



Tricklevent Yenilikçi Pasif Cephe Havalandırma Sisteminin Isıl Konfor ve Enerji Tasarrufu Açısından İncelenmesi

Kemal Furkan Sökmen^{1*}, Burhan Ergüner², İlknur Akın²

¹ Bursa Teknik Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8647-4861)
furkan.sokmen@btu.edu.tr

² Metal ve Yapı Sistemleri Tic ve A.Ş İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1159-1662, ORCID: 0000-0001-9078-5398)
burhan.erguner@metalyapi.com ilknur.akin@metalyapi.com

(International Symposium on Innovative Approaches in Engineering, Architecture and Science (ISAS) 2022 – 28-29 May 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1130037)

ATIF/REFERENCE: Sökmen, K.F., Ergüner, B., Akın, İ., (2022). Tricklevent Yenilikçi Pasif Cephe Havalandırma Sisteminin Isıl Konfor ve Enerji Tasarrufu Açısından İncelenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (37), 170-178.

Öz

Çalışmamızda 2013/08326 başvuru numaralı uluslararası patent numaralı Tricklevent pasif havalandırma sisteminin ısıl konfor etkilerini ve enerji tasarrufunu incelenmiştir. Tricklevent yenilikçi pasif havalandırma sistemi, cepheye yerleştirilen ve dikey veya yatay olarak tasarlanmış bir otomasyon sistemi ile kontrol edilen bir havalandırma sistemidir. Çalışmamızda Tricklevent sistemli 14 m²'lik bir prototip odası inşa edilmiş ve sistem kapalı-açık olarak termokupullarla belirlenen yerlerden ölçümler alınmıştır. Testler, 15-16 Ağustos 2021 tarihinde günün en sıcak saatlerinde saat 11:00'de gerçekleştirildi. Sistem ayrıca hesaplamalı akışkanlar mekaniği yazılımı ile analiz edilmiştir. Sayısal analiz için Re sayısı hesaplanmış ve akışın türbülanslı olduğu belirlenmiştir. Analizlerde k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Analizde ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Radyasyon modeli olarak Ayrık Transfer modeli kullanılmıştır. 1009 W/m² güneş yükü tanımı yapılmıştır. Ortam havasının hızı 1,94 m/s, basınç farkı 2,19 Pa ve sistemden alınacak hava debisi 0,024 m³/s olarak hesaplanmıştır. Testlerde elde edilen sonuçlara göre Tricklevent sistemi kapatıldığında iç ortam sıcaklığının radyasyon etkisiyle 16 dk içinde ortam sıcaklığını aştığı, sistem açıkken iç ortam sıcaklığının 16 dakikada maksimum 30 °C'ye, 24 dakika sonra ise 34,5 °C'ye ulaştığı tespit edilmiştir. Tricklevent Y.P.H.S açıkken ortamda 2-3 °C'lik bir sıcaklık düşmesinin yeterli olduğu, sistem kapalıyken ise klimanın yaklaşık 6,5-7,5 °C'lik bir sıcaklık düşüşü sağlaması gerektiği belirlenmiştir. Kompresör çalışma süresi sistem kapalıyken daha fazla olacağı görülmüştür. Çalışma sonucunda prototip odasında 14kwh enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Klimanın gücüne göre klimanın 16 dakika çalıştırılmaması sonucunda 1 saatlik sürede %16 tasarruf sağlanmıştır. Binanın yüksekliğine bağlı olarak hava akışı ve sıcaklıkta sağlanan avantaj ile klimanın çalışma süresi 34 dakikaya kadar çıkabilmektedir. Bu, yapılacak enerji tasarrufunun 1 saatlik zaman içinde %16-50 arasında olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Pasif havalandırma, Enerji tasarrufu, enerji, Isıl konfor, Tricklevent, Havalandırma, Hesaplamalı akışkanlar mekaniği, Bina cephe sistemleri.

Investigation of Tricklevent Innovative Passive Facade Ventilation System in Terms of Thermal Comfort and Energy Saving

Abstract

In our study, the effects of the Tricklevent passive ventilation system with the international patent application number 2013/08326 on thermal comfort and energy saving were examined. Tricklevent innovative passive ventilation system is a ventilation system placed on the facade and controlled by an automation system designed vertically or horizontally. In our study, a 14 m² prototype room with Tricklevent system was built and measurements were taken from places determined by thermocouples as the system was closed-open.

* Sorumlu Yazar: Bursa Teknik Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8647-4861, furkan.sokmen@btu.edu.tr

The tests were conducted at 11:00 am during the hottest hours of the day on August 15-16, 2021. The system was also analyzed with computational fluid mechanics software. For numerical analysis, the Re number was calculated and it was determined that the flow was turbulent. The k-ε turbulence model was used in the analyses. In the analysis, independence from the network was studied. The Discrete Transfer model was used as the radiation model. 1009 W/m² solar load is defined. The velocity of the ambient air is calculated as 1.94 m/s, the pressure difference is 2.19 Pa and the air flow to be taken from the system is calculated as 0.024 m³/s. According to the results obtained in the tests, it has been determined that when the Tricklevent system is turned off, the indoor temperature exceeds the ambient temperature within 16 minutes with the effect of radiation, and the indoor temperature reaches a maximum of 30 °C in 16 minutes and 34.5 °C after 24 minutes when the system is on. It has been determined that a temperature drop of 2-3 °C is sufficient when Tricklevent Y.P.H.S is on, while the air conditioner should provide a temperature drop of approximately 6.5-7.5 °C when the system is off. It has been observed that the compressor operating time will be longer when the system is off. As a result of the study, it was seen that 14 kWh energy saving was achieved in the prototype room. According to the power of the air conditioner, as a result of not operating the air conditioner for 16 minutes, 16% savings were achieved in a 1-hour period. Depending on the height of the building, the operating time of the air conditioner can be up to 34 minutes with the advantage provided in air flow and temperature. This showed that the energy savings to be made can be between 16-50% in 1 hour time.

Keywords: Passive ventilation, Energy saving, Energy, Thermal comfort, Tricklevent, Ventilation, Computational fluid mechanics, Building facade systems.

