



Sıcak Sulu Isıtma Sistemlerinde Isıtıcı Tipinin Doğal Taşınımı Üzerindeki Etkisinin Sayısal İncelenmesi

Muhammet ÖZDOĞAN^{1*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

*Doğal Taşınım,
HAD,
Odanın Isıtılması,
Isı Transferi*

Özet

Bu çalışmada, farklı uzunluklara sahip odalarda sıcak sulu ısıtma sistemlerinde kullanılan iki yaygın yöntem olan radyatörle ısıtma ve yerden ısıtma sistemlerinin, oda içerisindeki doğal taşınım davranışı, sıcaklık dağılımı ve hız alanı üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, 3 m, 5 m ve 7 m uzunluğundaki odalar ANSYS Fluent paket programında iki boyutlu olarak modellenmiş ve oluşturulan sayısal model literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Isıtıcı yüzeyindeki maksimum sıcaklık değeri yerden ısıtma için, 308.4 K, radyatörle ısıtma için 325.2 K olarak elde edilmiştir. Analizler sonucunda, yerden ısıtma sisteminin farklı oda uzunluklarında ölçekten bağımsız, daha homojen ve dengeli bir ısı performans sergilediği belirlenmiştir. Buna karşılık radyatörle ısıtma yönteminin lokal ısıtma karakteri nedeniyle oda uzunluğu arttıkça sıcaklık dengesizliğine ve daha yüksek hız gradyanlarına yol açtığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, geniş hacimli iç mekânlarda yerden ısıtmanın ısı konfor açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

*e-posta: muhammet.ozdogan@omu.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için:
Muhammet ÖZDOĞAN, "Sıcak Sulu Isıtma Sistemlerinde Isıtıcı Tipinin Doğal Taşınımı Üzerindeki Etkisinin Sayısal İncelenmesi ",
Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, C. 8, s 2, ss. 86-97

How to cite this article:
Muhammet ÖZDOĞAN, "Numerical Investigation of the Effect of Heater Type on Natural Convection in Hot-Water Heating Systems ",
Bayburt University Journal of Science, vol. 8, no 2, pp. 86-97

Numerical Investigation of the Effect of Heater Type on Natural Convection in Hot-Water Heating Systems

Keywords:

*Natural
Convection,
CFD,
Room Heating,
Heat Transfer*

Abstract

In this study, the effects of two commonly used hot-water heating methods radiator heating and underfloor heating on natural convection behavior, temperature distribution, and velocity fields inside rooms of different lengths were numerically investigated. For this purpose, rooms with lengths of 3 m, 5 m, and 7 m were modeled in two dimensions using the ANSYS Fluent software package. The numerical model was validated by comparison with experimental data from the literature. The maximum temperature on the heating surface was obtained as 308.4 K for underfloor heating and 325.2 K for radiator heating. The results show that the underfloor heating system provides a scale-independent and more uniform thermal performance across different room lengths, while the radiator heating method, due to its local heating characteristics, leads to temperature non-uniformities and higher velocity gradients, particularly in longer rooms. The findings indicate that underfloor heating offers significant advantages in terms of thermal comfort in large indoor spaces.

1 GİRİŞ

Konutların ısıtılmasında sıcak sulu ısıtma sistemleri en yaygın kullanılan ısıtma türüdür. Sıcak sulu ısıtma sistemlerinin büyük çoğunluğunda fosil yakıtların yakılmasıyla ısı elde edilmektedir ve bu ısı mahali ısıtmak için ısı transfer akışkanı olan suya aktarılmaktadır. Sudaki ısı, radyatörler, fan-coiller, hava apareyleri, yerden ısıtma boruları gibi çeşitli ısıtma yöntemleri kullanılarak mahale aktarılmaktadır. Kullanılan ısıtma yöntemi hem konfor hem de enerji verimliliğini etkilemektedir. Isıtıcıyla ısıtılan mahal arasında ısı transferi doğal taşınım ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle ısı konforunun incelenebilmesi için doğal taşınım mekanizmalarının anlaşılması gerekmektedir. Doğal taşınım, bir akışkanın yoğunluğunun sıcaklıkla değişmesinden dolayı yer çekiminin etkisiyle hareket etmesi sonucu gerçekleşen ısı transferi mekanizması olarak tanımlanabilir.

Literatürde iç mekânlarda doğal taşınım olgusunu inceleyen çalışmalar kapsamlı biçimde değerlendirilmiş ve bunlardan öne çıkan bazı araştırmalar özetlenmiştir. Venko vd. [1], bir duvarı soğuk olarak şartlandırılmış hacim içerisindeki taşınımı deneysel olarak incelemiştir. Hacmin soğuk duvara yakın üst kısmından hava girişi sağlanmış, karşı duvarın üst kısmından ise hava çıkışı sağlanmıştır. Çalışmada, üflenen hava jetinin, soğutulmuş dikey yüzeyde taşınım katsayısını belirgin şekilde artırdığı ve böylece termal aktif bina sistemlerinin soğutma kapasitesini önemli ölçüde iyileştirdiği gösterilmiştir. Elde edilen ampirik bağıntılar TRNSYS simülasyonlarında kullanıldığında, karışık taşınım koşullarında mekanik soğutma ihtiyacının büyük ölçüde azaldığı görülmüştür. Ganesh vd. [2] ise panel radyatörler ile fan destekli radyatörleri ofis koşullarında karşılaştırarak, her iki sistemin de tatmin edici bir düzey sıcaklık dağılımı sağladığını; ancak daha dengeli bir sıcaklık gradyanı elde etmek için fan destekli sistemlerin daha uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, mekândaki eşyaların doğrudan ısı transferini engellemediği, ancak etraflarında oluşan türbülans nedeniyle akış yapısını değiştirerek sıcaklık dağılımında yerel farklılıklara yol açabileceği vurgulanmıştır. Djeldjeli vd. [3], gerçek ölçekte oluşturulan bir oda modelinde düz ve eğimli çatılar için çatı ile asma tavan arasındaki boşluğun doğal taşınım yoluyla havalandırılmasının sıcaklık dağılımına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Sonuçlar, doğal havalandırmanın hem düz hem de eğimli çatılarda iç mekân sıcaklıklarını düşürdüğünü, çatı ısı yükünü azalttığını ve gece soğumasını hızlandırdığını göstermiştir. Bu etkinin özellikle eğimli çatıda daha belirgin olduğu rapor edilmiştir. Çatı havalandırmasının sıcak iklimlerde ısıyı uzaklaştırarak enerji verimliliğini artırmada önemli bir pasif strateji olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde, Basok vd. [4] pencere altına yerleştirilmiş çift panelli bir radyatörle ısıtılan bir iç mekândaki sıcaklık dağılımını sayısal olarak analiz etmiş; sıcaklık dağılımının homojen olmadığını ve özellikle zemin seviyesi ile dış cephe duvarlarına yakın bölgelerde düşük sıcaklıklı bölgelerin oluştuğunu belirtmiştir. Oyewola vd. [5], farklı en-boy oranlarına sahip dikdörtgen hacim içerisindeki doğal taşınımı COMSOL programı aracılığıyla iki boyutlu ele alıp sayısal olarak incelemiştir. Oluşturulan modelde ve düşey duvarlardan birinin sıcak diğerinin soğuk olduğu, yatay duvarların ise adyabatik olduğu bir konfigürasyon için Rayleigh sayısının (10^4 – 10^8) akış yapısı ve ısı transferi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada elde edilen sıcaklık ve akım çizgisi dağılımları, Rayleigh sayısının artışıyla birlikte akışın iletim ağırlıklı rejimden konvektif rejime geçtiğini ortaya koymuştur. Ayrıca artan en-boy oranının sıcak duvar yakınındaki termal sınır tabakasını kalınlaştırarak konvektif ısı transferini belirgin ölçüde etkilediği gösterilmiştir. Anthony ve Verma [6], bir radyatörle ısıtılan oda içerisindeki doğal taşınımı CFD kullanarak iki farklı türbülans modeli için modellemiştir.

