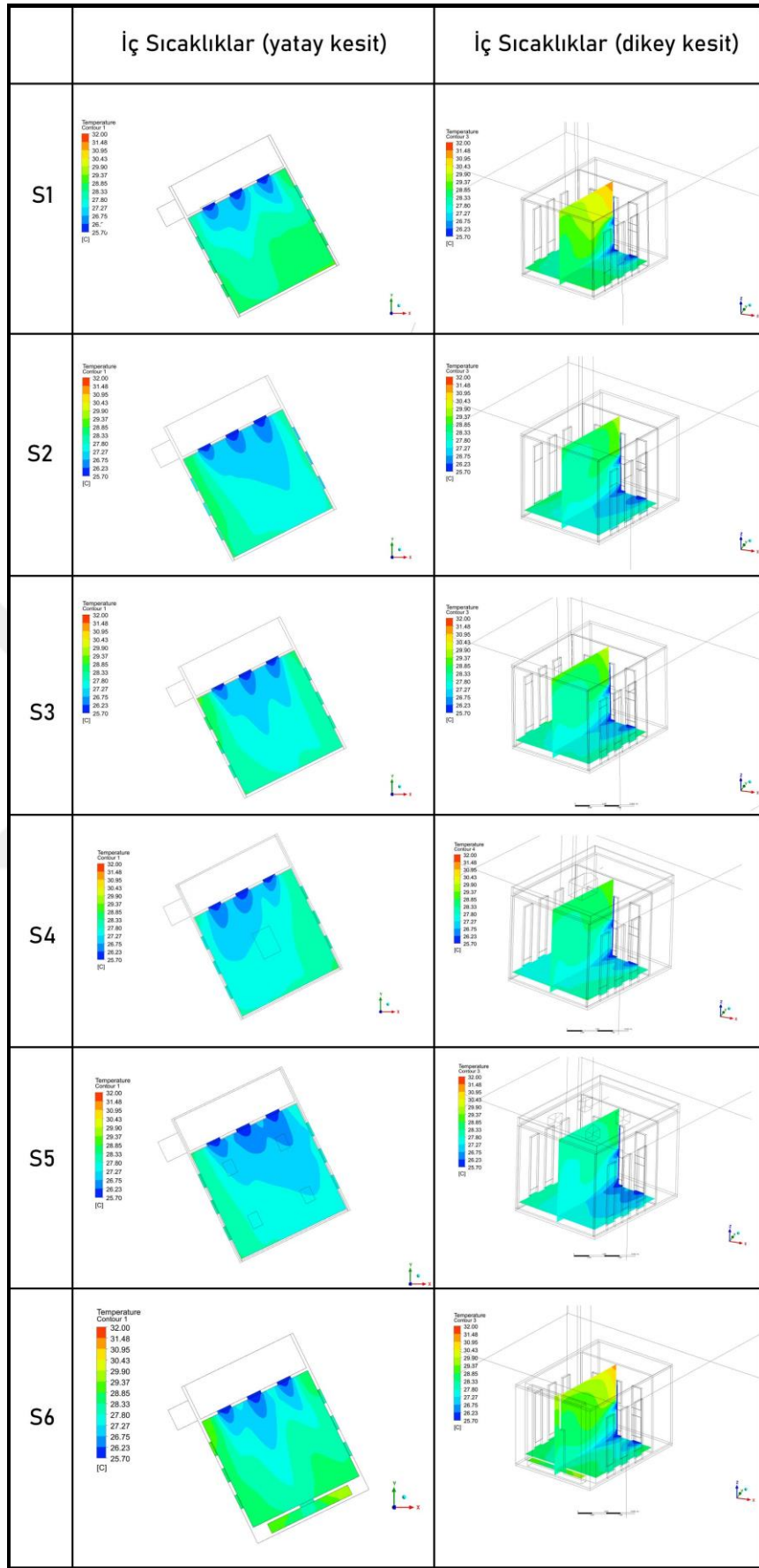
Şekil 5.58. S6'ya ait sıcaklık kontur diyagramı (plan düzlemi)

