

## Bina Soğutma Yükü Hesabı İçin İletim Zaman Serisi (CTS) Katsayılarının Analitik Yaklaşımla Belirlenmesi

M. Azmi AKTACİR<sup>1</sup> ve Burak YENİGÜN<sup>2</sup>

1.Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

2. Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Batman

Geliş Tarihi: 01.11.2016

Kabul Tarihi: 28.12.2016

### Özet

Binaların soğutma yükünü belirleyebilmek için; farklı hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin ortaya çıkmasında, geliştirilmesinde ve standartlaştırılmasında önemli rol oynayan ASHRAE'nin soğutma yükü hesabı için önerdiği Işınım Zaman Serileri (RTS) yönteminde, İletim Zaman Serisi olarak adlandırılan CTS katsayıları ile bu zorluk aşılmaktadır. Ancak 2009 ASHRAE Handbook-Fundamentals'da 35 duvar ve 19 çatı tipi için CTS değerleri verilmiştir. Sunulan CTS serilerinin sınırlı sayıda ve özellikle Türkiye'de ağırlıklı olarak kullanılan yapı tiplerinden farklılık göstermesi, istenilen tüm yapı tipleri için CTS değerlerin bulunması ihtiyacını doğurmuştur. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye'deki binalarda yaygın olarak kullanılan yapı tipleri için CTS değerleri, analitik yöntem ile tespit edilmektedir. Zaman serileri kullanılarak elde edilen çözüm; MATLAB programlama dilinde hazırlanmış bilgisayar programı yardımıyla istenilen yapı kabuğu için CTS değeri bulunabilmektedir. Bu sayede; CTS değerlerinin ülkemizde kullanılan yapı kabukları için tablolarda verilen en yakın yapı tipi kullanarak seçilmesi yerine; doğru olarak hesaplanabilmesi temin edilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar; soğutma yükü ve enerji analizlerinde RTS yönteminin bu yaklaşımla daha güvenilir olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Soğutma yükü; Opak yapı elemanı; İletim Zaman Serisi (CTS); Işınım Zaman Serisi (RTS); Türkiye

## Determination of Conduction Time Series (CTS) for the Building Cooling Load by Analytical Approach

### Abstract

In order to determine the cooling load of buildings, different calculation methods have been developed. ASHRAE proposed for the calculation of cooling load that is Radiation Time Series (RTS) method, which plays a major role for the development and standardization and the emergence of these methods, this difficulty is exceeding by called Conduction Time Series (CTS). However, CTS are given for 35 wall types and 19 roof types at 2009ASHRAE Handbook-Fundamentals. That the CTS values presented are limited in number and they are different from the structure types used heavily in Turkey has given rise to a necessity to find CTS values for all required forms. Therefore, in this study, the CTS values are determined by the analytical method for structure types used heavily in Turkey. Obtained from the solution by using time series is that; the CTS value can be found in MATLAB programming languages with the help of a computer program designed for desire building envelope. Thus, CTS values for structure shells used in our country are provided as a correct calculation instead of selection the nearest form that given in tables. The results show that RTS method in this approach can be used more reliable in analysis of cooling load and energy.

**Keywords:** Cooling load; Opaque structure element; Conduction Time Series (CTS); Radiation Time Series (RTS); Turkey

### 1. Giriş

Yapılarda kullanılan iklimlendirme sistemleri tüketilen enerjinin büyük kısmını kapsamaktadır. İklimlendirme sisteminin doğru bir şekilde tasarlanması enerji ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Tasarım mühendislerinin, uygun sistemi seçerek, sistem ile çalışma şartlarını optimize etmeleri gerekir. Böylece yapılarda tüketilen enerji

minimize edilerek, enerji performansı yüksek binalar elde edilebilir. Doğru bir tasarımla sistemin yatırım, işletme ve bakım maliyetleri düşürülmekle beraber, arzulanan konfor şartları da sağlanabilmektedir. İklimlendirme sistemi tasarımında sistem kapasitesi üzerinde etkili olan en önemli parametre, bina ısı kayıp ve kazançlarıdır. Bir binanın duvar, döşeme ve çatı gibi opak yapı