Isıtıcının bulunduğu duvarın üst kısmındaki menfezden taze havanın girdiği, karşı duvarın üst kısmındaki menfezden ise havanın çıktığı düşünülmüştür. Sıcaklık dağılımının büyük ölçüde uniform olduğunu, havanın hız gradyanının ise ısıtıcıya yakın bölgelerde belirgin olduğu saptanmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar, seçilen türbülans modellerinin doğal taşınım analizlerinde benzer ve güvenilir performans sunduğunu göstermiştir. Radyatör kullanımının iç mekân termal konforuna etkisini değerlendiren diğer çalışmalarda da benzer bulgular ortaya konmuştur. Sevilgen ve Kılıç [7], iki panel radyatörle ısıtılan bir odada sıcaklık ve nem dağılımının yanı sıra bir manken üzerinde termal konfor seviyelerini CFD ile incelemiş ve yapı bileşenlerinin iyi yalıtılmasının hem enerji tüketimini azalttığını hem de termal konforu artırdığını belirtmişlerdir. Myhren ve Holmberg [8], farklı ısıtma sistemlerinin (radyatör, yerden ısıtma, duvar ısıtma) ofislerdeki hava akışı ve termal konfor üzerindeki etkilerini sayısal olarak incelemiş; düşük sıcaklıklı sistemlerin daha homojen sıcaklık dağılımı sağladığını, ancak soğuk hava girişine karşı yüksek sıcaklıklı radyatörlere göre daha zayıf kaldığını göstermiştir. Sonuç olarak, tüm sistemlerin kabul edilebilir konfor sağladığını, fakat soğuk hava düşüşünün kontrolünde radyatörlerin daha etkili olduğunu raporlamıştır. Carreto-Hernandez vd.[9], tam ölçekli bir odada osilasyonlu sınır koşulları altında doğal taşınımı hem deneysel hem sayısal olarak incelemiştir. Türbülans modellerinin hem iki boyutlu hem de üç boyutlu modele etkisini karşılaştırmıştır. Üç boyutlu modellemede RNG k-ε en iyi sonuçları verdiğini, iki boyutlu modellemede ise; sıcaklık dağılımında, standart k-ω modelin, hız dağılımında, k-ω SST modelin en iyi sonucu verdiğini saptamıştır. Mikhailenko vd. [10], alttan ısıtılan büyük ölçekli bir odada doğal taşınımı oluşturduğu iki boyutlu modelle incelemiştir. Sonuç olarak, termal radyasyonun toplam ısı transferi üzerindeki etkisinin duvarların ve ısıtıcı yüzeylerin yüzey emisivitesi arttıkça arttığını belirtmiştir. Çalışır vd. [11], panel tipi radyatörlerde farklı su giriş-çıkış bağlantı konfigürasyonlarının akış karakteristiklerine etkisini hem deneysel hem de sayısal yöntemlerle incelemişlerdir. Üç farklı bağlantı düzeni (üstten giriş-alttan çıkış aynı hizada, üstten giriş-alttan çıkış karşı hizada ve alttan giriş-alttan çıkış karşı hizada) değerlendirilmiş ve özellikle üstten giriş-karşı hizada alttan çıkış konfigürasyonunun radyatör yüzeyinde daha homojen sıcaklık dağılımı sağlayarak ısı transfer performansını artırdığı rapor edilmiştir. El-Gendi [12], yüksek Rayleigh sayısında ($Ra = 3.06 \times 10^{11}$) zamana bağlı türbülanslı sıkıştırılabilir durum için, duvar tipi ısıtıcıyla ısıtılan oda içerisindeki doğal taşınımı sayısal olarak incelemiştir. Isıtıcının karşısındaki duvarın sabit yüzey sıcaklığına sahip olması ve adiyabatik olmasının doğal taşınımına etkileri karşılaştırmıştır. Adiyabatik durumda ısının birikerek tüm hacmi doldurduğunu, izotermal durumda ise belirgin bir sıcaklık gradyenti ve süreklilik gösteren konvektif akış oluştuğunu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan çalışmada, farklı oda boyutları için, sıcak sulu ısıtma için pencere önü radyatörün ve yerden ısıtmanın kullanılmasının oda içerisindeki hız ve sıcaklık dağılımına etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla incelenen koşullar altında elde edilen sıcaklık ve hız dağılımının kontur grafikleri verilmiş hız ve sıcaklık profilleri karşılaştırılmıştır. İç mekânlarda farklı ısıtma sistemlerinin doğal taşınım yapıları ve termal konfor üzerindeki etkileri, sayısal yöntemler kullanılarak incelenmek güncelliğini korumaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, radyatör ve yüzeyden ısıtma sistemlerinin hava akışı ve sıcaklık dağılımı üzerindeki farklı etkileri karşılaştırılmış; yerden ısıtma sistemlerinin daha homojen sıcaklık dağılımları ve daha düşük hız gradyanları sağladığı rapor edilmiştir [13, 14]. Bu çalışmalar, iç mekân ısı konforunun değerlendirilmesinde sayısal analizlerin önemini ortaya koymakta ve sunulan çalışmanın güncel literatürle uyumunu desteklemektedir.

2 MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, sıcak sulu ısıtma sistemi için pencere önü radyatörün kullanılması ile yerden ısıtmanın kullanılmasının oda içerisindeki hız ve sıcaklık dağılımına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla farklı boyuttaki odalar, sonlu hacimler metodu kullanan ANSYS Fluent paket programında iki boyutlu olarak modellenmiştir.

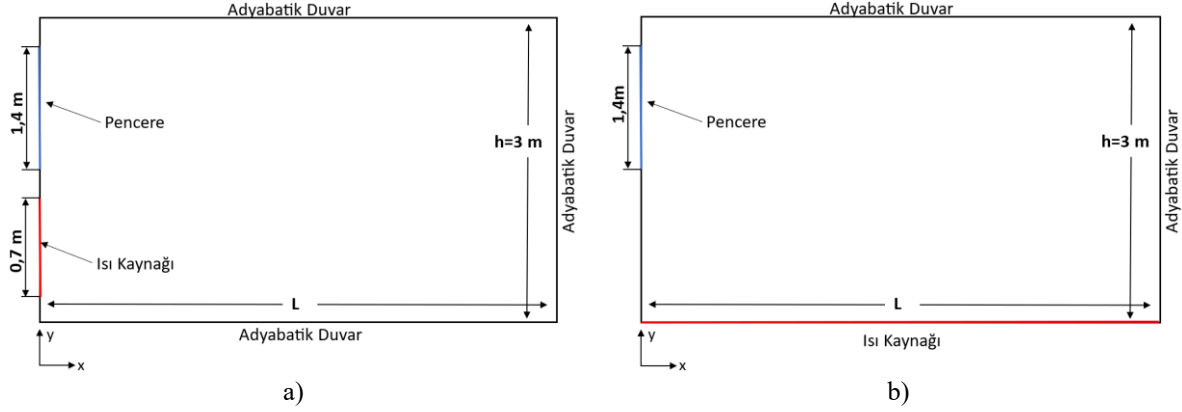
2.1 Problemin tanımı

Çalışmada, Şekil 1’de çözüm bölgesi ve sınır şartları verilmiş olan, bir duvarı dış ortamla temas eden diğer duvarları ısıtılan mahalle temas eden ara kattaki bir oda ele alınmıştır. Odada oluşan ısı köprüler ihmal edilerek odanın iç duvarlarıyla odanın tavan ve tabanı adiyabatik olarak kabul edilmiştir. Pencere yüzeyindeki sıcaklık dağılımının homojen ve sabit 278 K sıcaklığında olduğu kabul edilmiştir. Pencerenin bulunduğu cephedeki duvarlar adiyabatik olarak alınmıştır. Radyatörün kullanıldığı durum (a) ve yerden ısıtmanın kullanıldığı durum (b) için ısı kaynağının kapasitesi sabit 100 W olarak alınmıştır.

