
Isıl Sistemlerin Senkronizasyonu

Veysel ÖZCEYHAN², Sibel GÜNEŞ*¹

*¹Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

(Alınış / Received: 12.06.2017, Kabul / Accepted: 31.10.2017, Online Yayınlanma / Published Online: 29.12.2017)

Anahtar Kelimeler

Isıl sistemler,
Sıcaklık dalgalanması,
Senkronizasyon.

Öz: Bu çalışmada, birbirleri ile ısıl etkileşimde olan odalarda meydana gelen sıcaklık dalgalanmalarındaki senkronizasyon deneysel olarak araştırılmıştır. Deney düzeneği, halka oluşturacak şekilde 8 odalı olarak, her bir odadan diğer komşu odalara ayırıcı duvarlar boyunca ısı iletcek şekilde tanzim edilmiştir. Her odanın sıcaklık kontrolü ayrı olarak termostatlarla gerçekleştirilmiş ve sıcaklık dalgalanmalarının termostat ile ayarlanan alt ve üst değerler arasında olması sağlanmıştır. Odaların ısıtılması amacıyla kullanılan lambaların kontrolü bir bilgisayar yardımıyla yapılmıştır. Sıcaklık belirli bir üst değer üzerine çıktığı zaman lamba sönmüş ve sıcaklık alt değer altına düştüğü zaman yeniden yanmıştır. Böylelikle kontrol termostatik olarak yapılmış ve sonuçlar elektronik ortamda alınmıştır. Deneyler üç farklı ısıtıcı gücünde gerçekleştirilmiş ve odaları ayırmak için iki farklı ayırıcı malzeme kullanılmıştır. Ayrıca başlangıç şartlarının etkisi de araştırılmıştır. Sonuç olarak, ayırıcı malzemenin ısıl iletkenliğinin yüksek olması durumunda, lamba frekanslarının senkronize olduğu, ancak her bir oda için fazların farklı ve faz farkının sabit olduğu görülmüştür.

The Synchronization of Thermal Systems

Keywords

Thermal systems,
Temperature oscillation,
Synchronization.

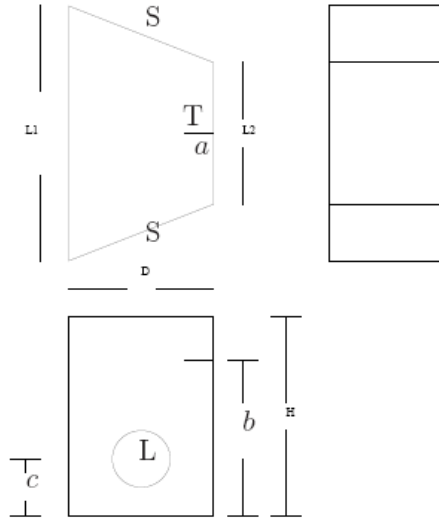
Abstract: In this study, the synchronization of temperature oscillations in chambers due thermal interaction was experimentally investigated. The experimental facility consists of eight chambers arranged in a ring, each one of which can conduct heat to its neighbours on either side through separating walls. The temperature control of each chambers were performed with individual thermostats and the temperature fluctuations were regulated in the range of lower and upper limits provided by thermostats. The bulb goes off when the temperature rises above an upper limit, and comes on when it falls below a lower limit. Thus, the temperature control was carried out thermostatically and the information is fed to a PC. Experiments were performed with three different heating powers and two different separator materials were used in order to separate the chambers. The effect of initial conditions was also studied. The results showed that when the separators have high thermal conductivities, the frequencies of lamps were synchronized; however, the phases were different and phase differences were constant for each chamber.

1. 0.5 mm kalınlığında Alüminyum plaka
2. 3 mm kalınlığında lamine tahta



Şekil 2. Kurulan deney düzeneği

Şekil 3'te tek bir odanın boyutları, lambaların ve sıcaklık sensörlerinin yerleri detaylı olarak gösterilmiştir. Bütün odaların fiziksel boyutları Tablo 1'de verildiği gibidir. Odalar arasındaki hava sızıntısı alt plakanın çevresinde sızdırmazlık elemanı, üst plakada ise kauçuk kullanılarak önlenmeye çalışılmıştır. Her bir oda yanıp sönebilen ampüllerle ısıtılmıştır ve oda içerisinde belirli bir noktada sensör yardımıyla sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Sıcaklık sensörü olarak 0.0625°C çözünürlük ve 2°C toleransa sahip DS1822 tipi dijital termometreler kullanılmıştır. Şekil 4'te 16F877 tipi mikroişlemcinin bağlantıları verilmiştir.