elemanları, pencere ve kapı gibi saydam yapı elemanlarının özellikleri ile birlikte mahalde kullanılan cihaz, aydınlatma ve mahalde yaşayan insanlar mahalın ısı yükünü belirlemektedir. Yaz şartlarında bina içerisinde oluşan ısı yükünün uzaklaştırılması istenirken, kış şartlarında ısı kayıplarının karşılanması istenir.

Soğutma yükünü meydana getiren bileşenlerin gün boyunca önemli değişimler göstermesi, soğutma yükü hesaplarını karmaşık bir hale getirmektedir [1]. Soğutma yükünü hesaplayabilmek için literatürde çeşitli yöntemler ile karşılaşılmaktadır. Genel olarak bu yöntemlerin ortaya çıkmasında ASHRAE (American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) önemli bir rol oynamıştır [2]. Geliştirilen yöntemlerin temeli ısı dengesi (HB) prensibine dayanmaktadır. ASHRAE'nin 2009 yılında yayınladığı en son Handbook-Fundamentals'ta soğutma yükü hesabı için ısı dengesi yönteminden türetilen, ışınım zaman serisi (Radiant Time Series-RTS) yöntemi önerilmektedir [2, 3].

Bir binanın toplam soğutma yükü; aydınlatma, insan ve cihazlardan kaynaklanan iç yükler ve binanın opak (duvar ve çatı) ve saydam (pencere) yüzeylerinden kaynaklanan dış yüklerden oluşur. Binanın opak yüzeylerinden oluşan ısı kazançları iletim ısı transferi yoluyla meydana gelmekte ve soğutma yükünü etkileyen önemli bir bileşendir. Soğutma yükü ve bina enerji analizi hesaplamalarında iletim ısı transferi; homojen ve sabit yapı özellikleri ile zamana bağlı ve bir boyutlu olarak modellenir. Modeller, Fourier ısı iletim eşitliği ile ısı yayılım eşitliklerinin analitik çözümüne dayanır [4]. Ancak, iklim verilerinin gün içinde farklı değerlerde olması nedeniyle, iletimle ısı transferinde etkili olan parametreler dinamik özellik taşır. Ayrıca, iletimle ısı geçişinde ısı kazancı yapı elemanın ısı depolama kapasitesine göre belli bir faz kayması ile soğutma yüküne dönüşür. Soğutma yükü hesap yöntemlerinde, opak yüzeylerden olan etkinin belirlenmesinde farklı uygulamalar mevcuttur. ısı Dengesi (HB) ve Transfer Fonksiyon (TFM) yönteminde [5], opak yüzeylerden olan ısı akısının hesaplanmasında CTF (Conduction Transfer Functions) katsayıları kullanılmıştır. CTF katsayıları, depolanan ısı akısı ile mevcut andaki ısı akısının

toplamını ifade eden serilerdir. Bu katsayılarının hesaplanması uzun ve karmaşık analitik çözümlere dayanır. CTF katsayılarının hesaplanması için birçok yöntem geliştirilmiştir. CTF katsayılarının hesaplanması yönelik ilk çalışmayı Stephenson ve Mitalas, "Z transform" yöntemini kullanarak yapmışlardır [6]. Mitalas ve Arsenault, bu yöntemle göre CTF katsayılarını hesaplamak için Fortran IV programında kod geliştirmişlerdir [7]. Hittle, ısı yayılım ile ısı akısı eşitliklerine Laplace dönüşümü uygulayarak CTF katsayılarını hesaplanmasına dair bir yöntem ortaya koymuştur[8]. Ceylan ve Myers, CTF katsayılarını bulmak için "State Space Method" (SSM) yöntemini yayınlamışlardır [9]. SSM yöntemi birçok giriş ve çıkış parametresi olan lineer sistemlerin analizi için kullanılmıştır. Genel eşitlikleri ayrıştırmak için sonlu farklar ya da sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak formüle edilmiştir. Eşitlik sistemi tepki faktörü kullanılmaksızın direk olarak CTF katsayıları ile çözülmüştür. Bu yöntemde, çok katmanlı opak yapıların her bir düğümündeki iç ve dış yüzey ısı akılarını iç ve dış sınır sıcaklıklarıyla ilişkilendirmiştir. Bunların dışında, Burch ve ark., CTF katsayılarının bulunması için sonlu farklar temelli bir yöntemi, Davies ise "Time Domain Method" yöntemini yayınlamışlardır [10, 11].