2.2 Sayısal model

Problem sayısal olarak ANSYS Fluent paket programında modellenmiştir. Bu program ANSYS Fluent Theory Guide [15]’de verilmiş olan kütle, momentum ve korunum ve türbülans denklemlerini sayısal olarak çözmektedir. Model oluşturulurken oda içerisindeki havanın akışı türbülanslı olarak kabul edilmiş ve türbülans modeli olarak birçok araştırmacının tercih etmiş olduğu iki eşitlikli model olan standart k-ε model [15] tercih edilmiştir [10, 16,

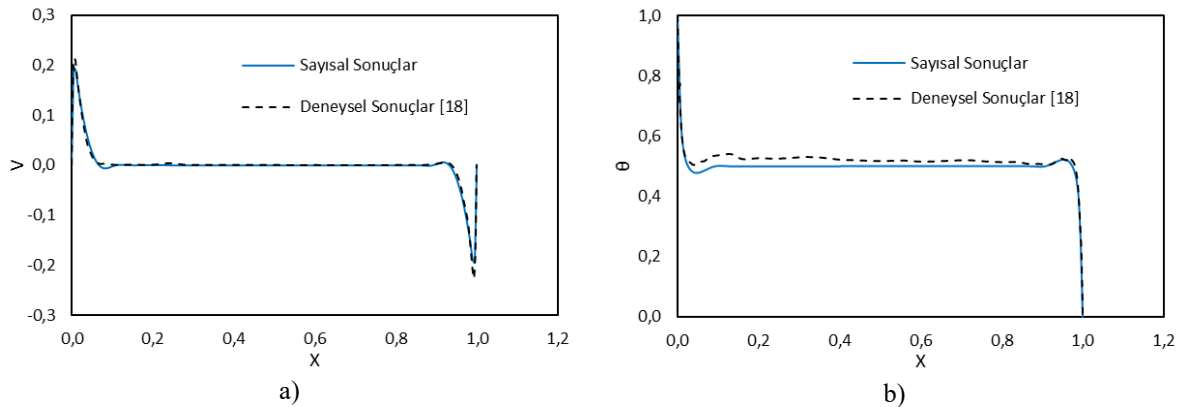
17]. Türbülans sabitleri programda tanımlı olduğu şekliyle alınmıştır. Literatürde de kabul gördüğü üzere, havanın yoğunluğu dışındaki özellikleri sabit kabul edilmiş, havanın yoğunluğu ise boussinesq yaklaşımıyla sıcaklığın fonksiyonu olarak alınmıştır [6, 9, 10]. Korunum ve türbülans denklemlerinin ayrıştırılmasında İkinci Derece Upwind şema tercih edilmiştir. [6, 9, 17]. İterasyonlar, enerji denklemi için 10^{-8} , diğer denklemler için 10^{-5} değerine yakınsayınca kadar devam etmiştir.



Şekil 1. Çözüm bölgesi ve sınır şartları a) Radyatörle ısıtma b) Yerden ısıtma

2.3 Modelin doğrulanması

Sayısal çalışmalar, fiziksel olayı bilgisayar ortamında simüle etmektedir. Yapılan simülasyonda kullanılan denklemler, sabitler, yapılan kabuller, tercih edilen ayrıştırma şeması, türbülans modeli ve oluşturulan örgü yapısı gibi birçok parametre sonucu etkilemektedir. Bu nedenle oluşturulan modelin doğrulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, Mikhailenko ve arkadaşlarının çalışmalarında [10] da referans almış oldukları Ampofo ve Karayiannis'in deneysel çalışmaları [18] referans alınarak oluşturulan model doğrulanmıştır. Ampofo ve Karayiannis'in veri setlerini paylaşmış olduğu deneysel çalışma için içerisinde doğal taşınımın olduğu kare kapalı hacim ele alınmış ve aynı koşullar için modellenmiştir. Yapılan analizler sonucu, elde edilen veriler ve referans çalışmada paylaşılmış olan veriler kullanılarak oluşturulan; boyutsuz düşey hız bileşeninin ve boyutsuz sıcaklığın, boyutsuz yatay konuma göre değişim eğrileri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, modelleme sonucu elde edilen hız profilinin referans çalışmadaki deneysel sonuçlarla örtüştüğü söylenebilir. Sıcaklık değişimi değerlendirilecek olur ise; sıcaklık profilinin eğilimi örtüşmekle beraber sıcaklık değerinde kabul edilebilir boyutta farklar bulunduğu belirtilebilir. Özetle oluşturulan modelden elde edilen sonuçların literatürdeki deneysel sonuçlarla uyduğu ve dolayısıyla modelin kabul edilebilir olduğu söylenebilir.



Şekil 2. Elde edilen a) Düşey hız b) Sıcaklık profilinin referans çalışmadaki sonuçlarla karşılaştırılması

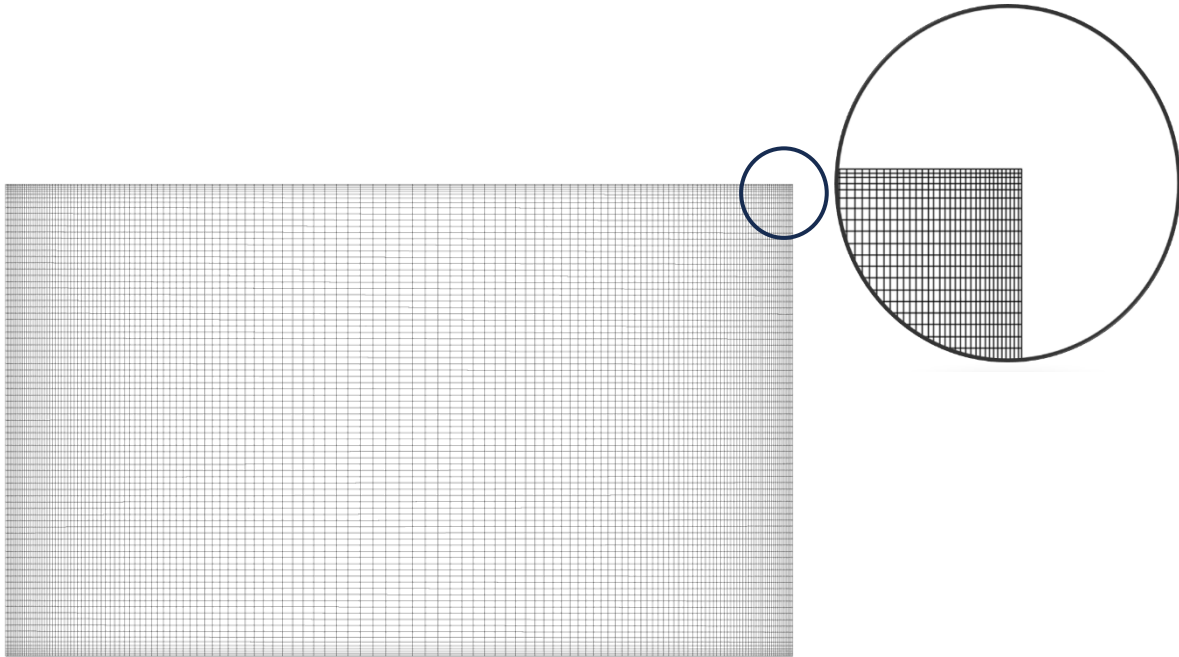
2.4 Ağ yapısı

Sayısal çalışmalar, fiziksel olayı bilgisayar ortamında simüle etmektedir. Ansys Fluent programının kullanmış olduğu sonlu hacimler yönteminde çözüm bölgesi birbirini sınırlayan küçük hacimlere bölünüp, tanımlanmış olan denklemler her bir hacim için çözülür. Sayısal model ağ yapısı üzerine inşa edildiğinden, çözüm bölgesinde oluşturulan ağ yapısı, doğrudan sonucu etkilemektedir. Düzgün oluşturulmuş ağ yapısı, çözüm alanını daha iyi temsil eder. Akış ayrılması, sınır tabaka gelişimi, türbülans yapıları gibi karmaşık fiziksel olayları doğru

yakalamak için düzgün oluşturulmuş bir ağ yapısı gereklidir. Çözüm bölgesi içerisindeki değişimin düzgün modellenebilmesi için ağ yapısının sıklığının yeterli olması gerekmektedir. Ağ yapısını oluşturan hacimlerin büyüklüğü ve yapısı doğrudan sonucu etkilemektedir. İyi oluşturulmuş ağ yapısında, hacimsel çarpıklıkların olmaması ve homojen bir yapı beklenmektedir. Ayrıca hacim büyüklüğünün, incelenen fiziksel parametrelerin değişimini yansıtacak yeterli sıklıkta olması gerekmektedir. Sık ağ yapısının oluşturulması yeterli çözünürlüğü sağlamakla birlikte çözüm süresini uzatmaktadır. Bu çalışmada hem çözüm süresini kısaltmak hem de yeterli ağ yapısı çözünürlüğünü sağlamak için hız ve sıcaklık gradyanının yüksek olduğu bölgelerde daha sık ağ yapısı oluşturulmuştur. Görseli Şekil 3'te verilmiş olan ağ yapısında da görüldüğü gibi sıcaklık ve hız gradyanının yüksek olduğu duvara, pencereye ve ısıtıcıya yakın bölgelerde daha sık ağ yapısı oluşturulmuştur.