5.4. Bölüm Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında oluşturulan altı farklı senaryo, sıcaklık değerleri ve akış hızları bakımından analiz edilerek, cami yapılarında duvarlarda pencere konumlandırılması, çatı penceresi kullanımı ve termal baca kullanımı değerlendirilmiştir. Şekil 5.59 ve 5.60'ta incelenen tüm senaryolara ait simülasyon grafikleri toplu olarak verilmiştir. Simülasyonlardan elde edilen verilere göre camilerde üst kotlarda pencere kullanılmasının pasif soğutmada etkili olduğu görülmüştür. Yalnızca zemin seviyesinde açıklık tasarlamak üst kotlarda pencere açıklığı kullanmak ile kıyaslandığında yetersiz kalmaktadır. Burada açıklıkların yalnızca büyüklüğünün değil, konumlarının da doğal havalandırmada etkisi olduğu görülmüştür. Özellikle üst kotlarda tasarlanan açıklıkların etkili bir baca tipi havalandırma sağlamasıyla pasif soğutma artmıştır.



Şekil 5.59. Tüm senaryolara ait akış simülasyonları



Şekil 5.60. Tüm senaryolara ait sıcaklık simülasyonları

Çatı açıklıklarının incelendiği senaryolarda çatı açıklıklarının toplam büyüklüğü sabit kalmak sureti ile yalnızca sayısının değişmesi ile pasif soğutmanın etkilendiği görülmüştür. Burada açıklık sayısının arttırılması türbülanslı akışı yoğunlaştırarak pasif soğutmayı arttırmıştır. Bu sebeple birden fazla çatı açıklığı tasarlamak pasif soğutmayı arttırmaktadır.

Çatı açıklıkları ile ilgili elde edilen çalışma sonuçları, Othman'ın (2019) çalışması ile uyumludur. Othman kubbeli bir camide çatı açıklıklarını kubbenin üst kısmında, kubbenin yan kısımlarında ve hiç açıklık olmayacak şekilde tasarlayarak aralarındaki farkı ölçmüştür. Elde edilen sonuçta kubbenin üst kısmında tasarlanan açıklığın daha iyi havalandırma sağladığı görülmüştür. Çalışmamızda da yine çatı açıklığı tasarlandığı takdirde havalandırmanın oldukça etkili olduğu görülmüştür. Othman'ın çalışmasında açıklık sayısı değerlendirilmemiştir. Tez kapsamında özgün olarak çatıdaki açıklık sayısının değişmesi ile nasıl bir fark oluştuğu değerlendirilmiştir. Bu bağlamda açıklık sayısının toplam açıklık alanı değişmeden arttığında havalandırmanın daha etkili olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu da mimarlar için erken tasarım evresinde çatı açıklığı tasarlarken, açıklığın sayısını da göz önünde bulundurmalarının gerektiğini göstermektedir.

Son olarak Türkiye'de güneybatı yönünde bulunan kible yönündeki mihrap cephesinde özgün bir termal baca tasarımı yapılarak incelenmiştir. Termal bacalar hava akış hızının arttırılarak çekişin kuvvetlendirilmesi amacıyla, yapının en sıcak bölümlerinde düzenlenmektedir. Bu bağlamda cami yapıları için mihrap cephesi bu tip bir havalandırma için uygundur. Simülasyon sonuçlarına göre bu senaryoda akış hızlarının diğer senaryolara göre daha hızlı olduğu görülmüştür ancak bu senaryoda üst kotta pencere tasarlanmadığından üst kotlarda sıcak havanın birikmesi söz konusu olmuştur. Bu sebeple termal baca ile birlikte üst kotlarda da pencere tasarımı gerçekleştirmek pasif soğutmayı da arttıracaktır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Camilerde Doğal Havalandırma Tasarımında Uygulanabilecek Mimari Tasarım Kriterleri

