

SOĞUTMA YÜKLERİNİN HESAPLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER VE KARŞILAŞTIRILMASI: İLKÖĞRETİM OKULU ÖRNEĞİ

Sibel MAÇKA KALFA *
Yalçın YAŞAR *

Özet: Günümüzde, iç ortam konfor koşullarının sürekliliği ve ilk yatırım, bakım ve işletme maliyetlerinin azaltılması açısından binalarda uygun bir soğutma sisteminin seçilmesi önemlidir. Soğutma sistemi seçiminde, sistemin sahip olduğu kapasitenin binanın soğutma yüküne göre belirlenmesi gereklidir. Soğutma yükünün güvenilir bir şekilde hesaplanamaması, binaya uygun olmayan soğutma sistemi seçimine neden olmakla birlikte, soğutma sistemi maliyetini artırmakta ve iç ortam konfor koşullarını kötü etkilemektedir. Bu nedenle binaların soğutma yüklerinin hesaplanmasında güvenilir bir hesap yönteminin kullanılması gereklidir. Binaların soğutma yüklerini hesaplayan birçok yöntem mevcuttur. Bu çalışmada, bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılan TEDT/TA, HB, TFM, CLTD/SCL/CLF ve RTS yöntemleri; kullandıkları veriler, katsayılar ve hesap prosedürlerine göre karşılaştırılmıştır. Yöntemler arasındaki sayısal farkların karşılaştırılmasının yapılabilmesi için İstanbul'da konumlanan bir ilköğretim binası ele alınmış ve bu binanın 21 Temmuz tasarım günü için soğutma yükleri TEDT/TA, TFM, CLTD/SCL/CLF ve RTS yöntemleri kullanılarak MS Excel programında hazırlanan hesap şablonlarına göre elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bina kullanım saatlerine göre %5 ile %25 arasında farklı çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğutma yükü, Toplam eşdeğer sıcaklık farkı, Geçiş fonksiyonu yöntemi, Isıl denge, Soğutma yükü sıcaklık farkı, Işınım zaman serisi

Comparison of Methods Used in Calculated of Cooling Loads: The Case of Elementary School

Abstract: Nowadays, in terms of continuity of indoor environment comfort conditions and decreased initial investment, maintenance and operating costs, selected of a appropriate cooling system is important in buildings. In the selection of cooling system, system capacity need to determine according to building cooling load. That cooling load is not calculated in the reliability way cause selected cooling system that is not suitable to building, increase cooling system cost and aggravation indoor environment comfort conditions. Therefore, the reliability calculation method should be used in the calculation of building cooling loads. There are several methods that calculates building cooling loads. In this study, TEDT/TA, HB, TFM, CLTD/SCL/CLF and RTS methods that are used commonly from this methods are compared according to their using data, coefficients and calculation procedure. The elementary school that is located in İstanbul is selected to compared of numerical differences among these methods and cooling loads of this building for July 21 that is design day are determined according to calculation templates prepared in MS Excel using TEDT/TA, TFM, CLTD/SCL/CLF and RTS methods. Obtained results are found difference between 5% and 25% according to building occupancy period.

Keywords: Cooling load, Total equivalent temperature difference, Transfer function method, Heat balance, Cooling load temperature difference, Radiant time series

* Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 61080 Trabzon
İletişim Yazarı: S. Maçka Kalfa (sibelmacka@ktu.edu.tr)

1. GİRİŞ

Günümüzde sıcak yaz aylarında iç ortam konfor koşullarının sağlanabilmesi için soğutma sistemlerinin kullanımı giderek artmakta ve bunun sonucu olarak binada kullanılacak uygun soğutma sistem kapasitesinin belirlenmesi önem kazanmaktadır. Soğutma sisteminin uygun kapasitede seçilememesi ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri arttırmakta, iç ortam konfor koşullarının sürekliliğini tehlikeye atmaktadır. Enerji tüketiminin gittikçe arttığı ve kullanılan enerjinin %70'inin ithal edildiği ülkemizde soğutma sistem kapasitesinin doğru belirlenmesiyle soğutma amaçlı tüketilen enerji azaltılabilmekte ve bu sayede enerji tüketimi açısından ülke ekonomisine önemli katkılar sağlanmaktadır (Balat, 2010; ASHRAE, 2010).

