

Mehmet Emin ARICI

Abstract:

Heating of living spaces is ensured by means of a constant heat source (CHS) or a hot water circulating (HWC) system. Electrical heaters, heat pump condenser surfaces, stoves and fire places can be considered as the constant heat sources. The radiator heaters integrated with a hot water boiler are known as hot water circulating systems. For the existing heating design approach, time dependent effects such as the heating up process (HUP) and the process interruption (PI) are not taken into consideration. Instead, results obtained for the steady-state case calculation are corrected by some practically obtained coefficients. Inner temperature of the system as an acting dependent variable is depending on the some components; the outer temperature, the structure thermal mass and the system used. The strength of the dependence becomes more pronounceable as the system undergoes the HUP and the PI. Numerical results show that Effect of heating system on the HUP is numerically analyzed. The numerical results show that the type of system used for heating has not noticeable effect on the time dependent processes.

Key Words:

Transient Heating, Heating Up Process, Process Interruption.

Sabit Isı Kaynaklı ve Sıcak Su Dolaşımı Isıtma Sistemlerinin Zaman Bağımlı Süreçler Üzerindeki Etkisinin Karşılaştırmalı Analizi

ÖZET

Yaşam ortamlarının ısıtılması, sabit ısı kaynaklı ısıtıcılar (SIKI) veya sıcak su dolaşimli (SSD) sistemlerle sağlanır. Elektrikli ısıtıcılar, ısı pompası yoğunlaştırıcı yüzeyleri, soba ve şömineler sabit ısı kaynaklı ısıtıcılar sınıfında değerlendirilebilir. Sıcak su kazanı ile entegre radyatörlü ısıtıcılar ise sıcak su dolaşimli sistem uygulaması olarak bilinir. Mevcut ısıtma tasarımı yaklaşımında, ilk ısıtma süreci (İİS) ve kesintili ısıtma (KI) gibi zaman bağımlı etkiler doğrudan hesaba alınmaz. Bunun yerine, kararlı duruma göre yapılan hesapların deneyimden gelen katsayılarla düzeltilmesi yoluna gidilir. Isıtmanın ana bağımlı değişkeni olan iç ortam sıcaklığı; dış ortam sıcaklığı, yapı ısıtma kütlesi ve ısıtma sistemi gibi bileşenlere bağlıdır. İİS ve KI gibi zaman bağımlı süreçlerde bu bağımlılığın önemi artar. Bu çalışmada, SIKI ve SSD uygulamalarının İİS üzerindeki etkisi sayısal olarak analiz edilmiştir. Sayısal sonuçlar, farklı ısıtma uygulamalarının zaman bağımlı süreçler üzerinde önemli etkili olmadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Zaman Bağımlı Isıtma, İlk Isıtma Süreci, Kesintili Isıtma.

1. GİRİŞ

Isıtma tasarımı ile ilgili dokümanlar; el kitapları, standartlar, kullanım kılavuzları ve benzeri diğer metinler oldukça kapsamlı içeriğe sahiptirler. Bu dokümanlar, ısıtmada temel bağımlı değişkenler olan dış ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı ve yapı malzemesi sıcaklığının kararlı durumdaki ortalama değerleri esas alınarak oluşturulmuştur. Uzun süreli ve kesintisiz uygulamalarda zamandan bağımsız ve ortalama sıcaklık değerleri üzerinden tasarımı yapmak kabul edilebilir bir yaklaşımdır. Ancak uygulamada genellikle tasarruf amaçlı ve işletme koşullarından kaynaklanan nedenlerden dolayı kısa süreli ve kesintili ısıtma tercih edilir.

Zaman bağımlı ısıtma ile ilgili araştırmalara kaynak olabilecek çalışmalar sınırlı sayıda ve yakın tarihte gerçekleştirilmiş çalışmalardır.

Mendes ve arkadaşları elektrik kaynaklı yağlı ısıtıcı ile ısıtılan iç ortamda ısıtma amaçlı olmayan ancak ısı üreten cisimleri de hesaba alan bir sayısal çalışma gerçekleştirdiler. Çalışmada, ısıtıcıda üretilen ısının da zaman bağımlı olduğunu kabul etmişlerdir. İç ortam havası