HB yönteminden farklı olarak RTS yönteminde ise, opak yüzeylerden olan ısı akısının belirlenmesi için CTS (Conduction Time Series) serisi tanımlanmıştır [3]. CTS serisi, opak yapı elemanın ısı geçirgenlik katsayısının (U) yüzdeler olarak 24 saatlik dağılımıdır. RTS yönteminde iletimle ısı kazancı hesabında, hesaplama anından geriye dönük olarak 24 saatlik zaman periyodu dikkate alınır. Opak yüzeyden kaynaklanan toplam soğutma yükü, 24 saatlik CTS değerleri ile bu değerlere karşılık gelen ısı akısı değerleri çarpılarak bulunur. Bu yöntemde belirlenen soğutma yükünün güvenilirliği CTS serilerinin doğru olarak belirlenmesine dayanır.

Opak yapı elemanları için CTS serilerinin hesaplanması için geliştirilen modeller, Fourier ısı iletim eşitliği ile ısı yayılım eşitliklerinin analitik çözümüne dayanan kompleks bir işlemdir. Literatürde CTS serilerinin tespitine yönelik yapılan ilk çalışmada, HB yönteminde kullanılan CTF değerleri kullanılarak CTS serilerini hesaplanmıştır [12]. Daha sonra, CTS serilerinin doğrudan

hesaplanması için, "Frequency Domain Regression" (FDR) yöntemini yayınlamıştır [13]. Bu yöntem göre çok katmanlı opak yapıların CTS serilerini hesaplamak için Laplace dönüşümleri kullanılarak "polinomal s transfer fonksiyonu" tanımlanmıştır. "Polinomal s transfer fonksiyonun'dan basit eşitlikler ile CTS serisinin bulunması daha kolay bir hale gelmiştir [13, 14, 15].

ASHRAE 2009 Fundamental Handbook'ta 35 duvar ve 19 çatı tipi için CTS serileri yayınlamıştır. Ancak bu yapı tiplerinin az bir kısmı Türkiye'deki yapılar için uygundur. Bu çalışmada, özellikle Türkiye'de ağırlıklı olarak kullanılan yapı tiplerine uygun olmak üzere, istenilen tüm yapı kabuklarının CTS serileri elde edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

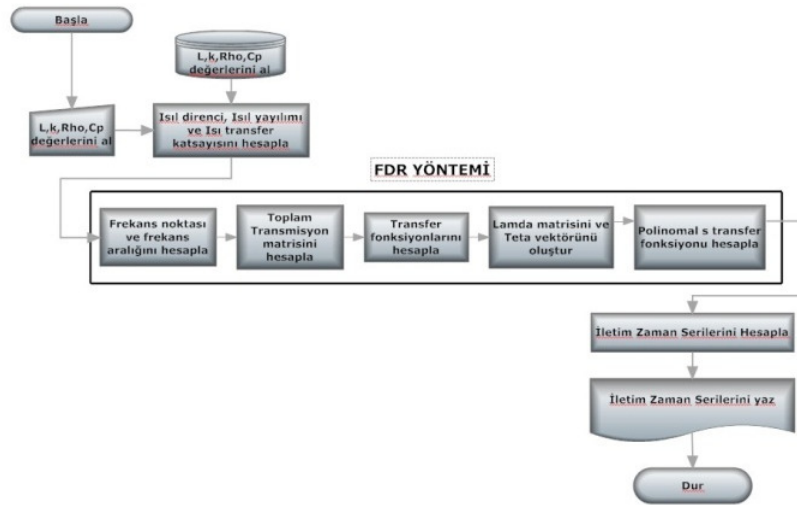
Bu çalışmada çok katmanlı opak yapı elamanları için CTS serilerinin tespiti amaçlanmıştır. Bunun için, MATLAB programlama dili kullanılarak, FDR yöntemine göre bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Şekil 1'de hazırlanan programın akış

