# BİR OTOBÜSÜN SOĞUTMA YÜKÜNÜN ANALİTİK VE DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI(*)

Orhan BÜYÜKALACA[1], Tuncay YILMAZ[2]
Şaban ÜNAL[3], Ertuğrul CİHAN[4] ve Ertaç HÜRDOĞAN[5]

[1]Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karacaoğlan Yerleşkesi, 80000, Osmaniye, obuyukalaca@oku.edu.tr
[2]Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Balcalı, 01130, Adana, tunyil@cu.edu.tr
[3]Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Karacaoğlan Yerleşkesi, 80000, Osmaniye, saban.unal@oku.edu.tr
[4]Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Karacaoğlan Yerleşkesi, 80000, Osmaniye, ertugrul.cihan@oku.edu.tr
[5]Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karacaoğlan Yerleşkesi, 80000, Osmaniye, ehurdogan@oku.edu.tr

**ÖZET:** Bu çalışmada, "Işınım Zaman Serisi (RTS)" yöntemi ile bir otobüsün soğutma yükü hesaplanmıştır. Temsa Global Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin TÜBİTAK tarafından desteklenen bir projesi kapsamında yapılmış olan çalışmada, analitik ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Otobüs üreticisi firmanın diğer otobüs tasarımlarında da kullanılabilmesi amacıyla, soğutma yükü hesabı için MS Excel ortamında bir program hazırlanmıştır. Hazırlanan program dinamik bir yapıya sahiptir. Genel olarak, soğutma yükü hesabını etkileyen parametreler ve herhangi bir otobüsle ilgili bütün veriler girilerek sonuçlar elde edilmektedir. Program otobüs hızı, yolcu sayısı, yolcuların özellikleri, otobüsün güneşe göre konumu gibi birçok parametreyi dikkate almaktadır.

***Anahtar Kelimeler :*** soğutma yükü, otobüs, ışınım zaman serisi

## ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL DETERMINATION OF COOLING LOAD OF A BUS

**ABSTRACT:** In this study, the cooling load of a bus was calculated using "Radiant Time Series (RTS)" method. The results obtained analytically and experimentally were compared. The study that was carried out with the demand of Temsa Global Industry and Trade Inc.'s, which is a bus manufacturing company, was supported by TUBITAK.

An MS Excel program for cooling load calculation was written to be able to TEMSA use the program for all the buses designed by the company. The program has a dynamic structure. By entering the parameters affecting the cooling load and all necessary data of the bus the results are obtained. The program takes many parameters into account such as bus speed, number of passengers, properties of passengers, the location of the bus with respect to the sun.

***Keywords :*** cooling load, bus, radiant time series

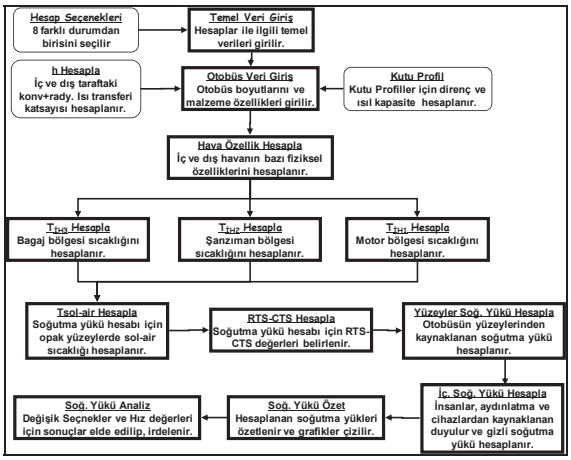
## 1. GİRİŞ

Literatürde, bina ve ofis uygulamaları için RTS yöntemi ile soğutma yükü hesabının nasıl yapılacağı ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır (ASHRAE, 2001), (Aktacir, 2003), (Bulut, 2006). Işınım zaman serisi (RTS) yöntemi ile otobüslerde soğutma yükü hesabı (Büyükalaca *vd*, 2011) tarafından ortaya konmuştur. Bunun dışında otobüs gibi hareketli ortamların soğutma yükünün hesabı ile ilgili literatürde belirlenmiş bir hesap yöntemi olmadığı görülmüştür. RTS soğutma yükü hesap yönteminin sağlıklı olarak uygulanabilmesi için mutlaka bir bilgisayar programına ihtiyaç duyulmaktadır. MS-Excel ortamında hazırlanan programda takip edilen yöntemin algoritması Şekil 1'de verilmiştir.

Her bir hesap adımı için bir "çalışma sayfası (modül)" hazırlanmış ve sayfalar arasında dinamik bir bağlantı oluşturulmuştur. Böylelikle herhangi bir verinin değiştirilmesi durumunda diğer modüllerdeki ilgili bölümler bu değişimden otomatik olarak etkilenmektedir.