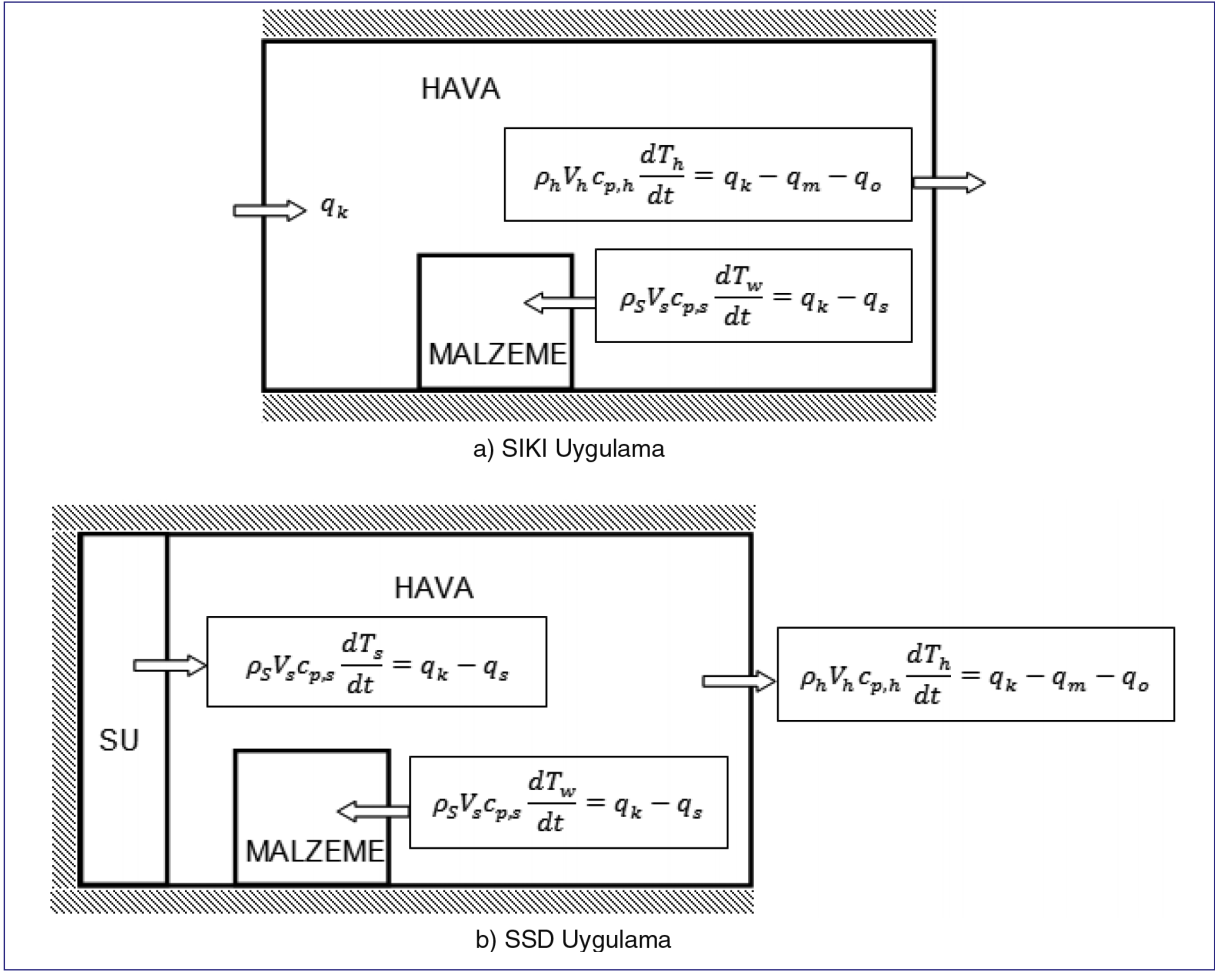
sıcaklığının hesaplanmasında toplam kütle yaklaşımı ve bina zarfın içerisindeki ısı transferi için çok katmanlı duvar yaklaşımı kullanmışlardır. Bina zarfı ısı kapasitesinin iç ortam sıcaklığı üzerinde etkili olduğunu gösterdiler [1]. Antonopoulos ve Tzivanidis, zaman bağımlı ısıtma ile ilgili sonlu farklar yaklaşımına dayalı çalışma gerçekleştirdiler ve bu çalışma bulgularını kullanarak zaman gecikmesi ile ilgili bir ilişki geliştirdiler. Bu ilişkiden; diğer parametreler sabit kalmak koşulu ile zaman gecikmesinin, iç ortam sıcaklığı artışı, birim hacim için ısıtma gücü ve toplam döşeme alanına bağlı olduğu sonucuna vardılar. Ayrıca yalıtımlı binalardaki zaman gecikmesinin yalıtımsız binalardan daha kısa olduğunu sayısal olarak gösterdiler [2]. Aynı araştırmacılar için sızıntı yolu ile gerçekleşen ısı kayıplarından hareketle binalarda ısı zaman sabitini belirleme çalışması gerçekleştirdiler [3]. Antonopoulos ve Koronaki, bina bileşenlerine ait özgül ısılar yardımı ile toplam ısı kapasitesinin belirlendiği bir çalışma yaptılar [4]. Arıcı ve Güler tarafından gerçekleştirilen teorik çalışmada, binalarda ilk ısıtma sürecindeki ana parametrelerin dış ortam sıcaklığı genliği ve bina zaman sabiti olduğu gösterildi. Geliştirilen yaklaşımla, bileşen sıcaklıklarının (iç ortam havası ve yapı malzemesi sıcaklığı) zamana göre değişimi değişik parametrelerin etkisi altında belirlenebilmektedir [5]. Kaynak [5]'deki yaklaşım kullanılarak, bina yapı bileşenlerinin zaman bağımlı soğumaya karşı davranışı sayısal olarak incelenerek, yapı malzemesinin ısı zaman sabiti ve dış ortam sıcaklığı genliğinin etkili parametreler olduğu sonucuna varıldı [6].