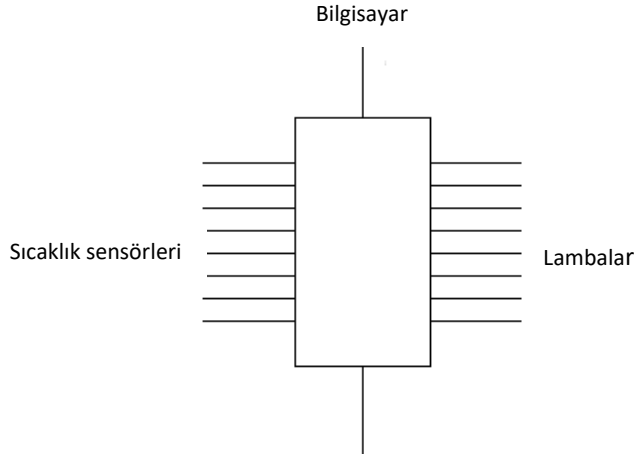


Şekil 3. Tek bir odanın fiziksel boyutlarının şematik gösterimi.

Şekil 3'te görüldüğü gibi, $D=232\pm 1$ mm, $L1=394$ mm, $L2=200$ mm, $H=400$ mm, $a=33\pm 1$ mm, $b=29.5\pm 1$ mm, $c=10\pm 1$ mm, L lambanın, T sıcaklık sensörünün ve S komşu odalar arasındaki sökülüp takılabilen ayırıcıların konumlarıdır.

Tablo 1. Odaların fiziksel boyutları

Oda	D (cm)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	H (cm)
1	23.1	39.4	20.0	40.0
2	23.0	39.4	20.0	40.0
3	23.1	39.4	20.0	40.0
4	23.1	39.4	20.0	40.0
5	23.1	39.4	20.0	40.0
6	23.15	39.4	20.0	40.0
7	23.3	39.4	20.0	40.0
8	23.4	39.4	20.0	40.0

**Şekil 4.** Mikroişlemcinin bağlantıları

Maksimum ve minimum sıcaklıkların ayarlanması suretiyle lambaların kontrolünü mümkün kılan bir C++ dilinde yazılan bir program kullanılmıştır. Bu kontrol sayesinde sıcaklık belirli bir üst limitin üzerine çıktığı zaman lamba sönmekte ve benzer şekilde alt limitin altına düştüğü zamanda yanmaktadır. Yazılım aynı zamanda hangi lambanın yanması isteniliyorsa, o lambanın yanmasına da olanak sağlamaktadır.

Çalışmada sabit veya çalışma ekibinin kontrolü dışında birçok parametre incelenmiştir. Bu parametrelerden biri 8 odalı tahtadan imal edilmiş deney düzeneğinin ısı kapasitesi, Mc 'dir. Burada M kütleyi (kg), c ise özgül ısıyı (J/kgK) temsil etmektedir. Diğer bir parametre de odalar ve laboratuvar arasındaki taşınımından kaynaklanan $1/hA_c$ ısı direncidir. Burada h , ısıtaşınım katsayısı (J/m²K) ve A_c ise ilgili ısı transfer alanıdır (m²). Üçüncü parametre ise laboratuvar ortam sıcaklığı, T_∞ 'dur. Çalışmada lambaların gücü, \dot{Q} (W), alt ve üst limit sıcaklık değerleri, T_U ve T_L ayarlanabilir olmaktadır. Odalar arasındaki ısı direncin etkisini araştırmak için, tahta ve metal olmak üzere iki farklı ayırıcı kullanılmıştır. Odalar arasında bulunan ayırıcıların ısı direnci kA_s/d şeklinde hesap edilmiştir. Burada, k , ayırıcı malzemenin ısı iletkenliği (W/mK), A_s , ısı iletim alanı ve d ise ayırıcı malzemenin kalınlığıdır (m).