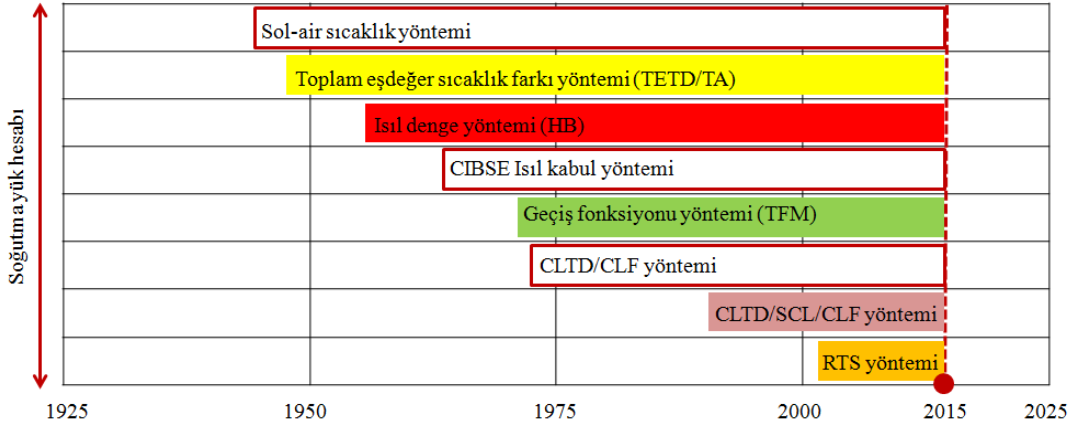
Soğutma sistem kapasitesi binanın soğutma yüküne göre belirlenmektedir. Bundan dolayı soğutma sistem kapasitesine karar verebilmek için binanın sahip olduğu soğutma yükünün güvenilir bir şekilde hesaplanması gereklidir. Soğutma yükünü meydana getiren pek çok bileşenin değeri, gün boyunca önemli oranda değişimler göstermektedir. Soğutma yükü hesaplarına doğrudan etki eden değişkenlerin sayısının çok fazla olması ve bu parametrelerin çoğunlukla kesin olarak tanımlanamaması, soğutma yükü hesaplarını karmaşık bir hale getirmektedir. Bu karmaşık yapının çözülmesi için binalarda ısı transferi mekanizmasının iyi bilinmesi gerekir. Bir ortamın ısı kazançları iletim, taşınım ve ışıma yolu ile olur. Ortamın, taşınım yoluyla ısı kazançları anlık olarak, yani hemen soğutma yüküne dönüşürken ışıma ile ısı kazancı hemen soğutma yüküne dönüşmez. Işıma enerjisi önce ortamı çevreleyen yüzeyler ile ortamda bulunan cisimler tarafından yutulur. Bu yüzey ve cisimlerin ısı depolama kapasitelerine göre, yüzey sıcaklıkları ortam sıcaklığından büyük olduğu andan itibaren ortama ısı enerjisi yaymaya başlar ve soğutma yükünü etkiler. Soğutma yükü hesabında önemli olan yüzey ve cisimler üzerinde depo edilen ısı enerjisinin tespit edilmesidir. Bu tespit, soğutma yükü hesabında gerçekçi değerlere varmak açısından önemlidir (McQiston ve diğ., 2005; Bulut ve diğ., 2006).

Soğutma yükünün belirlenmesi için günümüze kadar sol-air sıcaklık yönteminden ışıma zaman serisi yöntemine kadar birçok farklı algoritmaya ve varsayımına sahip soğutma yükü hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Bu hesap yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılanları toplam eşdeğer sıcaklık farkı yöntemi (TETD/TA), ısı denge yöntemi (HB), geçiş fonksiyonu yöntemi (TFM), soğutma yükü sıcaklık farkı/güneş soğutma yükü/soğutma yük faktörü yöntemi (CLTD/SCL/CLF) ve ışıma zaman serisi (RTS) yöntemleridir (Aktacı ve diğ., 2003; Barnaby ve diğ., 2004; Mao ve Haberl, 2013; Rudoy ve Duran, 1974). Bu yöntemler temelde büyük farklılıklar içermemekte ancak özellikle ısı kazançlarının soğutma yüküne dönüştürülmesinde farklı yaklaşımları benimsemektedirler. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan soğutma yükü hesap yöntemleri kullandıkları algoritmalar, veriler ve katsayılar açısından incelenmiş ve örnek bir ilköğretim binasının soğutma yükü bu yöntemlere göre hesap edilerek aradaki sayısal farkların nedenleri araştırılmıştır.

2. SOĞUTMA YÜKÜ HESAP YÖNTEMLERİ

Binaların soğutma yükünün hesabı için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler ve yöntemlerin kronolojik sırası Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi 1945 yılından önceki süreçte, soğutma yükünün hesabında sol-air sıcaklık yöntemi kullanılmaktaydı. Ancak bu yöntem zamana göre değişken soğutma yükünün hesabında yaygın bir kullanım ağına sahip değildi. O zamanlarda mühendisler ve mimarlar bina HVAC sistemlerinin tasarımında üreticilerin verilerini, referans kitapları ve deneyimleri dikkate alıyorlardı (Mao ve Haberl, 2013). 1948'li yıllara gelindiğinde sol-air sıcaklık eşitliklerini temel alan toplam eşdeğer sıcaklık farkları (TETD) tabloları geliştirildi ve bina soğutma yükü bu tablolarda yer alan değerlere göre hesaplanmaya başlandı. Toplam eşdeğer sıcaklık farkı yöntemi, TETD değerleri vasıtasıyla bina elemanlarından gerçekleşen anlık ısı kazançlarının elde edilmesi ve bu kazançların zamana göre ortalama (TA) tekniği ile anlık soğutma yükü değerlerine dönüştürülmesi temeline

dayanmaktaydı (ASHRAE, 2010; Aktacir ve diğ., 2003).



Şekil 1:

Soğutma yükü hesap yöntemlerinin kronolojik sırası (Mao ve Haberl, 2013)