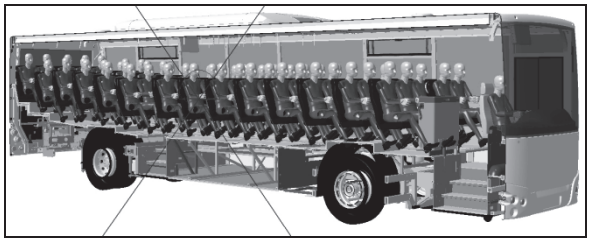
*(*) Bu çalışma Temsa Global Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin TÜBİTAK tarafından desteklenen TEYDEB-3040241 no'lu projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.*

Hazırlanan modüllerden "Temel Veri Giriş" modülünde otobüs için yük hesabı yapılacak coğrafi yere ait temel bilgiler, dış hava iklim değerleri, otobüs içerisinde arzu edilen hava koşulları, otobüs içerisindeki kişi sayısı, cihazların güçleri, aydınlatma bilgileri, kişilerin ürettikleri duyulur ve gizli ısılar, kişi başına gerekli taze hava miktarı gibi birçok bilgi programa veri olarak girilmektedir. Bu modül içerisinde ayrıca iki önemli parametre olan otobüs hızı ve hesap seçeneği de girilmektedir. Bu çalışmada sekiz farklı hesap seçeneğini şematik olarak açıklayan "Hesap Seçeneği" modülü oluşturulmuştur.




**Şekil 1.** Otobüslerde soğutma yükü hesabı için geliştirilen algoritma

"Otobüs Veri Giriş" modülü içerisinde soğutma yükü hesabı yapılan otobüse ait gerekli bilgiler (yüzeylerin boyutları, özellikleri v.b.) girilmektedir. Soğutma yükü hesabı yapılacak olan hacmin görüntüsü, bu çalışmaya konu olan otobüse ait bir kesit üzerinde Şekil 2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Soğutma yükü hesabı yapılan otobüse ait kesit görünüş

Otobüsün iklimlendirilecek hacmini çevreleyen duvarlar Üst, Sağ, Sol, Ön, Arka, Alt (doğrudan dış atmosferle teması olan duvarlar) ve Taban (motor, şanzıman ve bagaj gibi iç hacimlere komşu duvarlar) şeklinde yedi "Ana Bölgeye" ayrılmıştır. Daha sonra her bir "Ana Bölge", içerisinde yer alan malzemelerin özelliklerine göre "Alt Bölgelere" ayrılmıştır. Her bir alt bölgenin yüzey alanı, dış taraf yüzey ışınım yutma katsayısı, bu duvarın katman sayısı ve her bir katmanın yoğunluğu, ısı iletim katsayısı, özgül ısısı, kalınlığı gibi soğutma yükü hesabında gerekli olan fiziksel özellikler "Otobüs Veri Giriş" modülünde girilmektedir. Girilen bu veriler yardımıyla, duvarların ısıl direnci (R), toplam ısı transferi katsayısı (U) ve CTS değerlerinin belirlenmesi için gerekli olan ısıl kapasiteleri (ρcS) hesaplanarak, diğer modüllerin kullanımına sunulmaktadır.

Alt bölgelerin ısıl direncinin hesaplanabilmesi için duvarın iç ve dış tarafındaki ışınım ve taşınımla ısı transferi katsayılarının bilinmesi gereklidir. "h Hesapla" modülü içerisinde, otobüs hızına bağlı olarak ısı transferi katsayılarını hesaplayabilmek için literatürde önerilen eşitlikler kullanılmıştır.

Soğutma yükü hesabı yapılan otobüs hacmini çevreleyen duvarlarda farklı boyut, biçim ve konumlarda çok fazla sayıda kutu profil kullanılmaktadır. İçerisinde kutu profillerin yer aldığı alt bölgeler (duvarlar) için toplam ısı transferi katsayısı U'nun hesaplanabilmesi için "Kutu Profil Modülü" hazırlanmıştır. Kutu profilin içerisinde yer alan hava katmanının direnci ve bu hava katmanı içerisinde oluşabilecek serbest taşınım hesaplarda dikkate alınmaktadır.

"Hava Özellik Hesapla" modülü içerisinde, soğutma hesabı yapılacak yer için günün saatine göre dış hava sıcaklığı, entalpi ve yoğunluklar hesaplanmaktadır. Otobüsün koltuklarının oturacağı zemin, doğrudan dış havayla temas eden (ALT) ve kapalı iç hacimlerle temas eden (TABAN) olmak üzere iki farklı bölgeden oluşmaktadır. Doğrudan dış havayla temas eden duvarlar için dış hava sıcaklığı "Hava Özellik Hesapla" modülü içerisinde hesaplandığından herhangi bir problem yoktur. Kapalı iç hacimlerle temas eden duvarlardan kaynaklanan soğutma yükü hesabının doğru olarak yapılabilmesi için temasta bulunulan iç hacimlerin sıcaklıkları bilinmelidir. Otobüs tabanında üç farklı komşu iç hacim mevcuttur. Bunlar, motor bölgesi (İH1), şanzıman bölgesi (İH2) ve bagaj bölgesi (İH3)'dir. "$T_{İH1}$ Hesapla", "$T_{İH2}$ Hesapla" ve "$T_{İH3}$ Hesapla" modülleri içerisinde bu hacimler içerisindeki sıcaklıklar hesaplanmaktadır. Bu sıcaklıkların hesaplanabilmesi için hacim içerisindeki ısı üretimi ve hacmi çevreleyen duvarların çevreyle yaptığı ısı transferini dikkate alan bir modelleme yapılmıştır.

