



Bu bir MMO
yayıdır

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan,
teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

BİNA ENERJİ TÜKETİMİNİN ISIL MODELLENMESİ

İBRAHİM KOÇ
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ

ERSİN SAYAR
İ. CEM PARMAKSIZOĞLU
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

BİNA ENERJİ TÜKETİMİNİN ISIL MODELLENMESİ

Thermal Model of Building Energy Consumption

İbrahim KOÇ
Ersin SAYAR
İ. Cem PARMAKSIZOĞLU

ÖZET

Bu çalışmada, ısı kaybı ve kazancının sadece pencere ve dış duvardan olduğu varsayılan bir odanın ısı modeli çıkartılmıştır. Pencere ve dış duvarların paralel bağlı levhalar olduğu kabul edilmiş ve bir boyutlu zamana bağlı ısı iletimi denklemleri sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Modelin doğruluğunu ispatlamak ve uygulanmasını göstermek amacıyla seçilen çeşitli uygulama problemleri sürekli rejim problemlerinin analitik çözümleri ile karşılaştırılarak ve gittikçe karmaşık hale getirilerek çözülmüştür. Çalışmanın amacı binaların TS EN ISO 13790 standardına göre yapılan uygulama çözümlerini karşılaştıracak basit bir dinamik ısı kaybı modeli geliştirmek ve daha karmaşık uygulamalar için daha esnek bir ısı model geliştirmektir.

Anahtar Kelimeler: Bina Enerji Tüketimi, Isıl modelleme

ABSTRACT

In this study, thermal model of a room is developed where heat loss and gain occurs only through the exterior walls or windows. Windows and exterior walls are assumed as planar surfaces. One dimensional heat conduction equations for parallel connected one dimensional planar surfaces are presented as a dynamic model and the equations are solved with the finite difference method. Application oriented problems are utilized to validate the proposed method and to illustrate the application of the aforementioned method, where a gradually increasing complexity is considered. Aim of this study is to model a simple dynamic heat loss model in order to compare the results of the application examples using buildings standard, TS EN ISO 13790. Hence, the aim is also to develop a flexible thermal model for more complex applications of the energy performance of buildings standard.

Key Words: Building energy consumption, Thermal modeling.

1. GİRİŞ

Enerji tasarrufunun ve doğru kullanılmasının özellikle enerji kaynakları yetersiz ülkeler için önemi açıktır. Enerji tüketiminin önemli bir kısmı binalarda meydana gelmektedir. Bu konuda tüm dünyada sayısız çalışma ve ülkemizde de geçerli olan TS EN ISO 13790 standardına göre enerji tüketimini hesaplayan bir yazılım mevcuttur. Bu standarttaki ısı model Şekil 1’de verilmiştir.

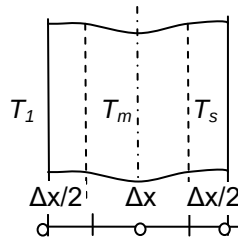
Problem, enerji tüketimi hesabının çok sayıda değişkene bağlı olması, dış sıcaklığın ve güneş dâhil ısı kazançlarının zamanla değişmesi ve uyulması gereken kararlılık kriterleri nedeniyle karmaşıktır. Duvarda zamana bağlı tek boyutlu ısı geçişi,

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

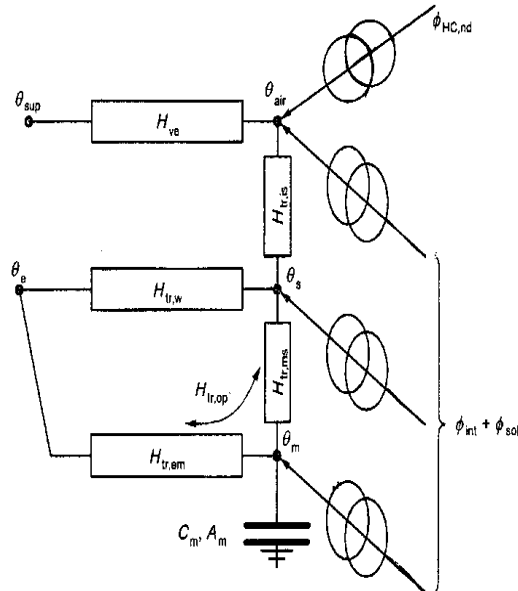
İç nokta, T_m^{t+1} bulmak için Δx elemanı göz önüne alınarak yukarıdaki denklem ayrıştırılırsa,

$$\frac{\rho \cdot c \cdot (T_m^{t+1} - T_m^t)}{\Delta t} = k \cdot \frac{(T_1^t - 2 \cdot T_m^t + T_s^t)}{\Delta x^2} \quad (2)$$

olur, Şekil 2.



Şekil 2. Duvar tek boyutlu ağ ve düğüm noktaları



Şekil 1. TS EN ISO 13790 Basit saatlik Metot, Beş direnç, bir kapasite (5R1C) modeli, Burada, T_e dış, T_s duvar ve cam iç yüzey, T_{air} iç ortam, T_m duvar, T_{sup} havalandırma, taze hava sıcaklığı, $H_{tr,m}$ duvar, $H_{tr,w}$ cam, $H_{tr,i}$ iç ortam taşınım direnci, H_{ve} , havalandırma katsayısı, C_{m,A_m} duvarın ısıl kapasitesi, ϕ_{int} , iç, ϕ_{sol} güneş ısı kazançları, $\phi_{HC,nd}$ ısıtma veya soğutma ısı gücü (ayar sıcaklığı noktasına göre) anlamındadır. Not: EN standartlarına göre sıcaklık θ , ısı ϕ ile gösterilmiştir.