diyagramı görülmektedir. CTS programının hesap prosedürü detaylı olarak ilgili literatürde verilmiştir [16].

Bu çalışmada opak yapı elemanlarına ait termofiziksel özelliklerden yoğunluk ( $\rho$ ), ısı iletim katsayısı ( $k$ ) ve özgül ısı ( $c$ ) değerlerini içeren bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veriler, TS 825 Binalarda ısı yalıtım standardından, ASHRAE Handbook-Fundamentals'dan ve ülkemizde sıkça kullanılan yapı elemanlarına ait ürün kataloglarından temin edilmiştir.

Hazırlanan programın doğru sonuç verip vermediğini test etmek için, ASHRAE'de verilen örnek yapı elemanları dikkate alınarak CTS serileri karşılaştırılmıştır.

2000 yılında TÜİK tarafından gerçekleştirilen istatistik çalışmasında, Türkiye'de yaygın olarak tuğla ve betonarme duvar yapılarının kullanıldığı belirlenmiştir [17]. Buna uygun olarak bu çalışmada, çeşitli tuğla duvar, betonarme duvar ve çatı tipleri için CTS programından CTS değerleri üretilmiştir.



Şekil 1. CTS programının akış diyagramı

## 3. Tartışma ve Değerlendirme




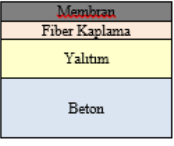
### 3.1. Doğrulama Testleri

CTS programının doğruluk testi için ASHRAE Fundamental-Handbook 2009'da yayınlanan 3 adet duvar (2, 12 ve 21 nolu duvarlar) ile 1 adet çatı (14 nolu çatı) dikkate alınmıştır.

İncelenen ilk duvar tipi olan **Duvar 1**, ASHRAE Fundamental-Handbook 2009'da 2 nolu duvar olarak verilen yapıdır. 5 katmanlı olup dış yüzeyi

metal kaplamalı ve yalıtım uygulamalı bir panel duvardır. İncelenen diğer duvar tipi olan **Duvar 2**, ASHRAE Fundamental-Handbook 2009'da 12 nolu duvar olarak verilen 5 katmanlı ısı yalıtımı uygulanmış bir tuğla duvardır. İncelenen en son duvar yapısı olan **Duvar 3** ise ASHRAE Fundamental-Handbook 2009'da 21 nolu duvar olarak verilen 3 katmandan oluşturulmuş hafif yoğunluklu betonarme duvardır.