Bir ortama duvarlardan giren ısı; ortam içerisinde arzu edilen hava koşullarına ve dış ortam iklim şartlarına doğrudan bağlıdır. En önemli iki iklim şartı ise dış ortamın sıcaklığı ve dış yüzeylere gelen güneş ışınımıdır. Isı kazancı hesabında doğrudan dış ortam sıcaklığı yerine, düzeltilmiş dış ortam sıcaklığı kullanılır. Güneş ışınımının etkisini de dikkate alarak hesaplanan düzeltilmiş dış ortam sıcaklığına "güneş-hava sıcaklığı (sol-air sıcaklığı)" adı verilir. Güneş-hava sıcaklığı; dış ortam sıcaklığı yanında, güneş ışınımına, dış taraftaki ısı transferi katsayısına ve dış yüzey özelliklerine bağlıdır. Otobüsü oluşturan farklı duvarların güneş-hava sıcaklığını hesaplayabilmek

için "$T_{sol\text{-}air}$ Hesapla" modülü oluşturulmuştur. Soğutma yükü hesabı için herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışınımının hangi bileşenlerden oluştuğunun bilinmesi de önemlidir. Bu sebeple herhangi bir yüzeye gelen güneş ışınımının bileşenleri olan "doğrudan", "yayılı" ve "yansıyan" ışınım ayrı ayrı hesaplanmakta, bunların toplamından da "toplam güneş ışınımı" bulunmaktadır. Yüzeylere gelen güneş ışınımı belirlendikten sonra her bir alt yüzey için güneş-hava sıcaklığı günün saatine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

RTS hesap yöntemi için gerekli olan CTS değerleri, ASHRAE Handbook'da belirli bazı duvarlar için tablolar halinde verilmiştir. Ancak bu tablo değerlerinin otobüsü oluşturan duvarlar için doğrudan kullanılması mümkün değildir. Bu sebeple bir analitik çalışma yapılarak, bu tablo değerlerinden otobüsü oluşturan farklı duvarlar için ayrı ayrı CTS değerlerini elde edecek bir model geliştirilmiştir. Bu hesaplamalar "RTS-CTS Hesapla" modülü içerisinde yapılmaktadır.

Toplam otobüs soğutma yükünü oluşturan en önemli bileşenlerden birisi duvarlardan kaynaklanan soğutma yüküdür. Duvarlardan kaynaklanan soğutma yükü hesabı için, RTS metodunda öngörülen hesap adımlarını kapsayan bir modül (Yüzeyler Soğ. Yükü Hesapla) hazırlanmıştır. Otobüsün "Alt" bölgesinde yer alan duvarlardan kaynaklanan soğutma yükü belirlenirken, ortam sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa ulaşabilen asfalt sıcaklığının etkisi de dikkate alınmaktadır.

"İç Soğutma Yükü Hesapla" modülünde, otobüsün içerisindeki insan, aydınlatma ve cihazlardan kaynaklanan soğutma yükleri hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda "duyulur" ve "gizli" ısı yükü bileşenleri ayrı ayrı ele alınmaktadır. Ayrıca, yetişkin bir insanın ve çocuğun yaydığı ısılar arasındaki fark da dikkate alınmıştır.

"Ventilasyon Hesapla" ve "İnfiltrasyon Hesapla" modüllerinde ise sırasıyla, otobüs içerisinde gerekli taze havadan ve otobüsün kapı ve pencere gibi açılabilir elemanlarından sızan havadan kaynaklanan soğutma yükü hesaplanmaktadır. Otobüs içerisinde gerekli taze hava miktarı kişi sayısı ile orantılıdır. Her bir kişi için gerekli taze hava miktarı, yetişkinler ve çocuklar için ayrı ayrı belirlenmektedir. Infiltrasyon hesabında ise, ASHRAE Application Handbook'da belirtilen veriler kullanılmıştır.

## 2. SOĞUTMA YÜKÜ HESABI

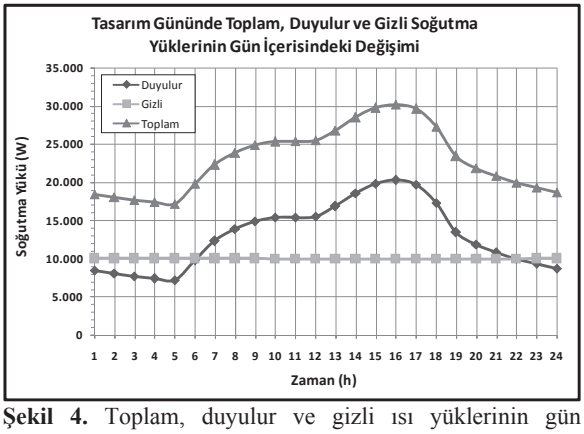
Bu bölümde otobüsün sağ tarafının gün içerisinde daima güneşi takip ettiği ve otobüs hızının 90 km/h olduğu kabul edilerek analitik sonuçlar elde edilmiştir. Analitik hesaplamalarda kullanılan değerler şu şekildedir: Otobüs içerisinde 2 yetişkin ve 73 çocuk olmak üzere toplam 75 kişi vardır. Otobüs içerisinde arzu edilen sıcaklık 26$^{o}$C, özgül nem 10 gr/kg, dış hava koşulları ise 38$^{o}$C sıcaklık ve 16 gr/kg özgül nemdir.

