Işınım Zaman Serisi (RTS) Yöntemi ile Bir Otobüsün Soğutma Yükünün Hesaplanması

O. Büyükalaca[1], T. Yılmaz[2], Ş. Ünal[3], E. Cihan[4] ve E. Hürdoğan[5]

[1]Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye/Türkiye, obuyukalaca@oku.edu.tr
[2]Çukurova Üniversitesi, Adana/Türkiye, tunyil@cu.edu.tr
[3]Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye/Türkiye, saban.unal@oku.edu.tr
[4]Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye/Türkiye, ertugrul.cihan@oku.edu.tr
[5]Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye/Türkiye, ehurdogan@oku.edu.tr

Calculation of Cooling Load of a Bus Using Radiant Time Series (RTS) Method

***Abstract*—A calculation procedure that is widely accepted for the cooling load analysis of the volumes that are non-stationary and have many variable parameters, such as buses, does not exist. In this study, "Radiant Time Series" method is used for the calculation of cooling load of a bus. "Radiant Time Series" method is introduced briefly and the important points for the application of the method to a bus are given.**

***Key Words*-- cooling load, bus, radiant time series**

I. GİRİŞ

BU çalışmada otobüs ve midibüs üretimi alanında faaliyet gösteren Temsa Global Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin isteği üzerine, firmanın yeni tasarladığı bir otobüsün ısıtma ve soğutma yükü hesaplanmıştır. Isıtma yükü hesabı, soğutma yükü hesabına göre daha kolay olup, bu çalışmada sadece soğutma yükü ele alınmıştır.

Herhangi bir ortamın belirli bir kalitede ve ekonomik bir şekilde iklimlendirilebilmesi için uygun iklimlendirme sisteminin seçimi çok önemlidir. Seçim, mevcut iklimlendirme sistemleri içerisinden ele alınan projeye en uygun olan sistemin belirlenmesini ve ayrıca belirlenen bu sistemin kapasitesinin doğru hesaplanmasını içerir. Doğru sistem türünün ve kapasitesinin belirlenememesi durumunda, mahal içerisinde istenilen iç hava kalitesi (sıcaklık, nem, taze hava miktarı, hava hızı v.b.) elde edilemediği gibi, ilk yatırım ve işletme maliyetleri de ekonomik olmaktan çok uzaklaşabilir.

Bir iklimlendirme sistemi tasarımının ilk basamağını, iklimlendirilecek olan ortamın ısıtma ve soğutma yükünün hesaplanması oluşturur. Ortamın ısı kaybı ve buna bağlı olarak belirlenen ısıtma yükünün hesabı soğutma yükü hesabına göre daha basit olup, bu amaçla kullanılabilecek yaklaşımlar çok farklılık arz etmemektedirler. Ancak, soğutma yükünü etkileyen parametrelerin sayısı oldukça fazladır. Isıtma yükünden farklı olarak, soğutma yükünün belirlenmesinde en önemli parametre güneşten kaynaklanan yüktür. Bunun yanında soğutma yükü hesabını zorlaştıran bir diğer faktör de parametrelerin birbirinden bağımsız olmayıp, birlikte ele alınmasının gerekliliğidir. Bu yüzden soğutma yükü hesabı karmaşık ve özel itina gerektiren bir işlemdir.

Otobüs gibi hareketli ortamların soğutma yükü hesabı, hem güneşe göre konumlarının sürekli değişmesinden, hem de dış ortama bakan yüzeylerin dış tarafındaki taşınımla ısı transferi katsayısının hıza bağlı olarak değişmesinden dolayı, durağan bir ortamın soğutma yükü hesabına göre daha da karmaşıktır. Yapılan literatür araştırmasında, otobüsler için soğutma yükünü hesaplamaya yönelik olarak hazırlanmış bir standardın ve özel olarak geliştirilmiş bir yöntemin mevcut olmadığı, sadece bazı özel tasarım şartlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Standart için özellikle Alman DIN, VDI-Regeln ve Amerikan ASHRAE kaynakları araştırılmıştır [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] .