Ülkemizde cami mimarisine ilişkin tartışmalar, geleneksel formların stilize edilerek kullanılması ile 16. yüzyıl Osmanlı Mimarisinin taklitleri arasında yoğunlaşmaktadır. Ancak ibadet işlevi de gün içindeki diğer faaliyetler gibi belirli konfor koşullarını gerektirir. Bu konforun doğru şekilde sağlanması ibadetlerin de kolaylaşmasını sağlayacaktır. Bu bağlamda camilerin fiziki koşullarının da akademik araştırmalara konu olması gerekmektedir. Bu konfor koşullarını sağlamak için harcanan enerji de sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından yayınlanan 12. Kalkınma Planı (2024-2028) “Enerji” başlığında 508.1 no’lu maddede “Kamu binalarının daha verimli hale getirilmesine yönelik uygulamalara devam edilecektir.” ibaresi bulunmaktadır. Bu bağlamda enerji tüketimimizi azaltma hedefimiz için camilerdeki soğutma enerjisi tüketiminin azaltılması oldukça önemlidir. Pasif soğutma da bu enerji tüketimine yönelik değerlendirilmesi gereken sürdürülebilir bir alternatiftir.

Günümüzde genellikle sabit pencereli olarak tasarlanan modern camiler, çatı açıklıklarının ve farklı kotlarda tasarlanabilecek pencerelerin doğal havalandırmaya yapabileceği katkıyı göz ardı etmektedir. Bu çalışmada doğal havalandırma, farklı pencere konfigürasyonları, termal baca kullanımı ve çatı açıklıklarının pasif soğutmaya etkisi simülasyon çalışmalarıyla ortaya konmuştur. Çalışma sonucunda cami tasarımında üst kotlarda pencere tasarımı yapmak, çatı açıklıkları tasarlamak ve mihrap duvarının termal baca olarak değerlendirilmesiyle binanın pasif soğutulmasına olumlu katkı sunulduğu görülmüştür. Bu bağlamda mimarların erken tasarım aşamasında kullanabilecekleri kriterler sunulmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve tasarım kriterleri aşağıdaki gibidir:

- Camiler kat yüksekliği insan ölçeğinden oldukça yüksek olacak şekilde tasarlanan yapılardır. Cami büyüklüğü arttıkça kat yüksekliği de orantılı olarak artmaktadır. Bu sebeple yapı fiziği açısından bu yapıları diğer yapılar gibi değerlendirmek doğru değildir.

- Cami tasarımı yapılırken açıklık tasarımları doğru şekilde tasarlanarak doğal havalandırma ile pasif soğutma sağlanabildiği çalışma sonuçlarıyla ortaya konmuştur.
- Günümüz teknolojisi itibariyle insan erişiminin mümkün olmadığı kotlarda açılabilir pencereler düzenlemek mümkün ve ekonomik olarak ulaşılabilir. Bu sebeple cami yapılarının iç mekan yüksekliğinden faydalanarak baca etkisini kullanmanın önünde engel yoktur.
- Analiz sonuçlarına göre açıklık büyüklüğü sabit kalırken yalnızca açıklıkların konumlarının değiştirilmesi ile pasif soğutmanın arttırılabildiği görülmüştür. Buradan açıklıkların yalnızca büyüklüğünün değil konumunun da doğal havalandırma ve pasif soğutma üzerinde etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Çalışma sonuçlarına göre üst kotlarda tasarlanan pencereler yapının pasif olarak soğutulmasında oldukça etkili olmuş ülkemizdeki yaygın tasarım tipolojisine göre çok daha olumlu performans göstermiştir. Bu sebeple cami yapılarının erken tasarım evresinde duvarların üst kotlarında açılabilir pencereler tasarlanmalıdır.
- Cami tasarımında çatı açıklıklarının kullanılması ve doğru konumlandırılması çalışma sonuçlarına göre havalandırma ve pasif soğutma sağlanmasında olumlu sonuçlar ortaya koymuştur. Bu bağlamda cami yapıları için erken tasarım evresinde mutlaka çatı açıklıkları göz önünde bulundurulmalıdır.
- Çalışma sonuçlarına göre çatıda tasarlanan pencerelerin toplam açıklık alanı aynı büyüklükte kalmak suretiyle açıklık sayısının değişmesi havalandırmayı ve pasif soğutmayı etkilemiştir. Açıklık sayısının arttırılması tek bir açıklığın kullanılmasından daha olumlu sonuçlar vermiştir. Bu sebeple erken tasarım evresinde çatı açıklığı tasarlanırken, çatı açıklığının birden fazla sayıda tasarlanması daha etkili bir havalandırma sağlamaktadır.