Çözümün ağ yapısından bağımsızlığının kontrol edilmesi için çözüm bölgesi, dört farklı sıklıktaki ağ yapısıyla elemanlara bölünerek analizler yapılmıştır. Ağ yapılarına ait bilgiler ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda sonuç olarak, belirlenen aynı koşullar için çözüm bölgesinde elde edilen sıcaklık ve hızın maksimum değerleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde, Ağ 1 ağ yapısında elde edilen sonuçların diğer üç ağ yapısında elde edilen sonuçlardan biraz ayrıştığı, diğer üç ağ yapısında elde edilen sonuçların ise birbirine yakın çıktığı söylenebilir. Ağ-3 ve Ağ-4 ağ yapıları karşılaştırılacak olur ise; maksimum sıcaklık ve maksimum hız değerlerinde sırasıyla yaklaşık %0.59 ve %0.75'lik fark bulunmaktadır.

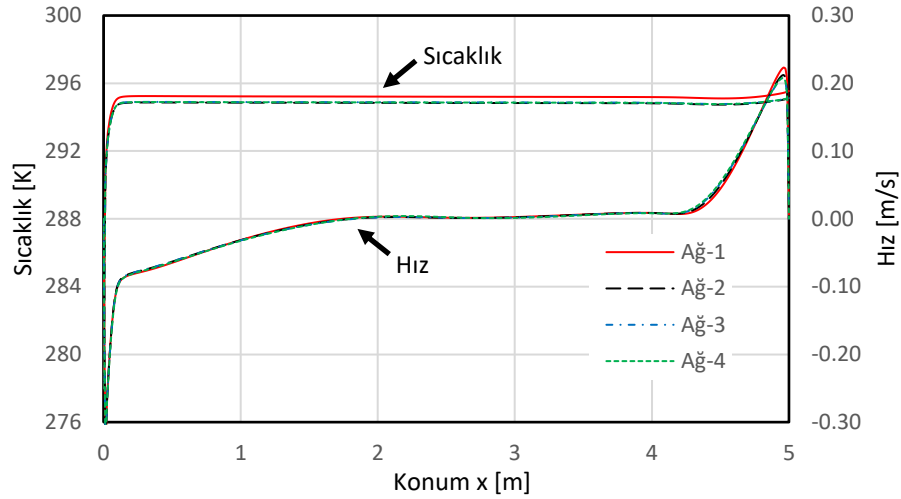
Sıcaklık ve hız profillerinin karşılaştırılması amacıyla oluşturulan, $y=1,5$ m'deki düşey hız ve sıcaklık değerlerinin yatay konuma göre değişim eğrileri Şekil 4'te verilmiştir. Şekle bakıldığında dört ağ yapısı için de sıcaklık ve düşey hız değerlerinin benzer eğilim gösterdiği görülmektedir. Ağ-2, Ağ-3 ve Ağ-4 ağ yapıları için elde edilen eğrilerin örtüştüğü, Ağ-1 ağ yapısı için elde edilen eğrinin ise bunlardan çok belirgin olmayan bir şekilde ayrıştığı söylenebilir. Tüm bu sonuçlar dikkate alınarak, yapılan çalışmada Ağ-3 ağ yapısı tercih edilmiştir.



Şekil 3. Oluşturulan ağ yapısı

Tablo 1. Tablo açıklaması

Ağ Yapısı	Eleman Sayısı	Eleman Yüzey Büyüklüğü		Sıcaklık Maks. [K]	Hız Maks [m/s]
		Min. [mm ²]	Maks. [mm ²]		
Ağ-1	90600	36.080	357.456	304.93	0.414
Ağ-2	150800	20.071	215.367	304.19	0.407
Ağ-3	301000	12.705	107.304	304.01	0.402
Ağ-4	405600	9.000	71.901	303.83	0.399



Şekil 4. Farklı ağ yapıları için sıcaklık ve hız profili

3 BULGULAR

Yapılan çalışmada, odanın yerden veya radyatörden ısıtılması durumunda oda içerisindeki doğal taşınımın davranışı iki boyutlu olarak incelenmiştir. Bu amaçla iki boyutlu sayısal model oluşturulmuş ve farklı oda uzunlukları için analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen sıcaklık ve hız dağılımları incelenmiştir. Yapılan analizlerde pencere yüzeyi 278 K sabit yüzey sıcaklığı olarak, ısıtıcıların yüzeyi ise 100 W ısı ya karşılık gelen ısı akısı, diğer yüzeyler ise adyabatik olarak tanımlanmıştır.

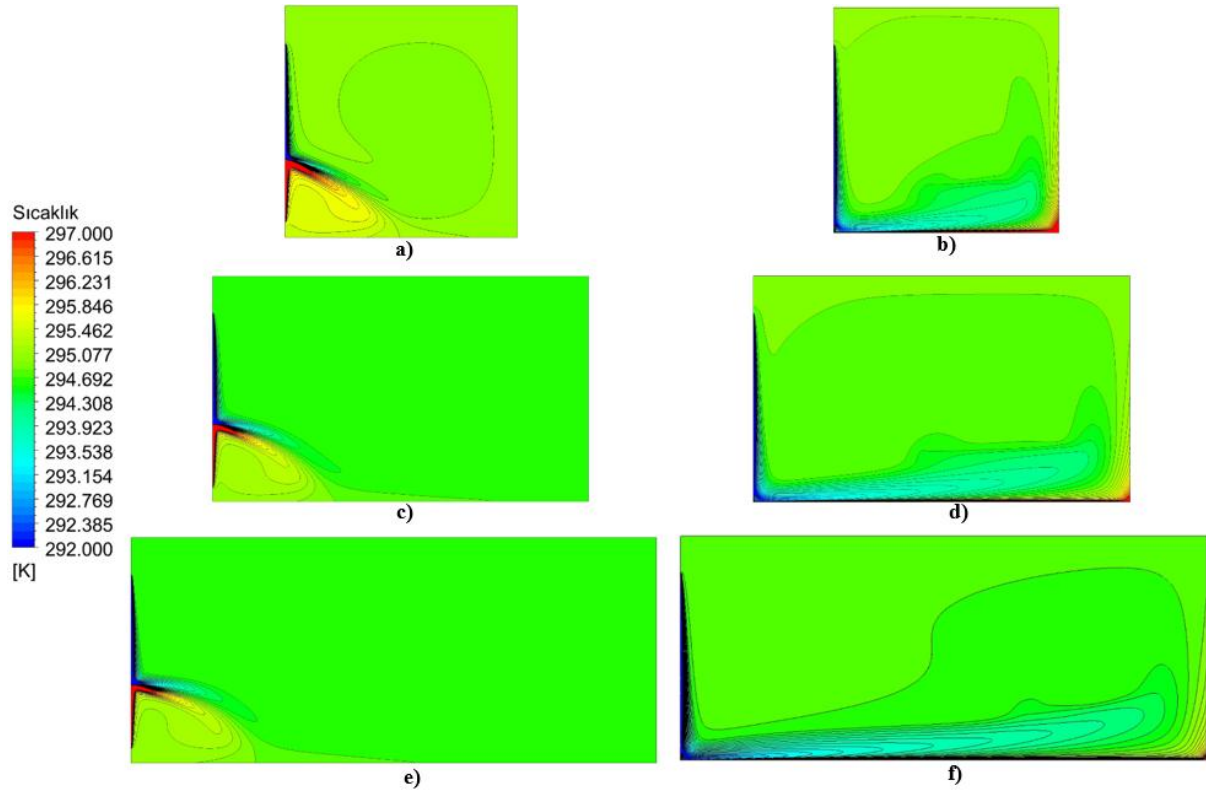
Analizler sonucu; a) radyatörden ısıtılan 3 m uzunluğundaki oda, b) yerden ısıtılan 3m uzunluğundaki oda, c) radyatörden ısıtılan 5 m uzunluğundaki oda, d) yerden ısıtılan 5 m uzunluğundaki oda, e) radyatörden ısıtılan 7 m uzunluğundaki oda ve f) yerden ısıtılan 7 m uzunluğundaki oda için elde edilen sıcaklık dağılımı, kontur grafik olarak Şekil 5'te verilmiştir. Şekildeki sıcaklık kontur dağılımları, oda uzunluğunun artmasıyla iki farklı ısıtma yönteminin sıcaklık dağılımını nasıl değiştirdiğini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Radyatörle ısıtılan odalarda (a, c, e), ısıtıcının yakın çevresinde yüksek sıcaklık bölgesinin olduğu ve oldukça dik bir sıcaklık gradyanının olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki yüksek sıcaklık farkı, güçlü bir doğal taşınım oluşturarak sıcak havanın hızla yükselmesine ve odanın üst bölgelerinde yaygın hava hareketinin oluşmasına neden olmaktadır. Oda uzunluğu arttıkça, bu konvektif yapının etkisi giderek zayıflamakta; özellikle orta ve uzak bölgelerde sıcaklık dağılımı giderek daha homojen bir yapıya yaklaşıp da hâlen belirgin bir sıcak farklılıkları gözlenmektedir. Bu durum, radyatörlü sistemin lokal bir ısı kaynağı olarak davranmasının mekân büyüdükçe sıcaklık dağılımı üzerindeki etkinliğini sınırladığını göstermektedir.