Son iki çalışmada aynı teorik yaklaşım kullanılmıştır. Her iki durumda da problemin ana bağımlı değişkeni olan iç ortam havasının bina içerisindeki yerel dağılımı, ve bina zarfındaki sıcaklığın uzamsal etkisi hesaba alınmamıştır. Önceki çalışmadaki ısıtma sistemi, sıcak su dolaşımli-radyatörlü sistem olarak düşünülmüş ve böylece sistemde dolaşan su, iç ortam havası ve bina yapı malzemesi gibi sistemi oluşturan

bileşenlerden biri olmuştur. Sonrakinde ise sistemi oluşturan iki bileşen, iç ortam havası ve bina yapı malzemesidir. Böylece soğutucu, ana sistemden sabit ısı çeken bir sabit olarak alınmıştır. Her iki çalışmada da bağımlı değişkenlerin zaman bağımlılığı mevcut olup uzamsal etkiler hesaba alınmamıştır. Mevcut çalışmada ise ısıtmanın SIKI sistem ve SSD sistem olarak gerçekleştirilmesi durumu sayısal olarak analiz edilmiş ve bulgular karşılaştırılmıştır. Isıtma sistem tercihinin, ilk ısıtma süreci (İIS) ve kesintili ısıtma (KI) gibi zaman bağımlı süreçler üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

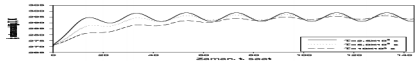
2. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu çalışmada analize konu olan bina bütün bir sistem olarak düşünülmüştür. SIKI sistemde binanın alt sistemleri; iç ortam havası ve iç bölmeler ile tavan, döşeme ve benzeri bileşenlerden oluşan yapı malzemesidir. SSD sistemde ise binanın alt sistemlerine su bileşeni de ilave edilmiştir. Isıtma mekanizmasının bu alt sistemlerin birbirleri arasında ve ayrıca her biri ile dış ortam arasında doğrudan ya da dolaylı olarak meydana geldiği düşüncesinden hareketle enerjinin korunumu ifadeleri elde edilmiştir. SIKI sistemde ısıtıcıdan ortama sabit ısı girişi ve dış ortama ısı çıkışı vardır. SSD sistemde ise su alt sisteminde ısı üretimi ve dış ortama ısı çıkışı vardır. Ayrıca her iki durumda alt sistemler arasında ısı transferi gerçekleşmektedir. Şekil 1'de sistem bileşenleri arasındaki enerji dengesinin şematik gösterimi verilmiştir. Enerji dengesini temsil eden denklemler kapalı formda şekiller üzerinde gösterilmiştir. Denklemler, SIKI uygulamada iç ortam havası ve yapı malzemesi için; SSD uygulamada su, iç ortam havası ve yapı malzemesi için enerji denklemleri olup toplam kapasite yaklaşımı kullanılarak elde edilmiştir. Bu denklemlerdeki bağımlı değişkenler sistem bileşenlerine ait sıcaklıklar olup (su sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı ve yapı malzemesi sıcaklığı) bu sıcaklıkların sadece zamana göre değişimi hesaba alınmış olup uzamsal bağımlılık incelenmemiştir.