1. Giriş

Günümüzde şehir merkezlerinde yüksek katlı yapılaşmayı etkileyen bir çok etken vardır. Bu etkenlerden en önemlisi şehir nüfusunun orantısız artışı ve dolaylı olarak konut ihtiyacının artmasıdır. Bu ihtiyacı geliştiren teknoloji ile karşılanabilir olması da yüksek katlı binaların yapılaşmadaki katkısını arttırmaktadır. Yüksek katlı binaların iş merkezi, konut maksadı ile sayısının artması beraberinde bazı teknik problemleri ortaya çıkarmıştır. Yüksek katlı yapıların yangına karşı korunması, bina içinde ulaşımı sağlayan asansör sistemleri, bina ısıtma ve soğutma sistemleri ana problemlerden olmuştur. Özellikle bina hacminin artması en yüksek enerji sarfıyatı olan ısıtma-soğutma sistemlerinin performansı önem kazanmıştır. Binalarda cephe; dış ortam koşullarını bina dışında tutan, binayı çeşitli dış etkilerden koruyan, aynı zamanda binaya estetik kazandıran bina için bir nevi filtre, manto görevi yapan bina yapısının parçasıdır. Cephe sistemleri dış ortamda bulunan ve bina içinin ihtiyaç duyduğu taze hava gibi girdileri bina içine alma görevini de yerine getirmektedir. Cephe tasarımı ve inşasını etkileyen bazı faktörleri binanın yüksekliği, çevre, bina kullanım maksadı olarak sıralanmaktadır. Yüksek bina gelişim süreci içerisinde cephe sistemleri çeşitleri aşağıdaki gibi oluşmaktadır (Erkenel, 2006)

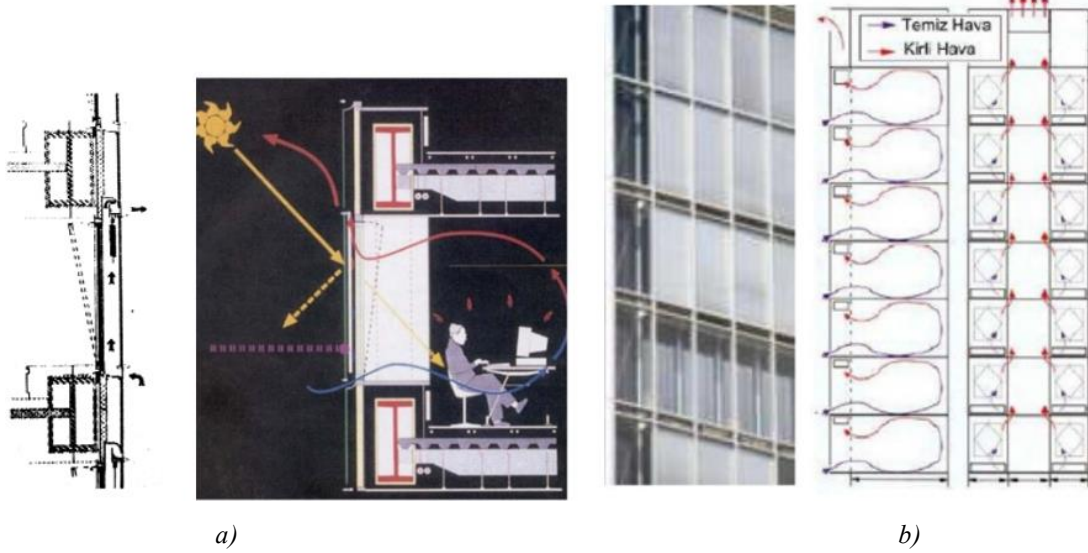
1. Örgü Tekniği Cepheler
2. Hazır Panel Montajlı Cepheler
3. Metal Çerçeve Giydirmeye Cepheler
4. Cam Cepheler

Erkenel (2006) çalışmasında ele alınan ve Şekil 1.a'da görülen Commerzbank binasının dış cephesi lamine camla yapılmıştır. Cephe sistemi iki katmanlıdır. Bu katmanlar arasındaki boşluk ile doğal havalandırma sağlanmaktadır. Dış ortam havası dış cephenin kanatının açılması ile ara bölme

almaktadır. Ara bölme dolan dış taze hava iç kanatların açılmasıyla iç hacme alınmaktadır (Erkenel, 2006). Çift katmanlı cephelerde genelde içeride kalan pencere ve kanat sistemleri aracılığı ile taze hava alımı bir çok uygulamada görülmektedir. Genelde bu sistemler bina otomasyon sistemine bağlanmakta ve iç mekanda istenmeyen koşullar oluştuğunda sistem otomatik açılmakta ve ısıtma-soğutma sistemine destek olmak için kullanılmaktadır (Yılmaz, 2006).

Lakot (2007) yaptığı çalışmada ARAG Kulesinin cephe sistemini incelemiştir (Şekil 1 b). Cephede bulunan pencereler iki parça şekilde tasarlanmıştır. Pencerelerin 15 cm yüksekliğinde kısmı dış havayı iç hacme alma görevindedir. Cephe çift cephelidir. Üst şaft içerideki kirli havayı dışarı atarken 15 cm'lik bölmeden dış taze hava içeriye alınmaktadır (Lakot, 2007). Cephe çift cephelidir. Üst şaft içerideki kirli havayı dışarı atarken 15 cm'lik bölmeden dış taze hava içeriye alınmaktadır. Cephe boşluğu kış aylarında ayrıca yalıtım görevi yapmaktadır. Sistem ile yılın %50-60'ı iç ortam havalandırması yapılabilmektedir (Lakot, 2007).

Ünal (2006)'da yaptığı çalışmada Halenseestabe Binasını incelemiştir (Şekil 2 a). Bu binanın son 7 katında çift cephe sisteminin kullanıldığını sistemin kanat açılması ile iç ortama taze hava almaktadır. Bu çalışmada genelde cephe sistemlerinin çift katman mantığına şekillendiği görülmektedir (Ünal, 2006). Şekil 2 b'de görülen RWE AG bina cephesi daha önce incelenen çalışmalarda olduğu gibi çift katmanlı cephe uygulaması yapılmıştır. Katmanlar arası 50 cm boşluk bulunmaktadır. Ara boşluk oluklu Al malzeme ile kaplanmıştır. Çalışmada ara bölmede kullanılan Al profillerin gelen güneş ışınlarını iç ortamdan uzaklaştırmak için olduğu ifade edilmiştir (Lakot, 2007; Yılmaz, 2006).