1955’li yıllara gelindiğinde bundan sonra geliştirilecek tüm yöntemlerin temelini oluşturacak olan ısı denge (HB) yöntemi binaların soğutma yüklerinin hesabında yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Isıl denge yöntemi ile soğutma yükü tahmini, binayı oluşturan elemanların her bir yüzeyinin taşınım, iletim ve ışıma ısı denge eşitliklerinin ve iç ortam havasına ait taşınım ısı denge eşitliklerinin eş zamanlı çözülmesi temelinde dayanmaktadır (McQiston ve diğ., 2005; Spitler, 2002). 1960’lı yıllarda sol-air sıcaklık yöntemini temel alan CIBSE ısı kabul yöntemi binaların soğutma yükünün hesabında kullanılmaya başlandı. Bu yöntem günlük ortalama soğutma yükü hesabına saatlik sapma değerlerinin eklenmesiyle çözüme yaklaşan bir yöntemdir. Saatlik değerlerin gün içinde aşırı dalgalandığı durumlarda yöntemin hassasiyetinin azalması önemli bir dezavantajı olarak görülmektedir (CIBSE, 1999). 1972 yılında ısı dengesi kavramının en iyi uyarlaması olarak bilinen geçiş fonksiyonu yöntemi (TFM) geliştirildi. Bu yöntem prensip olarak Toplam Eşdeğer Sıcaklık Farkı Yöntemine (TETD/TA) benzemesine rağmen, TETD/TA yönteminden farklı olarak bina elemanlarından gerçekleşen ısı kazançlarının hesaplanmasında, sol-air sıcaklıklar ve iç ortam sıcaklıkları arasındaki farklar ve farklı opak dış yüzeyler için ağırlıklandırma katsayıları veya iletim geçiş fonksiyonu katsayılarını kullanmaktadır (ASHRAE, 2010; McQiston ve diğ., 2005; Barnaby ve diğ., 2004). 1977 yılında geçiş fonksiyonu yönteminin (TFM) basitleştirilmiş şekli olarak Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı / Güneş Soğutma Yükü/ Soğutma Yük Faktörü Yöntemi (CLTD/SCL/CLF) geliştirildi. Bu yöntemde binaya ait soğutma yüklerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan CLTD, SCL ve CLF katsayıları geçiş fonksiyonu yöntemi ile elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmaktadır ve bu katsayıların, binayı oluşturan elemanların konstrüksiyonlarına uygun olarak seçilmesi soğutma yükünün güvenilir bir şekilde hesaplanabilmesi için gereklidir (ASHRAE, 2010; Ahmed, 2012). 2000’li yılların başlarında ısı denge yönteminden türetilmiş ve ısı denge yöntemine göre basitleştirilmiş bir yöntem olan ışıma zaman serisi (RTS) yöntemi soğutma yüklerinin hesabında kullanılmaya başlandı. Bu yöntemde, bina elemanlarına ait ısı kazançları belirlendikten sonra taşınım ve ışıma ısı kazançlarına bölünmekte, ışıma ve taşıma ile elde edilen ısı kazançları toplanarak soğutma yükü elde edilmektedir (ASHRAE, 2010; Spitler ve diğ., 1997; Box ve Jenkins, 1976). Yukarıda anlatıldığı gibi bina soğutma yükü hesabı için geliştirilen yöntemlerin her biri kullandıkları hesap algoritmalarındaki farklılıklardan dolayı farklı sonuçlar vermektedirler. Bundan dolayı bina iç ortam konfor koşullarının sürekliliği için mühendis ve mimarın güvenilir bir yöntem karar verebilmesi önemlidir. Soğutma yükü hesap yöntemleri; Tablo 1’de kullandıkları veriler, Tablo 2’de hesap algoritmaları ve Tablo 3’de ise hesaplanan veriler açısından karşılaştırılmışlardır.

**Tablo 1. Soğutma yükü hesap yöntemlerinde kullanılan veriler
(ASHRAE, 2010; Box ve Jenkins, 1976)**

VERİLER	YÖNTEMLER				
	TETD/TA	TFM	CLTD/ SCL/ CLF	HB	RTS
Opak ve saydam elemanların ısı geçirgenlik katsayısı ($U\text{-W/m}^2\text{K}$)	X	X	X	X	X
Opak ve saydam elemanların alanları ($A\text{-m}^2$)	X	X	X	X	X
Opak elemanlar için toplam eşdeğer sıcaklık farkı değeri (TETD)	X				
Dış ortam sıcaklığı ($t_d\text{-}^\circ\text{C}$)	X	X	X	X	X
İç ortam sıcaklığı ($t_i\text{-}^\circ\text{C}$)	X	X	X	X	X
Komşu oda sıcaklığı ($t_b\text{-}^\circ\text{C}$)	X	X	X	X	X
Sol-air sıcaklık ($t_e\text{-}^\circ\text{C}$)		X		X	X
İç yüzey sıcaklığı ($t_{iy}\text{-}^\circ\text{C}$)				X	
Dış yüzey sıcaklığı ($t_{dy}\text{-}^\circ\text{C}$)				X	
Ortalama ışımsal sıcaklık ($t_{ort,ışımsal}\text{-}^\circ\text{C}$)				X	
Gölgeleme katsayısı (SC)	X	X	X		X
Güneş ısı kazanç faktörü (SHGF)	X	X			X
İletim geçiş fonksiyonu katsayıları (X,Y,Z)		X		X	
Soğutma yükü sıcaklık farkı (CLTD-Tablo değeri)			X		
Saydam elemanlar için güneş soğutma yük faktörü (SCL-Tablo değeri)			X		
Geçiş katsayısı (Ω -Tablo değeri)				X	
Dış yüzey taşınım ısı transfer katsayısı ($h_{dy}\text{-W/m}^2\text{K}$)				X	
İç yüzey taşınım ısı transfer katsayısı ($h_{iy}\text{-W/m}^2\text{K}$)				X	
Opak ve saydam elemanların yüzey yutuculuk katsayısı (a)				X	X
Düşey yüzeye gelen toplam güneş ışıma değeri ($I_{t,düş}\text{-W/m}^2$)				X	X
Düşey yüzeye gelen direkt güneş ışıma değeri ($I_{d,düş}\text{-W/m}^2$)				X	X
Düşey yüzeye gelen yaygın güneş ışıma değeri ($I_{y,düş}\text{-W/m}^2$)				X	X
Düşey yüzeyden yansıyan güneş ışıma değeri ($I_{y,düş}\text{-W/m}^2$)				X	X
Hava nem oranı (W)	X	X	X	X	X
Havalandırma katsayısı (ϕ)	X	X	X	X	X
Havanın entalpisi (H-kj/kg)	X	X	X		X
Kullanıcı sayısı (N)	X	X	X		X
Duyulur ısı kazancı (DIK-W) (Tablo değeri)	X	X	X		X
Gizli ısı kazancı (GIK-W) (Tablo değeri)	X	X	X		X
Kullanım faktörü (F) (Tablo değeri)	X	X	X		X
Aydınlatma tesisat verisi (w) (Tablo değeri)	X	X	X		X
Soğutma yük faktörü (CLF-Tablo değeri)			X		
Özgül ısı ($c_p\text{-J/kg-C}$)				X	
Özgül hacim ($v\text{-m}^3\text{/kg}$)				X	
Buharlaştırılan gizli ısı ($i\text{-J/kgv}$)				X	