Şekil 1. Sistem Bileşenleri Arasındaki Enerji Dengesinin Şematik Gösterimi

SIKI uygulamasında iç ortam havası ve yapı malzemesi için enerjinin korunumu denklemleri kapalı formda, sırasıyla;



$$\rho_m V_m c_{m,s} \frac{dT_m}{dt} = q_m \quad (1)$$

şeklinde olup burada ρ , V ve c sırasıyla yoğunluk, hacim ve özgül ısıyı göstermektedir. h indisi havayı ve m indisi yapı malzemesini temsil etmektedir. q_k , ısı kaynağından iç ortama geçen ısıyı; q_m , yapı malzemesine geçen ve q_o , dış ortama geçen ısıyı göstermektedir. Alt sistemlere ait ısıl kapasiteler,

$$M_h = \rho_h V_h c_h \quad (3)$$

$$M_m = \rho_m V_m c_m \quad (4)$$

olarak ifade edilir, R_h ve R_m sırasıyla hava ve yapı malzemesi için toplam ısıl dirençler olmak üzere denklemler yeniden düzenlenirse, (1) ve (2) denklemleri aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\frac{dT_h}{dt} = -\frac{1}{M_h} \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_m} \right) T_h + \frac{1}{M_h} \left(\frac{T_o}{R_a} + \frac{T_m}{R_m} \right) + \frac{q_s}{M_h} \quad (5)$$

$$\frac{dT_m}{dt} = \frac{1}{R_m M_m} T_h - \frac{1}{R_m M_m} T_m \quad (6)$$

Benzer olarak SSD uygulamasında su için de enerji korunumu ifadesi kapalı formda;

$$\rho_s V_s c_{p,s} \frac{dT_s}{dt} = q_k - q_s \quad (7)$$

ve ısı kapasite de;

$$M_s = \rho_s V_s c_s \quad (8)$$

olarak yazılırsa, su iç ortam havası ve yapı malzemesi için enerjinin korunumu denklemleri,

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{q_k}{M_s} - \frac{1}{R_s M_s} T_s + \frac{1}{R_s M_s} T_h \quad (9)$$

$$\frac{dT_h}{dt} = \frac{1}{R_h M_h} T_s - \frac{1}{M_h} \left(\frac{1}{R_s} - \frac{1}{R_h} \right) T_h + \frac{1}{R_h M_h} T_o - \frac{1}{R_m M_h} T_h + \frac{1}{R_m M_h} T_m \quad (10)$$

$$\frac{dT_m}{dt} = \frac{1}{R_m M_m} T_s - \frac{1}{R_m M_m} T_m \quad (11)$$

şeklinde elde edilir.

Burada çözülmesi gereken denklem takımı SIKI için (5) ve (6) denklemleri, SSD için ise (9), (10) ve (11) denklemleridir. Bu denklemler birbirlerine bağımlı olup su, hava ve yapı malzemesi sıcaklıklarının zamanla değişiminin belirlenmesi için eş zamanlı çözüm gerektirirler. Adi diferansiyel denklem takımlarının sayısal çözümü için değişik çözüm yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmada, sayısal integral ilkesine dayalı bir çözüm olan dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanıldı. Güneş ışınımının etkisini de içeren değişken dış ortam sıcaklığı, Thekeld [7] tarafından Sinus dalga fonksiyonu davranışı gösterdiği belirtilmiş ve bu fonksiyon konu ile ilgili kaynaklar tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir [8, 9]:

$$T_o = \frac{|T_{\max} - T_{\min}|}{2} \sin\left(\frac{2\pi t}{p} - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{|T_{\max} - T_{\min}|}{2} + T_{\min} \quad (12)$$

Burada p, 24 saatlik zaman periyodu, T_{\max} ve T_{\min} ise gün boyunca görülen en yüksek ve en düşük sıcaklıklar, t ise saniye biriminde zamanı temsil etmektedir.