- Ülkemizde kible yönü güneydoğu yönünde bulunmaktadır. Bu bağlamda mihraplar her zaman en çok güneşe maruz kalan dolayısı ile en çok ısınan yapı cephelerindendir. Termal bacalar; yapının en sıcak bölgelerine yerleştirilen, ısınan havanın yükselmesi ve basınç farkı sonrasında oluşan hava akımları yardımıyla sıcak havanın dışarı atılmasına yardımcı olan yapı elemanlarıdır. Bu nedenle de camilerin güneş etkisiyle en çok ısınan bölümlerinden olan mihrap duvarının termal baca olarak değerlendirilmesi incelenmiştir. Özellikle akış hızları üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu görülmüştür. Bu bağlamda mihrap duvarlarının termal baca potansiyeli erken tasarım evresinde göz önünde bulundurularak pasif soğutma güçlendirilebilir.

6.2. Gelecek Çalışmalar için Öneriler

Camilerde pasif soğutma alanında gelecek çalışmalar için bazı öneriler aşağıda sunulmuştur :

- Camilerde doğal havalandırmaya yapı kabuğunun etkisi çeşitli yapı kabuklarının tasarımı ile ölçülerek pasif soğutmaya katkısı ele alınabilir.
- Cami pencerelerinde farklı güneş kırıcı tasarım denemeleri yapılarak doğal havalandırma üzerine etkileri test edilebilir.
- Mihrapta termal baca denemesi daha detaylandırılarak baca sayısının artırılması, mekana baca bağlantısı sayısının artırılması, bağlantıların kotlarının farklılaştırılması gibi senaryolar oluşturularak en verimli termal baca tasarımı bulunabilir.
- Diyanet İşleri Başkanlığının Cami Planlama ve Tasarım Kılavuzunda yüzeysel olarak değinilen sürdürülebilirlik bölümü cami üzerine yapılacak diğer sürdürülebilirlik çalışmaları ile genişletilerek çok daha kapsamlı bir bölüm haline getirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abass, F., Ismail, L. H., Wahab, I. A., & Elgadi, A. A. (2020). A review of green roof: definition, history, evolution and functions. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 713, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
- Al Sudany, J.A.A.W.J.(2015). Employment Minarets Wind-catcher Natural Ventilation and Passive Cooling in the Mosques of Baghdad. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5 (5), 3186-3192.
- Alhasan, W. & Yuning, C. (2019). Environmental analysis of Nanjing Mosque courtyard layout based on CFD simulation technology. *E3S Web of Conferences*, 136. doi:10.1051/e3sconf/201913604040
- Al-Homoud, M. S., Abdou, A. A., & Budaiwi, I. M. (2009). Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates. *Energy and Buildings*, 41(6), 607-614.
- Al-Homoud, M. S., Abdou, A. A., & Budaiwi, I. M. (2009). Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates. *Energy and Buildings*, 41(6), 607-614. doi:10.1016/j.enbuild.2008.12.005
- Ali, C., & Özer, Y. S. (2012). Sıcak iklimlerde bina içi iklimlendirme için geleneksel bir sistem: Rüzgâr bacaları. *Tesisat Mühendisliği*, 127, 31-35.
- Anadolu Ajansı*. “Avrupa, enerji krizine karşı yeni önlemler alıyor” (12 Eylül 2022). <https://www.aa.com.tr/tr/dunya/avrupa-enerji-krizine-karsi-yeni-onlemler-aliyor/2682899>
- ANSYS. (2009). Ansys Fluent 12.0 [Computer software]. ANSYS Fluent 12.0 User’s Guide.
- Aras, B. B. (2019). Kentsel sürdürülebilirlik kapsamında yeşil çatı uygulamaları. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(1), 469-504.