Yerden ısıtılan odalar (b, d, f) incelendiğinde ise sıcaklığın taban boyunca oldukça düzenli biçimde yayıldığı ve odanın tüm hacminde daha dengeli bir sıcaklık dağılımının olduğu anlaşılmaktadır. Tabandan yükselen ısının geniş yüzey alanı boyunca homojen şekilde yayılması, düşük sıcaklık gradyanları ile karakterize edilen daha kararlı bir ısı yapı ortaya çıkarmaktadır. Oda uzunluğu artsa dahi sıcaklık konturları büyük ölçüde benzer biçimde korunmakta, bu da yerden ısıtmanın ısı konfor açısından ölçek bağımsız bir performans sergilediğini göstermektedir. Özellikle 5 m ve 7 m uzunluklarındaki odalarda taban seviyesinden itibaren oldukça düzgün bir sıcaklık yükselişi gözlenmesi, sistemin geniş hacimlerde dahi konvektif dengesini sürdürebildiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, radyatörlü ısıtma yöntemi radyatöre yakın kısımda yüksek sıcaklık bölgesi oluştururken, yerden ısıtma sistemi tüm hacme yayılmış daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamaktadır. Bu bulgulardan yararlanılarak, yerden ısıtmanın geniş hacimli mekânlarda konfor ve enerji etkinliği açısından daha avantajlı olduğu söylenebilir.

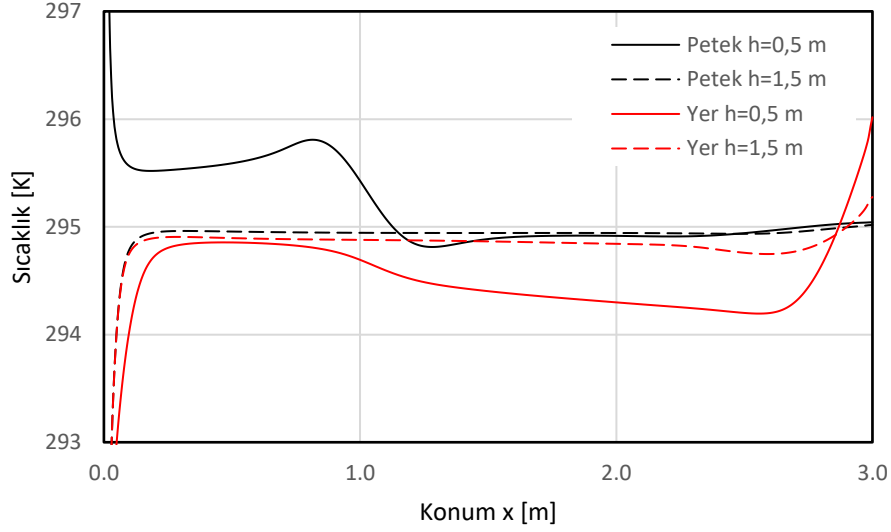
Sonuçların daha detaylı analiz edilmesi amacıyla, 0,5 m ve 1,5 m yüksekliğindeki sıcaklık değerinin yatay konuma göre değişim eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 6'da 3 m uzunluğundaki oda için odanın yerden ve radyatörden ısıtılması durumunda oluşan sıcaklık profilleri karşılaştırılmıştır. 5 m uzunluğundaki odada sıcaklığın yatay doğrultudaki dağılımı üzerine ısıtma yönteminin etkisi Şekil 7'de sunulmuştur. Uzunluğu 7 m olan odada sıcaklığın yatay doğrultuda nasıl dağıldığını belirlemede ısıtma yönteminin rolü Şekil 8'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



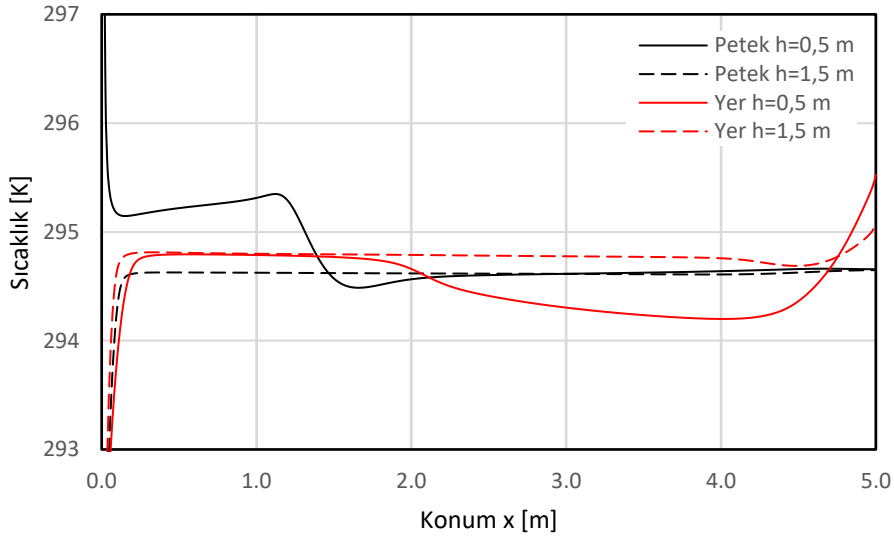
Şekil 5. a) radyatörden ısıtılan 3 m uzunluğundaki, b) yerden ısıtılan 3 m, uzunluğundaki, c) radyatörden ısıtılan 5 m uzunluğundaki, d) yerden ısıtılan 5 m, uzunluğundaki, e) radyatörden ısıtılan 7 m uzunluğundaki ve f) yerden ısıtılan 7 m, uzunluğundaki oda için sıcaklık dağılımı kontur grafikleri

Şekil 6–8’de verilen sıcaklık profilleri, farklı uzunluklara sahip odalarda iki ısıtma yönteminin yatay doğrultudaki sıcaklık dağılımına etkisini karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktadır. Radyatörle ısıtılan durumlarda sıcaklık, ısıtıcının yakın bölgesinde belirgin bir artış göstermekte ve yüksek sıcaklık gradyanları sonucunda lokal bir yüksek sıcaklık oluşmaktadır. Oda boyunca ilerledikçe sıcaklık dağılımı daha düşük değerler etrafında dengeye gelmekte, ancak odanın sonuna doğru sınır tabaka etkileri ve hava hareketi nedeniyle hafif bir sıcaklık artışı yeniden gözlenmektedir. Oda uzunluğunun artması, bu karakteristik dağılımı daha belirgin hâle gelmesine ve orta bölgedeki yatay bölgesinin genişlemesine neden olmaktadır. Buna karşılık yerden ısıtma sisteminde sıcaklık profili, başlangıç bölgesinde hızlı bir yükseliş gösterdikten sonra oda boyunca oldukça kararlı bir yapı sergilemekte ve sadece küçük genlikli dalgalanmalar oluşturmaktadır. Özellikle 7 m uzunluğundaki odada dahi sıcaklığın yatay doğrultuda büyük oranda sabit kalması, yerden ısıtma yönteminin odanın uzamasının karşısında homojen ısıtma özelliğini koruyabildiğini ortaya koymaktadır. Bu karşılaştırma genel olarak değerlendirildiğinde, ısıtma yönteminin etkisi yere daha yakın olan 0,5 m yüksekliğinde daha belirgin olduğu belirtilebilir.