Duvar eksenindeki düğüm noktası,

$$T_m^{t+1} = F_0 \cdot (T_1^t + T_S^t) + T_m^t \cdot (1 - 2 \cdot F_0) \quad (3)$$

Sınır noktaları ; İç yüzey, $\Delta x/2$ elemanı için enerji korunumu yazılırsa,

$$\frac{\rho \cdot c \cdot \Delta x \cdot (T_s^{t+1} - T_s^t)}{2 \Delta t} = \frac{k}{\Delta x} \cdot (T_m^t - T_s^t) + h_i \cdot (T_i^t - T_s^t)$$

$$T_s^{t+1} = 2Fo \cdot (T_m^t + Bi_i \cdot T_i^t) + (1 - 2Fo - 2Bi_i \cdot Fo) \cdot T_s^t \quad (4)$$

Dış yüzey, $\Delta x/2$ elemanı için enerji korunumu yazılırsa,

$$T_1^{t+1} = 2Fo \cdot (T_m^t + Bi_d T_d^t) + (1 - 2Fo - 2Bi_d \cdot Fo) \cdot T_1^t \quad (5)$$

elde edilir, Şekil 2. Burada Fourier sayısı $Fo = \alpha \cdot \Delta t / L^2$ ve duvar tek bir malzemeden yapıldığı varsayımı ve ısı iletim katsayısı k için iç yüzde Biot sayısı $Bi_i = h_i \Delta x / k$, dış yüzde $Bi_d = h_d \Delta x / k$ dir ($2h\Delta t / \rho c \Delta x = 2BiFo$).

Kararlılık kriteri olarak, iç noktada Denk. 3 te T_m ve yüzeylerde T_s ve T_1 nin katsayıları 0 veya 0'dan büyük olmalıdır. Buna göre Δt seçiminde,

$$Fo \leq 1/2, \text{ yüzeylerde } Fo(1+Bi) \leq 1/2$$

(6) kriterlerini sağlamalıdır. $Bi > 0$ olduğundan yüzeydeki kriter alınmalıdır.

2. ISIL MODEL

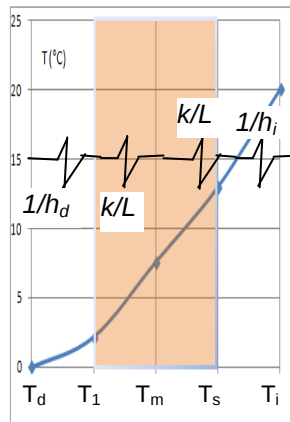
Bir örnek oda alınarak odanın dış duvarı için sürekli ve geçici rejimde çeşitli modeller oluşturulmuştur. Bu çalışmada odanın dış duvarının iç yüzeyindeki ısı taşınım direnci $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$, dış yüzeyindeki ısı taşınım direnci $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı iletim katsayısı (tek bir malzemeden yapıldığı varsayımı ile) 1 W/mK , yoğunluğu 2000 kg/m^3 , özgül ısı 1000 J/kgK alınmıştır,

1.Dış duvar, sürekli rejim : Sürekli rejimde dış ve iç sıcaklıklar, 0 ve 20°C için 20 cm kalınlıkta duvarın yüzey ve orta nokta sıcaklıkları aşağıdaki gibi bulunur, Şekil 3. Duvar orta nokta sıcaklığını bulmak için duvarın ortasına göre iletim dirençleri $R_{d1} = R_{d2} = 0,1/1 = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$, $R_{\text{toplam}} = 0,37 \text{ m}^2\text{K/W}$ olup geçen ısı akısı $q'' = 54 \text{ W/m}^2$ dir.

Tablo 1. Sürekli rejim

T_d $^\circ\text{C}$	T_1 $^\circ\text{C}$	T_m $^\circ\text{C}$	T_s $^\circ\text{C}$	T_i $^\circ\text{C}$	R_{toplam} $(\text{m}^2\text{K/W})$	q'' (W/m^2)
0	2,16	7,57	12,97	20	0,370	54

Sıcaklık dağılımı Tablo 1 ve Şekil 3'te verilmiş olup iki gün 48 h için enerji tüketimi $Q = 54 \cdot 110 \cdot 48 = 285405 \text{ Wh}$ dir.

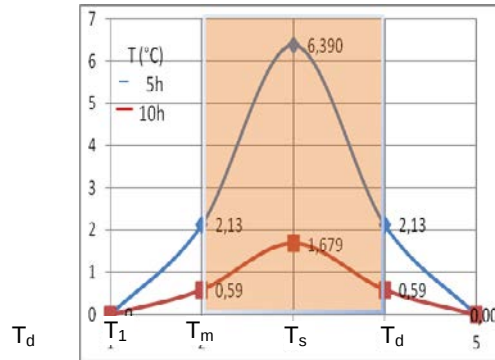


Şekil 3. Dış duvar için sürekli rejim sıcaklık dağılımı

2. Dış duvar, geçici rejim: Özdeş duvarın her noktasındaki sıcaklık 20°C iken aniden her iki taraftaki dış ortam sıcaklıkları ve ısı taşınım dirençleri 0°C ve 0,04 m²K/W olsun.