- Asfour, O. S. (2009) Effect of Mosque Architectural Style on Its Thermal Performance, *The Islamic University Journal (Series of Natural Studies and Engineering)*,17 (2), 61-74.
- ASHRAE Standard 55. (2010). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- Atmaca, A. B., & Gedik, G. Z. (2019). Evaluation of mosques in terms of thermal comfort and energy consumption in a temperate-humid climate. *Energy and Buildings*, 195, 195-204. doi:10.1016/j.enbuild.2019.04.044
- Azkur, H.S. Fotoğraf Arşivi 2023.
- Azmi, N. A., & Ibrahim, S. H. (2020). A comprehensive review on thermal performance and envelope thermal design of mosque buildings. *Building and Environment*, 185. doi:10.1016/j.buildenv.2020.107305
- Azmi, N. A., Arıcı, M., & Baharun, A. (2021). A review on the factors influencing energy efficiency of mosque buildings. *Journal of Cleaner Production*, 292. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126010
- Bakhlah, M. S., Hassan, A. S. (2012). The Study of Air Temperature When the Sun Path Direction to Ka'abah: with a Case Study of Al-Malik Khalid Mosque, Malaysia. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*,3(2), 185-202.
- Bhattacharyya, S., P. Abraham, J., Cheng, L., & Gorman, J. (2022). Introductory Chapter: A Brief History of and Introduction to Computational Fluid Dynamics. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.97235
- Brager, G., De Dear, R. (2000). A standard for natural ventilation. *ASHRAE Journal*.

- Budaiwi, I.M., Abdou, A.A., Al-Homoud, M.S. (2013). Envelope retrofit and air-conditioning operational strategies for reduced energy consumption in mosques in hot climates. *Building Simulation*, 6:33-50.
- Ching, F. D. & Adams, C., (2001). *Çizimlerle bina yapım rehberi*. Yapı Yayın.
- Clements-Croome, D. (Ed.). (1997). Naturally Ventilated Buildings: Building for the senses, the economy and society. Routledge.
- Costanzo, V., Evola, G., & Marletta, L. (2013). Cool roofs for passive cooling: performance in different climates and for different insulation levels in Italy. *Advances in Building Energy Research*, 7(2), 155-169.
- Çalış, G., Kuru, M., & Alt, B. (2017). Bir Eğitim Binasında Isıl Konfor Koşullarının Analizi: İzmir’de Bir Alan Çalışması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22(2), 93-106. doi:10.17482/uumfd.336437
- Darçın, P. & Balanlı, A. (2011) Yapılarda doğal havalandırmanın sağlanmasına yönelik ilkeler. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir. ss. 1663-1674.
- Darçın, P., 2008, Yapı içi hava kirliliğinin giderilmesinde doğal havalandırma ilkeleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dehghani-sani, A. R., Soltani, M., & Raahemifar, K. (2015). A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 182-195.
- Demir, H. (2013). Doğal Havalandırma Yöntemlerinin Sayısal Modellemesi. Doctoral dissertation, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Diler, Y., Turhan, C., Durmuş Arsan, Z., & Gökçen Akkurt, G. (2021). Thermal comfort analysis of historical mosques. Case study: The Ulu mosque, Manisa, Turkey. *Energy and Buildings*, 252. doi:10.1016/j.enbuild.2021.111441