"Soğutma Yükü Özet" modülünde, değişik modüller içerisinde hesaplanan soğutma yükü bileşenleri bir araya getirilerek, toplam soğutma yükü tablo ve grafikler halinde sunulmaktadır. Şekil 3'te otobüsün soğutma yükü bileşenlerinin gün içindeki dağılımı ve maksimum soğutma yükünün oluştuğu saati gösteren tablodan örnek bir görünüş verilmiştir. Şekil 3'ten görüldüğü gibi belirlenen şartlara göre, otobüsün soğutma yükü 30.165W değerinde ve saat 16'da maksimum seviyeye ulaşmaktadır.

| | | GÜNEŞ SAATİ | | | | | | | Max. Yükün Oluştuğu Saat ve Bu Saatteki Yükler (W) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 24 | |
| YÜZEY. | Üst (W) = | 255 | 649 | 680 | *685* | 664 | 617 | 275 | 664 |
| | Sağ (W) = | 1.280 | 3.294 | 4.765 | 6.104 | *6.923* | 6.909 | 1.349 | 6.923 |
| | Sol (W) = | 480 | 1.811 | 1.687 | 1.597 | 1.501 | 1.376 | 525 | 1.501 |
| | Ön (W) = | 236 | *1.026* | 958 | 830 | 699 | 614 | 256 | 699 |
| | Arka (W) = | 75 | 241 | *242* | 236 | 229 | 236 | 80 | 229 |
| | Alt (W) = | 388 | 661 | 710 | 740 | *747* | 730 | 417 | 747 |
| | Taban (W) = | 668 | 711 | 711 | 711 | 711 | 711 | 492 | 711 |
| | Yüzeyler Toplam | 3.382 | 8.392 | 9.753 | 10.902 | *11.474* | 11.192 | 3.395 | 11.474 |
| İnfiltrasyon | | 1.768 | 2.450 | 2.520 | *2.546* | 2.520 | 2.459 | 1.814 | 2.520 |
| Ventilasyon | | 6.850 | 9.492 | 9.762 | *9.863* | 9.762 | 9.526 | 7.028 | 9.762 |
| İÇ | İnsanlar | *5.585* | *5.585* | *5.585* | *5.585* | *5.585* | *5.585* | *5.585* | 5.585 |
| | Aydınlatma | *159* | *159* | *159* | *159* | *159* | *159* | *159* | 159 |
| | Cihazlar | *666* | *666* | *666* | *666* | *666* | *666* | *666* | 666 |
| | İç Toplam | *6.409* | *6.409* | *6.409* | *6.409* | *6.409* | *6.409* | *6.409* | 6.409 |
| GENEL Toplam (W) = | | 18.409 | 26.743 | 28.444 | 29.721 | *30.165* | 29.585 | 18.645 | 30.165 |
| Max. → | | | | | | *MAX* | | | |

**Şekil 3.** Soğutma yükü bileşenlerin gün içerisindeki dağılımı ve maksimum yükün oluştuğu saat

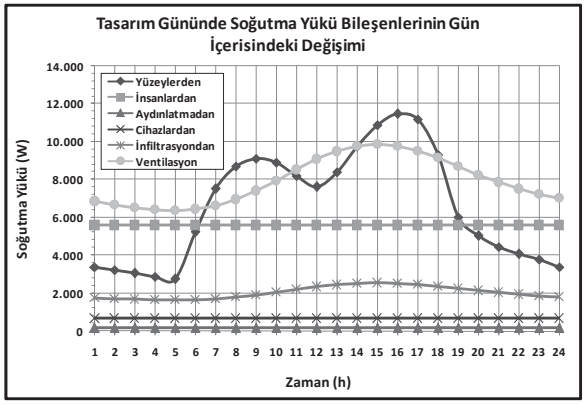
Şekil 4'te tasarım gününde toplam soğutma yükünün gün içerisindeki değişimi ile birlikte toplam soğutma yükünü oluşturan duyulur ve gizli ısı yüklerinin de değişimi gösterilmiştir.



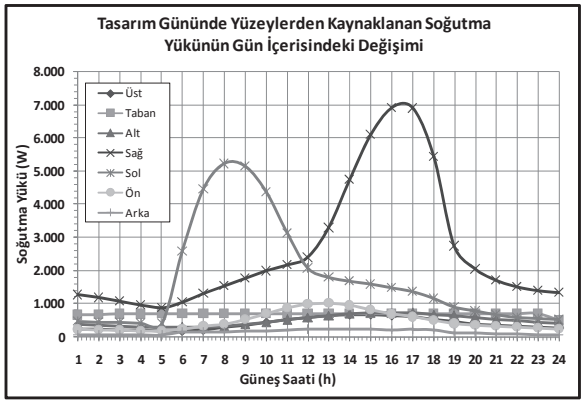

**Şekil 4.** Toplam, duyulur ve gizli ısı yüklerinin gün içerisindeki değişimi

Şekil 5'te toplam yükü oluşturan bileşenlerin, Şekil 6'da ise iklimlendirilecek otobüs hacmini çevreleyen yüzeylerden kaynaklanan soğutma yükünün, gün içerisindeki değişimi gösterilmiştir. Şekil 5'ten de görülebileceği gibi verilen örnek durum için, soğutma yükünü oluşturan en önemli iki kaynak duvarlar ve ventilasyondur. İnsanlardan kaynaklanan yük ise 3. sıradadır. Diğer bileşenlerin etkisi bu üç bileşene göre