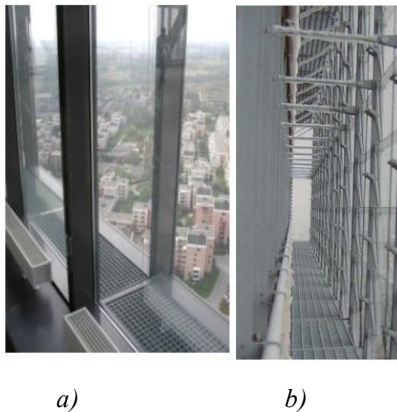


Şekil 1. a) Commerzbank binası dış cephe pasif havalandırma b) Arag 2000 Kulesi 'nin Şaft Tıpi Çift Kabuk Cephe Sistemi



Şekil 2. a) Halenseestrasse Binası (Lakot, 2007) b) RWE AG bina cephesi (Yılmaz, 2006)

Yine çift katmanlı cephe uygulaması İsviçre 'de Kista Science kulesinde incelenmiştir (Şekil 3 a). Dış cephe pencerelerin alt ve üst kısmından mekanik kontrol ile havalandırma işlemini yapmaktadır. Hava cepheye döşeme seviyesinden alınmaktadır. Isınan hava pencere üst kotundan atılmaktadır. İş merkezi ve ofis olarak tasarlanan Debis Binasında cephe hareketli panjurlardan oluşmaktadır (Şekil 3b). Panjurlar 12 mm kalınlığında cam panjurlardır. Çift katmanlı olan cephede açısı ayarlanabilir panjurlar sayesinde güneş ışınlarının ısıl konforu bozması engellenmektedir.



Şekil 3. a) Kista Tower Binası çift kabuk ara boşluğunun görünüşü b) Debis Yönetim Binası

Çin 'de yaz ve kış ayları için çift katmanlı cephelerin havalandırma ve iç hacim konforuna etkileri incelenmiştir. Çalışmada havanın hava kanalına girmesinde farklı kanatçık modelleri denenmiştir. Elde edilen sonuçlarda yüksek yapı binalarda bu tür havalandırmanın iç konforu arttırdığı tespit edilmiştir. Çift cidarlı cephelerin ısıl performansı çalışmada ayrıca incelenmiştir. Özellikle radyasyon etkilerini azalttığı yönünde verilere ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda çift cidarlı cephelerin yazın radyasyonu, kışın ise yalıtım manasında etkisinin olduğu ortaya konmuştur (Zhou & Chen, 2010). Shameri ve diğerlerinin 2011 'de yaptığı çalışmada çift katmanlı cephe sistemlerinde dikkat edilmesi gereken tasarım parametreleri üzerine çalışılmıştır. Bu parametrelere örnek vermek gerekirse cam seçimi, dış ortam basıncına dayanıklı montaj elemanları seçimi gibi etkileri incelemiş ve çift katmanlı cephe sistemlerine genel bir bakış ortaya koymuştur (Shameri et al., 2011). Hien ve ark.. 2005 yılında çift katmanlı cephe sistemlerini CFD metoduyla incelemiş ve bu tür sistemlerin bina enerji tüketiminde iyileştirmelere neden olduğunu ortaya koymuştur (Hien et al., 2005). Yılmaz ve Çetintaş 2005 yılında tek katmanlı ve çift katmanlı cephe sistemlerini İstanbul şartlarında kış mevsiminde inceleme yapmıştır. Sonuç olarak kış mevsiminde bu tür bir cephe sisteminin enerji verimliliğine etkisinin pozitif olacağı ortaya konmuştur (Yılmaz & Çetintaş, 2005). Shameri ve diğerlerinin 2011 'de yaptığı çalışmada cephe çalışmalarında hesaplamalı akışkanlar mekaniğinin cephe uygulamalarında önemine ayrıca

değirmiştir. Sıcaklık ve hava dağılımının önceden tahmin edilmesinde avantajları ortaya konmuştur (Shameri et al., 2011). Coussirat ve ark. 2008, CFD metodunu kullanarak hava akış ve ısı transferi açısından bina cephe sistemlerini incelemiştir. Numerik analizlerin deneysel verilerle doğrulandığı çalışma sonucunda görülmüştür(Coussirat et al., 2008). Bu çalışmada uluslararası patenti Metal Yapı LTD: ŞTİ.'de olan Tricklevent yenilikçi pasif havalandırma sistemi (T.Y.P.H.S) incelenmiştir. Literatürde incelenen çalışmalarda çift cephe uygulaması ve iki cephe arasındaki havanın mekanik tesisat ile hareketi sağlanmıştır. Ayrıca Yüksek binalarda 100 m'den sonra kanat-pencere açılması mümkün olmadığı için klima sistemine daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. TYPHS ile günün 24 saati cephe üzerinden taze hava ortama alınmaktadır. Tricklevent YPHS sisteminde tek cepheden 50 m³/h ve daha fazla hava girdisi sağlanarak iç hacim havalandırılmaktadır. Çalışmamızda literatürde yer alan CFD çalışmalarına ek olarak sayısal analiz çıktısı olarak ısı konfor parametresi PMV incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Tricklevent Y.P.H.S'nin performansını tespit etmeden önce havanın yükseklikle değişen özelliklerinin teorisinin bilinmesi gerekir. Buna göre hava yoğunluğunun değişimi: Atmosfer havasının yoğunluğu sıcaklık ve yükseklikle değişir. Eşitlik 1 ile yüksekliğe ve sıcaklığa bağlı yoğunluk hesap edilebilmektedir (Sathyajith Mathew, 2006).

$$\rho_a = \frac{353.049}{T} \exp\left(-0.034 * \frac{Z}{T}\right) \text{ kg/m}^3 \quad (1)$$

Z: Yükseklik (m), T: Sıcaklık (K)

Yine yüksekliğe bağlı Hava sıcaklığının değişimi Eşitlik 2 ile hesap edilmektedir (Sathyajith Mathew, 2006).

$$\left(\frac{dT}{dz}\right)_{\text{standart}} = -\frac{0.0066^\circ\text{C}}{\text{m}} = -\frac{0.00357^\circ\text{F}}{\text{ft}} \quad (2)$$

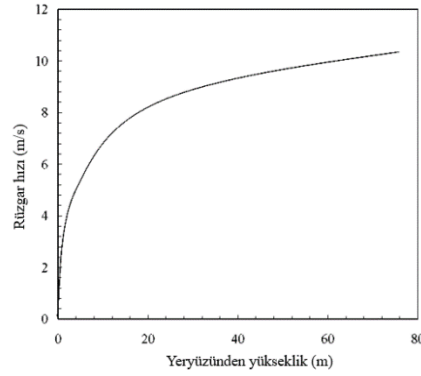
Rüzgar hızı yükseklikle değişir. Yer yüzeyindeki hava hızı sürtünme direnci nedeniyle yavaşlar (sınır tabaka etkisi). Bu sürtünme direncine hem yeryüzünün (toprağın) kendisi hem de bitki örtüsü (ağaçlar, bitkiler), binalar ve diğer yapılar sebep olur. Sürtünme direncine sebep olan bütün bu unsurlar yeryüzü pürüzlülüğü veya sadece yüzey pürüzlülüğü olarak adlandırılır. Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlülük yüksekliği (Z₀) ile ifade edilir. Aşağıdaki tabloda pürüzlülük yüksekliği değerleri verilmiştir. Ayrıca Şekil.4'de rüzgâr hızının yükseklikle değişimi görülmektedir. Meteoroloji istasyonlarında genellikle 10 m yükseklikteki rüzgar hızı ölçülür (Sathyajith Mathew, 2006).

