

TS 825 ISI YALITIM STANDARDININ SICAK İKLİM BÖLGELERİNDE ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet Azmi AKTACİR
Orhan BÜYÜKALACA

ÖZET

Türkiye’de binalara uygulanması gereken asgari ısı yalıtım kalınlığı; uygulanması zorunlu olan “TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”na göre belirlenmektedir. TS 825, ISO 9164 ve EN 832 standartlarından faydalanılarak ülke şartlarına uyarlanmıştır. Bu standartta ısı yalıtım kalınlığı, binanın ısıtma enerjisi ihtiyacına göre belirlenmekte, bina soğutma yükü dikkate alınmamaktadır. Soğutma ihtiyacının ısıtmaya göre ağırlıklı olduğu sıcak iklim bölgelerinde, TS 825 ısı yalıtım standardının uygulanmasının ne derece etkin olduğu bilinmemektedir.

Bu çalışmada, TS825’te 1. derece gün bölgesinde bulunan Adana ilinde örnek bir binaya, ısı yalıtım yönetmeliğinde belirtilen “Bina enerji verimliliği indeksine” uygun olarak üç farklı kalınlıkta uygulanan ısı yalıtımının, bina soğutma yüküne ve tam havalı merkezi iklimlendirme sistemi ile iklimlendirilmesi durumunda soğutma sistemine etkisi belirlenmiştir. İklimlendirme sisteminin soğutma sezonu boyunca işletme giderleri, sabit ve değişken hava debili dağıtım sistemlerine göre belirlenerek, ömür boyu maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak tüm durumlarda, iklimlendirme sistemin ilk yatırım ve işletim maliyetlerinde önemli oranlarda azalma tespit edilmiştir. Ancak ekonomik yönden en iyi sonuçlar, C sınıfı yalıtım uygulaması durumunda elde edilmiştir.

INFLUENCE OF TS 825 THERMAL INSULATION STANDARD IN THE WARM CLIMATE

ABSTRACT

In Turkey, the thickness of thermal insulation that should be applied to buildings is determined according to TS825 “thermal insulation in building”. It is an application of “ISO9164 and basically similar to EN832. In TS825, the thickness of thermal insulation material can be determined according to the annual requirement of heating energy of the building. However, cooling load of the building is not taken into consideration. While, heating is required in a region of Turkey, which has a wide surface area and different climate regions, cooling is needed in another region.

In this study, the influence of thermal insulation applied to the envelope of a sample building on the building cooling load and the cooling system in case of air-conditioning by an all-air central air-conditioning system was evaluated, based on the results of three different types of insulation defined in the energy efficiency index. Results showed that the initial and the operating costs of the air-conditioning system are reduced considerably for all insulations. However, the optimum results in view of economic measurements were obtained for C type building.

1. GİRİŞ

Binalarda tüketilen enerjinin dikkate değer bir kısmı mahal ısıtmasına ve soğutmasına harcanmaktadır. Yapıların enerji tüketimlerini sınırlayarak tasarruf sağlamak amacıyla binalara ısı yalıtımı uygulanır. Türkiye'de ilk olarak 29 Nisan 1998 tarihinde yayımlanan tavsiye niteliğindeki TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardı; 14 Haziran 1999 tarih ve 23725 sayılı Resmi Gazete'de yeniden yayımlanarak ve bu standardın paralelinde hazırlanan "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği"nin 8 Mayıs 2000 tarih ve 24043 sayılı Resmi Gazete'de yer alması ile 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren uygulaması zorunlu standart olarak yürürlüğe girmiştir. Bu tarihten sonra yapılan binalar; standart ve yönetmeliklerin koşullarına uymak zorundadır. 12 Ağustos 2001 tarih ve 24491 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Yapı Denetimi Uygulama Usul ve Esasları Yönetmeliği" ile ısı yalıtımı uygulamalarının denetimi, Yapı Denetim Kuruluşlarına verilmiştir.

TS 825 standardı, binalarda ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabına yönelik bir metot belirlemektedir. Bu metodun belirlenmesi sırasında milletlerarası standartlar ile uyum sağlaması amacıyla, "ISO 9164- Thermal insulation calculation of space heating requirements for residential buildings" ve "EN 832- Thermal performance of buildings calculation of energy use for heating residential buildings" standartlarındaki hesap kabulleri esas alınarak ülke şartlarına uyarlanmıştır [1, 2].