Çalışmada incelenen boyutsuz parametreler aşağıda verildiği gibidir;

$$\alpha = \frac{T_U - T_L}{T_U - T_\infty} \quad (1)$$

$$R = \frac{k_s A_s / d}{h A_c} \quad (2)$$

$$Q = \frac{\dot{Q}}{h A_c (T_U - T_L)} \quad (3)$$

Odalardaki sıcaklık değeri zaman, t 'nin fonksiyonu olarak, $T_i(t) = (i-1-\beta)$ şeklindedir.

$$\theta_i(\tau) = \frac{T_i - T_L}{T_U - T_L} \quad (4)$$

Boyutsuz zaman τ Denlem 5 ile verilmiştir:

$$\tau = \frac{\dot{Q}t}{Mc(T_U - T_L)} \quad (5)$$

Isıtma durumu için matematiksel model Denlem 6'daki gibi ifade edilebilir:

$$Mc \frac{dT}{dt} + hA(T - T_\infty) = \dot{Q} \quad (6)$$

Sabit ısıtma gücünde kararlı durumda ulaşılan maksimum sıcaklık;

$$T_{\max} = T_\infty + \frac{Q}{hA} \quad (7)$$

Sabit ısıtma gücünde

$$T(0) = T_0,$$

$$T(t) = T_{\max} + (T_0 - T_{\max})e^{-hAt/Mc} \quad (8)$$

Isıtma olmadığı durumda

$$T(0) = T_{\max}$$

$$T(t) = T_{\max} - \frac{Q}{hA}(1 - e^{-hAt/Mc}) \quad (9)$$

sıcaklık değerleri Denlem 8 ve 9 ile tariflenebilir.

3. Bulgular

60W'lık lambalar $62.8 \pm 0.5 \Omega$ 'luk bir DC direnci ölçmektedirler. Üst sıcaklık değeri $T_U = 45^\circ\text{C}$ de sabit tutulurken; alt sıcaklık değeri T_L değişmektedir. Deneylerin başlangıcında bütün lambalar ON durumdadır (Şekil 5-6). Şekil 7'de kabaca 6 periyod gösterilmektedir. Şekil 5'te lambaların beyaz (ON) ve siyah (OFF) durumlarını temsil etmektedir.

Her bir oda için $S_i(t)$ on-off sinyali oluşturulmuştur.

$S_i(t) = 1$ Lamba açık (on)

2 Lamba kapalı (off)

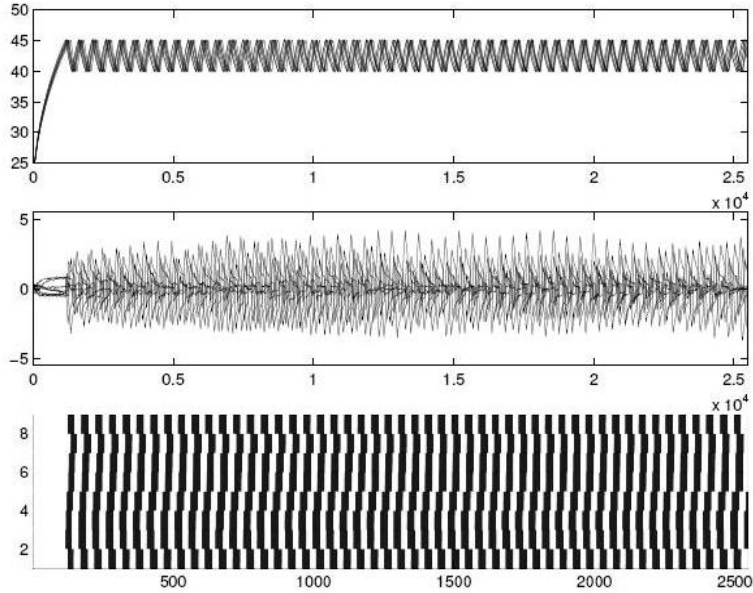
(10)

Odalar arasındaki korelasyon matrisi aşağıda belirtildiği gibidir;

$$C_{ij} = \begin{matrix} 1.0000 & 0.0876 & 0.018 & 0.4723 & 0.7679 & 0.6788 & 0.3225 & 0.8595 \\ 0.0876 & 1.0000 & 0.8900 & 0.6123 & -0.1227 & -0.2287 & -0.5140 & 0.0902 \\ 0.0018 & 0.8900 & 1.0000 & 0.5302 & -0.2135 & -0.3135 & -0.5917 & 0.0044 \\ 0.4723 & 0.6163 & 0.5302 & 1.0000 & 0.2556 & 0.1556 & -0.2033 & 0.4734 \\ 0.7679 & -0.1277 & -0.2135 & 0.2556 & 1.0000 & 0.9000 & 0.5407 & 0.7811 \\ 0.6788 & -0.2278 & -0.3135 & 0.1556 & 0.9000 & 1.0000 & 0.6406 & 0.6827 \\ 0.3225 & -0.5140 & -0.5917 & -0.2033 & 0.5407 & 0.6406 & 1.0000 & 0.3235 \\ 0.8595 & 0.0902 & 0.0044 & 0.4734 & 0.7811 & 0.6827 & 0.3235 & 1.0000 \end{matrix}$$