Sınır tabaka etkisi nedeniyle, rüzgar hızı yükseklikle logaritmik olarak artar. Eğer referans yerin yüksekliği Z_R ve pürüzlülük yüksekliği Z₀ ise Z yüksekliğindeki rüzgar hızı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir (Sathyajith Mathew, 2006).

$$V(Z) = V(Z_R) \frac{\ln(Z/Z_0)}{\ln(Z_R/Z_0)} \quad (3)$$

Tablo.1: Değişik araziler için pürüzlülük yüksekliği (Sathyajith Mathew, 2006)

Arazi Tanımı	Zo (mm)
Düzgün, Buz veya çamur	0,01
Sakin açık deniz	0,2
Dalgalı deniz	0,5
Kar yüzeyi	3
Çim	8
Otlak arazi	10
Nadas arazi	30
Ekilmiş arazi	50
Ağaçlık	100
Birçok ağaç ve binalar	250
Ormanlık	500
Ara mahalle	1500
Şehir merkezi	3000



Şekil 4: Rüzgar hızının yükseklikle değişimi (Sathyajith Mathew, 2006)

Tricklevent Y.P.H.S dış ortamdaki havayı dış ortamdaki havanın hızından kaynaklı dinamik basınç sebebiyle iç ortama almaktadır.

$$P = \frac{1}{2} \rho_a V^2 \quad (4)$$

PMV değeri çalışanın ısı konforu algılama seviyesini gösteren, ortamda hissedilen sıcaklığı ya da soğukluğu notlayan, ASHRAE'nin 7 noktadan oluşan termal duyarlılık çizelgesidir. Çizelge -3 ile +3 arası değişim göstermektedir. PMV değerini hava sıcaklığı, hızı, nemi, çalışanın bedensel aktivitesi ve kıyafet özellikleri gibi etmenler etkilemektedir (Şekil 5).

Değer	Duyarlılık
3	Sıcak
2	Ilık
1	Hafif ılık
0	Nötr
-1	Hafif serin
-2	Serin
-3	Soğuk

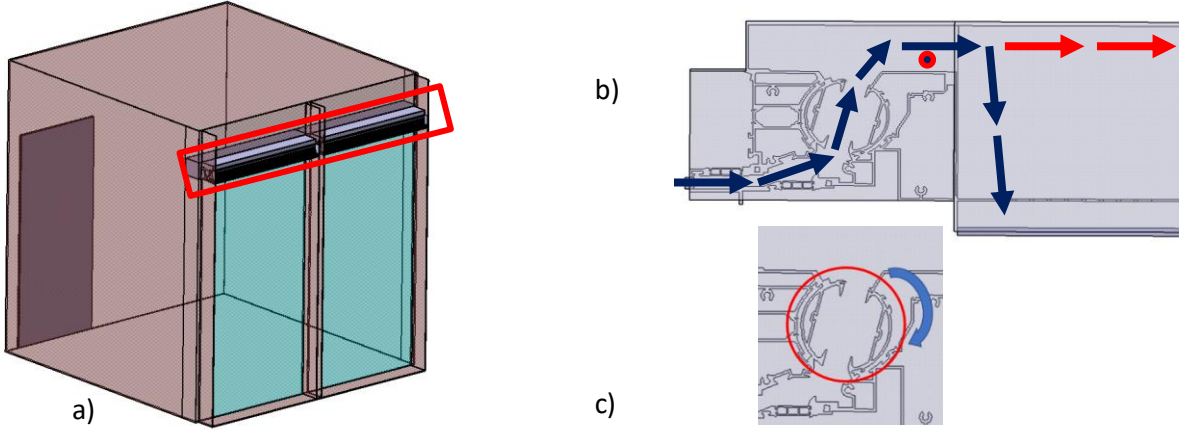
Şekil 5. ASHRAE Isıl duyarlılık çizelgesi (Ansi/Ashrae, 2004)

2.2. Metot

2.2.1. Geometri

Şekil 6 a'dan görüldüğü üzere kırmızı dikdörtgen içine alınmış dış ortama açık ve Şekil 5 b'de ayrıntısı verilen sistem Tricklevent Yenilikçi Pasif Havalandırma Sistemidir. Dış ortam havası Şekil 5 b'de görülen temsili mavi okların yolunu izleyerek oda içine dolmaktadır. Bu sistem bina yüksekliğinden bağımsız şekilde günün 24 saati havalandırma görevini yerine getirmektedir. Sistemin kötü ve iyi koşullarda deneysel ve sayısal

olarak ile çalışılmıştır. Tricklevent YPHS çalışma prensibi geometri üzerinde Şekil 6 c'de izah edilmiştir. Şekil 6 c'de kırmızı daire içine alınmış döner sistem bina otomasyon sistemi ile günün istenilen saati ok yönünde otomatik olarak döndürülerek dış ortamda dinamik basıncı fazla olan hava iç ortama alınmaktadır.



Şekil 6. a) Tricklevent YPHS örnek uygulaması b) Tricklevent YPHS detay c) Tricklevent YPHS çalışma prensibi

Çalışmamızda test ve analizlerinde kullanılan örnek oda 8 mm kalınlığında çift camlı, dış yüzeyleri film kaplı camlarda oluşmaktadır. Dış ortam hava akışı Şekil 6 b'de görülen mavi ok kısmından 1 Pa hava basınç farkında 41 m³/h hava akış debisi ile iç hacme girmektedir. Dış ortam havası ve iç ortam havası arasındaki basınç farkı Bernolie Denklemine dinamik basınç olarak bilinen Eşitlik 4'den hesap edilmiştir.

2.2.1. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmada öncelikli olarak 14 m² alana sahip oda birebir imal edilmiştir (Şekil 7). Oda çevresi normal binalarda kullanılan yalıtım sistemi ile yalıtılmıştır. Testler İstanbul'da ve en sıcak aylardan olan Ağustos ayında saat: 11:00'da yapılmıştır. Prototip odada öncelikli olarak oda cephesindeki Tricklevent Y.P.H.S kapalı olarak test yapılmıştır. Testlerin ve çalışmanın Ağustos ayı içinde yapılmasının sebebi Jubran & Peter, (2019) çalışmasında da bahsettiği gibi en yüksek soğutma yüküne ihtiyaç duyulan ay olmasından dolayıdır.