Geniş yüzölçümü alanına ve farklı iklim bölgelerine sahip olan Türkiye'de, bir bölge ısıtma ihtiyacı gösterirken diğer bir bölgede soğutma ihtiyacı görülebilmektedir. TS 825'te daha öncede vurgulandığı gibi, binanın ısıtma enerjisi ihtiyacına göre ısı yalıtım kalınlığı belirlenmekte, bina soğutma yükü dikkate alınmamaktadır. Ancak bu standartta gerekli hallerde soğutma amaçlı enerji hesabı için PrEN ISO 13791'e (Thermal performance of buildings - Internal temperatures in summer of a room without mechanical cooling - General criteria and calculation procedures) göre yapılacağı ifade edilmiştir. Ancak soğutma ihtiyacının ısıtmaya göre ağırlıklı olduğu binalarda ve iklim bölgelerindeki yalıtım uygulamaları, TS 825'e göre yapılmakta ve bu uygulamanın bina enerji performansı üzerindeki etkinliği bilinmemektedir.

Türkiye gibi geniş yüz ölçümüne ve farklı iklim bölgelerine sahip diğer bazı ülkelerde, kışların ılıman geçtiği bölgeler ile sıcak ve uzun yaz periyoduna sahip bölgelerde ısı yalıtımı için özel uygulamalar yapılmaktadır. Bunlara örnek olarak, ABD'nin Colorado eyaleti ve Çin'in Şanghay bölgesindeki uygulamaları verilebilir [3, 4]. Colorado'da 18.3 °C denge sıcaklığında 600 soğutma-derece gün değerinin üzerindeki bölgelerde "the Single Family Housing Programs" uygulanmaktadır. Benzer şekilde Şanghay'da, bu bölgeye özel olan "The local energy conservation design standards" göre binaların ısı yalıtımı yapılmaktadır. Avustralya'da ise binalar için uygulanan ısı yalıtımı standardında hem ısıtma hem de soğutma dikkate alınarak ülke 760 iklim bölgesine ayrılmıştır. Bu standartta her bölge için optimum ısı direnç değerleri verilmiştir [5].

Günümüzde küresel ısınmadan dolayı artan sıcaklık, insanların refah seviyelerinin yükselmesinin sonucunda ısı konfor ihtiyacının artması ve benzer şekilde iklimlendirilecek mahallerde kullanılan daha çok sayıda cihazlardan dolayı giderek artan iç ısı yükleri gibi genel ve yerel sebepler, soğutma ihtiyacının artmasını yol açan önemli sebepler olarak görülmektedir. Özellikle enerji yönünden dışa bağımlı olan Türkiye'nin soğutma ihtiyacının ağırlıklı olduğu sıcak iklim bölgelerinde ve soğutma ihtiyacının ısıtmaya göre genellikle fazla olduğu özel binalarda, etkin bir ısı yalıtımının sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın temel hedefi, Türkiye'nin sıcak iklim bölgelerinde uygulanan ısı yalıtımının, soğutma sistemi ve bina enerji performansı üzerindeki etkisinin belirlenmesidir.

Bu çalışmada, örnek bir binaya farklı kalınlıklarda uygulanan ısı yalıtımının, bina soğutma yüküne ve tam havalı merkezi iklimlendirme sistemi ile iklimlendirilmesi durumunda soğutma sistemine etkisi belirlenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde aynı binanın opak dış yapı elemanlarına, farklı kalınlıkta ısı yalıtımı uygulanmasının soğutma yüküne etkisi araştırılmıştır. Soğutma yükü, ASHRAE tarafından önerilen RTS soğutma yükü hesap yöntemine göre saatlik olarak bulunmuştur [6, 7]. İkinci bölümde, tasarımı gerçekleştirilen iklimlendirme sisteminin soğutma sezonu boyunca işletme (enerji tüketimi) giderleri, sabit ve değişken hava debili (CAV ve VAV) dağıtım sistemlerine göre, bin sayısı kullanılarak bulunmuştur [6]. Son bölümde, iklimlendirme sisteminin ilk yatırım ve işletme giderleri bulunarak şimdiki değer maliyeti (present worth cost) yöntemi ile ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir [7, 8].