**Tablo1.** Doğrulama testlerinde kullanılan yapı kabuklarına ait detay ve termofiziksel özellikler

Yapı adı		L (mm)	k (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (j/kgK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
 <p>Duvar 1: ASHRAE 2 no'lu duvar</p>	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Metal dış cephe	1	45.28	7824	500	1e-7
	Hava boşluğu	20	-	-	-	0.15
	Yalıtım levhası	50	0.03	43	1210	1.76
	Hava boşluğu	20	-	-	-	0.15
	Alçı	15	0.16	800	1090	0.10
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12
 <p>Duvar 2: ASHRAE 12 no'lu duvar</p>	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.14
	Tuğla	100	0.89	1920	790	0.11
	Hava boşluğu	20	-	-	-	0.15
	Fiber kaplama	13	0.07	400	1300	0.19
	Yalıtım	90	0.05	19	960	1.94
	Alçı	16	0.16	800	1090	0.10
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12
 <p>Duvar 3: ASHRAE 21 nolu duvar</p>	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Beton	200	0.50	464	880	0.41
	Yalıtım levhası	90	0.05	19	960	1.94
	Alçı	16	0.16	800	1090	0.10
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12
 <p>Çatı: ASHRAE 14 no'lu çatı</p>	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Membran	9	0.16	1120	1460	0.06
	Fiber kaplama	13	0.07	400	1300	0.19
	Yalıtım	76	0.03	43	1210	2.64
	Beton	100	0.53	1280	840	0.19
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.16

**Tablo 2.** Opak yapı elemanlarının CTS (%) serilerinin kıyaslanması

Saat	Duvar 1		Duvar 2		Duvar 3		Çatı	
	ASHRAE	Bu çalışma	ASHRAE	Bu çalışma	ASHRAE	Bu çalışma	ASHRAE	Bu çalışma
0	25	25	0	0	0	0	1	1
1	57	57	4	4	4	4	2	2
2	15	15	13	14	13	14	8	8
3	3	3	17	17	16	16	11	11
4	0	0	15	15	14	14	11	11
5	0	0	12	12	11	11	10	10
6	0	0	9	9	9	9	9	9
7	0	0	7	7	7	7	7	7
8	0	0	5	5	6	6	6	6
9	0	0	4	4	4	4	5	5
10	0	0	3	3	3	3	5	5
11	0	0	2	2	3	3	4	4
12	0	0	2	2	2	2	3	3
13	0	0	2	2	2	2	3	3
14	0	0	2	1	2	1	3	3
15	0	0	1	1	1	1	2	2
16	0	0	1	1	1	1	2	2
17	0	0	1	1	1	1	2	2
18	0	0	0	0	1	1	1	1
19	0	0	0	0	0	0	1	1
20	0	0	0	0	0	0	1	1
21	0	0	0	0	0	0	1	1
22	0	0	0	0	0	0	1	1
23	0	0	0	0	0	0	1	1
U(W/mK)	0.42	0.42	0.37	0.37	0.38	0.38	0.30	0.30

İncelenen **Çatı**, ASHRAE Fundamental-Handbook 2009'da 14 nolu çatı olup 5 katmanlı hafif yoğunluklu betonarme çatıdır. Bu opak yapı elamanlarının yapı detayları ve termofiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 2'de incelenen opak yapıların ASHRAE'de verilen CTS serileri ile aynı opak yapı tipleri için bu çalışmada elde edilen CTS serileri karşılaştırılmıştır. Tablodan görüleceği gibi, Duvar ve Çatı tipleri için CTS değerleri arasında mükemmel yakın bir uyum olup bazı yapılarda çok küçük farklılıklar görülmüştür. Bu farklılıklar CTS değerlerinin farklı yöntemler ile hesaplanmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla karşılaştırma sonuçları, bu çalışmada geliştirilen CTS programı ile elde edilen CTS serilerinin doğruluğunu teyit etmektedir.

### 3.2. Uygulama örnekleri

Bu çalışmada ülkemizde yaygın olarak kullanılan 3 adet tuğla duvar, 3 adet betonarme duvar ve 1 adet çatı için CTS değerleri hesaplanmıştır. Bu yapı tiplerinin detayları sırasıyla;

**Tip 1-** Yalıtımsız tuğla duvar: Bu yapı tipi dış duvar ve perde duvar yapılarında sıkça kullanılan tuğladan meydana gelmektedir. Bu yapı tipinde iç ve dış yüzeyde sıva, ara kısımda ise 190 mm düşey delikli tuğladan meydana gelmektedir.

**Tip 2-** Dıştan yalıtımlı tuğla duvar: Bu yapı tipinde; iç ve dış tarafta sıva, yapının iç kısmında sırasıyla 30 mm yalıtım elemanı ve 135 mm yatay delikli tuğla bulunmaktadır.