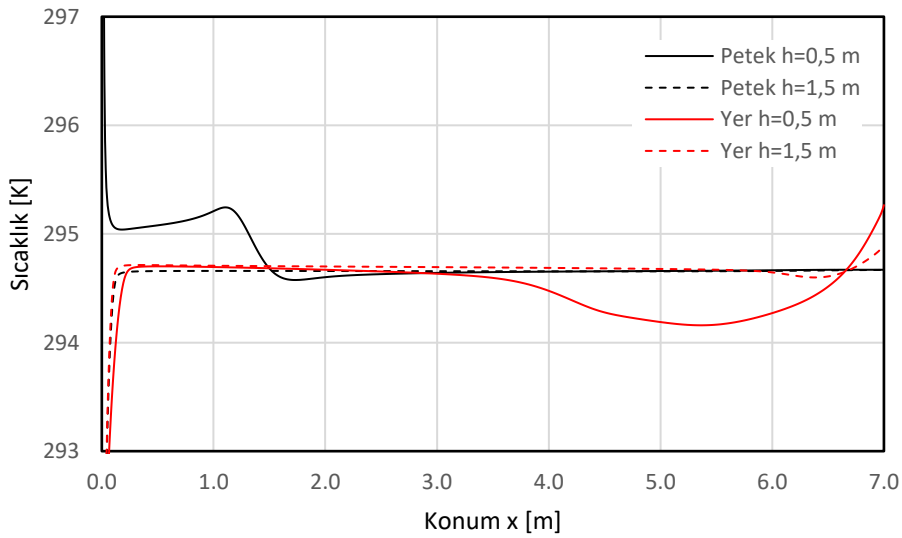
Şekil 9, analizler sonucunda elde edilen hız dağılımı kontur grafiklerini göstermektedir. Bu kapsamda; (a) radyatörle ısıtılan 3 m uzunluğundaki oda, (b) yerden ısıtılan 3 m uzunluğundaki oda, (c) radyatörle ısıtılan 5 m uzunluğundaki oda, (d) yerden ısıtılan 5 m uzunluğundaki oda, (e) radyatörle ısıtılan 7 m uzunluğundaki oda ve (f) yerden ısıtılan 7 m uzunluğundaki oda için ilgili konturlar sunulmaktadır. Tüm alt şekiller incelendiğinde, hız alanının ısı kaynağına yakın bölgelerde belirgin biçimde arttığı, uzak bölgelerde ise zayıflayarak daha durağan bir akış rejimine dönüştüğü görülmektedir. Radyatörle ısıtılan odalarda (a, c ve e), sıcak hava akımları özellikle radyatörün bulunduğu duvar boyunca yükselme eğilimindedir ve bu durum duvar yakınında yüksek hız bölgesinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu bölgelerde hızın 0,35–0,42 m/s seviyelerine kadar çıktığı görülmektedir. Oda boyutu arttıkça her iki ısıtma türünde de hız alanının daha yaygın bir hâl aldığı, akım yapısının uzayan geometri nedeniyle yatay doğrultuda daha belirgin bir dağılım gösterdiği gözlemlenmektedir. Özellikle 7 m uzunluğundaki odalarda (e ve f), akışın büyük kısmının düşük hızlarda gerçekleştiği, sadece ısı kaynağı yakınında hızlanmalar olduğu ortaya çıkmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, radyatörle ısıtma daha yüksek hız gradyanlarına ve belirgin konvektif döngülere yol açarken, yerden ısıtma daha düşük hızlı ve dengeli akış yapıları üretmektedir. Bu bulgular, ısıtma yönteminin odadaki hava hareketi ve dolayısıyla termal konfor koşulları üzerinde önemli etkileri olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 6. 3m uzunluğundaki oda için elde edilen sıcaklık profili

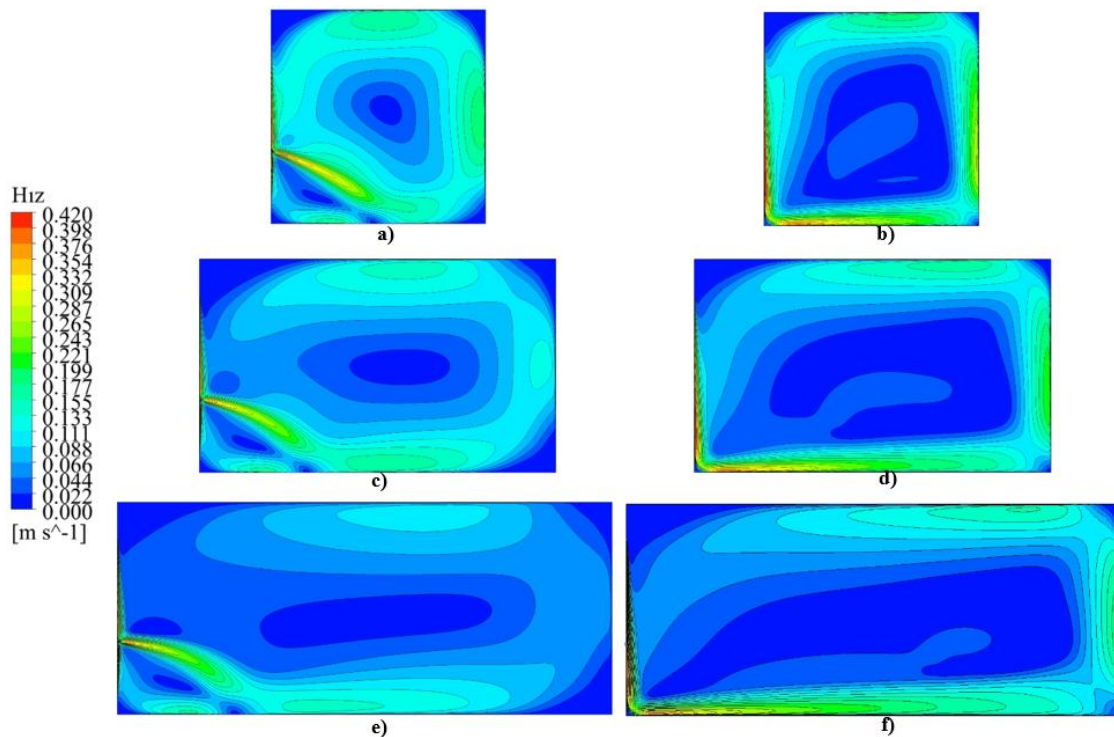


Şekil 7. 5m uzunluğundaki oda için elde edilen sıcaklık profili



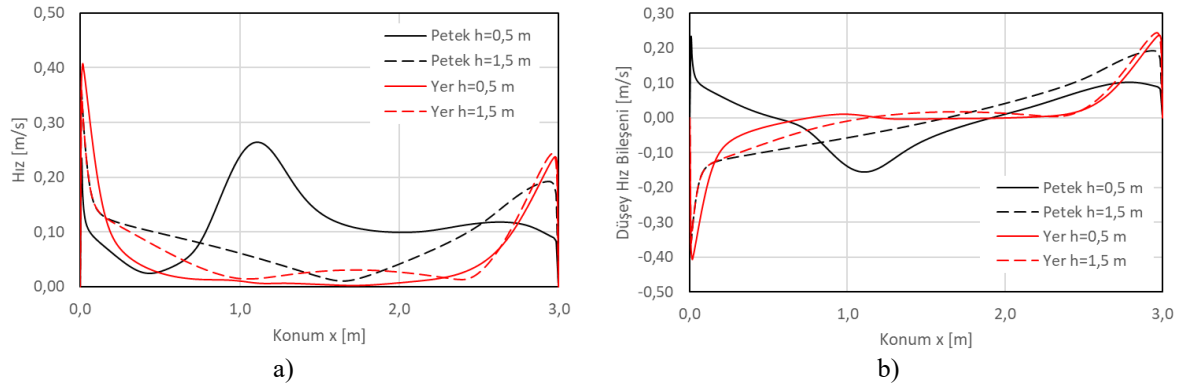
Şekil 8. 7m uzunluğundaki oda için elde edilen sıcaklık profili