- El-Deeb, K. (2013, September 10-12). Combined Effect of Window-To-Wall Ratio and Wall Composition on Energy Consumption. In *PLEA 2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future*, Munich, Germany.
- EPA. (2018). Estimating the environmental effects of green roofs: A case study in Kansas City, Missouri. EPA 430-S-18-001. www.epa.gov/heat-islands/using-greenroofs-reduce-heat-islands.
- EPIAŞ. (2024). Elektrik Yüzdesel Tüketim Bilgileri. <https://seffaflik.epias.com.tr/electricity/electricity-consumption/ex-post-consumption/percentage-of-consumption-information>.
- Fanger PO. 1970. *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Goia, F. (2016). Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential, *Solar Energy*, 132, 467-492.
- Gürsoy, E. (2018). Cami tip projelerinde ölçü-oran ilişkisi. *Türk Dünyası Araştırmaları*, 118(232), 211-228.
- Imam, S. N. M., 2003, Ventilation in a Mosque – an Additional Purpose the Minarets May Serve, *The 7th International Conference - Healthy Buildings*, Singapore.
- Jaffe, S. B., Fleming, R., Karlen, M., & Roberts, S. H. (2020). *Sustainable design basics*. John Wiley & Sons.
- Jamei, E., Chau, H. W., Seyedmahmoudian, M., & Stojcevski, A. (2021). Review on the cooling potential of green roofs in different climates. *Science of the Total Environment*, 791, 148407.

- Ji, Y., Lomas, K. J., & Cook, M. J. (2009). Hybrid ventilation for low energy building design in south China. *Building and Environment*, 44(11), 2245-2255.
- Jo, S. J., Jones, J., & Grant, E. (2018). Trends in the application of CFD for architectural design. *ARCC Conference Repository*.
- Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J. K., Yusof, M. B. M., Zaki, S. A., Hughes, B. R., & Yazid, M. N. A. W. M. (2017). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 736-756. doi:10.1016/j.rser.2016.11.254
- Küçüker, S., 2019, Mimari tasarım sürecinde doğal havalandırma ilkeleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Külekcı, E. A. (2017). Geçmişten günümüze yeşil çatı sistemleri ve yeşil çatılarda kalite standartlarının belirlenmesine yönelik bir araştırma. *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi*, 1(1), 35-53.
- Li, W. C., & Yeung, K. K. A. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 127-134.
- Linden, P. F. (1999). The fluid mechanics of natural ventilation. *Annual review of fluid mechanics*, 31(1), 201-238.
- Maarof, S., (2014), Roof Designs And Affecting Thermal Comfort Factors In A Typical Naturally Ventilated Malaysian Mosque, PhD Thesis, *Cardiff University School of Architecture*, UK.
- Mohammed, A. G., Abdelgawad, A. F., Nassief, M. M. (2020) Artificial Neural Networks to Assess the Effect of Window Parameters on Indoor Natural

Ventilation in “Sultan Al-Ashraf Qaytbay” Mosque, *The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology*, 30, 51-65.

Mushtaha, E., & Helmy, O. (2017). Impact of building forms on thermal performance and thermal comfort conditions in religious buildings in hot climates: a case study in Sharjah city. *International Journal of Sustainable Energy*, 36(10), 926-944. doi:10.1080/14786451.2015.1127234

Nordin, N. I., & Misni, A. (2017). A Comparative Study on the Indoor Thermal Performance of New and Old Mosques. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, 2(5). doi:10.21834/e-bpj.v2i5.677

Nordin, N. I., & Misni, A., 2018. Evaluating the interior thermal performance of mosques in the tropical environment. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 117. doi :10.1088 /17551315/117/1/012014

Othman, F. Z., Ahmad, S. S., Hanapi, N. L. (2019). The Relationship Between Ventilation And Opening Strategies Of Domed Mosque For Indoor Comfort, *e – Academia Special Issue*, 85-91.

Rabeharivelo, R. (2022). Geleneksel rüzgar kulesi aracılığıyla havalandırılan bir sınıf mekanının termal konfor açısından simülasyon yöntemi ile araştırılması: Trabzon örneği. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Rahim, M., Marasabessy, F., Evaluation of Natural Ventilation Characteristics on the Sultanate of Ternate Mosque, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 506, doi:10.1088/1757-899X/506/1/01203

Rasli, N. B., Ramli, N. A., Ismail, M. R., Zainordin, N. S., Razman, M. R. (2021). Effectiveness Of Ventilation Strategies In Reducing The Temperature In The Main Prayer Halls Of Mosques In Malaysia, *Journal of Engineering Science and Technology*, 16 (4), 2960-2979.