**Tip 3-** İzo tuğla: Bir başka yapı tipi ise kendi içerisinde yalıtım elemanı bulunan izo duvardır. Bu yapı tipinde iç ve dış tarafta sıva, ara kısımda ise içerisinde yalıtım malzemesi olan izo tuğla bulunmaktadır.

**Tip 4-** Betonarme duvar: En sık kullanılan diğer bir yapı tipi ise betonarme duvarlardır. Bu duvar tipinde iç ve dış yüzeyde sıva, yapının iç kısmında ise 200 mm yüksek yoğunluklu beton bulunmaktadır.

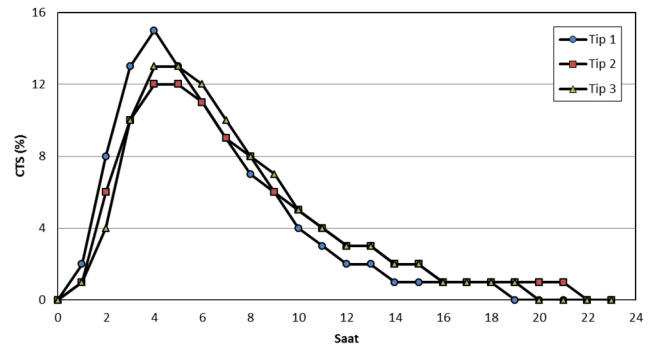
**Tip 5-** Yalıtımlı betonarme duvar: Bu yapı tipinde Tip 4'den farklı olarak 150 mm düşük yoğunluklu beton ve yapının dış tarafında 40 mm yalıtım elemanı bulunmaktadır.

**Tip 6-** Sandviç beton duvar: Bir başka yapı tipi ise sandviç duvarlardır. Bu tip yapılarda genellikle 2 yapı elemanı arasında yalıtım bulunur. Tip 6 için tanımlanan duvar tipinde, yapının dış kısmında sıva, sırasıyla iç kısımlarda ise 100 mm düşük yoğunluklu beton, 50 mm yalıtım elemanı, 200 mm düşük yoğunluklu beton ve sıva bulunmaktadır.

**Tip 7-** Düz çatı: Diğer bir yapı elemanı olan çatı için bir yapı tipi seçilmiştir. Bu yapı tipinde: Membran, yalıtım elemanı ve beton bulunmaktadır.


Tablo 3'te bu çalışmada incelenen örnek yapı tiplerinin katman detayları ve termofiziksel özellikleri verilmiştir. Tablo 4'te ise, Tablo 3'te detayları verilen örnek yapılara ait elde edilen CTS serileri sunulmuştur.

Tablo 4'te görüleceği gibi, yapı elemanını oluşturan katmanların termofiziksel özelliklerine göre CTS değerleri farklı değerler almaktadır. CTS değerleri duvarın termal davranışını göstermektedir. Örneğin Tip 1'de hesaplama anı  $t=0$ 'da CTS değeri 0'dır. Yani duvar dış yüzeyine gelen ısı kazancı mahale hemen etki etmemektedir. Belli bir gecikme ile mahale ulaşmaktadır. Diğer bir ifade ile bir faz kayması görülmektedir. Mahale ilk olarak 1 saat sonra etki etmekte ( $t=1$ 'de  $CTS=\%2$ )'dir. Mahale maksimum etki ise  $t=4$ 'de olmaktadır. Bu saatte  $CTS=\%15$  değerindedir.  $t=18$  anına kadar termal etki söz konusudur. Bu davranışların daha iyi anlaşılması için Şekil 2'de Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 tuğla duvar örneklerinin CTS serilerinin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2. Tuğla duvar örneklerinin iletim zaman serileri grafiği