Konuyla doğrudan ilgili herhangi bir standart ve prosedürün mevcut olmadığı görüldüğünden, öncelikle otobüslerde soğutma yükü hesabı için kullanılabilecek uygun yöntem veya yöntemlerin belirlenebilmesi için binalarda soğutma yükü hesabı için kullanılan yöntemler incelenmiştir. Ev harici binaların soğutma yükünü belirleyebilmek için çok basitten oldukça karmaşık yöntemlere kadar değişik hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin ortaya çıkmasında, geliştirilmesinde ve standartlaştırılmasında "American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Inc." (ASHRAE) çok önemli bir rol oynamıştır. Zaman içerisinde ASHRAE Handbook'larda "Yük Hesaplama Prosedürü (Load Calculation Procedure)" başlığı altında farklı yöntemler önerilmiştir.

Bu yöntemleri genel olarak iki ana grupta toplamak mümkündür. Birinci grup yöntemler (TFM ve TETD/TA gibi) iki basamaktan oluşur. Bir ortamın soğutma yükü bulunurken önce o ortamın ısı kazancı hesaplanır ve binanın ısı depolama özellikleri dikkate alınarak ısı kazancından soğutma yükü elde edilir. İkinci grup yöntemlerde ise (CLTD/CLF gibi) doğrudan soğutma yükünü hesaplamak mümkündür. Son 50 yıl içerisinde, ASHRAE tarafından önerilen ve proje mühendisleri tarafından kullanılan yöntemlerin başlıcaları aşağıda verilmiştir:

a) Transfer fonksiyonu metodu (Transfer Function Method, TFM)
b) Toplam eşdeğer sıcaklık farkı metodu (Total Equivalent Temperature Difference Method with Time Averaging, TETD/TA)
c) Soğutma yükü sıcaklık farkı metodu (Cooling Load Temperature Difference method with Solar Cooling Load Factors, CLTD/CLF)

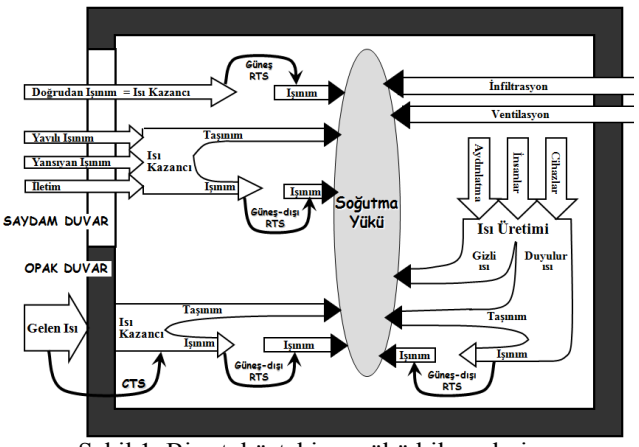
d) Isı dengesi metodu (Heat Balance, HB)
e) Işınım zaman serisi metodu (Radiant Time Series, RTS)

Yukarıda listelenen yöntemlerin birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları mevcuttur [8]. HB ve RTS yöntemleri yeni yük hesaplama yöntemleri olup, ASHRAE Handbook 2001'de [9] yayınlanmıştır. Bu yöntemlerde önce bir ortamın ısı kazancı bulunmakta, daha sonra da soğutma yükü elde edilmektedir. HB yöntemi ile RTS yöntemi temelde aynı olmakla birlikte, HB yöntemi birçok denklemin bir arada çözülmesini gerektirğinden, uygulanışı ancak çok detaylı bir bilgisayar programının yazılması ile mümkündür. RTS yöntemi ise HB yönteminin pratikleştirilmiş bir halidir.

ASHRAE ev dışı ortamların soğutma yükü hesabında en doğru sonuçların HB ve RTS yöntemleriyle elde edilebileceğini, bu sebeple de daha önceki yöntemler yerine bu yöntemlerin kullanılmasını önermektedir. Dolayısı ile bu çalışmada otobüslerde soğutma yükü hesabı için en modern ve doğru sonucu veren RTS yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

II. SOĞUTMA YÜKÜNÜ OLUŞTURAN BİLEŞENLER

Herhangi bir ortamın soğutma yükü hesabında ortamın güneş ışınımına maruz kalan dış yüzeylerinin güneşe göre konumu oldukça önemlidir. Bina gibi uygulamalarda, binanın konumu sabit olup, güneş hareketlidir. Böylece ele alınan ortamı çevreleyen herhangi bir dış duvara gün içerisinde herhangi bir saatte gelen güneş ışınımını belirlemek nispeten kolaydır. Ancak otobüs gibi hareketli ortamların dış yüzeylerine gelen güneş ışınımını belirlemek, hem güneş hem de otobüs, dolayısıyla da dış yüzey hareket edeceğinden karmaşıktır.