- Ray, S. D., Sadaba, S., & Leung, L. (2017). Intelligently controlled naturally ventilated mosque – a case study of applying design tools throughout the design process. *International Journal of Ventilation*, 16(2), 124-133. doi:10.1080/14733315.2016.1214386
- Santamouris, M. (Ed.). (2007). *Advances in passive cooling*. Routledge.
- Sanusi, A. N. Z., Abdullah, F., Azmin, A. K., & Kassim, M. H. (2020). Passive Design Strategies of Colonial Mosques in Malaysia. In *Green Buildings and Renewable Energy* (pp. 247-262).
- Şenkal Sezer, F., Kaymaz, E. (2016). The User's Perception of Indoor Comfort Conditions in Historical Mosques: The Case of Bursa, Turkey. *International Journal of Humanities and Social Science*, 6(9), 43-54.
- Taleb, H. M. (2014). Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in UAE buildings. *Frontiers of architectural research*, 3(2), 154-165.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022). SEGE Raporu.
- TRT Haber. “Avrupa, enerji krizine karşı yeni önlemler alıyor” (11 Ocak 2024). <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/emisyon-azaltimi-hedefine-enerji-verimlilikle-ulasilacak-828126.html>
- TS EN ISO 7730 Isıl çevrenin ergonomisi – PMV ve PPD indislerinin hesabını ve bölgesel ısı konfor kriterlerini kullanarak ısı konforun analitik olarak belirlenmesi ve yorumu, 2006.
- Turkish Standards Institution (2013). Thermal insulation requirements for buildings. (Standard no. TS 825 :2013)
- URL-1 <https://www.mimarizm.com/haberler/gundem/dunyadan-carpici-13-yesil-cati-ornegi_127938> Erişim Tarihi : 10.12.2023

- URL-2 <https://arkeofili.com/biri-haric-antik-dunyanin-7-harikasinin-nerede-oldugunu-biliyoruz/> Erişim Tarihi : 10.12.2023
- URL-3 <<https://www.archdaily.com/971216/what-is-a-traditional-windcatcher>> Erişim Tarihi : 10.12.2023
- Van Leer, B. (1999). CFD education - Past, present, future. In *37th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* (pp. 910).
- Yang, T., & Clements-Croome, D. J. (2012). Natural Ventilation natural ventilation in Built Environment natural ventilation in-built environment. In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (pp. 6865-6896).
- Yıldırım, B., Öztürk, B., & Özen, H. A. (2022). Pencere Şekli, Konumu ve Boyutunun Binaların Doğal Havalandırmasına Etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1405-1412.
- Young, D. F., Munson, B. R., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W. (2018). Akışkanlar mekaniğine giriş (5th Ed). Nobel Academic Publishing.
- Yusoff, W. F. M., & Ja'afar, N. H. (2019). Preliminary evaluation of indoor thermal comfort in Malaysia heritage mosque. *MATEC Web of Conferences*, 277. doi:10.1051/matecconf/201927702016
- Arslan, H. D. (2019). Ecological Design Approaches in Mosque Architecture. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 10 (12), 1374-1377.
- Yüceer, N. S. (2015). *Yapıda Çevre ve Enerji*. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Yüksek, İ., Esin, T., 2011, Yapılarda enerji etkinliği bağlamında doğal havalandırma yöntemlerinin önemi. *Tesisat Mühendisliği*, 125, 63-77.

- Yüksel, A., Arıcı, M., Krajčák, M., & Karabay, H. (2020). Experimental investigation of thermal comfort and CO₂ concentration in mosques: A case study in warm temperate climate of Yalova, Turkey. *Sustainable Cities and Society*, 52. doi:10.1016/j.scs.2019.101809
- Zargari, S. S. (2016). Binalarda rüzgar bacası ve enerji verimliliği. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 8(30), 85-101.
- Zhai, Z. (2006). Application of computational fluid dynamics in building design: aspects and trends. *Indoor and built environment*, 15(4), 305-313.
- Zhang, H., Yang, D., Tam, V. W., Tao, Y., Zhang, G., Setunge, S., & Shi, L. (2021). A critical review of combined natural ventilation techniques in sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110795.