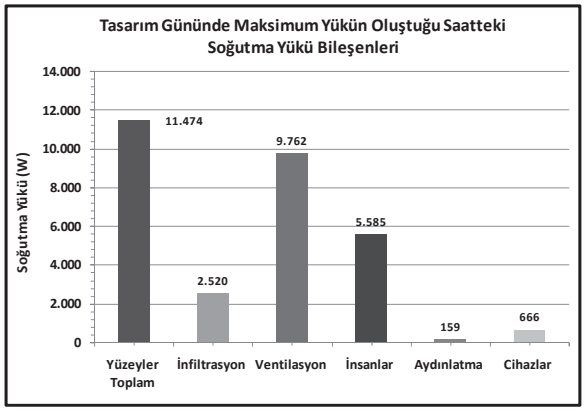
daha düşüktür. Duvarlardan ve ventilasyondan kaynaklanan yükler saat 16'da en yüksek değerlerine ulaştığından, toplam soğutma yükü de bu saatte maksimum olmaktadır. Burada verilen sonuçlar, otobüsün sağ tarafının gün içerisinde daima güneşi takip ettiği durum için olduğundan, beklenildiği gibi otobüsün sağ duvarından kaynaklanan yük diğerlerine göre oldukça büyüktür.




**Şekil 5.** Soğutma yükü bileşenlerinin gün içerisindeki değişimi

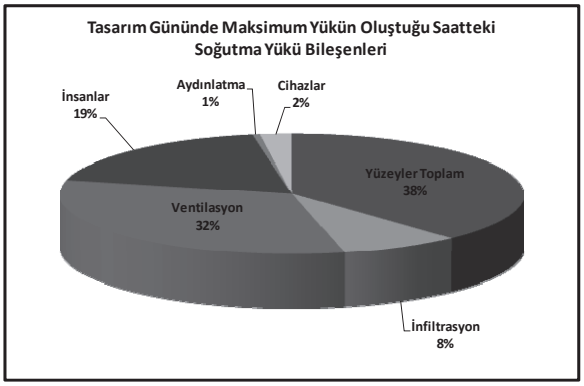



**Şekil 6.** Yüzeylerden kaynaklanan soğutma yükünün gün içerisindeki değişimi



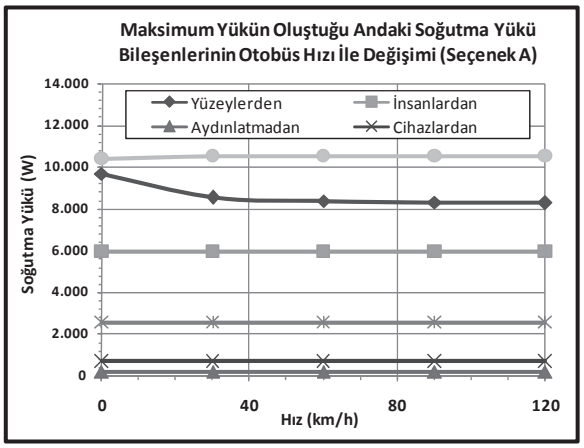

**Şekil 7.** Maksimum soğutma yükünün oluştuğu saatteki yük bileşenleri ve değerleri

Şekil 7 ve 8'de ise toplam yükün maksimum olduğu saatteki yük bileşenleri mutlak değer ve oran olarak verilmiştir. Yukarıda da tartışıldığı gibi, toplam soğutma yüküne duvarlar 11.434W (%38) ile en büyük katkıyı yaparken, bunu 9.762W (%32) ile ventilasyon, 5.585W (%19) ile insanlar, 2.520W (%8) ile infiltrasyon ve küçük bir yüzde ile de diğerleri takip etmektedir.

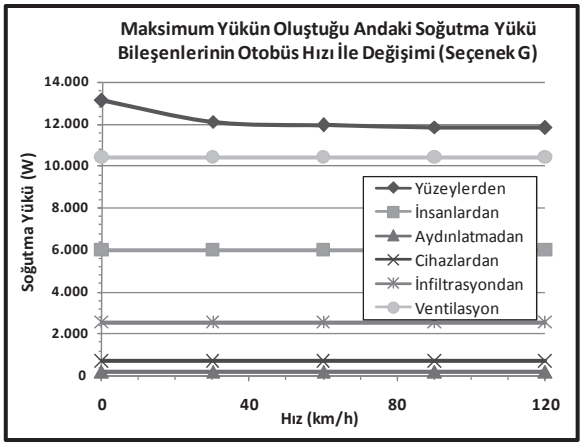



**Şekil 8.** Maksimum soğutma yükün oluştuğu saatteki yük bileşenlerinin oranları

"Soğutma Yükü Analiz" modülünde; 8 farklı hesap seçeneği (A, B, C, D, E, F, G, H) ve 5 farklı hız (0, 30, 60, 90, 120 km/h) için program çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir. Belirli bir seçenek için hızın etkisi ve belirli bir hız için de seçeneğin etkisi ayrı ayrı irdelenmiştir.