Tablo 2. Geçici Rejim, simetrik sınır şartı

t h	T _d °C	T ₁ °C	T _m °C	T _s °C	T _i °C	Fo	ζ	T °C
5	0	2,13	6,390	2,13	0	0,9	1,16	6,28
10	0	0,59	1,679	0,59	0,00	1,8	2,32	1,97
30	0	0,00	0,008	0,00	0,00			



Şekil 4. Dış duvar geçici rejim sıcaklık dağılımı

t=30 h sonunda tüm duvar sıcaklığı ortam sıcaklığına inmektedir. İkinci bir yol olarak, Fo>0,2 için seri çözümün ilk terimi,

$$\frac{T_{\text{eksen}} - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = C_1 \cdot \exp(-\xi^2 \cdot Fo) \quad \text{alınarak, Bi= 2,5 için ısı geçişi kitaplarındaki tablolardan [2]}$$

C₁= 1,1943, ζ=1,1347 bulunur. Elde edilen zamana bağlı çözüm Şekil 4 ve Tablo 2 in son sütunda verilmiştir.

3. Dış duvar, geçici rejim:

Özdeş duvar t=0 anında tüm duvar 20°C sıcaklıkta iken dış ortam sıcaklığı aniden 0°C a düşsün, iç ve dış taraftaki ortam sıcaklıkları ve ısı taşınım dirençleri 20°C , 0°C ve 0,13 , 0,04 m²K/W olsun. Duvarın zamana bağlı sıcaklık dağılımını ve sürekli rejime erişene kadarki enerji tüketiminin bulunması istensin. Duvardaki ısı geçişi tek boyutlu kabul edilerek, zamana bağlı tek boyutlu ısı iletim denklemi sonlu farklar yöntemi kullanılarak Denk 3 , 4 ve 5 yardımıyla, yüzeylerdeki en küçük kararlılık kriteri göz önüne alınarak,

$$\rho=2000 \text{ kg/m}^3, c=1000 \text{ J/kgK olsun, } \Delta t=1 \text{ h}=3600 \text{ s için}$$

$$\alpha = k / \rho c = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}, Fo = \alpha \Delta t / L^2 = 0,180, Bi_{\text{dış}} = h_{\text{dış}} L / k = 2,500, Bi_{\text{iç}} = h_{\text{iç}} L / k = 0,769$$

bulunur. Dış, iç ortam ve duvar 20°C iken aniden dış ortam sıcaklığı 0°C düşüp sabit kalması halinde Denk 3-7 nin birbirlerine bağlı olarak eş zamanlı çözümü ile, kararlılık kriterleri Denk. (6)'dan Fo(1+Bi_{dış})=0,630 ve Fo(1+Bi_{iç})=0,318 için, 48 h'te,

Tablo 3. Geçici Rejim, ağır duvar

T_d °C	T_1 °C	T_m °C	T_s °C	T_i °C	t h
0	20	20	20	20	t=0 Başlangıç sınır şartı
0	2,90	9,81	14,68	20	t=10 h
0	2,29	7,94	13,26	20	t=20 h
0	2,18	7,63	13,02	20	t=30 h
0	2,16	7,57	12,97	20	t=48 h, 2 gün, $q''=54 \text{ W/m}^2$ Sürekli rejim

sürekli rejim (Örnek1) şartlarına erişilir, Tablo 3. Bu süredeki 2 gün enerji tüketimi saatlik enerji kayıpları toplanarak $Q=2207 \text{ Wh/(m}^2 \text{ 2 gün)}$ bulunur.

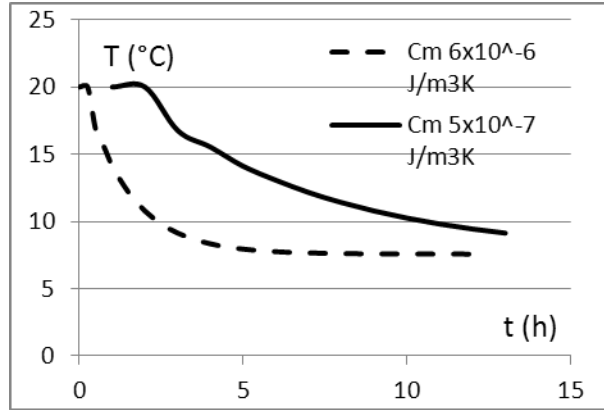
4. Dış duvar(hafif duvar), geçici rejim

Aynı dış duvar, $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $c=500 \text{ J/kgK}$ olup farklı ısı kapasitede olsun, $\Delta t=0,25 \text{ h}=900 \text{ s}$ için $\alpha = k / \rho c = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $Fo = \alpha \Delta t / L^2 = 0,180$, $Bi_{dış} = h_{dış} \cdot L / k = 2,500$, $Bi_{iç} = h_{iç} \cdot L / k = 0,769$ bulunur. Dış, iç ortam ve duvar 20°C iken aniden dış ortam sıcaklığı 0°C inmesi halinde, Denk 3-5 in birbirlerine bağlı olarak eş zamanlı çözümü ile,

Tablo 4. Geçici Rejim,hafif duvar

T_d °C	T_1 °C	T_m °C	T_s °C	T_i °C	
20	20	20	20	20	t=0 Başlangıç sınır şartı
0	2,17	7,58	12,98	20,00	t=10 h
0	2,16	7,57	12,97	20,00	t=12 h 1/2 gün, $q''=54 \text{ W/m}^2$ Sürekli rejim

saatlik enerji kayıpları toplanarak 2 gün, 48 h için $Q=2517 \text{ Wh/m}^2$ bulunur. Duvarın ısı kapasitelerine göre karşılaştırma yapıldığında, α ısı yayılım katsayısı artarken (hafif duvar) çok daha çabuk 2 gün yerine yarım günde rejime girdiği görülür, Şekil 5.