3. BULGULAR VE İRDELEME

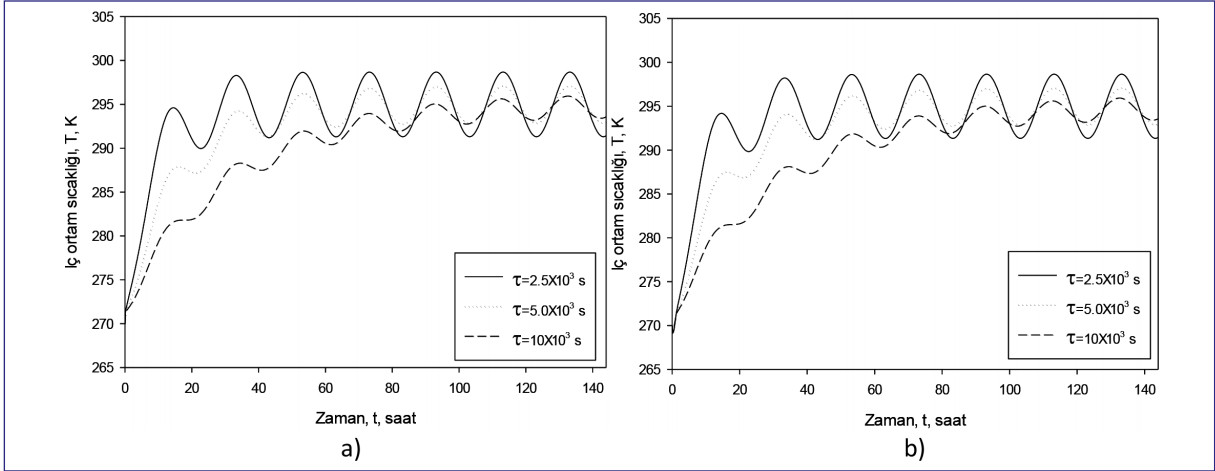
Yukarıda belirtilen çözüm yöntemi kullanılarak SIKI uygulaması için (5) ve (6); SSD uygulaması için (9),

(10), (11) denklemleri eş zamanlı olarak çözülmüştür. Bu çözümden, iç ortam hava sıcaklığının zamana göre değişimi farklı yapı malzemesi ısıl zamana sabitleri ($\tau = R_m M_m$) ve farklı dış ortam sıcaklığı genlikleri ($\underline{T} = (T_{\max} - T_{\min})$) için elde edilmiştir. Sunulan bulgular toplam iç ortam hava hacmi 1000 m³ ve %20'si cam olmak üzere toplam 400 m² dış yüzey alanına sahip bina için elde edilmiştir.

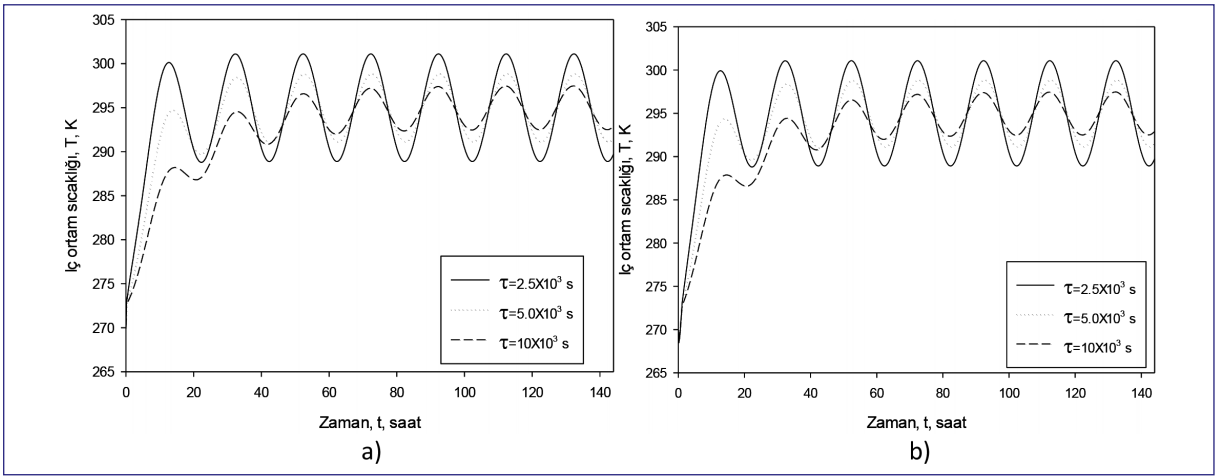
İç ortam havası ve yapı malzemesi için başlangıç sıcaklıkları T_{\min} olarak alınmıştır. Şekil 2 ve Şekil 3'de sırasıyla; yalıtımlı ($U = 1,83 \text{ W/m}^2\text{K}$) ve yalıtımsız ($U = 3,84 \text{ W/m}^2\text{K}$) soğuk binada ilk 144 saatlik süre boyunca dış ortam sıcaklığı genliğinin 20 K olması durumunda farklı ısıl zaman sabitlerinde iç ortam sıcaklığının değişimi görülmektedir. Yalıtımlı bina ile yalıtımsız bina arasındaki temel farkın, kararlı hale gelme süresi ve dış ortam sıcaklık genliğinin iç ortam hava sıcaklığı üzerindeki etkisi ile ilgili olduğu görülmektedir. En düşük zaman sabitinde ($\tau = 2,5 \times 10^5 \text{ s}$) yalıtımlı binada kararlı hale gelme süresi 30 saate yakın bir zaman alırken yalıtımsız binada bu süre 15 saate kadar düşmektedir.