Şekil 1. Bir otobüsteki ısı yükü bileşenleri

Şekil 1'de gösterildiği gibi bir otobüsün soğutma yükünü oluşturan bileşenleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

a) Opak dış yüzeylerden gelen soğutma yükü
b) Opak olmayan dış yüzeylerden gelen soğutma yükü
c) Komşu hacimlerden gelen soğutma yükü
d) Mahal içerisindeki kaynaklardan gelen soğutma yükü
   i. İnsanlar, ii. Aydınlatma, iii. Cihazlar
e) İnfiltrasyondan gelen soğutma yükü
f) Ventilasyondan gelen soğutma yükü

Yukarıda belirtilen her bir soğutma yükünün hesabı için ASHRAE 2001'de verilen genel eşitlikler ise şu şekildedir:

Opak Dış Yüzeylerden Gelen Isı Kazancı

$$Q_1 = [\propto E_t + h_o(t_o - t_s) - \varepsilon \Delta R]A \quad (1)$$

α = Yüzeyin ışınım yutma katsayısı
E_t= Birim yüzeye gelen toplam ışınım (W/m^2)
h_o= Dış yüzey toplam ısı transfer katsayısı (W/m^{2}K)
t_o= Dış ortam sıcaklığı (^{o}C)
t_s= Yüzey sıcaklığı (^{o}C)
ε= Yüzey yansıtma katsayısı
ΔR= Yüzeye gelen ışınım ile yansıtılan ışınım arasındaki fark(W/m^2)
A= Isı transfer edilen yüzey alan (m^2)

Bu eşitlikte t_e, sol-air sıcaklığı için

$$t_e = t_o + \frac{(\propto E_t - \varepsilon \Delta R)}{h_o} \quad (2)$$

şeklinde bir tanımlama yapılır ise, opak dış yüzeylerden gelen ısı kazancı için aşağıdaki eşitliği yazmak mümkün olur.

$$Q_1 = h_o(t_e - t_s)A \quad (3)$$

A.Opak Olmayan Dış Yüzeylerden Gelen Isı Kazancı

$$Q_2 = q_b + q_d + q_c \quad (4)$$

Q_b= Doğrudan ışınım ile ısı kazancı (W)
Q_d= Güneş yansımasından gelen ısı kazancı (W)
Q_c= İletim yolu ile gelen ısı kazancı (W)

$$q_b = A \cdot E_D \cdot SHGC(\theta) \cdot IAC \quad (5)$$

A= Pencere alanı (m^2)
E_D= Doğrudan ışınım miktarı (W/m^2)
SGHC(Θ)= Doğrudan ışınımla ısı kazancı katsayısı
IAC= İç ortam perdeleme katsayısı

$$q_d = A \cdot [(E_d + E_r) \cdot \langle SHGC \rangle_D \cdot IAC] \quad (6)$$

A= Pencere alanı (m^2)
E_d= Yayılım yolu ile gelen ışınım miktarı (W/m^2)
E_r= Yansıma yolu ile gelen ışınım miktarı (W/m^2)
$\langle SHGC \rangle_D$= Yayılım ile gelen ısı kazancı katsayısı
IAC= İç ortam perdeleme katsayısı

$$q_c = U \cdot A \cdot (t_o - t_i) \quad (7)$$

U= Toplam ısı transfer katsayısı (W/m^{2}K)
A= Pencere yüzey alanı (m^2)
t_o= Dış ortam sıcaklığı (^{o}C)
t_i= İç ortam sıcaklığı (^{o}C)

B.Komşu Hacimlerden Gelen Isı Kazancı

$$Q_3 = U \cdot A \cdot (t_b - t_i) \quad (8)$$

U= Toplam ısı transfer katsayısı (W/m^{2}K)
A= Isı transfer edilen yüzey alan (m^2)
t_b= Komşu hacim ortalama sıcaklığı (^{o}C)
t_i= İç ortam sıcaklığı (^{o}C)