Şekil. 5 Dış duvarın ısı kapasitesinin etkisi

5. Dış duvar, geçici rejim, değişken dış sıcaklık (periyodik sınır şartı)

Gerçekte, binanın bulunduğu iklim şartlarına göre dış sıcaklığın değişiminin de göz önüne alınması gerekir. Dış sıcaklıkların saatlik değişiminin bulunabileceği kaynaklar mevcuttur.

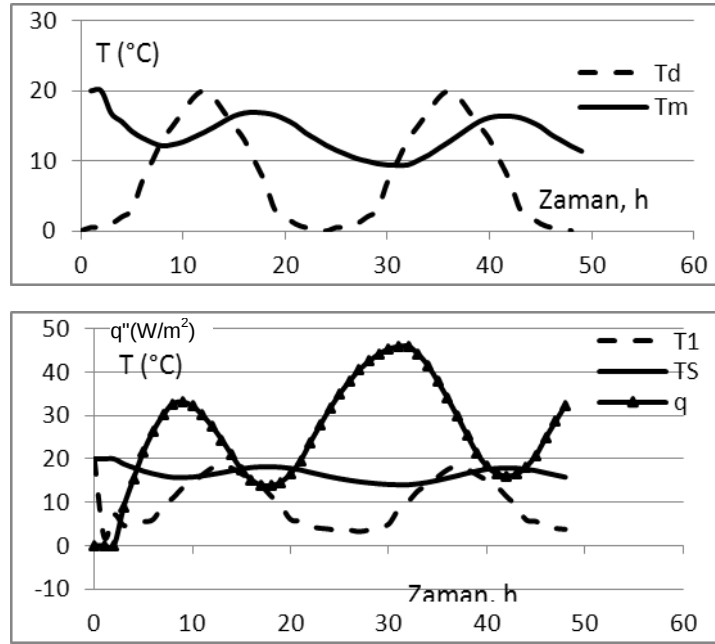
Duvar : $\rho=2000 \text{ kg/m}^3$, $c=1000 \text{ J/kgK}$ olsun, $\Delta t=1 \text{ h}=3600 \text{ s}$ için $\alpha = k / \rho c = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, $Fo = \alpha \Delta t / L^2 = 0,180$, $Bi_{dış} = h_{dış} \cdot L / k = 2,500$, $Bi_{iç} = h_{iç} \cdot L / k = 0,769$

İki gün için aynı sıcaklık dağılımı alınarak bulunan duvar orta nokta sıcaklığının değişimi Şekil 6 da verilmiştir.

Tablo 5. 48 saatlik sürede dış ortam sıcaklığının değişken olması halinde ;

t h	T_d °C	T_1 °C	T_m °C	T_s °C	T_i °C	q W
0	0	20	20	20	20	0
1	0,50	2,00	20,00	20,00	20	0
12	20,00	17,91	14,80	16,42	20	3027
24	0	3,81	11,50	15,89	20	3474
36	20,00	17,54	13,69	15,58	20	3738
48	0	3,77	11,37	15,80	20	3557
					Q(kWh)	138780

Not : 24 h -48 h arası verilmemiş, 48 h sonundaki sıcaklık dağılımı ve enerji kaybı verilmiştir, Tablo 5 ve Şekil 6.

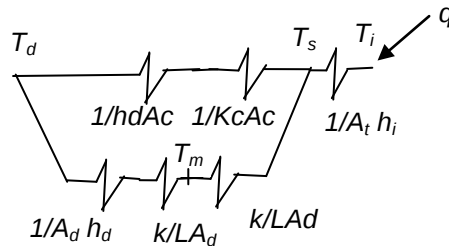


Şekil 6. T_d dış sıcaklığın değişimine karşılık gelen duvar (a) orta noktasının (b) yüzey sıcaklıklarının ve ısı geçişinin zamana bağlı değişimi

6. Dış duvar ve pencereden oluşan karma paralel duvar, Sürekli rejim;

Isı kaybının bir kısmı pencerelerden olacağından ısıl modelde pencerelerin de göz önüne alınması gerekir. Binanın çift camlı pencerelerinin toplam ısı geçiş katsayısı $K_c=2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, toplam cam alanı $A_c=10 \text{ m}^2$, duvar alanı $A_d=100 \text{ m}^2$, toplam dış yüzey alanı $A_t=110 \text{ m}^2$ olsun.

Pencere ve duvardan geçen ısı geçişi paralel karma duvar olarak, aşağıdaki elektrik benzeşim modeli ile ele alınabilir, Şekil 7, Burada duvar ve cam iç yüzey sıcaklığı standarttaki modele benzer olsun diye aynı alınmıştır, kolaylıkla cam ve duvar iç yüzey sıcaklıkları farklı alınabilir.