Sonuçların daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla, 0,5 m ve 1,5 m yüksekliklerdeki hız ve düşey hız bileşenlerinin yatay konuma göre değişim eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 10'da, 3 m uzunluğundaki odada yerden ve radyatörle ısıtma yöntemleri uygulanması durumunda ortaya çıkan sıcaklık profilleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Benzer şekilde, 5 m uzunluğundaki odada sıcaklığın yatay doğrultudaki dağılımı üzerine ısıtma yönteminin etkisi Şekil 11'de sunulmuştur. Oda uzunluğunun 7 m'ye çıkarıldığı durumda sıcaklığın yatay yönde nasıl dağıldığı ve bu dağılım üzerinde ısıtma yönteminin belirleyici rolü ise Şekil 12'de ayrıntılı biçimde gösterilmiştir. Radyatörle ısıtılan odalarda hız dağılımı, özellikle ısıtıcıya yakın bölgelerde belirgin şekilde artmakta ve yüksek gradyanlı bir akış yapısı oluşmaktadır. Bu durum, radyatörün neden olduğu lokal sıcaklık farkının güçlü doğal konveksiyon hücreleri oluşturduğunu göstermektedir. Ancak oda uzunluğu arttıkça, bu etkinin mekânın orta ve son bölgelerine olan nüfuzu azalmaktadır; dolayısıyla daha uzun odalarda hız dağılımı daha yumuşak ve düşük genlikli hâle gelmektedir. Buna karşılık yerden ısıtma sistemlerinde hız profilleri tüm oda boyunca daha homojen, düşük türbülanslı ve kararlı bir yapı sergilemektedir. Yüzeiden geniş bir alana yayılan düşük sıcaklık farkı, akışın daha kontrollü bir şekilde yükselmesine neden olmakta ve bu nedenle düşey hız profili radyatörlü sistemlere kıyasla çok daha düzenli bir form göstermektedir. Oda uzunluğu arttığında bile yerden ısıtmanın oluşturduğu hız dağılımları arasında belirgin bir farklılık ortaya çıkmaması, bu yöntemin mekân büyüdükçe dahi akış karakterini koruyabildiğini göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde radyatörlü sistem, kısa odalarda belirgin bir hava hareketi yaratırken uzun odalarda etkisini kaybetmekte; buna karşılık yerden ısıtma, oda boyutundan bağımsız olarak daha dengeli ve konfor açısından avantajlı bir akış yapısı sunmaktadır. İncelene tüm senaryolarda, pencereye yakın bölgede maksimum hava hızları oluşmaktadır.

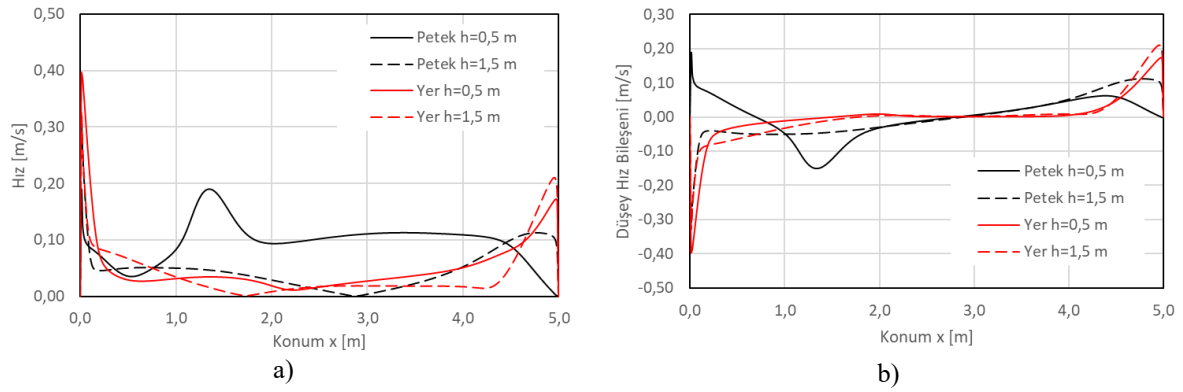


Şekil 9. a) radyatörden ısıtılan 3 m uzunluğundaki, b) yerden ısıtılan 3 m, uzunluğundaki, c) radyatörden ısıtılan 5 m uzunluğundaki, d) yerden ısıtılan 5 m, uzunluğundaki, e) radyatörden ısıtılan 7 m uzunluğundaki ve f) yerden ısıtılan 7 m, uzunluğundaki oda için hız dağılımı kontur grafikleri

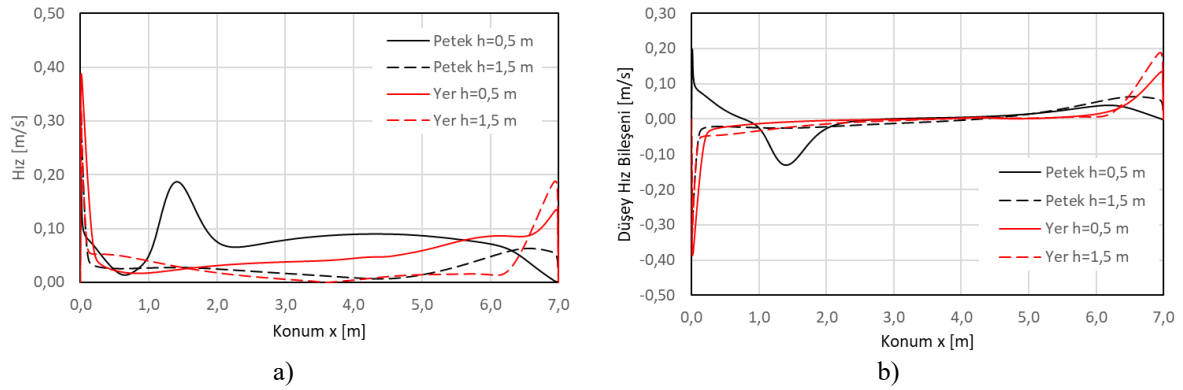
Bu çalışmada dış cepheye bakan duvarlar adyabatik kabul edilmiştir. Bu varsayım, farklı ısıtma yöntemlerinin oluşturduğu doğal taşınım karakteristiklerini karşılaştırmak amacıyla sınır koşullarını sadeleştirmek için tercih edilmiştir. Ancak gerçek yaşam koşullarında dış cephe duvarları, yapı kabuğunun ısı yalıtım seviyesine bağlı olarak belirli bir ısı kaybına maruz kalmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda, dış cephe ısı kaybının artmasıyla birlikte radyatörlü sistemlerde duvar yakınında oluşan soğuk yüzey etkisinin güçlendiği, buna bağlı olarak düşey sıcaklık gradyanlarının arttığı ve konfor koşullarının olumsuz yönde etkilendiği rapor edilmiştir [8, 10]. Buna karşılık yerden ısıtma sistemlerinde, ısıнын geniş bir yüzeyden yayılması nedeniyle dış cephe kaynaklı ısı kayıplarının iç mekân sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisinin daha sınırlı kaldığı ve daha kararlı bir ısı yapı korunduğu belirtilmektedir [7, 8]. Dolayısıyla dış cephe duvarlarında ısı geçirgenliğinin artması durumunda, radyatörle ısıtılan hacimlerde sıcaklık dengesizliğinin ve hava hareketlerinin daha belirgin hâle gelmesi, yerden ısıtma sistemlerinin ise göreceli avantajını koruması beklenmektedir. Bu bağlamda, elde edilen sonuçların adyabatik sınır koşulları altında geçerli olduğu; farklı dış cephe ısı kaybı senaryolarının incelenmesinin ileride yapılacak çalışmalar için önemli bir araştırma konusu olduğu söylenebilir.