Tablo 2. Soğutma yükü hesap yöntemi algoritmaları (ASHRAE, 2010; Box ve Jenkins, 1976)

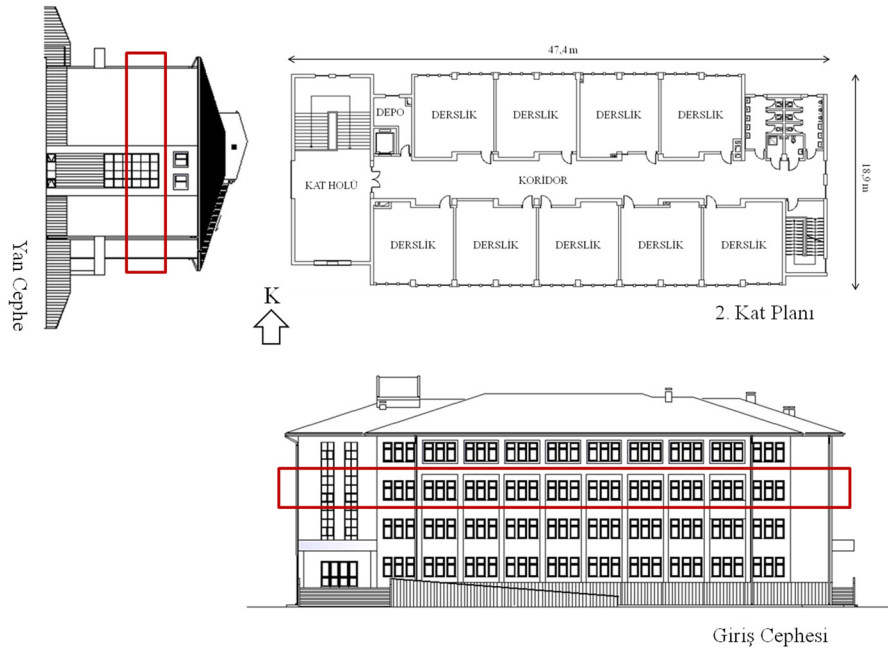
Hesaplanan	YÖNTEMLER				
	TETD/TA	TFM	CLTD/SCL/CLF	HB	RIS
Yük	Soğutma yükü	Soğutma yükü	Soğutma yükü	Soğutma yükü	Soğutma yükü
Opak Elemanlar (Çatı, duvar)	İletim	$q_{e,q} = A \left[\sum_{n=1}^{n_{in}} \frac{b_n(t_{e,q} - n\varphi)}{d_n} - \sum_{n=1}^{n_{out}} \frac{c_n}{d_n} \right]$	$q = UA (CLTD)$	$q_{dy,m} = -Y_d t_{iy,m} - \sum_{j=1}^{n_z} Y_j t_{iy,m-1} + X_d t_{dy,m} + \sum_{j=1}^{n_z} X_j t_{dy,m-1} + \sum_{j=1}^{n_q} \Omega_j q_{dy,m-1}$ $q_{iy,m} = -Z_d t_{iy,m} - \sum_{j=1}^{n_z} Z_j t_{iy,m-1} + Y_d t_{dy,m} + \sum_{j=1}^{n_z} Y_j t_{dy,m-1} + \sum_{j=1}^{n_q} \Omega_j q_{dy,m-1}$	$q = UA (t_{e,q} - t_i)$
	Taşınım			$q_d = h_{dy} x (t_d - t_{dy})$ $q_i = h_{iy} x (t_i - t_{iy})$	
Camlar	İşınma			$q_{yüz,iy} = h_{iy} x (t_{iy} - t_{ort,işınması}) - q_{dn}$ $q_{güneş,dy} = \alpha x I_{r,düz}$ $q_{güneş,iy} = \frac{\sum q_y + (1 - \alpha_{dış}) x \sum q}{\sum_{j=1}^N A_j}$	
	İletim			$q = U(t_{dy} - t_{iy})$	$q = UA (t_{e,q} - t_i)$
Bölücüler, tavan ve döşeme	Taşınım			$q_d = h_{dy} x (t_d - t_{dy})$ $q_i = h_{iy} x (t_i - t_{iy})$	
	İşınma			$q_{güneş,dy} = \alpha_{d,d,y} x I_{d,düz} + \alpha_{y,d,y} x I_{y,düz}$ $q_{güneş,iy} = \alpha_{d,i,y} x I_{d,düz} + \alpha_{y,i,y} x I_{y,düz}$	$q_{düz} = A (E_d + E_i) IAC$ $q_{düz} = A (E_d + E_i) IAC$ $SHGC_D$ $q = UA (t_{e,q} - t_i)$
Havalandırma/Sızıntı					$q_{duy} = 1,23Q(t_d - t_i)$ $q_{giz} = 3010Q(W_d - W_i)$ $q_{top} = 1,20Q(H_d - H_i)$
					$q_{duy} = 1,23Q(t_d - t_i)$ $q_{giz} = 3010Q(W_d - W_i)$ $q_{top} = 1,20Q(H_d - H_i)$
Kullanıcı					$q_{duy} = N(DIK)$ $q_{giz} = N(GIK)$
					$q_{duy} = N(DIK)$ $q_{giz} = N(GIK)$
Aydınlatma					$q_{ışınma} = \frac{\sum_{k=1}^M q_k F_{ışınma,k}}{\sum_{j=1}^N A_j}$
					$q_{ışınma} = \frac{\sum_{k=1}^M q_k F_{ışınma,k}}{\sum_{j=1}^N A_j}$
Ekipman					$q_{taşınma} = \sum_{j=1}^n q_j t_{aşınma}$
					$q_{ayd} = w F_{ul} F_{sa}$ $q_{ekip,duy} = q_{girdi} F_{u} F_R$