Şekil 7. Pencere ve duvardan oluşan karma paralel duvarın elektrik benzeşimi

$$R_{\text{duvar+cam}} : \frac{1}{R_{d+c}} = \frac{A_d}{\frac{1}{h_d} + 2 \frac{L}{k}} + \frac{A_c}{R_c} \quad \text{Toplam ısı geçiş katsayısı } K_c=2,8 \text{ W/m}^2\text{K olan çift cam seçilirse}$$

($1/K_c=1/2,8+1/h_i$) iç yüzeye kadarki direnç $R_c=0,22 \text{ m}^2\text{K/W}$ ve duvar direnci $R_{d+c}=0,00216 \text{ K/W}$ olur.

$$R_{\text{duvar+cam(eş)}} : R_{\text{toplam}} = R_{d+c} + \frac{1}{A_t h_i} \quad \text{tanımlanırsa } R_{\text{toplam}}=0,00335 \text{ K/W ve } q=(20-0)/R_{\text{eş}}=5978 \text{ W}$$

elde edilir.

Tablo 6. Karma paralel duvar sürekli rejim

$T_d(^{\circ}\text{C})$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	$T_s(^{\circ}\text{C})$	$T_i(^{\circ}\text{C})$	$R_{\text{toplam}}(\text{K/W})$	$q(\text{W})$
0	2.16	7.55	12.94	20	0.00335	5978

48 h için $Q=5978 \cdot 48=286944 \text{ Wh}$ bulunur, Tablo 6.

7. Dış duvar ve pencereden oluşan karma paralel duvar : Geçici rejim;

Karma duvar $t=0$ anında 20°C sıcaklıkta iken dış ortam sıcaklığı aniden 0°C 'a düşsün, Denk. 4'e pencere ısı kaybı eklenerek, $T_s^{t+1} = \frac{A_t}{A_d} 2Fo \cdot Bi_i(T_i^t - T_s^t) + 2Fo \cdot (T_i^t - T_s^t) + \frac{A_c}{A_d} \cdot 2Fo \cdot Bi_c(T_d - T_s^t)$ duvarın zamana bağlı sıcaklık dağılımı ve sürekli rejime erişene kadarki enerji tüketimi Tablo 7 de verilmiştir.

Tablo 7. Karma paralel duvar geçici rejim

t (h)	$T_d(^{\circ}\text{C})$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	$T_s(^{\circ}\text{C})$	$T_i(^{\circ}\text{C})$	$q(\text{W})$	$Q(\text{Wh})$
	0	20	20	20	20		
1	0	2.00	20.00	20.00	20.00		
10	0	2.84	9.62	14.40	20.00	4735	
20	0	2.26	7.86	13.16	20.00	5792	
30	0	2.17	7.59	12.97	20.00	5950	
Sürekli rejim	39	0	2.16	7.55	12.94	5973	194406

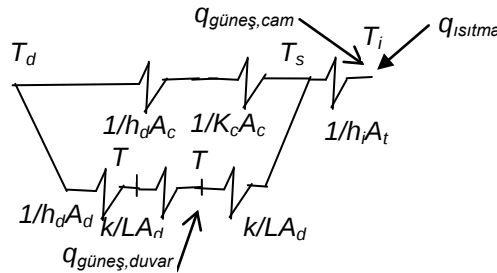
48 h teki ısı enerji kaybı: $194406 \text{ Wh} + 9 \text{ h} \cdot 5973 \text{ W} = 248159 \text{ Wh}$,

2. dış duvar geçici rejim örneğinde $Q=2207 \text{ Wh/m}^2$ bulunmuştu.

$Q=2207 \text{ Wh/m}^2 \cdot 110 \text{ m}^2 = 242770 \text{ Wh}$, ise 10 m^2 cam nedeniyle oluşan ısı enerji farkı fazlası 5390 Wh olur. (Not : $K_d=2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, $K_c=2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $Bi_c=\Delta x/R_c k$)

8. Eşit güneş ışınlamı akısı gelen dış duvar ve pencereden oluşan karma paralel duvar için sürekli rejim;

Camlı dış duvara toplam 2200 W , $q''=20 \text{ W/m}^2$, $q_{G,\text{duvar}}=2000 \text{ W}$, $q_{G,\text{cam}}=200 \text{ W}$ sabit güneş ışınlamı gelsin.



Şekil. 8 Pencere ve duvardan oluşan karma paralel duvarın elektrik benzeşimi

$$\frac{T_s - T_d}{R_p / A_c} + \frac{T_s - T_m}{L / k A_d} = \frac{T_i - T_s}{R_{t1} / A_t}$$

$$\frac{T_m - T_d}{(1/h_d + L/k) A_d} = \frac{T_s - T_m}{R_{t1} / A_t} + \frac{q_d}{A_d}$$

iki bilinmeyenli denklemden duvar T_m ve iç yüzey T_s sıcaklıkları bulunursa, Tablo 8, sürekli rejimde,

Tablo 8. Güneş ışıınımlı gelen karma paralel duvar, sürekli rejim

$T_d(^{\circ}\text{C})$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	$T_s(^{\circ}\text{C})$	$T_i(^{\circ}\text{C})$	$q \text{ (W)}$	$q_c \text{ (W)}$	$q_d \text{ (W)}$
0	2,64	9,23	13,83	20	5023	629	4395

48 h de toplam enerji kaybı $5023 \cdot 48 = 24112 \text{ Wh}$ olur.