Diğer taraftan, dış ortam sıcaklığının periyodik doğasından kaynaklanan sıcaklık genliğinin iç ortam hava sıcaklığındaki etkisi yalıtımlı yapıda yalıtımsız yapıya göre daha az hissedilmektedir. Böylece yalıtımsız yapıda dış ortam sıcaklığının değişkenliği daha çok algılanmakta ve iç ortam sıcaklığı belli aralıklarla konfor sıcaklığının altında ve üstünde değerler kazanmaktadır. Yapı malzemesi ısıl zaman sabitinin iç ortam sıcaklığı üzerinde etkili olduğu, her iki uygulama ile ilgili grafiklerde görülmektedir. Isıl zaman sabiti büyüdükçe, iç ortam sıcaklığının kararlı hale gelme süresi uzamaktadır. Binanın yalıtımlı olması durumunda zaman sabiti büyük olursa iç ortam sıcaklığının kararlı hale gelme süresi günler alabilmektedir.

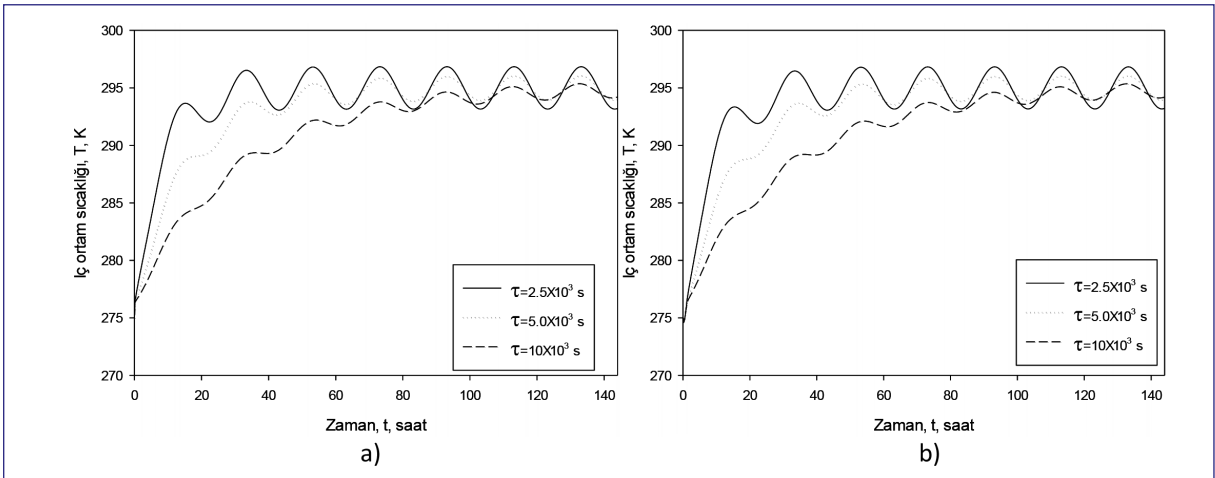
Şekil 4 ve Şekil 5'de sunulan grafiklerin Şekil 2 ve Şekil 3'deki grafiklerden farkı sadece dış ortam sıcaklığı genliğinin $\underline{T} = 20 \text{ K}$ yerine $\underline{T} = 10 \text{ K}$ olmasıdır. Her iki durumda da dış ortam sıcaklığının maksimumu 280 K olduğu halde genliğin yüksek olduğu ilk durumda iç ortam sıcaklığı maksimumu daha yüksek