Şekil 7. Tricklevent YPHS prototip oda

Test başlangıcında oda iç sıcaklığı 28 °C, çevre sıcaklığı 32 °C ölçülmüştür. Güneş yükü ve dışarıdan herhangi bir şekilde taze hava alınmaması sebebiyle iç ortam havasında sıcaklık yükselmiş ve dış ortam sıcaklığında geçerek 16 dk içinde maksimum 34,5 °C'yi bulduğu tespit edilmiştir. Ölçümlerde kullanılan termokupulların ölçüm aralığı ve hata oranı Tablo 2'de verilmiştir. Termokupullar ilk ölçümlerde kırmızı dairenin olduğu yerden çevre havasının sıcaklığını, iç ortamda ise 1,7 m yükseklikten sarı dairenin olduğu yerden alınmıştır.

Tablo 2: Ölçüm elemanı özellikleri

Termokupul	Ölçüm Aralığı	Hata Oranı
Standart (K Type)	100°C/+400°C	-/+0,1°C

Aynı test Tricklevent Y.P.H.S sistemi açık halde ertesi gün aynı saatte (11:00) tekrarlanmıştır. Tricklevent sisteminin açık olduğu testlerde termokupullar ilk testlerdeki yerlerine ek olarak Şekil 5 b'de kırmızı noktanın olduğu bölgeye yerleştirilmiştir. İkinci testten elde edilen değerlere göre aynı çevre sıcaklığında ve aynı güneş yükünde iç hacmin sıcaklığının dış ortam sıcaklığına ulaşamadığı ortam sıcaklığının maksimum 16-17 dk sonra 30 °C'yi bulduğu 24 dk sonra ise 32 °C çevre sıcaklığını bulduğu tespit edilmiştir.

2.2.2. Sayısal Çalışma

Sayısal çalışmada FloEFD hesaplamalı akışkanlar mekaniği ticari yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada eleman sayısından bağımsızlık çalışması yapılmış ve bütün çözümler akışkan için 3324624, katılar için 1642250 eleman için yapılmıştır. Analizlerde Isı iletimi, taşınımı ve ışınım dikkate alınmıştır. Tricklevent tasarımı üretildiği malzeme olan Alüminyum (Al) olarak seçilmiştir. Güneş yükü 1009 W/m² olarak tanımlanmıştır. Testin yapıldığı gün 15 Ağustos 2021 günü hava hızı 6,9 km/s = 1,94 m/s hızla aktığı günlük verilerden elde edilmiştir. Çevre ve

iç ortam arasında Eşitlik 4'e göre hesaplanan basınç farkı 2,19 Pa olarak hesaplanmıştır. Bu hesaba göre Tricklevent sistemi 89 m³/h = 0,024 m³/s debi ile iç ortama dolmaktadır. Bu değere analize girdi olarak tanımlanmıştır. Havanın Tricklevent sistemi içinde akış karakteristiği için Re sayısı hesap edilmiştir. Re sayısı 52834 olarak hesaplanmıştır. Akış türbülanslıdır. Analizde çözüm için k-ε türbülans modeli seçilmiştir. Camların malzeme ataması program içinde "Glass" olarak yapılırken ışık geçirgenliği tanımlanmıştır. Işınım modeli olarak Discrete Transfer kullanılmıştır. Çevre sıcaklığı testlerde ölçüldüğü gibi 32 °C ve iç hacim başlangıç sıcaklığı testlerde ölçülen değer 27 °C olarak tanımlanmıştır. Ticari yazılım çözümler için Eşitlik 5, 6 ve 7'de verilen sırasıyla süreklilik, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerini kullanmaktadır.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \nabla p = \rho \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_{ij} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{D_p}{D_1} + \dot{q}''' - \nabla \cdot \mathbf{q} + \Phi \quad (7)$$

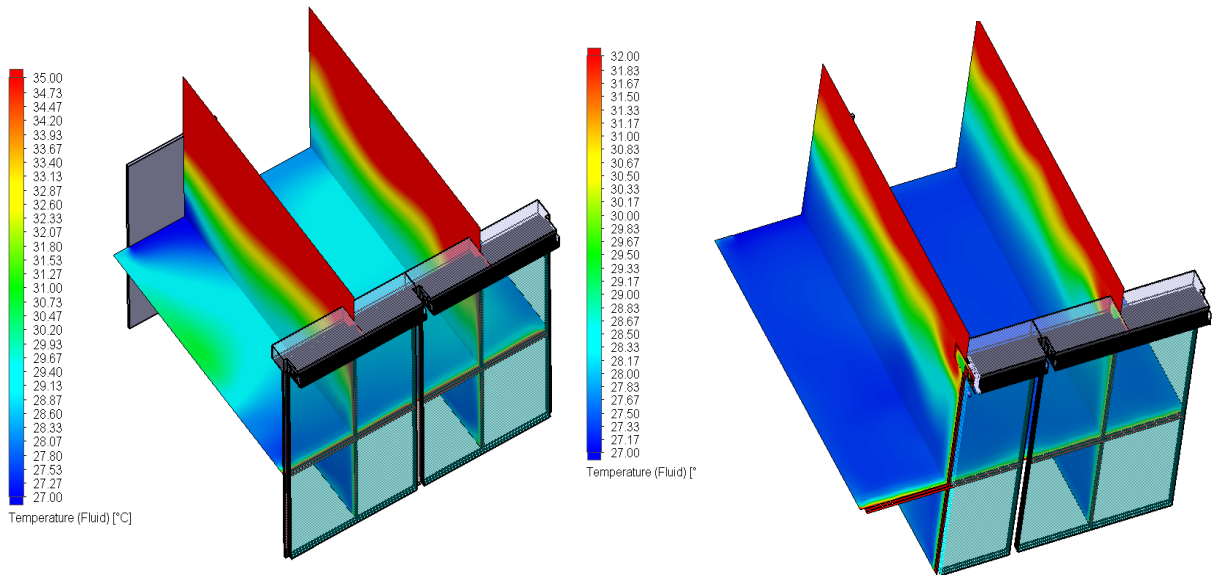
3. Sonuçlar

Test ve sayısal analiz sonuçlarına göre Tricklevent Y.P.H.S'nin iç ortamda gerek sıcaklık gerekse konfor göstergesi PMV değerini olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Şekil 8'de Tricklevent sistemi ile sistem olmadığı halin sıcaklık dağılımları verilmiştir.