**Tablo 3. Örnek yapı tiplerinin detayları**

Tuğla duvarlar						
Tip		L (mm)	k (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (j/kgK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Sıva	20	1	1800	841	0.02
	Düşey tuğla	190	0.32	700	841	0.59
	Alçı sıva	20	1.6	2000	841	0.01
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12
	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Sıva	30	1.6	2000	841	0.01
	Yalıtım	30	0.023	24	1591	0.87
	Tuğla	135	0.304	641	841	0.44
	Alçı sıva	20	0.7	1400	841	0.02
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12
	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Sıva	20	1	1800	841	0.02
	İzo tuğla	150	0.17	796	841	0.08
	Alçı sıva	20	1.6	2000	841	0.01
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12
Beton Duvarlar						
Tip		L (mm)	k (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (j/kgK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Sıva	20	1	1800	841	0.02
	Yüksek yoğ. beton	200	1.95	2240	900	0.10
	Alçı sıva	20	1.6	2000	841	0.01
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12
	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Sıva	20	1	1800	841	0.02
	Poliüretan	40	0.023	24	841	1.73
	Düşük yoğ. beton	150	0.53	1280	841	0.29
	Alçı sıva	20	1.6	2000	841	0.01
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12
	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Sıva	20	1	1800	841	0.02
	Düşük yoğ. beton	100	0.53	1280	841	0.19
	Polistren	50	0.035	30	841	1.42
	Düşük yoğ. beton	200	0.53	1280	841	0.38
	Alçı sıva	20	1.6	2000	841	0.01
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12
Çatı						
Tip		L (mm)	k (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (j/kgK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
	Dış hava direnci	-	-	-	-	0.04
	Membran	9	1	1800	841	0.02
	Yalıtım	20	1.95	2240	900	0.10
	Yüksek yoğ. beton	200	1.6	2000	841	0.01
	İç hava direnci	-	-	-	-	0.12

**Tablo 4.** Örnek yapıların CTS (%) değerleri

Saat	Tuğla Duvar			Beton Duvar			Çatı
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6	Tip7
0	0	0	0	1	1	3	1
1	2	1	1	3	2	3	1
2	8	6	4	8	4	3	5
3	13	10	10	10	7	3	9
4	15	12	13	10	8	3	11
5	13	12	13	9	8	3	11
6	11	11	12	8	8	4	9
7	9	9	10	7	7	4	8
8	7	8	8	6	7	5	7
9	6	6	7	6	6	5	6
10	4	5	5	5	5	5	5
11	3	4	4	4	5	5	4
12	2	3	3	4	4	6	4
13	2	3	3	3	4	6	3
14	1	2	2	3	4	5	3
15	1	2	2	2	3	5	2
16	1	1	1	2	3	5	2
17	1	1	1	2	3	5	2
18	1	1	1	2	2	4	2
19	0	1	1	1	2	4	1
20	0	1	0	1	2	4	1
21	0	1	0	1	2	4	1
22	0	0	0	1	2	3	1
23	0	0	0	1	1	3	1
U (W/mk)	1.27	0.66	0.93	3.44	0.45	0.45	0.50

Şekil 2'de verilen 3 duvarın CTS dağılımı, zamana göre duvarların termal davranışını göstermektedir. Herhangi bir opak yapının termal davranışının bilinmesi, yapının soğutma yükü hesabını kolaylaştırdığı gibi, özellikle yeni binalarda opak yapı elemanlarının soğutma yükü açısından doğru tasarlanmasına olanak sağlayacaktır. Örneğin yeni tasarlanacak bir binanın, farklı opak yapı elemanı seçimlerine göre binanın soğutma yükü analiz edilerek minimum soğutma yükünü sağlayacak opak yapı belirlenecektir.

#### 4- Sonuç

Bu çalışmada ASHRAE tarafından bina soğutma yükü hesabı için önerilen RTS yönteminde, opak yapı elemanlarının iletimle olan ısı transferinin hesaplanmasında kullanılan ve yapı tipine göre değişiklik gösteren CTS değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar için MATLAB programı ile bir program yazılmıştır. Elde edilen CTS değerleri 2009 ASHRAE Handbook-Fundamental'da verilen CTS değerleri ile karşılaştırılarak yazılan program doğrulanmıştır.