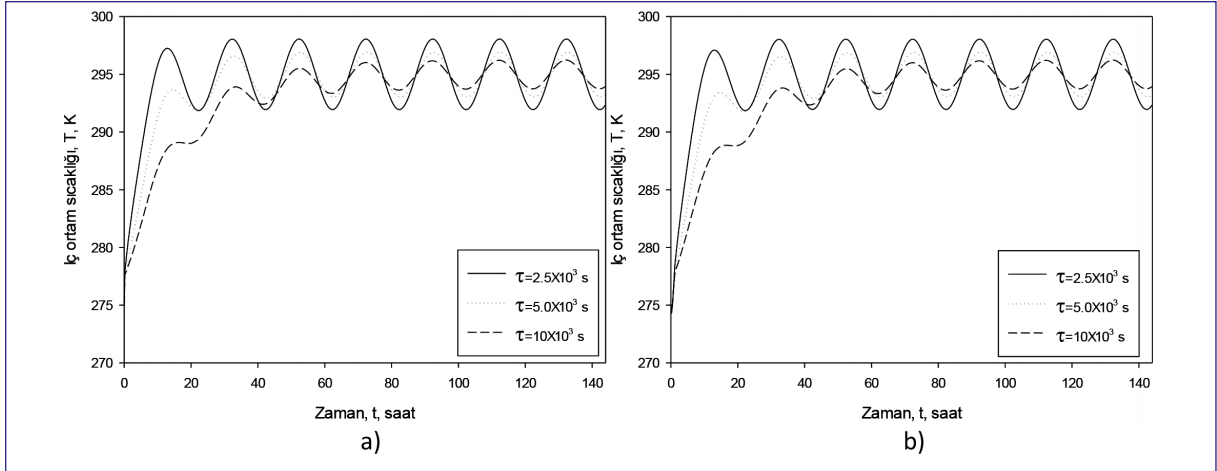
Şekil 2. Yalıtımlı Yapıda Değişik Bina Isıl Zaman Sabitlerinde İç Ortam Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi; $T = 20$ K, a) SIKI Uygulama, b) SSD Uygulama



Şekil 3. Yalıtımsız Yapıda Değişik Bina Isıl Zaman Sabitlerinde İç Ortam Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi; $T = 20$ K, a) SIKI Uygulama, b) SSD Uygulama



Şekil 4. Yalıtımlı Yapıda Değişik Bina Isıl Zaman Sabitlerinde İç Ortam Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi; $T = 10$ K, A) SIKI Uygulama, B) SSD Uygulama



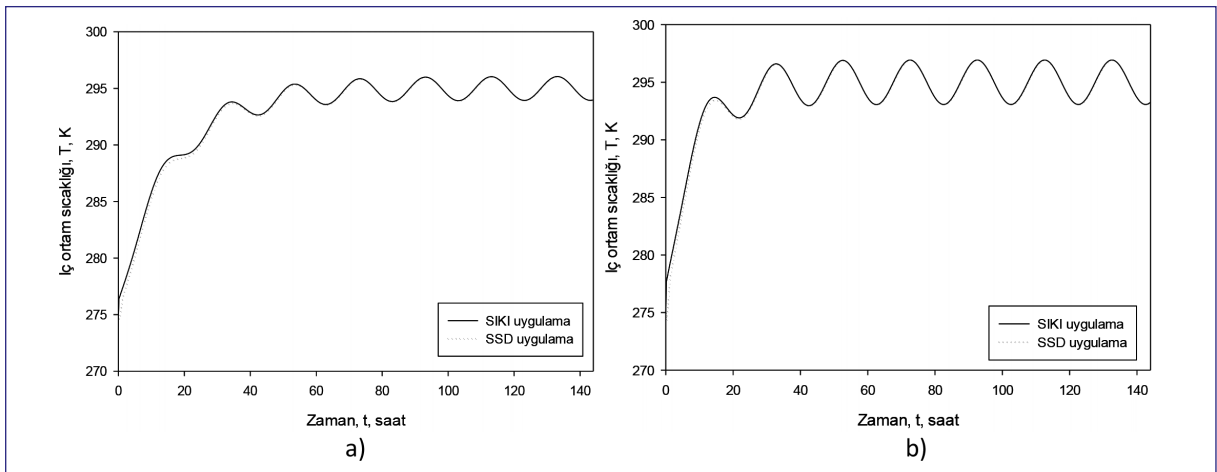
Şekil 5. Yalıtımsız Yapıda Değişik Bina Isıl Zaman Sabitlerinde İç Ortam Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi; $T = 10 K$, a) SIKI Uygulama, b) SSD Uygulama

çıkılmaktadır. Bunun nedeni, binanın toplam ısı gereksinimi dış ortam minimum sıcaklığına göre hesaplandığı için yüksek çıkmaktadır. Böylece, yüksek genlikteki dış ortam sıcaklığı esas alınarak yapılan ısıtma tasarımında hem enerji gereksinimi artmakta hem de ısıl konfor sınırlarının dışına çıkmaktadır. Bu durumda, dış ortam sıcaklığının esas alınması yaklaşımının yeniden değerlendirilmeye değer bir husus olduğu sonucuna varılır.