C.Mahal İçerisindeki Kaynaklardan Gelen Isı Kazancı

$$Q_4 = q_{insanlar} + q_{aydınlatma} + q_{cihazlar} \quad (9)$$

$$q_{insanlar} = N \cdot \left(q_{duyulur} + q_{gizli}\right) \quad (10)$$

N= Mahalde yer alan kişi sayısı
$q_{duyulur}$= Bir kişiden gelen duyulur ısı miktarı (W)
q_{gizli}= Bir kişiden gelen gizli ısı miktarı (W)

$$q_{aydınlatma} = W \cdot F_{ul} \cdot F_{sa} \quad (11)$$

W= Toplam aydınlatma gücü (W)
F_{ul}= Kullanım faktörü katsayısı
F_{sa}= Aydınlatma cihazı faktörü katsayısı

$$q_{cihazlar} = q_{duyulur} + q_{gizli} \quad (12)$$

$q_{duyulur}$= Cihazlardan gelen duyulur ısı miktarı (W)
q_{gizli}= Cihazlardan gelen gizli ısı miktarı (W)

D.İnfiltrasyondan Gelen Isı Kazancı

$$Q_5 = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (13)$$

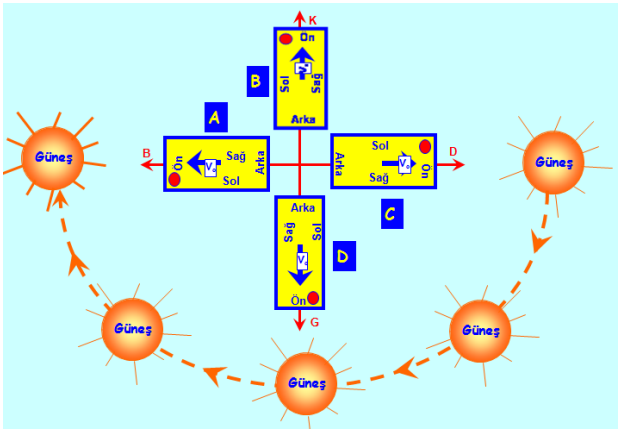
ṁ = İnfiltrasyon hava debisi (kg/s)
C_p= Havanın sabit basınçtaki özgül ısısı (W/kgK)
Δt= İç ve dış ortam sıcaklık farkı (^oC)

E.Ventilasyondan Gelen Isı Kazancı

$$Q_6 = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (14)$$

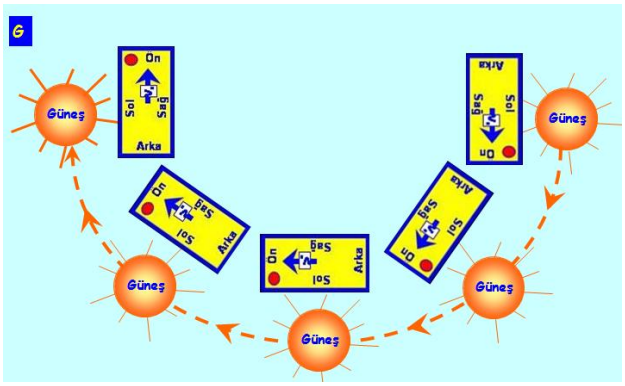
ṁ = Ventilasyon hava debisi (kg/s)
C_p= Havanın sabit basınçtaki özgül ısısı (W/kgK)
Δt= İç ve dış ortam sıcaklık farkı (^oC)

Bu çalışmada otobüs dış yüzeyleri ile güneşin konumu arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek için 8 farklı durum ele alınmıştır. Bu durumların her biri bir "hesap seçeneği" olarak adlandırılmış olup, bunlar iki ana başlık altında toplanmıştır. Birinci grupta, güneş gün içerisinde normal hareketini yaparken, otobüs hep aynı yönde hareket etmektedir. Bu durumda dört farklı yön seçeneği (doğu (C), batı (A), güney (D) ve kuzey (B)) dikkate alınmıştır. Bu dört farklı durum Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Dört ana yön için hesap seçenekleri

İkinci grupta ise, yine güneş gün içerisinde normal hareketini yaparken, otobüsün belirlenen bir tarafının (örneğin sol taraf) hep güneşi izlediği varsayılmıştır. Bu durumda da güneşi takip eden dört farklı yüzey seçeneği (ön (E), arka (H), sağ (F), sol (G)) dikkate alınmıştır. Bu grupta ele alınan dört durumdan birisine örnek olarak Şekil 3'te otobüsün sol tarafının hep güneşe dik olduğu durum (G) gösterilmiştir.