Tablo 3. Soğutma yükü hesap yöntemlerinde bina elemanlarıyla ilgili hesaplanan veriler (ASHRAE, 2010; Box ve Jenkins, 1976)

HESAPLANAN		YÖNTEMLER				
		TETD/TA	TFM	CLTD/SCL/CLF	HB	RTS
Opak Eleman	İletimle ısı kazancı	X	X	X	X	X
	Taşımla ısı kazancı				X	
	Işımayla ısı kazancı				X	
Saydam Eleman	İletimle ısı kazancı	X	X	X	X	X
	Taşımla ısı kazancı				X	
	Işımayla ısı kazancı	X	X	X	X	X

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından tasarlanan tipik bir ilköğretim binasının soğutma yükü; TETD/TA, TFM, CLTD/SCL/CLF ve RTS yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. İlköğretim binasının İstanbul'da konumlandırıldığı düşünülerek 21 Temmuz tasarım günü için saatlik hesaplamalar bilgisayar aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda İstanbul ili için kullanılan saatlik dış ortam sıcaklığı ve güneş ışınım değerleri ile ilgili veriler bu il için hazırlanmış 8760 saatlik tipik meteorolojik iklimsel veri dosyasından elde edilmiştir (http://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb/1991-2005/tmy3/.2008). Soğutma yükü hesap yöntemlerinden HB yöntemine çalışmada yer verilmemiştir. Bunun nedeni HB yöntemi ile soğutma yükü hesabının enerji simülasyon programlarıyla yapılabilmesi ve bu yöntemi kullanan çok sayıda programın farklı varsayımlarından kaynaklı farklı sonuçlar vermesidir. Kısacası bu çalışma enerji simülasyon araçlarından ziyade soğutma yükü yöntemlerine odaklanmıştır. Şekil 2'de çalışmada kullanılan ilköğretim binasının ikinci kat planı ve görünüşleri verilmiştir.



Şekil 2:

İlköğretim Binası 2. Kat planı ve görünüşleri (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı)

Çalışmada tüm mekânlar için iç ortam sıcaklığı 24⁰C olarak kabul edilmiştir. İlköğretim binasının haftanın beş günü saat 8:00 ile 18:00 arasında kullanıldığı varsayılmıştır. TETD/TA yöntemi için gerekli TETD değerleri duvar ve çatılar için hesaplanan saatlik sol-air sıcaklık değerlerine göre elde edilmiş olup, diğer yöntemler için gerekli olan opak elemanların mevcut konstrüksiyonlarına göre iletim geçiş fonksiyonu katsayıları, CLTD, SCL ve CLF değerleri ile havalandırma/sızıntı, kullanıcı, aydınlatma ve ekipmandan kaynaklı açığa çıkan soğutma yüklerinin hesabında gerekli veriler ASHRAE tarafından hazırlanan tablolardan elde edilmiştir. İlköğretim binasının katlara göre mekân dağılımı ve her bir mekânın kullanıcı sayısı ve toplam metrekaresi Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. İlköğretim binası katlara göre mekân dağılımı (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı)

KAT	Mekân Adı	Alan (m ²)	Kullanıcı	Mekân Adı	Alan (m ²)	Kullanıcı
Bodrum Kat	Teknisyen odası	11	1	Hizmetli soyunma ve dinlenme odası	38	2
	Ana tablo	23	0	WC	24	2
	Jeneratör odası	19	0	Sığınak	208	0
	Su deposu odası	50	0	Havalandırma odası	24	0
	Kazan dairesi	103	0	Merdiven holü	110	165
Zemin Kat	Giriş holü	60	165	Sabit derslik 3	54	30
	Danışma	8	1	Sabit derslik 4	54	30
	Müdür odası	32	1	WC	43	10
	Müdür yardımcı odası	25	2	Koridor	76	149
	Depo	11	0	Anaokulu giriş holü	23	15
	Kütüphane	76	15	Mutfak	10	2
	Sabit derslik 1	54	30	WC	10	2
	Sabit derslik 2	54	30	Faaliyet odası	49	17
1.Kat	Öğretmenler odası	77	15	Matematik 1 dersliği	54	30
	Rehberlik odası	21	2	Matematik 2 dersliği	54	30
	Depo	11	0	Sosyal dersliği	54	30
	Sabit derslik 5	54	30	WC	43	10
	Sabit derslik 6	54	30	Koridor	76	237
	Türkçe 1 dersliği	54	30	Kat holü	60	237
	Türkçe 2 dersliği	54	30			
2. Kat	Derslik 1	54	30	Derslik 8	54	30
	Derslik 2	54	30	Derslik 9	54	30
	Derslik 3	54	30	Depo	11	0
	Derslik 4	54	30	WC	43	10
	Derslik 5	54	30	Koridor	76	270
	Derslik 6	54	30	Kat holü	60	270
	Derslik 7	54	30			
3.Kat	Müzik dersliği	77	30	Genel derslik	54	30
	Resim atölyesi	77	30	Depo	11	0
	Fen laboratuvarı	101	30	WC	43	10
	Fen Bilgisi dersliği	54	30	Koridor	76	220
	Proje dersliği	54	30	Kat holü	60	220
	Yabancı dil dersliği	54	30			

İlköğretim binasının işletim saatleri olan 08:00-18:00 arasında floresan lambalarla aydınlatıldığı varsayılmış, havalandırma ve sızıntı vasıtasıyla elde edilen ısı kazançlarının hesabında infiltrasyon değeri 0,7 ach olarak alınmıştır. Tablo 5'te çalışmada kullanılan ve bina ısı

kazançlarının duyulur soğutma yüklerine dönüştürülmesinde gerekli taşınım ve ışıma ısı kazancı oranları görülmektedir.