(11)

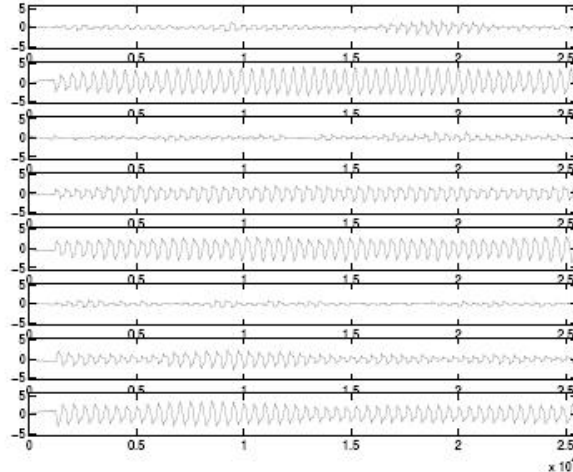
Yapılmış olan deneyde her bir odanın üst limit sıcaklığı 45°C alt limit sıcaklığı ise 40°C olarak ayarlanmıştır. Deneyin başlangıcında her bir odadaki lamba eş zamanlı değil, 1 dakika arayla yanmaktadır. Şekil 5 (a)'da her bir oda için sıcaklığın zamanla değişimi verilmiştir. Şekil 5(a)'dan görüldüğü üzere, sıcaklıklar deney yapıldığı esnadaki laboratuvar sıcaklığı olan 25°C 'den başlamış ve odalarda belirlenmiş olan üst limit 45°C 'ye kadar çıkmıştır. Sıcaklığı 45°C 'ye ulaşan odadaki lamba sönmüş, lambanın sönmesi sayesinde oda sıcaklığı dış ortama olan ısı transferi ile düşmeye başlamıştır. Oda sıcaklığı 40°C 'nin altına düştüğünde o oda için lamba yeniden yanarak ısı üretmiş ve sıcaklık yeniden artmaya başlamıştır. Şekil 5(a)'da her bir odanın sıcaklık davranışı deney başlangıcında farklılık göstermekle birlikte, belirli zaman sonunda senkronize olarak hareket ettikleri görülmüştür. Bu senkronizasyon zamanı, oda hacminin büyüklüğüne, kullanılan lambanın gücüne, odalar arası kullanılan ayırıcının malzemesine ve kalınlığına, oda dış duvarları için kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısı ve kalınlığına bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 5. (a) Oda sıcaklıklarının zamanla değişimi, (b) Odalar arasındaki sıcaklık farkının zamanla değişimi, (c) Odalar arasındaki ısı senkronizasyonunun zamanla değişimi

Şekil 5(b)'de komşu odalar arası sıcaklık farkının zamanla değişimi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, deney başlangıcında bütün odalar 25°C 'den başlayarak ısındığı için sıcaklık farkı çok azdır. Daha sonra, odanın biri ısınırken diğeri soğuduğu için Şekil 5(b)'de görülen pikler oluşmaktadır. Komşu odalar arası maksimum sıcaklık farkı 3°C civarındadır.

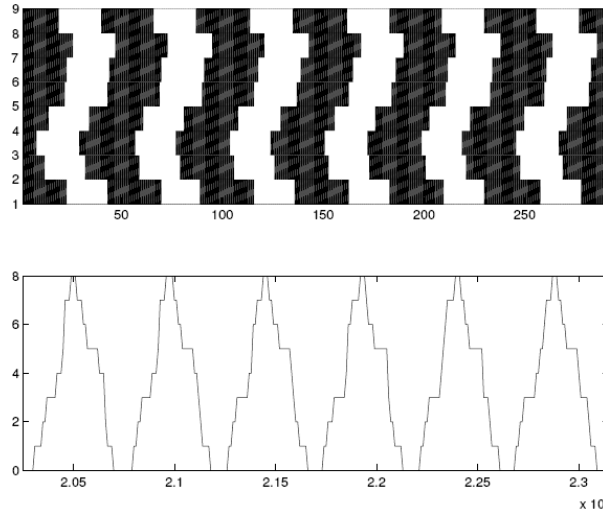
Belirli bir süre sonra, odalar ısı olarak senkronize hareket etmeye başlamıştır. Şekil 5 (c)'de odalar arası ısı senkronizasyon olayı net bir şekilde görülmektedir. Grafikte, y eksenini oda numarasını, x eksenini zamanı göstermektedir. Grafikte görülen beyaz alanlar ilgili odadaki lambanın ON durumunu, siyah olan alanlar ise ilgili odadaki lambanın OFF durumunu göstermektedir.