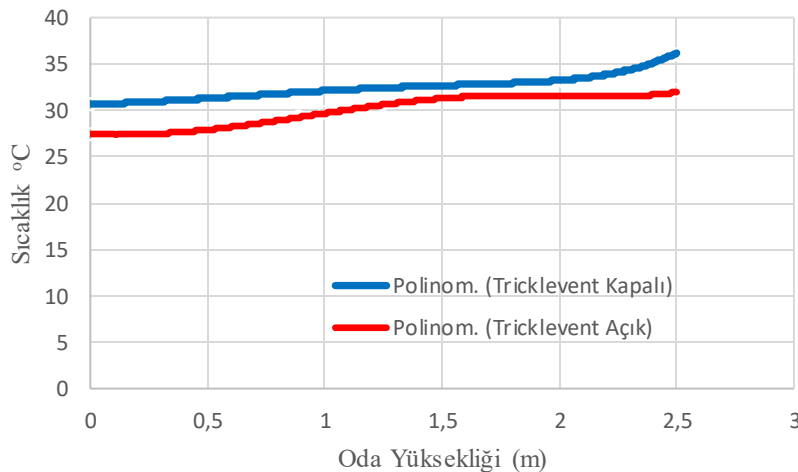
Test sonuçlarında sistem kapalı iken iç ortam sıcaklığının ortalamada dış ortam sıcaklığına geçtiği görülmüştür. Şekil 9'de Tricklevent sistemi açık ve kapalı karşılaştırmalı grafiğide test verisini doğrulamaktadır.

Tricklevent sistemi açıkken iç ortam ortalama sıcaklığı 29,72 °C iken sistem kapandığında ortalama sıcaklık 33 °C'yi bulmaktadır. Tricklevent sistemi iç ortamda sıcaklık düşünü yakaladıktan sonra iç ortamda ısı konfor şartlarını nasıl etkilediği analizlerde incelenmiştir. PMV değeri bakımından sistem kapalıyken iç ortamın büyük çoğunluğu Şekil 10 a'ya göre sıcak (3) olarak nitelendirilirken Tricklevent sisteminin açık halinde iç ortam Şekil 10 b'ye göre ılık (2) olarak nitelendirilmiştir.

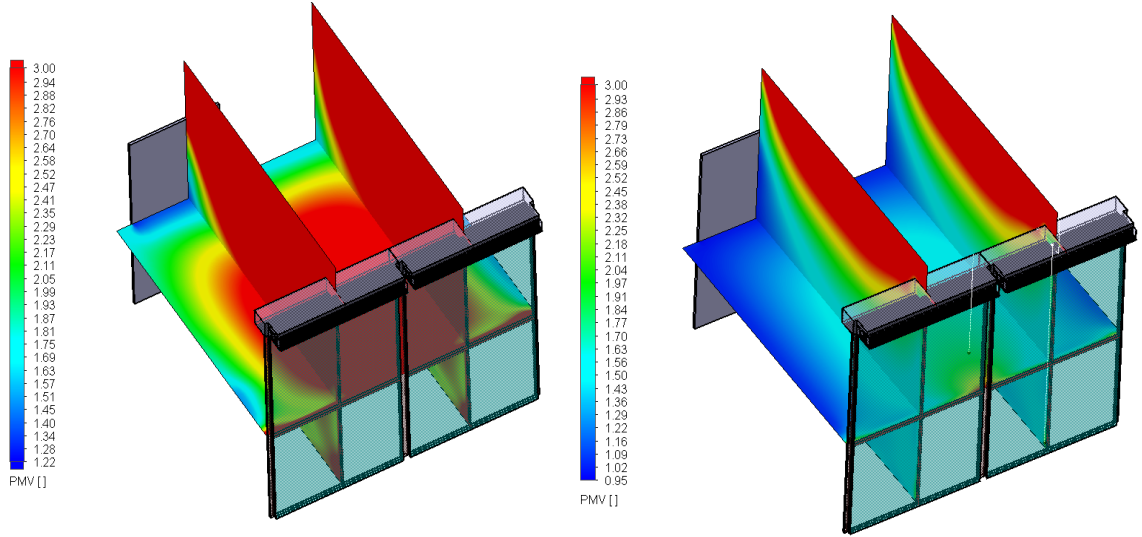
Dış ortam havasının Tricklevent sistemi içinde sıcaklığındaki düşüş Şekil 11'de verilmiştir.



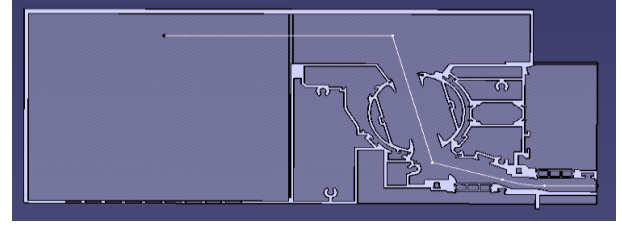
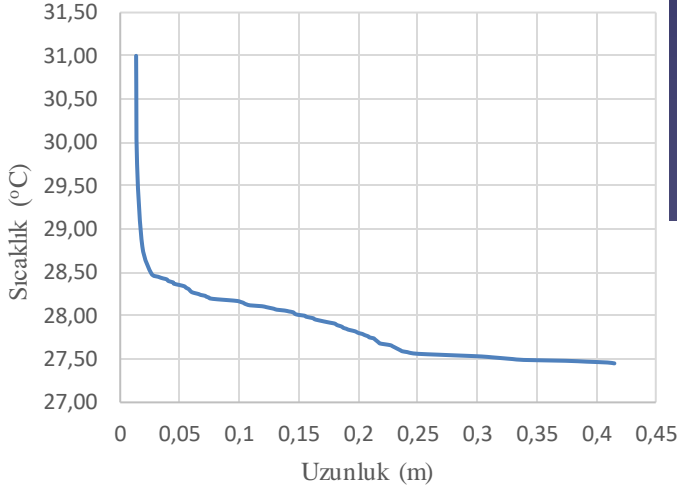
Şekil 8. Tricklevent sistemi sıcaklık dağılımı a) Kapalı b) Açık