Tablo 5. Toplam duyulur ısı kazancının taşınım ve ışıma ısı kazancına oranları (ASHRAE, 2010)

Isı kazancı kaynağı	İşıma ile ısı kazancı (%)	Taşınım ile ısı kazancı (%)
İçten gölgeleme elemanına sahip pencere	58	42
Floresan lamba	50	50
Kullanıcı	33	67
Duvarlar ve çatı	60	40
Havalandırma ve sızıntı	-	100
Ekipman	20-80	80-20

Tablo 6'da İstanbul ili 21 Temmuz günü için hesaplamalarda kullanılan saatlik iklimsel veriler verilmiştir.

Tablo 6. İstanbul ili 21 Temmuz günü saatlik iklimsel veriler (http://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb/1991-2005/tmy3/2008)

Saat	T _{do} (°C)	I _T (W/m ²)	I _{dt} (W/m ²)			
			Kuzey	Güney	Doğu	Batı
1	23	0	0	0	0	0
2	22,68	0	0	0	0	0
3	22,4	0	0	0	0	0
4	22,45	0	0	0	0	0
5	22,5	0	0	0	0	0
6	22,82	48	31,8	5,2	71,3	5,2
7	23,47	200	105,4	30,1	356,5	30,1
8	24,11	361	87,5	57,9	522,5	52,8
9	27,77	446	67	116,5	494,8	62,6
10	25,42	580	78,8	215,6	470,1	78,8
11	26,07	653	87	286,5	355,5	87
12	26,72	726	95,6	342,5	216,9	99
13	27	753	99,1	358,6	105,1	167,7
14	27	736	97,5	332,8	97,5	340,8
15	27	683	92,1	271,5	92,1	493,4
16	27	598	87,3	180,9	82,9	603,5
17	26,37	464	79,5	74,7	66,9	619,2
18	25,38	312	133	49,3	46,8	526,2
19	25	123	88	17	17	223,2
20	24,48	0	0	0	0	0
21	23,48	0	0	0	0	0
22	23	0	0	0	0	0
23	23	0	0	0	0	0
24	23	0	0	0	0	0

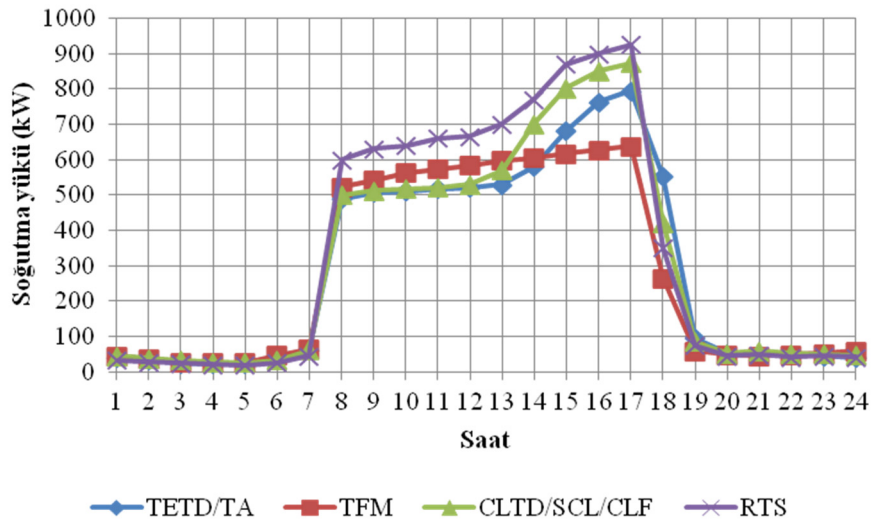
İlköğretim binası bina elemanlarına ait hesaplamalarda gerekli veriler Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Bina elemanlarına ait veriler (ASHRAE, 2010)

Bina elemanı	Konstrüksiyon	U (W/m ² K)	Alan (m ²)
Dış duvarlar	Dıştan yalıtımlı beton duvar	0,61	1673
Çatı	Kiremit örtülü ahşap oturtma çatı	0,19	1021
Pencere (SC=0,83)	Çift tabakalı cam, PVC çerçevesi	3,10	718
Bodrum kat döşemesi	Yalıtımlı betonarme döşeme	0,25	873
Ara kat döşemesi	Yalıtımsız betonarme döşeme	2,18	3492
İç bölme duvarlar	Yalıtımsız beton duvar	2,18	1872
Dış kapı	Çelik kapı	3,5	15
İç kapı	Ahşap kapı	2	138

4. SOĞUTMA YÜKÜ HESAP SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmada incelenen ilköğretim binasının 21 Temmuz günü için saatlik soğutma yükleri TETD/TA, TFM, CLTD/SCL/CLF ve RTS yöntemlerine göre hesap edilmiştir. Hesaplamalar için ASHRAE’de açıklanan hesap prosedürlerine göre her bir yöntem için Excel programında bir hesap şablonu oluşturulmuş ve bu şablonlara göre örnek binada bina elemanlarından (duvarlar, çatı, döşeme, pencere) kullanıcı, aydınlatma, havalandırma/sızıntı ve ekipmandan kaynaklı oluşan saatlik gizli ve duyulur soğutma yükleri ayrı olarak hesap edilmiştir. Hesaplanan saatlik soğutma yükleri toplanarak her bir saat için toplam soğutma yükü elde edilmiştir. Soğutma yükü hesap yöntemlerine göre elde edilen 24 saatlik toplam soğutma yükü değerleri Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3:

Soğutma yükü hesap yöntemlerine göre örnek bina için elde edilen günlük soğutma yükü (kWh)