9. Eşit güneş ışıınımlı akısı gelen dış duvar ve pencereden oluşan karma paralel duvar için geçici rejim;

Tüm duvar 20°C iken dış sıcaklık aniden 0°C düşmesi ve T_m noktasına $q''(\text{W/m}^2)$ güneş ışıınımlı gelmesi halinde iç nokta T_m sıcaklığı Denk. (3) yerine

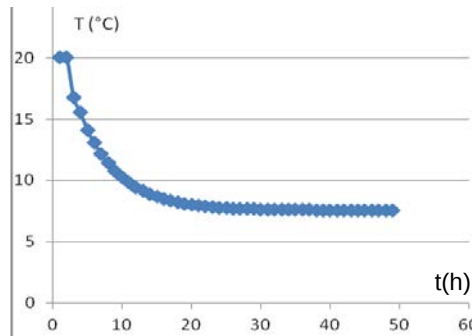
$$T_m^{t+1} = Fo \cdot (T_1^t + T_s^t) + T_m^t \cdot (1 - 2 \cdot Fo) + q'' \cdot \Delta t / (\rho \cdot c \cdot \Delta x) \quad (7)$$

eşitliği ve yüzey sıcaklıkları (4) ve (5) yardımıyla aşağıdaki sıcaklıklar hesaplanır, Tablo 9.

Tablo 9. Güneş ışıınımlı gelen karma paralel duvar, geçici rejim duvara gelen güneş ışıınımlı $q_{G,duvar} = 2000 \text{ W}_1$

t (h)	$T_d(^{\circ}\text{C})$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	$T_s(^{\circ}\text{C})$	$T_i(^{\circ}\text{C})$	$q(\text{W})$	$Q(\text{Wh})$
0	0	20	20	20	20		
1	0	2,00	20,36	20,00	20,00	0	
12	0	3,05	10,49	14,72	20,00	4271	
24	0	2,68	9,36	13,92	20,00	4946	
36	0	2,64	9,25	13,84	20,00	5015	
Sürekli rejim 39	0	2,64	9,24	13,83	20,00	5019	
48	0	2,64	9,23	13,83	20,00	5022	206893

39 h de sürekli rejime gelmektedir, Şek. 9. Enerji kaybı 48 h için 206893 Wh olarak bulunur.

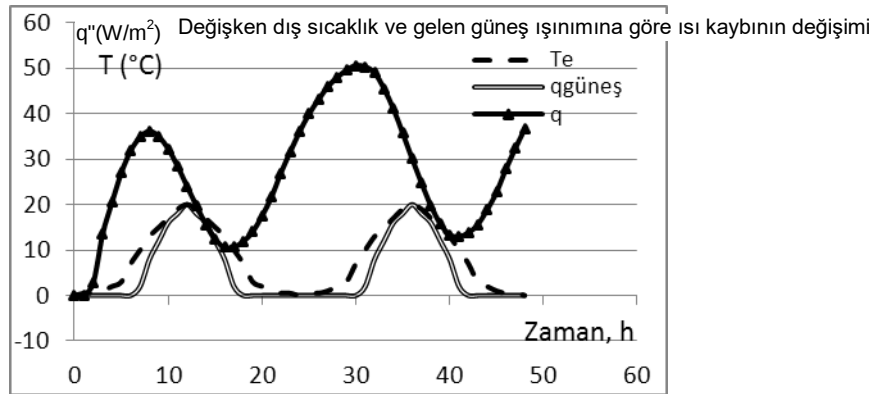
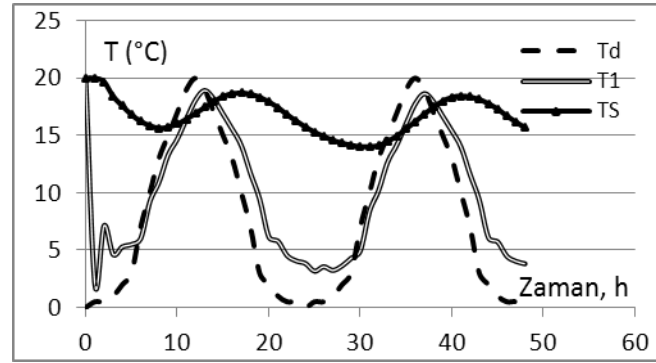
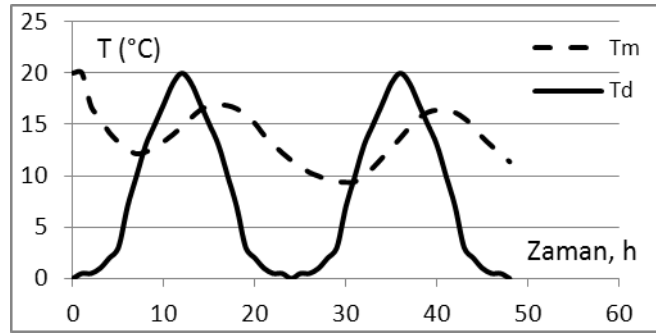

Şekil 9. Güneş ışıınımlı gelen cam ve opak dış duvardan oluşan karma duvar sıcaklığının değişimi

10. Eşit güneş ışıınımlı akısı gelen dış duvar ve pencereden oluşan karma paralel duvar ve değişken dış sıcaklık ve güneş ışıınımlı (geçici rejim);

Dış sıcaklık ve dış yüzeye gelen güneş ışıınımlının gün boyu değişimi, q_{duvar} ve q_{cam} göz önüne alınarak aşağıdaki sıcaklıklar bulunur, Şekil 10 ve Tablo 10. q_{duvar} 'ın Şekil 8 ve Şekil 1'deki elektrik benzeşim modellerine göre duvarın ortasına geldiği, cama gelen güneş ışıınımlının q_{cam} direk içeri girdiği varsayılmıştır.