Şekil 3. Otobüsün sol yan yüzeyinin sürekli güneşi takip etmesi durumu

III. IŞINIM ZAMAN SERİSİ YÖNTEMİ (RTS)

Bu hesap yönteminde, ele alınan ortamı çevreleyen opak ve saydam duvarlara gelen anlık ısının belirli bir gecikmeyle (faz farkı) iklimlendirilen ortamda soğutma yüküne dönüşmesi, CTS ve RTS olarak adlandırılan seriler yardımıyla dikkate alınmaktadır [10]. Yöntemin uygulanışı genel hatlarıyla Şekil 1'de gösterilmiştir.

Ortamı çevreleyen opak duvarların (veya çatıların) dış yüzeyine gelen ısı belirli bir gecikmeyle (faz farkı) önce iç yüzeye aktarılmakta, oradan da ortama geçmektedir. Bu gecikmeyi dikkate almak amacıyla, RTS yönteminde "iletim zaman serisi" olarak adlandırılan CTS (Conduction Time Series) değerleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşıma göre, hesap saatindeki soğutma yükü duvarın ısı depolama özelliğine göre daha önceki saatlerdeki ısı kazancından etkilenmektedir. İç yüzeye gelen ısının bir bölümü taşınım, bir bölümü ise ışınım yoluyla ortama geçer. Taşınımla ısı yükü doğrudan soğutma yüküne dönüşür. Işınımla ısı kazancı ise, önce ortamda bulunan cisimlere çarparak o cisimlerin yüzey sıcaklığını arttırır. Cisim yüzey sıcaklığı ortam havası sıcaklığını aşınca da iç ortam havasını ısıtır. Bu işlemlerin oluşabilmesi için belirli bir zaman gerektiğinden, ışınımla ısı kazancı belirli bir faz farkı ile soğutma yüküne dönüşür. Bu faz farkını dikkate almak amacıyla "güneş dışı ışınım zaman serisi" olarak adlandırılan "non-solar RTS" (Radiant Time Series) değerleri kullanılmaktadır. RTS değerleri ortamın yüzey özelliklerine (halı v.b.) ve ortam içerisinde bulunan cisimlerin yoğunluğuna göre değişir. ASHRAE Fundamentals Handbook'da, RTS değerleri binanın yapısına göre hafif, orta ve ağır olmak üzere üç farklı durum için verilmiştir.

Saydam duvarlardan gelen ısı kazancı iletim, doğrudan ışınım, yayılı ışınım ve yansıyan ışınımdan kaynaklanan bileşenler şeklinde ayrı ayrı hesaplanır. Ortam içerisine giren doğrudan ışınımın tamamı belirli bir gecikmeyle soğutma yüküne dönüşür. Bu faz farkını dikkate almak amacıyla "güneş ışınım zaman serisi" olarak adlandırılan "solar RTS" değerleri kullanılmaktadır. Diğer üç bileşen

(iletim, yayılı ve yansıyan) toplanarak tek bir ısı kazancı türü gibi değerlendirilir. Opak duvarlarda olduğu gibi, içeriye giren bu ısının yine belirli bir oranı taşınım ve belirli bir oranı da ışınım yoluyla ortama geçer. Taşınımla ısı yükü doğrudan soğutma yüküne dönüşürken, ışınımla ısı yükü güneş-dışı RTS değerleri kullanılarak soğutma yüküne çevrilir.

İç ısı kaynakları (insan, aydınlatma, cihaz) tarafından üretilen gizli ısı ve duyulur ısının taşınım kısmı doğrudan soğutma yüküne dönüşürken, duyulur ısının ışınım kısmı belirli bir gecikmeyle soğutma yüküne dönüşür. Bu gecikme güneş-dışı RTS değerleri ile dikkate alınır.