Şekil 3 incelendiğinde, soğutma yükü hesap yöntemleri ile elde edilen sonuçlar arasında saatlere göre farklılıkların olduğu görülmektedir. Bunun nedeni her bir yöntemin hesap prosedürlerinde kullandığı algoritmalar arasındaki farklılıktır. Örneğin Şekil 3'te TETD/TA yöntemiyle bu yöntemden türetilen TFM yöntemiyle elde edilen sonuçların genel olarak birbiriyle uyum içinde olduğu görülmektedir. Ancak saat 14:00 ile 17:00 arasındaki zaman diliminde TETD/TA yöntemiyle elde edilen sonuçların TFM yöntemiyle elde edilen sonuçlardan %5 ile %24 arasında farklı olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni iki yöntemin bina duvar elemanları vasıtasıyla açığa çıkan soğutma yükü hesabında kullandığı algoritmalarıdır. TETD/TA yöntemi duvar elemanlarının konstrüksiyonlarına bağlı olarak zaman gecikmesi, sönüm faktörü ve sol-air sıcaklıklara göre elde edilen TETD değerlerini kullanırken, TFM yöntemi ASHRAE tarafından konstrüksiyona bağlı olarak hesap edilen ve tablolarda yer alan iletim geçiş fonksiyonu katsayılarını kullanmaktadır. Bu algoritmalar arasındaki farklardan kaynaklı iki yöntemin sonuçları değişmektedir. Ayrıca TFM yönteminde saat 8:00 ile 17:00 arasında soğutma yükü eğrisinin eğimi aynı iken diğer yöntemlerde saat 13:00'den sonra soğutma yükü eğrisinin eğiminde bir artış görülmüştür. CLTD/SCL/CLF yönteminde elde edilen sonuçlara bakıldığında saat 14:00 ile 17:00 aralığında TETD/TA ve TFM yönteminden daha yüksek RTS yönteminden ise daha düşük sonuçlar verdiği görülmüştür. Aynı saat aralığında CLTD/SCL/CLF yöntemi, RTS yönteminden %6 ile %11 arasında daha düşük sonuçlar verirken, TETD/TA yönteminden %9 ile %20 arasında, TFM yönteminden ise %15 ile %25 arasında yüksek sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Tablo 8'de saat dilimlerine göre hangi yöntemin daha yüksek veya düşük sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 8. Hesap yöntemleri sonuçları arasındaki farkların günlük saat dilimlerine göre karşılaştırılması

Yöntem	Saat Dilimi			
	1-7	8-13	14-17	18-24
TETD/TA	••	•	••	••••
TFM	•••	•••	•	••
CLTD/SCL/CLF	••••	••	•••	•••
RTS	•	••••	••••	•

•••• En yüksek; ••• yüksek; •• orta; • en düşük

TETD/TA, TFM ve RTS yöntemlerinde havalandırma, sızıntı, kullanıcı, aydınlatma ve ekipmandan kaynaklı oluşan duyulur ve gizli soğutma yükleri yöntemlerin kullandıkları algoritmaların aynı olmasından kaynaklı eşit çıkmıştır. Yöntem sonuçlarındaki farklılıkların temel nedeni bina elemanlarından kaynaklı oluşan soğutma yükü hesabında kullandıkları algoritmalarıdır. CLTD/SCL/CLF yönteminde havalandırma ve sızıntı vasıtasıyla oluşan duyulur ve gizli soğutma yükü diğer yöntemlerle aynı çıkmış, kullanıcı, aydınlatma ve ekipmandan kaynaklı oluşan gizli ve duyulur soğutma yükleri ise diğer yöntemlerle elde edilen sonuçların ASHRAE tarafından hazırlanan tablolardan elde edilen soğutma yük faktörü (CLF) değeriyle çarpılmasından kaynaklı farklı çıkmıştır. Tablo 9'da hesap yöntemlerine göre soğutma yükünü oluşturan çeşitli yüklerin toplam soğutma yüküne oranları verilmiştir.

Tablo 9. Bina soğutma yükünü oluşturan yüklerin toplam soğutma yüküne oranı (%)

Yöntem	Opak elemanlar (%)	Saydam elemanlar (%)	Havalandırma /Sızıntı (%)	Kullanıcı (%)	Aydınlatma (%)	Ekipman (%)
TETD/TA	8	38	5	27	3	19
TFM	10	35	6	24	5	20
CLTD/SCL/CLF	12	40	4	25	2	17
RTS	14	45	3	22	1	15

Tablo 9'deki değerler 21 Temmuz günü için elde edilen 24 saatlik soğutma yüklerinin toplanması sonucu elde edilen günlük toplam soğutma yükü dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu nedenle her bir yöntemin farklı soğutma yükü hesap değeri verdiği düşünüldüğü için bu tablo yorumlanmalıdır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, binanın soğutma sistem kapasitesinin belirlenmesi amacıyla soğutma yükünün hesabında günümüzde yaygın olarak kullanılan TETD/TA, TFM, CLTD/SCL/CLF, RTS ve HB soğutma yükü hesap yöntemleri detaylı olarak incelenmiş ve örnek bir ilköğretim binasının soğutma yükü bu yöntemlere göre hesap edilmiştir. HB yöntemi enerji simülasyon programı kullanımını gerektirdiği için bu yöntemle bir hesap gerçekleştirilmemiştir.

İlköğretim binasının 21 Temmuz günü için farklı yöntemlere göre hesap edilen saatlik soğutma yüklerinde özellikle binanın kullanım saatleri olan 8:00 ile 18:00 arasında %5 ile %25 arasında değişen farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılıkların temel nedeni her bir yöntemin kullandığı algoritmalar ve katsayılarıdaki farklılıklardır. Ayrıca yöntemlerde kullanılan ve ASHRAE tarafından hazırlanan tablolarda yer alan CLTD, SCL ve iletim fonksiyonu geçiş katsayı değerlerinin her konstrüksiyon için hesaplanmaması da yöntem sonuçlarında farklılıklara neden olmaktadır. Güvenilir sonuçların elde edilmesi hesaplarda kullanılacak tüm katsayı değerlerinin binanın bulunduğu il ve konstrüksiyona göre en doğru şekilde belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir.