Şekil 9. Tricklevent sistemi Açık-Kapalı sıcaklık karşılaştırması



Şekil 10. Tricklevent sistemi ısı konforu için PMV dağılımı a) Kapalı b) Açık

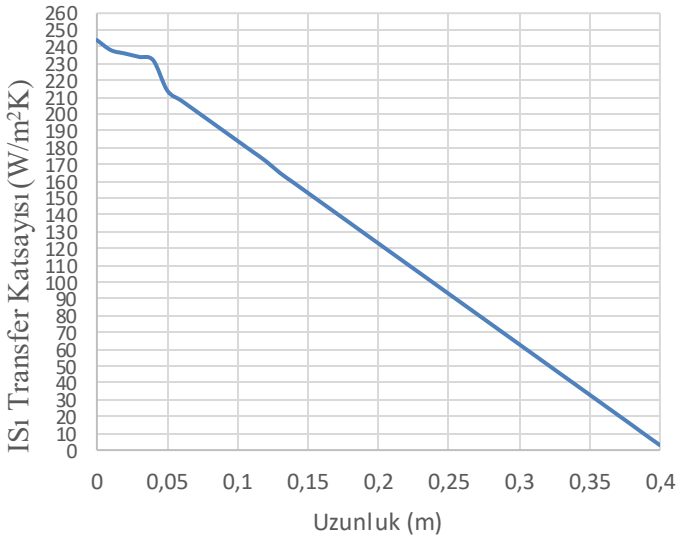


Sıcaklık dağılımı alınan doğru

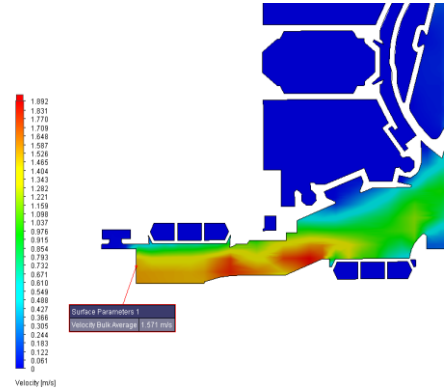
Şekil 11. Tricklevent sistemi içinde havanın sıcaklık düşümü

Trickevent sistemi içinde ısı taşınım katsayısının değişim grafiği Şekil 12'de verilmiştir. Sisteme giren havanın hızından kaynaklı akış tipinin türbülanslı olmasına bağlı olarak ısı taşınım katsayısı yüksek iken havanın yavaşlaması ile katsayımın düştüğü görülmektedir.

Teorik hesaplarda süreklilik denkleminde göre giriş hızı 1,53 m/s olarak hesap edilirken sayısal sonuçlarda giriş havası 1,57 m/s olarak tespit edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 12. Tricklevent sistemi içinde ısı transfer katsayısı değişimi
e-ISSN: 2148-2683



Şekil 13. Tricklevent sistemi giriş hava hızı

4. Tartışma

Çalışmamızda elde ettiğimiz verilere göre Tricklevent Y.P.H.S sistemi bina cephelerine uygulandığında gerek ortam sıcaklığının yükselmesinde geciktirme gerekse ısı konfor şartları bakımından iyileştirme sağlamaktadır. Yapılan testlerde prototip

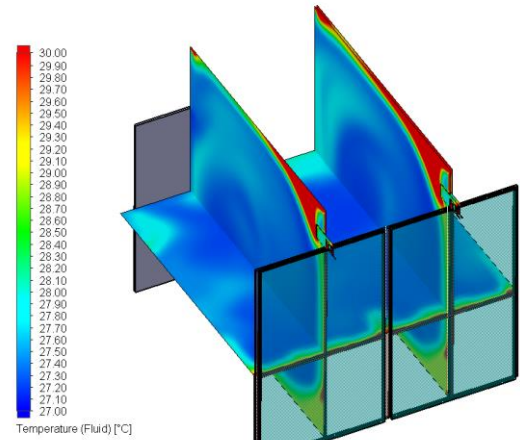
odası tek başına inşa edilmiştir. Sistemin bir binanın daha yüksek bölümlerinde uygulanması ile çevre havası ve iç ortam havasındaki basınç farkı artacak ve Eşitlik 2'ye göre çevre havasında sıcaklık düşümü sağlanacaktır. Böyle bir durum söz konusu olduğunda Tricklevent sisteminden içeri giren hava miktarı artacak ve içeri giren havanın sıcaklığı düşük olacaktır. Böyle bir durumda özellikle klima sisteminin çalıştırılması ertelenecektir. Çalışmamızda Tricklevent sisteminin açık olduğu durumda iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığına 24 dk gecikmeli olarak ulaştığı tespit edilmiştir. Sistem kapalıyken 34,5 °C gibi rahatsızlık veren sıcaklığa 16 dk içinde ulaşılırken sistem açıkken iç ortam sıcaklığının 16 dk'da en fazla 30 °C'ye çıktığı tespit edilmiştir. Tricklevent sisteminin Al malzemeden yapılmış olması, güneş kaynaklı ışıma maruz kalmaması kapalı hacmi dış sıcaklıklardan korumakta ve sistem içindeki havanın sıcaklığının daha düşük kalmasını sağladığı düşünülmektedir. Sunardi et al., (2020) ve Hoyt et al. (2009) çalışmalarına göre, klima ayarının her 1 °C'lik artışın elektrik sarfiyatında %3-6 tasarruf sağladığını belirtmiştir. Yine ACEEE'nin (Amerikan Enerji Verimliliği Ekonomisi Konseyi) çalışmalarına göre Klimanın elektrik tüketimini etkileyen faktörler : İç hava sıcaklığı, Dış ortam sıcaklığı, Odanın ısı yalıtımı ve Klimanın sıcaklık ayarı olarak sıralanmıştır. Bu veriler ışığında çalışmamızda Tricklevent sistemi ile cepheden pasif havalandırma yapılan örnek ofis için ilk 16 dk içinde sistemin açık olduğu testte oda sıcaklığı maksimum 30 °C'yi bulmaktadır. Klimanın insan sağlığını ve konfor şartlarını sağlamak adına 28-27 °C'ye ayarlandığı düşünülürse yani 2-3 °C'lik bir sıcaklık düşümü istenecektir. Sistem kapalıyken ilk 16 dk için iç sıcaklık 34,5 °C'yi bulmakta ve aynı konfor şartları için klimanın yaklaşık 6,5-7,5 °C'lik sıcaklık düşümü sağlaması gerekmektedir. Bu durumun klima tüketim enerjisine olumsuz etkileyeceği, TrickleVent sisteminin enerji maliyetini düşüreceği açık şekilde tespit edilmiştir.

Klimalarda enerji tasarrufu termostat ayarına ve dolaylı olarak kompresör çalışma süresine bağlıdır. Termostatın 18°C'ye ayarlanması ile 25°C'ye ayarlanması kompresör çalışma süresini direkt etkileyeceği için yüksek sıcaklık ayarlarında daha az enerji harcanacağı açıktır. Çalışmamızda da test odası sıcaklığı TrickleVent sistemi açıkken termostatı 27 °C'ye ayarlanmıştır. İç hacimdeki sıcaklık değişimini ilk 16 dk içinde $\Delta T = 3$ °C için kompresör daha kısa süre çalışacaktır. Sistem kapalı halde iken sıcaklık farkı $\Delta T = 7,5$ °C için kompresör daha uzun süre çalışacağı açıktır. Wang ve ark. 2013'te yaptığı çalışmada her 1 °C düşüm için m² başına harcanan enerji maliyetini ortaya koymuştur. Bu çalışmaya göre örnek vermek gerekirse $\Delta T = 1$ °C için 1 kWh/m² enerji sarfiyatı olduğunu bildirmiştir. Bu veriler çerçevesinde örnek ofis odası 14 m² olduğu düşünülürse termostat ayar sıcaklığı 27 °C alınrsa TrickleVent sistemi açık ve kapalı halde $\Delta T = 4$ °C avantaj sağlamaktadır. Bu da 14 m² örnek ofis için 14 kWh enerji tasarrufu sağlayacaktır. TrickleVent sistemi 1 Ocak 2022 tarihinden itibaren mesken aboneleri için aylık 150 kWh'e kadar olan tüketim miktarları için nihai fiyat 1,37 TL/kWh, aylık tüketimlerin 150 kWh'in üstündeki kısmı için ise 2,06 TL/kWh olarak uygulanmakta olan fiyatlandırmalara göre örnek ofis odamızda;

- 150 kWh'e kadar ise → 19,18 TL
- 150 kWh'in üstünde ise → 28,84 TL tasarruf ettirmektedir.