Şekil 6'daki grafikler, SIKI ve SSD uygulamalarının karşılaştırılması amacı ile verilmiştir. Karşılaştırma üç ayrı ısı zaman sabiti için de yapılmıştır. Ancak burada, sadece ısı zaman sabitinin $\tau = 5.0 \times 10^3$ s değeri için elde edilen grafik gösterilmiştir. SIKI ve

SSD uygulamalarında iç ortam sıcaklığının zamana göre değişiminin ilk ısıtma süresince farklılık gösterdiği, kararlı durumda ise bu farkın tamamen ortadan kalktığı görülmektedir. Bu fark SSD uygulamasında sıcaklığın SIKI uygulamaya göre bir miktar düşük olması şeklindedir.

Burada üzerinde durulmayan; kesintili ısıtma, yakıtın veya ısıtmanın kesilmesi iç ortamdaki havanın taze hava ile kısmen yer değiştirmesi gibi zaman bağımlı süreçlerde iç ortam sıcaklığının SIKI ve SSD uygulamalarındaki değişimi ayrıca analiz edilmesi gereken bir konudur. Benzer olarak, SSD uygulamasındaki su döngüsü ile ortam havası arasındaki ısı direncin (radyatör ve boru sistem seçiminin) de bir parametre olarak analize dahil edilmesi sonuçları etkileyebilir.



Şekil 6. Sıkı Uygulama ve SSD Uygulamanın İç Ortam Sıcaklığı Üzerindeki Etkileri; a) Yalıtımlı Bina, b) Yalıtımsız Bina

SONUÇ

Yapılan çalışmada, SIKI ve SSD uygulamasının zaman bağımlı süreçler üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen sayısal analizde; SIKI uygulama ile SSD uygulama arasında ilk ısıtma süresi içerisinde çok az fark olduğu, sonraki süreçlerde ise iki uygulama arasında farklılık olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan sayısal analiz bulgularının değerlendirilmesinden aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir:

1. Yalıtımlı binada iç ortam sıcaklığının kararlı hale gelme süresi yalıtımsız binaya göre daha uzun zaman almaktadır.
2. Bina ısı zaman sabitinin artması, iç ortam sıcaklığının kararlı hale gelme süresini uzatmaktadır.
3. Dış ortam sıcaklığı genliğinin artması bir taraftan bina ısı ihtiyacını artırırken diğer taraftan iç ortam sıcaklığının maksimum değerini de artırarak ısı konfor sınırlarını zorlamaktadır.
4. Sabit ısı kaynaklı ısıtma ile radyatörle entegre sıcak su dolaşımli ısıtma arasındaki fark sadece ilk ısıtma süresince ortaya çıkmaktadır. Bu fark, sıcak su dolaşımli sistemde iç ortam sıcaklığının daha düşük seyretmesi şeklindedir.

KAYNAKLAR

- [1] Mendes, N., Oliveira, G. H. C. ve Araujo, H. X., “Building Thermal Performance Analysis By Using Matlab Simulink”, Seventh International Ibpsa Conference, 2001.
- [2] Antonopoulos, K. A. ve Tzivanidis, C., “A Correlation For The Thermal Delay Of Buildings”, *Renewable Energy*, 6, 7, (1995) 687-699.
- [3] Antonopoulos, K. A. ve Tzivanidis, C., “Finite-Difference Prediction Of Transient Indoor Temperature And Related Correlation Based On The Building Time Constant”, *International Journal Of Energy Research*, 20, (1996) 507-520.
- [4] Antonopoulos, K. A. ve Koronaki, E., *Apparent And Effective Thermal Capacitance Of Buildings*, *Energy*, 23,3, (1998) 183-192.
- [5] Arıcı, M. E. ve Güler, B., “Theoretical Analysis Of Transient Response Of Cold Buildings During The Heating Up Period”, *Climamed VII. Mediterranean Congress Of Climatization*, 2013.
- [6] Arıcı, M. E. ve Güler, B., “Bina Yapı Bileşenlerinin Zaman Bağımlı Soğumaya Karşı Davranışının Sayısal İncelenmesi”, *XI. International HVAC+R Technology Symposium*, 2014.
- [7] Thelkeld, J. L., “*Thermal Environmental Engineering*”, Englewood, Cliffs, Nj, Prentice-Hall, 1970.
- [8] Asan, H. ve Sancaktar, Y. S., “Effects Of Wall’s Thermophysical Properties On Time Lag And Decrement Factor”, *Energy And Buildings*, 28, (1998) 159-166.
- [9] Asan, H., “Numerical Computation Of Time Lags And Decrement Factors For Different Building Materials”, *Building And Environment*, 41, (2006) 615–620.