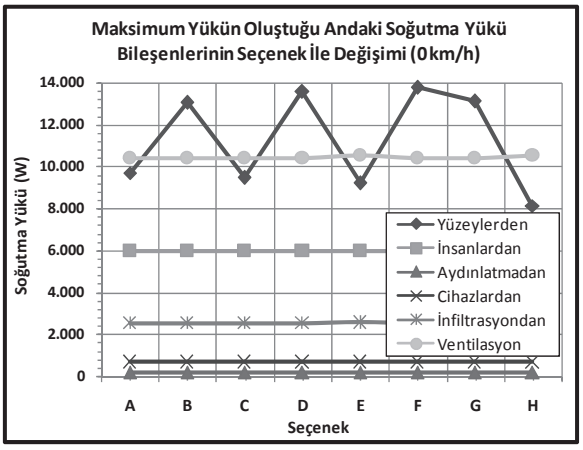

**Şekil 9.** Hesap seçeneği (A) için soğutma yükü bileşenlerinin otobüs hızı ile değişimi



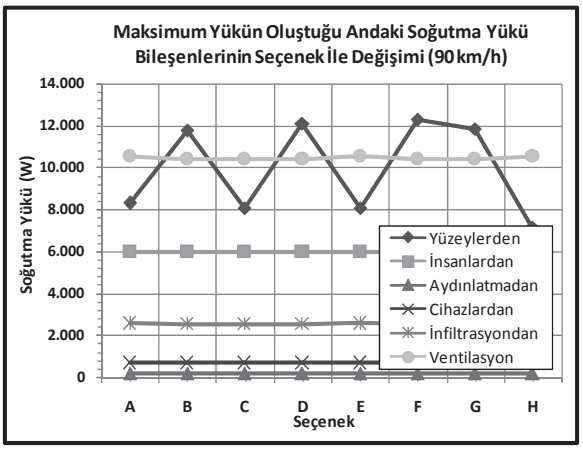

**Şekil 10.** Hesap seçeneği (G) için soğutma yükü bileşenlerinin otobüs hızı ile değişimi

Otobüs hızının toplam soğutma yükü üzerindeki etkisi bütün hesap seçenekleri için hemen hemen aynı olmuştur. Beklenildiği gibi otobüsün durması halinde (0 km/h hız) soğutma yükü maksimum olurken, hızın artmasıyla yükte bir miktar düşme olmaktadır. Ancak yaklaşık olarak 30 km/h'ten sonra hızın etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir. Burada örnek olarak Şekil 9 ve 10'da iki farklı hesap seçeneğine ait sonuçlar sunulmuştur. Otobüs hızı temel olarak taşınımla ısı transferini etkilediğinden, hızın artmasıyla duvarlardan kaynaklanan soğutma yükü belirli bir hıza kadar düşmekte, daha sonra hemen hemen sabit kalmaktadır.

Şekil 11 ve 12'de ise, otobüsün iki farklı hızı için (0 km/h ve 90 km/h) hesap seçeneğinin soğutma yükü üzerine etkisi irdelenmiştir. Şekil 11 ve 12'den de görüldüğü gibi, hesap seçeneği duvarlardan kaynaklanan soğutma yükünü etkilemektedir. Genel olarak otobüsün sağ veya sol tarafının güneş ışınımına maruz kalması durumlarında soğutma yükü fazla olurken, diğer durumlarda yüzeylerden kaynaklanan soğutma yükü daha küçük olmaktadır.




**Şekil 11.** Otobüs hızı 0 km/h iken soğutma yükü bileşenlerinin hesap seçeneğine göre değişimi




**Şekil 12.** Otobüs hızı 90 km/h iken soğutma yükü bileşenlerinin hesap seçeneğine göre değişimi

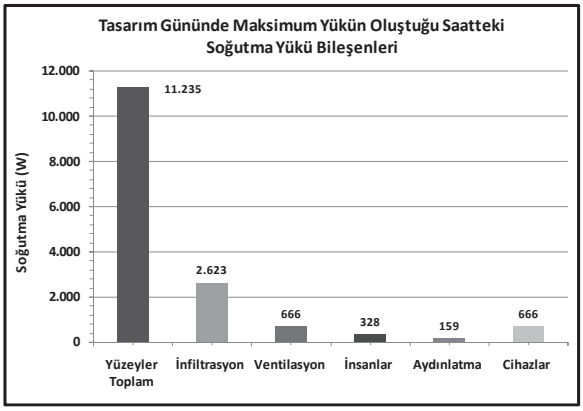
## 3. ANALİTİK VE DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde, RTS yöntemi ile elde edilen analitik sonuçlar ve 12m uzunluğundaki bir otobüs ile yapılan test sonuçları verilmiştir. Test 04.08.2010 tarihinde yapılmıştır. Test güzergahı olarak Adana-Ceyhan otobanı seçilmiş olup 90km/h sabit hız ile hareket edilmektedir. Seçilen güzergahta araç sürekli doğu yönünde ilerlediğinden hesap seçeneklerinden "D" seçeneği kullanılmıştır. Test esnasında araçta yolcu olmayıp, sadece test personeli olarak 3 kişi bulunmaktadır. Dış ortam sıcaklığı ortalama 35°C olarak ölçülmüş ve özgül nem değeri uzun yıllar ortalamasına göre 16gr/kg olarak alınmıştır. Test esnasında sürekli rejime ulaşıldıktan sonra ölçülen ortalama iç ortam sıcaklığı ise 24°C ve iç ortam bağıl nem değeri %50'dir.