Tablo 10. Değişken dış sıcaklık ve güneş ışınımı gelen karma paralel duvar, Geçici rejim

t (h)	$T_d(^{\circ}\text{C})$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	$T_s(^{\circ}\text{C})$	$T_i(^{\circ}\text{C})$	$q_{G,duvar}(\text{W})$	$q_{G,cam}(\text{W})$	$q(\text{W})$	$Q(\text{Wh})$
0	0	20	20	20	20	0	0	0	
1	0,50	2,00	20,00	20,00	20,00	0	0	0	
2	0,50	7,13	16,76	19,68	20,00	0	0	270	
12	20,00	18,10	15,65	16,92	20,00	2000	200	2407	
24	0	3,85	11,58	15,74	20,00	0	0	3601	
36	20,00	17,77	14,65	16,21	20,00	2000	200	3006	
48	0	3,81	11,48	15,67	20,00	0	0	3663	129755


Şekil 10. $q_{güneş}$, Güneş ışınlamı akısı gelen dış duvar ve pencereden oluşan karma paralel duvarda T_e , değişken dış sıcaklığa göre duvar T_1 , T_m ve T_s sıcaklıklarının değişimi ve ısı kaybı

11. Eşit güneş ışınlı akısı gelen dış duvar ve pencereden oluşan karma paralel duvar için geçici rejim; TS EN ISO 13790

Standart TS EN ISO 13790, EK C de verilen denklem takımı, Şekil1 bizim örnekteki verilere göre, $H_{tr,em} = 714 \text{ W/K}$, $H_{tr,ms} = 1000 \text{ W/K}$, $H_{tr,w} = 44 \text{ W/K}$, $H_{tr,is} = 846 \text{ W/K}$, $H_{ve} = 10 \text{ W/K}$ alınarak $H_{tr,1} = 9,9 \text{ W/K}$, $H_{tr,2} = 55,3 \text{ W/K}$, $H_{tr,3} = 52,4 \text{ W/K}$ ve $q_{iç} = \Phi_{int} = 0$ ve $q_G = \Phi_{sol} = 0$ için standarttaki C1,C2,C3 $\Phi_{ia} = \Phi_m = \Phi_{st} = 0$ alınarak Standart C.4-11 denklemleri ;

$$T_m^t = \frac{T_m^{t-1} \cdot \left[\left(\frac{C_m}{3600} \right) - \frac{H_{tr,3} + H_{tr,2}}{2} + \phi_{top} \right]}{\left[\left(\frac{C_m}{3600} \right) + \frac{H_{tr,3} + H_{tr,2}}{2} \right]}$$

$$\phi_{top} = H_{tr,em} \cdot T_m + H_{tr,3} \cdot (H_{tr,1} \cdot \phi_{HC,nd} / H_{ve}) / H_{tr,2}$$

$$H_{tr,1} = \frac{1}{1/H_{ve} + 1/H_{tr,is}} \quad H_{tr,2} = H_{tr,1} + H_{tr,w} \quad H_{tr,3} = \frac{1}{1/H_{tr,2} + 1/H_{tr,ms}}$$

$$T_m = (T_m^t + T_m^{t-1}) / 2$$

$$T_s = (H_{tr,ms} \cdot T_m + H_{tr,w} \cdot T_e + H_{tr,1} \cdot \phi_{HC,nd} / H_{ve}) / (H_{tr,ms} + H_{tr,w} + H_{tr,1})$$

$$T_{air} = (H_{tr,is} \cdot T_s + \phi_{HC,nd}) / (H_{tr,is} + H_{ve})$$

yazılıp birbirlerine bağlı olarak çözülüp sonuçlar bu çalışmadaki karma paralel duvar sonuçları (örnek 7) ile karşılaştırılmıştır, Tablo 11.

Tablo 11. TS EN ISO 13790 ile bulunan sonuçların Örnek 7 sonuçları ile karşılaştırılması

	Zaman h	T_d	T_1	T_m	T_s	T_i	q
Bu çalışma	39	0	2.16	7.55	12.94	20.00	5973
Standart	39	0		7,91	13,06	20.00	5873
Fark				0,05	0,01		0,02

SONUÇ

Sonlu fark denklemleri yardımıyla enerji tüketimi, sadece cam ve dış duvardan olduğu varsayılan bir oda için birbirlerine bağlı olarak eş zamanlı çözülmüştür. Odanın 110 m^2 dış cephesi duvar olarak standart bir duvar (ağır duvar) alınmış, problem sürekli rejim problemleri ile karşılaştırılarak ve 100 m^2 duvar, 10 m^2 cam ile birlikte karma duvar, değişken dış koşullar ve güneş ışınlı göz önüne alınarak bulunan çözümler aşağıdaki tabloda özetlenerek, karşılaştırmalı olarak verilmiştir, Tablo 12. Cam ve duvardan oluşan karma duvar çözümü standarttaki yöntemle bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 12. Örnek çözümlerin karşılaştırmalı sonuçları