Triclevent sisteminin özellikle klima sistemi ile otomasyon üzerinden eş zamanlı ve ayrı ayrı çalışmasıyla yapılacak tasarrufun oranı arttırılabilir diye düşünülmektedir. Özellikle

Tricklevent Y.P.H.S'nin yüksek yapı binalarda kullanılması ile sistemde içeri alınacak hava debisinin artışı hava hızına bağlı olacak basınç farkına göre artış sağlayacak olması sistemin sağladığı enerji tasarrufunun %10'un üzerine çıkacağı göstermektedir. Çalışmamız test ve sayısal analizlerle doğrulandığı için örnek Tricklevent sisteminin 40 m yükseklikteki bir ofise uygulandığı düşünülüp sayısal analiz yapıldığında hava hızı Eşitlik 3'ten 8,58 m/s hesaplanmıştır. Hesaplanan hava hızına göre hava yoğunluk değişimi farkı ihmal edilirse 44 Pa bir basınç farkı elde edilecektir. Bu basınç farkında sistemden 1800 m³/sa = 0,5 m³/s hava girişi sağlanmış olacaktır. Yine 40 m yükseklikte hava sıcaklığı Eşitlik 2'ye göre 0,65 °C daha düşük olacaktır. Dış ortamdan içeri alınan havanın sıcaklığının göreceli olarak düşmesi, iç ortama alınan hava debisinin artmasıyla Tricklevent sistemi sayesinde iç ortam sıcaklığının 16 dk sonra 27,8 °C'de kaldığı konforu bozan sıcaklık değeri yada çevre sıcaklığı değerine 34 dk sonra ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 14). Bunun hem klima çalıştırma süresini hemde çalıştığı anda ayar sıcaklık farkının düşük olmasına sebebiyet vereceği görülmüştür. Yüksek yapı bir binada TrickleVent sistemi kullanıldığında örnek hesaplamada 34 dk. sonra çevre sıcaklığına ulaştığı tespit edilmiştir. Burada klima sisteminin her bir saatlik çalışma sürecinde 30 dk'lık geciktime yaptığımızda ve klima maksimum veri üzerinden 1100 W/sa enerji harcayacaktır. Bu da saatlik %50 tasarruf demektir. Ayrıca 40 m yükseklikte iç ortamda TrickleVent Y.P.H.S'nin özellikle gece pasif havalandırma pasif soğutma yapması günün 24 saati kullanılabilmesi, otomasyon sistemine bağlı olarak yüksek yapılarda enerji sarfiyatını azaltacağı çalışmamızda tespit edilmiştir.



Şekil 14. 40 m yükseklikte örnek ofis içi sıcaklık dağılımı

5. Teşekkür

Bu çalışma Tübitak 1501 Projesi kapsamında Dışardaki Havayı Şartlandırarak içeri alan Panel Cephe Projesi kapsamında üretilmiştir.

Kaynakça

- Ansi/Ashrae. (2004). ANSI/ASHRAE 55:2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *Ashrae*, 2004, 30. <https://doi.org/10.1007/s11926-011-0203-9>
- Coussirat, M., Guardo, A., Jou, E., Egusquiza, E., Cuerva, E., & Alavedra, P. (2008). Performance and influence of numerical sub-models on the CFD simulation of free and forced convection in double-glazed ventilated façades. *Energy and*

- Buildings*, 40(10), 1781–1789.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.03.009>
- Erkenel, A. (2006). *YÜKSEK BİNA STRÜKTÜREL VE KABUK ALT SİSTEMLERİNİN İLİŞKİSİ VE GELİŞİMİ*.
- Hien, W. N., Liping, W., Chandra, A. N., Pandey, A. R., & Xiaolin, W. (2005). Effects of double glazed facade on energy consumption, thermal comfort and condensation for a typical office building in Singapore. *Energy and Buildings*, 37(6), 563–572. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.004>
- Hoyt, A., Lee, T., Ho Zhang, K., Hoyt, T., Ho Lee, K., Zhang, H., & Arens, E. (2009). Publication Date ENERGY SAVINGS FROM EXTENDED AIR TEMPERATURE SETPOINTS AND REDUCTIONS IN ROOM AIR MIXING. *Environmental Ergonomics*.
<https://escholarship.org/uc/item/28x9d7xj>
- Jubran, A., & Peter, B. (2019). Reducing high energy demand associated with air-conditioning needs in Saudi Arabia. *Energies*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/en12010087>
- Lakot, E. (2007). *Ekolojik ve sürdürülebilir mimarlık bağlamında enerji etkin çift kabuklu bina cephe tasarımlarının günümüz mimarisindeki yeri ve performansı üzerine analiz çalışması*. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Sathyajith Mathew. (2006). *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Wiley.
- Shameri, M. A., Alghoul, M. A., Sopian, K., Zain, M. F. M., & Elayeb, O. (2011). Perspectives of double skin facade systems in buildings and energy saving. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1468–1475.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.016>
- Sunardi, C., Hikmat, Y. P., Margana, A. S., Sumeru, K., & Sukri, M. F. bin. (2020). Effect of room temperature set points on energy consumption in a residential air conditioning. *AIP Conference Proceedings*, 2248(July).
<https://doi.org/10.1063/5.0018806>
- Ünal, M. (2006). *ÇİFT KABUK CEPHELERİN SİSTEMATİK ANALİZİ VE UYGULAMA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ*. MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ.
- Yılmaz, Z. (2006). Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91, 7–15.
- Yılmaz, Z., & Çetintaş, F. (2005). Double skin facade's effects on heat losses of office buildings in Istanbul. *Energy and Buildings*, 37(7), 691–697.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.07.010>
- Zhou, J., & Chen, Y. (2010). A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(4), 1321–1328.
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.11.017>