Şekil 6. Komşu odalar arasındaki sıcaklık farkı

Şekil 6'da komşu odaların sıcaklık farkının zamanla değişimi ayrı ayrı göstermiştir. Grafikte sırasıyla 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8 ve 8-1 nolu odalar arasındaki sıcaklık farkı verilmiştir. Odalardaki lambaların açılıp kapanma durumuna göre sıcaklık farkı değişmektedir. En fazla sıcaklık farkı 2-3 nolu odalar arasında gözlenmiştir. Bunun nedeni, bu odalardaki lambaların açılıp kapanma zamanları arasındaki zaman farkından kaynaklanmaktadır. En az sıcaklık fark ise 6-7 nolu odalar arasında gözlenmiştir. Şekil 6'da x eksenini $t(s)$ zamanı ve y eksenini $\Delta T(^{\circ}C)$ sıcaklık farkını göstermektedir.

Şekil 7'de görüldüğü üzere odalardaki lambalar sırasıyla yanmakta ve bir süre sonra senkronize hareket etmeye başlamaktadırlar. Şekil 7'de x eksenini $t(s)$ zamanı ve y eksenini senkronizasyonu göstermektedir.



Şekil 7. Birbirini takip eden 6 periyotta lambaların on-off durumu

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, birbirleri ile ısıl etkileşimde olan odalarda meydana gelen sıcaklık dalgalanmalarındaki senkronizasyon deneysel olarak araştırılmıştır. Bir binada sıcaklığın termostatlarla kontrol edildiği birbirlerine komşu olan odaların birbirleriyle aynı olması ve termostatlarla ayarlanan sıcaklık alt ve üst değerlerinin de aynı olması halinde bütün odalarda dalgalanma frekansı da aynı olmaktadır. Kurulan deney düzeneğinde birbirleri ile komşu olan odalarda duvarlardan olan ısı iletimi ile sıcaklıklarda meydana gelebilecek senkronizasyon ihtimali araştırılmıştır.

Odalarda ısıtılması amacıyla kullanılan lambaların kontrolü bir bilgisayar yardımıyla yapılmıştır. Sıcaklık belirli bir üst değerin üzerine çıktığı zaman lamba sönmüş ve sıcaklık alt değerin altına düştüğü zaman yeniden yanmıştır. Senkronizasyon zamanının, oda hacminin büyüklüğüne, kullanılan lambanın gücüne, odalar arası kullanılan ayırıcının malzemesine ve kalınlığına, oda dış duvarları için kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısı ve kalınlığına bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

Kaynakça

- [1] Bennett, M., Schatz, M.F., Rockwood, H., Wiesenfeld, K. 2002. Huygens's Clocks, Proceedings of the Royal Society of London Series A-Mathematical Physical and Engineering Sciences, 458, 563-579.
- [2] Pikovsky, A., Rosenblum, M., Kurths, J. 2001. Synchronization, A Universal Concept in Nonlinear Sciences. Cambridge University Press, Cambridge.
- [3] Strogatz, S., 2003. Sync: The Emerging Science of Spontaneous Order, Theia, New York.
- [4] Rosenblum, M. and Pikovsky, A. 2003. Synchronization: from Pendulum Clocks to Chaotic Lasers and Chemical Oscillators, Contemporary Physics, 44(5), 401-416.
- [5] Cai, W., Sen, M., Yang, K.T., McClain, R.L. 2006. Synchronization of Self-sustained Thermostatic Oscillations in a Thermal-hydraulic Network. International Journal of Heat and Mass Transfer, 49(23), 4444-4453.
- [6] Cai, W., 2007. Nonlinear Dynamics of Thermal-Hydraulic Networks, Ph.D dissertation, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, University of Notre Dame.