Ağustos ayında yapılan bu test için, bu aya ait diğer veriler de hazırlanan Excel programına girildiğinde, elde edilen soğutma yükü Şekil 13'te verilmiştir. Buna göre maksimum soğutma yükü saat 16'da 15.7 kW olarak hesaplanmıştır. Soğutma yükünü oluşturan bileşenler ise Şekil 14'te görüldüğü gibidir.

| | | GÜNEŞ SAATİ | | | | | | | Max. Yükün Oluştuğu Saat ve Bu Saatteki Yükler (W) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 24 | |
| YÜZEY. | Üst (W) = | 204 | 588 | 617 | *621* | 597 | 546 | 225 | 597 |
| | Sağ (W) = | 1.127 | 3.147 | 4.698 | 6.076 | *6.853* | 6.599 | 1.197 | 6.853 |
| | Sol (W) = | 422 | 1.726 | 1.591 | 1.494 | 1.391 | 1.257 | 468 | 1.391 |
| | Ön (W) = | 239 | *1.337* | 1.250 | 1.065 | 835 | 650 | 263 | 835 |
| | Arka (W) = | 57 | 216 | *217* | 210 | 193 | 174 | 62 | 193 |
| | Alt (W) = | 317 | 585 | 634 | 664 | *670* | 652 | 346 | 670 |
| | Taban (W) = | 654 | 696 | 696 | 696 | 696 | 696 | 482 | 696 |
| | Yüzeyler Toplam | 3.022 | 8.295 | 9.704 | 10.825 | *11.235* | 10.574 | 3.043 | 11.235 |
| İnfiltrasyon | | 1.867 | 2.553 | 2.623 | *2.649* | 2.623 | 2.562 | 1.913 | 2.623 |
| Ventilasyon | | 474 | 648 | 666 | *672* | 666 | 650 | 485 | 666 |
| İÇ | İnsanlar | *328* | *328* | *328* | *328* | *328* | *328* | *328* | 328 |
| | Aydınlatma | *159* | *159* | *159* | *159* | *159* | *159* | *159* | 159 |
| | Cihazlar | *666* | *666* | *666* | *666* | *666* | *666* | *666* | 666 |
| | İç Toplam | *1.153* | *1.153* | *1.153* | *1.153* | *1.153* | *1.153* | *1.153* | 1.153 |
| GENEL Toplam (W) = | | 6.516 | 12.648 | 14.145 | 15.299 | *15.676* | 14.938 | 6.595 | 15.676 |
| Max. → | | | | | | *MAX* | | | |

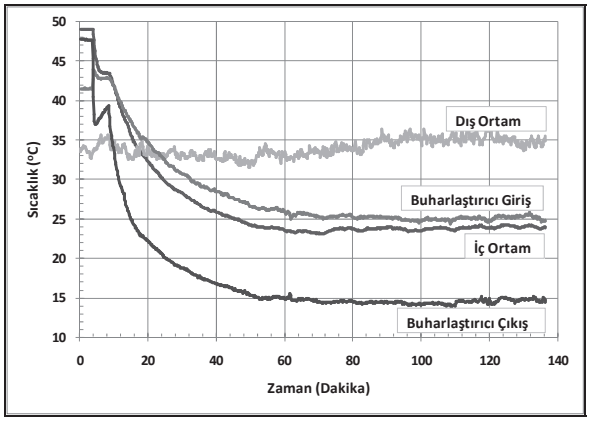
**Şekil 13.** Test edilen otobüse ait verilere ve o andaki hava şartlarına göre elde edilen analitik sonuçlar




**Şekil 14.** Test şartlarına göre hesaplanan soğutma yükü bileşenleri

Otobüsle yapılan test sonucu elde edilen sıcaklıkların dağılımı Şekil 15'te verilmiştir. Dış ortam sıcaklığı

aracın sağ ön ve sol ön tarafından alınan verilerin ortalamasını göstermektedir. İç ortam sıcaklığı da aracın içinde 10 ayrı bölgede yapılan ölçümlerin ortalamasını ifade etmektedir.