Uygun bir soğutma sistem seçiminin yapılabilmesi için binanın soğutma yükünün güvenilir bir şekilde hesaplanması gereklidir. Şayet binanın soğutma yükü yüksek tahmin edilirse yüksek kapasiteli bir soğutma sistem seçimi yapılmakta buda ilk yatırım maliyetini, işletim ve bakım giderlerini arttırmakta, düşük tahmin edilirse düşük kapasiteli bir soğutma sistemi seçilmekte buda iç ortam konfor koşullarını kötü etkilemektedir. Sonuç olarak bu çalışma ile bir binanın soğutma yükünün hesaplanmasında yaygın olarak hangi yöntemlerin kullanıldığı, yöntemlerin algoritmaları arasındaki farklılıkların neler olduğu ve hangi verileri kullandıkları, avantaj ve dezavantajlarının neler olduğu konusunda okuyucu bilgilendirilerek, yöntemlerin örnek bir ilköğretim binasında uygulanmasıyla elde edilen sayısal sonuçlardaki farklılıklar ortaya koyulmuş ve okuyucunun kendisi için uygun hesap yöntemine karar verebilmesine yardımcı olmaya çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Ahmed, T. (2012). Software Development for Cooling Load Estimation by CLTD Method, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 3,6,1-6.

2. Aktacir, M.A., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, T. (2003). Soğutma Yükü Hesabında Kullanılan Yöntemler, *14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Isparta, 64-69.
3. ASHRAE. (2010). Fundamentals, Chapter 28 –Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations, Atlanta,USA.
4. Balat, M. (2010) Security of energy supply in Turkey: Challenges and solutions, *Energy Convers. and Management*, 51, 1998-2011.
5. Barnaby, C.S., Spilter, J.D., ve Xiao, D. (2004). Updating the ASHRAE/ACCA Residential heating and Cooling Load Calculation Procedures and Data. ASHRAE Final Report 1199, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
6. Box, G.E.P., and Jenkins, G.M. (1976). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Oakland, CA: Holden-Day, Inc.
7. Bulut, H., Durmaz, F. ve Aktacir, M.A. (2006) İklimlendirme Sistemleri İçin Soğutma Yükü Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Türk Tesisat Mühendisliği Derneği, *VII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu*, İstanbul, 1-12.
8. CIBSE. (1999). Guide A, *Environmental Design*, Yale Press, London, UK.
9. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Tip Proje, İlköğretim Okulu.
10. http://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb/1991-2005/tmy3/.2008, Erişim Tarihi:14.04.2014, Konu: *National Renewable Energy Laboratory (NREL). Typical Meteorological Year 3 Data Set. NREL.*
11. Mao, C. ve Haberl, J.S.(2013) Literature Review on the History of Building Peak Load and Annual Energy Use Calculation Methods In the USA, Energy System Laboratory Report, Texas A&M University.
12. McQiston, F.C., Parker, J.D. ve Spitler, J. (2005) *Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design*, Six Edition, John Wiley Press, USA.
13. Rudoy, W., ve Duran, F. (1974). ASHRAE RP-138 Development of an Improved Cooling Load Calculation Method, *Final Report*, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
14. Spitler, J.D., Fisher, D.E. ve Pedersen, C.O. (1997) The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Procedure, *ASHRAE Transactions*, 103,2,503-515.
15. Spitler, J.D. (2002) Load Calculations Heat Balance Method-Theory-Application, Chicago Chapter, ASHRAE.

SEMBOLLER

q	: Isı kazancı, kaybı (W)
U	: Isı geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)
A	: Alan (m ²)
t	: Sıcaklık (°C)
λ	: Sönüm faktörü
δ	: Zaman gecikmesi
SC	: Gölgeleme katsayısı
SHGF	: Güneş ısı kazanç faktörü
Q	: Hava geçiş katsayısı
W	: Havanın nem oranı

H	: Havanın entalpisi (kJ/kg)
N	: Kullanıcı sayısı
DIK	: Duyulur ısı kazancı (W)
GİK	: Gizli ısı kazancı (W)
w	: Aydınlatma tesisat verisi
F	: Kullanım faktörü
b,c,d	: İletim geçiş fonksiyonu katsayısı
CLTD	: Soğutma yükü sıcaklık farkı
SCL	: Güneş soğutma yük faktörü
CLF	: Soğutma yük faktörü
X,Y,Z	: İletim geçiş fonksiyonu katsayıları
Ω	: Geçiş katsayısı
h	: Taşınım ısı transfer katsayısı
α	: Yutuculuk katsayısı
I	: Güneş ışınım şiddeti (W/m ²)
c	: Özgül ısı (J/kg-C)
v	: Özgül hacim (m ³ /kg)
i	: Buharlaştırılan gizli ısı (J/kgv)

İNDİSLER

ea	: a zamanındaki sol-air
i	: İç ortam
e δ	: δ saatindeki zaman gecikmesindeki sol-air
d	: Dış ortam
duy	: Duyulur
giz	: Gizli
top	: Toplam
ul	: Aydınlatma kullanımı
sa	: Tolerans
u	: Kullanım
R	: Işıma
L	: Kayıp
b	: Komşu oda
Q	: Zaman
φ	: Zaman aralığı
n	: İndeks toplamı
iy	: İç yüzey
dy	: Dış yüzey
m	: Saat
sız	: Sızıntı

Alınma Tarihi	(Received)	: 02.03.2014
Düzeltilme Tarihi	(Revised)	: 15.04.2015
Kabul Tarihi	(Accepted)	: 25.04.2015