	T_d °C	T_1 °C	T_m °C	T_s °C	T_i °C	R_{toplam} (K/W)	q (W)	Q (Wh/ 2 gün)
Duvar(110 m^2)	0	2,16	7,57	12,97	20	0,370	5945	285405
Geçici -rejim (3)	duvar							242770
Geçici -rejim (4)	Hafif duvar							276870
Geçici rejim (5)	Değişken sıcaklık							138780
Cam(10 m^2)+duvar(100 m^2)	0	2.16	7.55	12.94	20	0.0035	5978	286944
Geçici -rejim (7)	Cam farkı : Duvar + Cam : $248159 - 242770 = 5390 \text{ Wh}$							248159
Cam+duvar+Güneş ışınlı	0	2.64	9.23	13.83	20	0,0024	5023	241112
Geçici -rejim (9)	Güneş ışınlı farkı = $248159 - 206893 = 41266$							206893
Geçici -rejim (10)								129755

Bu çalışmada önerilen yöntemlere göre bulunan çözümler bina enerji tüketimi hesapları yapılırken referans olarak alınabilir. Bu çözümleme yöntemi kullanılarak daha esnek bir ısı model oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] TS EN ISO 13790, Binaların Enerji Performansı, Mekan Isıtılması ve Soğutulması için Enerji Kullanımının Hesaplanması, Mart 2013. Energy performance of buildings -Calculation of energy use for space heating and cooling (ISO 13790:2008)
- [2] Incropera F.P., Dewitt D.P. , Çev. Editör Taner Derbentli, Heat and Mass Transfer, Palme Yayıncılık, 7.baskı, 2015
- [3] Arpacı V. S. , Conduction Heat Transfer, AddisonWestley Pub., 1966.
- [4] Dağsöz A. K., Isı İletimi, İTÜ,1974.
- [5] Kakaç S., Yener Y., Heat Conduction, Middle East Technical University,1979.
- [6] Kokogiannakis G. , Strachan P. & Clarke J., Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context, Journal of Building Performance Simulation, Vol. 1, No. 4, December 2008, 209–219
- [7] Michalak P., The simple hourly method of EN ISO 13790 standard in Matlab/Simulink: A comparative study for the climatic conditions of Poland, /Energy 75 (2014) 568-578.

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim KOÇ

1994 İTÜ Makina Mühendisliği Enerji Programını bitirmiştir. 1993-2000 yılları arasında Kayseri 2.HİBM K.lığında çalışmıştır. 2006 yılında İTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nden doktor ünvanı almış, 2008 yılında Yardımcı Doçent kadrosuna atanmıştır. 2000-2016 yılları arasında Hava Harp Okulu'nda çalışmıştır. Gaz Türbin Motorları, Türbin Soğutma, Isı Transferi ve Termodinamik Uygulamaları konuları ile ilgilenmektedir. Halen İstanbul Gelişim Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Uçak Gövde- Motor Bakım Bölümü öğretim üyesidir.

Ersin SAYAR

Dr. Ersin Sayar İTÜ Makina Fakültesi lisans ve ısı-akışkan yüksek lisans programlarını, sırasıyla 2006 ve 2008de tamamlamıştır. Kazandığı M.E.B. 'nın doktora bursuyla ABD'nin Drexel Üniversitesinde doktora programından 2012de mezun olmuştur. İTÜ'ye doğrudan katkısı 2006-2008 yılları arası araştırma görevliliği ve Kasım 2012 den beri sürdürdüğü öğretim görevliliği sayılabilir. Basılmış 5 uluslararası yayını, 12 uluslararası konferans bildirisi ve bir ısı geçişi kitabı (Holman) bölüm tercümesi bulunmaktadır. IJoT dergisinin yayın kurulu toplantılarına katılmıştır. Hakemlik yaptığı dergiler: Microfluidics and Nanofluidics; J. of Micromechanics and Microengineering; J. of Physics D: Applied Physics; J. of Physics: Condensed Matter; Modelling and Sim. in Materials Sci. and Eng.'tir. MEB ve İTÜ rektöründen teşekkür belgeleri bulunmaktadır.

İ. Cem PARMAKSIZOĞLU

1975 İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Kuvvet-Isı Kolunu, 1977 İTÜ Makina Fakültesi, Enerji kolunu bitirmiştir. 1985 yılında İTÜ Makina Fakültesinden Doktor ünvanı almış, 1989 yılında Doçent ve 2005 yılında Profesör olmuştur. Kısa ve uzun süreli olarak Sulzer (A.G.) İsviçre ve U.C. Lawrence Berkeley Laboratory'de çalışmıştır. İTÜ Makina Fakültesinde CAD-CAM Merkezi Müdürlüğü görevinde bulunmuştur. Halen İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Termodinamik ve Isı Tekniği Alanında Profesör olarak çalışmaktadır. MMO/352/8 nolu Kalorifer Tesisatı kitabının yazarlarından biridir.