Türkiye'deki binalarda yaygın olarak kullanılan yapı tipleri için CTS değerlerinin doğru ve güvenilir olarak tespit edilmesi sağlanmıştır. Bu sayede; CTS değerlerinin ülkemizde kullanılan yapı kabukları için tablolarda verilen en yakın yapı tipini kullanarak seçilmesi yerine; istenilen tüm yapı kabukları için doğru olarak hesaplanması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar; soğutma yükü ve enerji analizlerinde RTS yönteminin bu yaklaşımla daha güvenilir olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

#### Kaynaklar

- [1] Aktacir, M.A., Büyükalaca, O., Yılmaz T., "Soğutma Yükü Hesabında Kullanılan Yöntemler", ULIBTK'03, 14, Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi bildiriler kitabı sayfa 64-69, Isparta, 2003.
- [2] Ashrae Handbook-Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2009.
- [3] Spitler, J.D., Fisher, D.E., Pedersen C.O., "The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Procedure", ASHRAE Transactions 103(2), 503-515, 1997.
- [4] McQuiston, F.C., J.D. Parker, J.D., Spitler, J.D., "Heating, Ventilating, and Air Conditioning-Analysis and Design", 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.
- [5] Stephenson, D.G., Mitalas, G.P., "Calculation of Heat Conduction Transfer Functions for Multilayer Slab", ASHRAE Transactions 73(1), III 1.1-1.7, 1967.
- [6] Stephenson, D.G., Mitalas, G.P., "Calculation of Heat Conduction Transfer Functions for Multilayer Slabs", ASHRAE Transactions 77(2), 117-126, 1971.
- [7] Mitalas, G.P., Arsenault, J.G., FORTRAN IV Program to Calculate Z-Transfer Functions for The Calculation of Transient Heat Transfer Through Walls and Roofs, in: Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings, Gaithersburg, MD, NBS Building Science Series vol. 39, 1971.
- [8] Hittle, D.C., Calculating Building Heating and Cooling Loads Using the Frequency Response of Multilayered Slabs, Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana- Champaign, 1979.
- [9] Ceylan, H.T., Myers, G.E., 1980, Long-Time Solutions to Heat Conduction Transients with Time-Dependent Inputs, ASME Journal of Heat Transfer 102, (1) 115-120, 1980.

- [10] Burch, D.M., Seem, J.E., Walton G.N., Licitra B.A., “Dynamic Evaluation of Thermal Bridges in Typical Office Building”, ASHRAE Transaction 98(1), 291-304, 1992.
- [11] Davies, M.G., “Wall Transient Heat Flow Using Time-Domain Analysis”, Building and Environment 32(5), 427-446, 1997.
- [12] Spitler, J.D., Fisher, D.E., “Development of Periodic Response Factors for Use with the Radiant Time Series Method”, ASHRAE Transactions 105(2), 491-502, 1999.
- [13] Chen, Y.M., Wang S.W., “Transient Heat Flow Calculation for Multi-layer Constructions Using Frequency-Domain Regression Method”, Building and Environment 38(1), 45-61, 2003.
- [14] Wang, S.W., Chen, Y.M., “A Novel and Simple Building Load Calculation Model for Building and System Dynamic Simulation”, Applied Thermal Engineering 21, 683-702, 2001.
- [15] Chen, Y.M., Chen, Z.K., A Neural-Network Based Experimental Technique for Determining Z-Transfer Function Coefficients of A Building Envelope, Building and Environmental 35(3), 181-189, 2000.
- [16] Yenigün, B., “ok Katmanlı Opak Yapı Elemanları İçin İletim Zaman Serilerinin (CTS) Hesaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [17] Bina Sayımı 2000, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara, Eylül 2001.