**Şekil 15.** Otobüs ile yapılan test süresince elde edilen sıcaklık dağılımları

Analitik hesaplama yolu ile elde edilen soğutma yükü değerini, buharlaştırıcı petekleri üzerinden geçen havadan soğutucu akışkana transfer edilen ısı miktarını hesaplayarak bir karşılaştırma yapmak mümkün olacaktır. Buharlaştırıcı petekleri üzerinden geçen havadan soğutucu akışkana transfer edilen ısı miktarı şu şekilde hesaplanabilir:

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot \Delta h \qquad (1)$$

$\dot{Q}$ = Transfer edilen ısı miktarı (W)
$\dot{V}$ = Hava debisi ($m^3/h$)
$\rho$ = Havanın yoğunluğu ($kg/m^3$)
$\Delta h$ = Giriş – Çıkış entalpi farkı (J/kg)

Söz konusu test aracında toplam 75 kişi olması durumunda soğutma yükü bundan önceki bölümde yaklaşık 30kW olarak hesaplanmıştı. Buna göre araçta 32kW soğutma kapasitesi olan bir klima kullanılmaktadır. Bu klimanın buharlaştırıcı ünitesinde her biri 1.020$m^3$/h hava debisine sahip olan 6 adet fan kullanılmakta ve toplam hava debisi 6.120 $m^3$/h olmaktadır. Bu debi miktarı herhangi bir direnç olmaması durumunda geçerlidir. Test esnasında, buharlaştırıcı petekleri üzerinden geçen toplam hava debisi ise 4.000$m^3$/h olarak ölçülmüştür. Buharlaştırıcı giriş ve çıkışında ölçülen sıcaklık ve bağıl nem değerleri ve buna göre hesaplanan entalpi değerleri de Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Buharlaştırıcı giriş ve çıkışındaki sıcaklık, bağıl nem ve entalpi değerleri

| | Sıcaklık | Bağıl Nem | Entalpi |
|---|---|---|---|
| Buharlaştırıcı Giriş | 25°C | % 50 | 50.102 J/kg |
| Buharlaştırıcı Çıkış | 15°C | % 80 | 36.326 J/kg |

Buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalamasına göre havanın yoğunluğu 1,19 kg/$m^3$ olarak alınabilir. Bu durumda transfer edilen ısı miktarı Eşitlik (1)'den 18.2 kW olarak hesaplanır. Görüldüğü gibi analitik olarak hesaplanan soğutma yükü ile test sonucu elde edilen değerlere göre bulunan soğutma yükü arasında %13'lük bir fark bulunmaktadır.

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada herhangi bir otobüsün soğutma yükünü hesaplayan bir program geliştirilmiş, otobüse ait bilgiler girilerek program çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Program geliştirilirken, sadece belirli bir otobüs düşünülmemiş, programın daha sonra başka otobüslere de uygulanabilir bir formatta olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra da analitik olarak hesaplanan soğutma yükü ile test sonucu elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Buna göre test sonucu elde edilen soğutma yükü ile analitik olarak elde edilen değer arasında yaklaşık %13'lük bir fark oluşmuştur. Otobüs gibi hareketli ortamların soğutma yüklerinin hesaplanmasında kullanılan herhangi bir yöntemin olmadığı da dikkate alındığında, RTS yöntemi ile elde edilen sonucun kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu söylenebilir.

## 5. KAYNAKLAR

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

ASHRAE Fundamentals Handbook 2001, Nonresidential Cooling And Heating Load Calculation Procedures, *ASHRAE Chapter.29*.

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

Büyükalaca, O., Yılmaz, T., Ünal, Ş., Cihan, E., Hürdoğan, E., Işınım Zaman Serisi (RTS) Yöntemi İle Bir Otobüsün Soğutma Yükünün Hesaplanması, *6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11)*, 16-18 Mayıs 2011, Elazığ/Türkiye.

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
ve
Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği

# ULIBTK'11

## 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi

**07-10 Eylül 2011 ZONGULDAK**

# BİLDİRİLER KİTABI



Yüksek Maadin ve Sanayi Mühendis Mektebi
Zonguldak - Kuruluş: 1924


**Editörler**

**Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ – Yrd. Doç. Dr. Mustafa EYRİBOYUN**

**Yardımcı Editörler**

**Arş. Gör. N. Özgür AYDIN – Arş. Gör. Beytullah ERDOĞAN – Arş. Gör. Erdal TEKİN**



TÜBİTAK
tarafından desteklenmiştir

**Şubat 2012**
**ZONGULDAK**

# ULIBTK'11

## 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi

07-10 Eylül 2011 - ZONGULDAK

# BİLDİRİLER KİTABI

Yayın Tarihi: Şubat 2012

**ISBN: 978-605-125-447-0**

**Yazışma Adresleri:**

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
İncivez 67100 ZONGULDAK

Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği (TIBTD)
Makina Mühendisliği Bölümü
ODTÜ 06531 ANKARA

Gazi Üniversitesi – Mimarlık Fakültesi
TIBTD Oda No: Z-10
Maltepe 06570 ANKARA

Kongre, TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir

---

Bu e-kitap, pdf dosyası olarak hazırlanmış, Kongre'ye ait fotoğraf ve videolar ile birlikte DVD ortamına kaydedilerek çoğaltılmıştır.

Bildiri içeriklerinden yazarları sorumludur. Kaynak gösterilerek kullanılabilir.

ZKÜ Makine Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanıp, yayınlanmıştır.