İnfiltrasyon ve ventilasyondan kaynaklanan ısı kazançları ise anlık olarak soğutma yüküne dönüşür.

Işınım zaman serisi (RTS) yönteminin otobüse uygulanabilmesi için bazı uyarlamaların yapılması gereklidir. Bunun başlıca sebebi de CTS değerlerinin ASHRAE'de sadece belirli duvar türleri (35 farklı duvar ve 19 farklı çatı) için verilmiş olması ve bu duvar türlerinin hiç birisinin herhangi bir otobüste olabilecek duvar tipleriyle uyuşmamasıdır. Bu çerçevede analitik bir çalışma yapılarak ASHRAE'de belirtilen duvar tiplerinden yola çıkılarak otobüsteki farklı opak duvarlar için CTS değerlerini veren bir yöntem geliştirilmiştir. CTS değerlerinin duvarın ısıl kapasitesinin (yoğunluk x özgül ısı x kalınlık = ρcS) ve ısıl direncinin (R) bir fonksiyonu olduğu görülmüş ve bilinmeyen CTS değerleri ASHRAE'de verilen değerlerden doğrusal interpolasyon veya extrapolasyonla belirlenmiştir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada otobüs gibi hareketli ortamların soğutma yükü hesaplama yöntemi belirlenmiş ve "Işınım Zaman Serisi" yöntemi genel hatlarıyla tanıtılmıştır. Güneşe karşı pozisyonu sürekli değişen otobüs gibi ortamlar için soğutma yükünün güneş ışınımından kaynaklanan bölümünün dikkate alınması için iki farklı durum ele alınmıştır. Bunlardan birincisinde otobüsün gün içerisinde hep aynı yönde hareket ettiği varsayılırken, ikinci durumda ise otobüsün belirlenen bir tarafının hep güneşi izlediği varsayılmıştır. Otobüsün soğutma yükünü oluşturan her bir bileşen, MS Excel ortamında hazırlanan program vasıtası ile ayrı ayrı hesaplandıktan sonra, günün 24 saati için toplam ısı kazançları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerledirildikten sonra da soğutma yükünün maksimum olduğu saat belirlenmiştir.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Temsa Global Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin TÜBİTAK tarafından desteklenen TEYDEB-3040241 no'lu projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Ö.Kaynaklı, I.Horuz, An Experimental Analysis of Automotive Air Conditioning System, Int.Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 30, No.2, pp.273-284, 2003.

[2] K.W. Mui, L.T. Wong, Cooling Load Calculations in Subtropical Climate, Building and Environment, vol.42, pp.2498-2504, 2007.

[3] K.W. Shek, W.T. Chan, Combined Comfort Model of Thermal Comfort andA ir Quality on Buses in Hong Kong, Science of The Total Environment, vol.389, pp.277-282, 2008.

[4] M.K. Mansour, M.N. Musa, M.N.W.Hassan, K.M. Saqr, Development of Novel Strategy for Multiple Circuit, Roof Top Bus Air Conditioning System in Hot Humid Countries, Energy Conversion and Management, vol.49, pp.1455-1468, 2008.

[5] A.Alahmer, A.Mayyas, A.A.Mayyas, M.A. Omar, D. Shan, Vehicular Thermal Comfort Models; a Comprehensive review, Applied Thermal Engineering, vol.31, pp.995-1002, 2011.

[6] VDI (The Association of German Engineers), http://www.dvi.de/vdi/english/index.php

[7] VDI 2078, Cooling Load Calculations of Air-conditioned Rooms, VDI Cooling Load Regulations, July 1996.

[8] H.Bulut, A.F. Durmaz, M.A. Aktacir, İklimlendirme Sistemleri İçin Soğutma Yükü Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması, VII. Uluslar arası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 8-10 Mayıs 2006, İstanbul.

[9] ASHRAE Fundamentals Handbook 2001, Nonresidential Cooling And Heating Load Calculation Procedures, Chapter.29.

[10] M.A.Aktacir, O.Büyükalaca, T.Yılmaz, Soğutma Yükü Hesabında Kullanılan Yöntemler, ULIBTK'03 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 64-69, 2003.