Şekil 10. 3m uzunluğundaki oda için elde edilen a) hız, b) düşey hız profili



Şekil 11. 5m uzunluğundaki oda için elde edilen a) hız, b) düşey hız profili



Şekil 12. 7m uzunluğundaki oda için elde edilen a) hız, b) düşey hız profili

4 SONUÇLAR

Bu araştırmada, farklı uzunluklara sahip odalarda radyatör ve yerden ısıtma sistemlerinin doğal taşınım davranışına, sıcaklık dağılımına ve hız alanına etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Oluşturulan modelde oda iki boyutlu ve kararlı olarak ele alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki radyatörle ısıtılan odalarda, ısıtıcının lokal bir ısı kaynağı olarak davranması sonucu özellikle ısıtıcıya yakın bölgelerde belirgin sıcaklık gradyanları ve güçlü konveksiyon hücreleri oluşmuştur. Bu durum, sıcak hava akımının duvar boyunca yükselmesiyle odanın üst bölgelerinde yoğun hava hareketlerine yol açmış, oda uzunluğu arttıkça sıcaklık dağılımındaki düzensizliklerin daha belirgin hâle geldiği görülmüştür (bkz. Şekil 5 ve Şekil 6–8). Özellikle 5 m ve 7 m uzunluğundaki odalarda sıcak-soğuk bölge ayrımının güçlenmesi, radyatörün lokal ısıtıcı karakterinin geniş mekânlarda etkinliğini sınırladığını ortaya koymaktadır. Hız dağılımı incelendiğinde de radyatörün bulunduğu bölgede 0,35–0,42 m/s'ye ulaşan hız değerlerinin olduğu, bunun ise daha yüksek türbülans seviyelerine işaret ettiği belirlenmiştir (Şekil 9 ve Şekil 10–12).

Yerden ısıtma kullanılan odalarda ise taban yüzeyinden yayılan ısının geniş bir alanda dağılması sayesinde oda boyunca oldukça homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Farklı oda uzunluklarında sıcaklık alanının büyük oranda benzer kalması, yerden ısıtma sisteminin ölçekten bağımsız, kararlı ve dengeli bir ısı performans sunduğunu doğrulamaktadır. Bu durum özellikle 7 m uzunluğundaki odada açıkça görülmekte olup, sıcaklığın yatay doğrultuda neredeyse sabit bir profil gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca yerden ısıtma, düşük hız büyüklükleri ve daha kararlı akış yapıları oluşturarak termal konfor açısından daha uygun bir ortam sağlamıştır.

Sonuç olarak, çalışma bulguları yerden ısıtmanın özellikle geniş iç hacimlerde daha homojen sıcaklık dağılımı, düşük hız seviyeleri ve daha kararlı doğal taşınım yapıları sayesinde termal konfor açısından daha üstün bir ısıtma yöntemi olduğunu ortaya koymaktadır. Radyatörlü sistemler ise daha küçük hacimlerde veya lokal ısıtma gereksinimi olan durumlarda etkin olabilmekle birlikte, oda boyutu arttıkça performans açısından sınırlamalar göstermektedir. Hız ve sıcaklık profilleri özellikle 0,5 m yüksekliğinde daha belirgin farklılıklar ortaya koymuştur. Bu yükseklik, kullanıcıların bulunduğu seviyeye karşılık geldiğinden, yerden ısıtmanın konfor açısından önemli bir avantaj sunduğu anlaşılmaktadır.

Yazar Katkıları

Muhammet ÖZDOĞAN: Kavramlaştırma, Metodoloji, Yazılım, Doğrulama, Veri analizi, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Veri İyileştirme, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Görselleştirme, Süpervizyon, Proje yönetimi, Finansman temini

Yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynakça

- [1] S. Venko, D. Vidal de Ventós, C. Arkar, and S. Medved, "An experimental study of natural and mixed convection over cooled vertical room wall," *Energy and Buildings*, vol. 68, pp. 387–395, 2014.
- [2] G. A. Ganesh, S. L. Sinha, and T. N. Verma, "Numerical simulation for optimization of the indoor environment of an occupied office building using double-panel and ventilation radiator," *Journal of Building Engineering*, vol. 29, 2020.
- [3] D. Tarek, N. Benamara, M. Aminallah, A. Lahcene, and S. Tewfik, "Influence of natural convection ventilation of the space between the roof and the false ceiling on the distribution of the temperature in a room," *International Journal of Heat and Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 749–754, 2023.
- [4] B. I. Basok, B. V. Davydenko, G. G. Farenuyk, and S. M. Goncharuk, "Computational modeling of the temperature regime in a room with a two-panel radiator," *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, vol. 87, no. 6, pp. 1433–1437, 2014.
- [5] O. M. Oyewola, S. I. Afolabi, and O. S. Ismail, "Numerical simulation of natural convection in rectangular cavities with different aspect ratios," *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, vol. 17, 2021.
- [6] A. Anthony and T. Verma, "Numerical analysis of natural convection in a heated room and its implication on thermal comfort," *Journal of Thermal Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 37–53, 2021.
- [7] G. Sevilgen and M. Kilic, "Numerical analysis of air flow, heat transfer, moisture transport and thermal comfort in a room heated by two-panel radiators," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 1, pp. 137–146, 2011.
- [8] J. A. Myhren and S. Holmberg, "Flow patterns and thermal comfort in a room with panel, floor and wall heating," *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 4, pp. 524–536, 2008.
- [9] L. G. Carreto-Hernandez et al., "Analysis of natural convection in a representative cavity of a room considering oscillatory boundary conditions: An experimental and numerical approach," *Int J Therm Sci*, vol. 206, 2024.
- [10] S. A. Mikhailenko, I. V. Miroshnichenko, and M. A. Sheremet, "Thermal radiation and natural convection in a large-scale enclosure heated from below: Building application," *Building Simulation*, vol. 14, no. 3, pp. 681–691, 2020.
- [11] T. Calisir, H. O. Yazar, and S. Baskaya, "Determination of the effects of different inlet-outlet locations and temperatures on PCCP panel radiator heat transfer and fluid flow characteristics," *Int J Therm Sci*, vol. 121, pp. 322–335, 2017.

- [12] M. El-Gendi, "Transient turbulent simulation of natural convection flows induced by a room heater," *Int J Therm Sci*, vol. 125, pp. 369–380, 2018.
- [13] Y. Zhang, X. Li, and Q. Wang, "Numerical investigation of thermal comfort and airflow characteristics in rooms with different heating systems," *Building and Environment*, vol. 217, pp. 109066, 2022.
- [14] L. G. Carreto-Hernandez, S. L. Moya, C. A. Varela-Boydo, and A. Francisco-Hernandez, "Numerical–experimental study of mixed convection in a wind tower–room system," *Building and Environment*, vol. 237, pp. 110302, 2023.
- [15] "Theory Guide, ANSYS FLUENT 12.0," 2009.
- [16] A. M. Rodrigues, A. C. da Piedade, A. Lahellec, and J. Y. Grandpeix, "Modelling natural convection in a heated vertical channel for room ventilation," (in English), *Building and Environment*, vol. 35, no. 5, pp. 455–469, Jul 2000.
- [17] L. G. Carreto-Hernandez, S. L. Moya, C. A. Varela-Boydo, and A. Francisco-Hernandez, "Numerical–experimental study of mixed convection in a wind tower–room system," *Building and Environment*, vol. 237, 2023.
- [18] F. Ampofo and T. G. Karayiannis, "Experimental benchmark data for turbulent natural convection in an air filled square cavity," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 46, no. 19, pp. 3551–3572, 2003.