2. ISI YALITIM BÖLGELERİ

TS 825'de ısıtma derece gün değerlerine göre Türkiye 4 iklim bölgesine ayrılmıştır. Tablo 1'de TS 825'te verilen sıcaklık derece gün bölge illeri ve bu illere ait uzun yıl ortalamalarına göre 22 °C denge sıcaklığı için belirlenen soğutma-derece gün değerleri [9] sunulmuştur.

Tablo1. İllerin soğutma derece gün değerleri ve TS 825'e göre ısıtma derece gün bölgeleri

Sıra	İl	Soğutma Derece-Gün Değeri [9]	TS 825 Derece-Gün Bölgesi	Sıra	İl	Soğutma Derece-Gün Değeri [9]	TS 825 Derece-Gün Bölgesi
1	Şanlıurfa	933	2	41	Aksaray	78	3
2	Adıyaman	792	2	42	Samsun	75	2
3	Batman	783	2	43	Konya	73	3
4	Diyarbakır	743	2	44	İsparta	72	3
5	Siirt	708	2	45	Karaman	72	3
6	Mardin	686	2	46	Ankara	70	3
7	Adana	631	1	47	Trabzon	68	2
8	İçel	577	1	48	Adapazarı	65	2
9	Osmaniye	570	1	49	Giresun	64	2
10	K.Maraş	557	2	50	Ordu	59	2
11	Antalya	550	1	51	Kırşehir	55	3
12	Kilis	541	2	52	Rize	53	2
13	Hatay	521	1	53	Sinop	50	2
14	Aydın	517	1	54	Bitlis	46	4
15	İzmir	517	1	55	Çankırı	46	3
16	Manisa	514	2	56	Niğde	33	3
17	Gaziantep	436	2	57	Van	28	4
18	Denizli	406	2	58	Kayseri	25	4
19	Malatya	374	3	59	Düzce	21	2
20	Tunceli	362	3	60	Tokat	18	3
21	Elazığ	352	3	61	Afyon	14	3
22	Bingöl	311	3	62	Bilecik	11	3
23	Muğla	289	2	63	Eskişehir	8	3
24	Iğdır	229	3	64	Bartın	7	2
25	Muş	206	4	65	Zonguldak	6	2
26	Çanakkale	200	2	66	Ağrı	3	4
27	Hakkari	175	4	67	Nevşehir	3	3
28	Balıkesir	167	2	68	Ardahan	0	4
29	Edirne	158	2	69	Artvin	0	3
30	Bursa	156	2	70	Bayburt	0	4
31	Burdur	147	3	71	Bolu	0	3
32	Kırkkale	139	3	72	Çorum	0	3
33	Amasya	119	2	73	Erzurum	0	4
34	Erzincan	109	4	74	Gümüşhane	0	4
35	İstanbul	104	2	75	Kars	0	4
36	Yalova	100	2	76	Kastamonu	0	4
37	Kocaeli	97	2	77	Kütahya	0	3
38	Tekirdağ	95	2	78	Sivas	0	4
39	Kırklareli	94	3	79	Yozgat	0	4
40	Uşak	87	3				

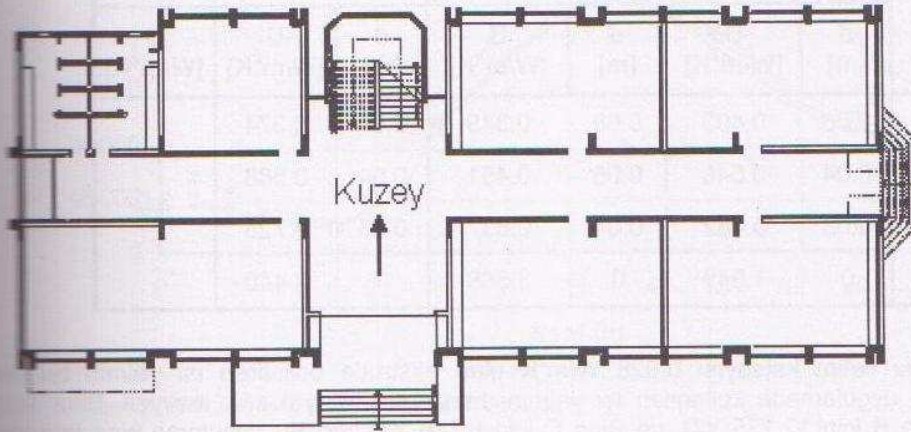
Tablo 1'den görüldüğü gibi, Türkiye'nin soğutma derece gün değerlerine göre en yüksek soğutma gereksinimi yazları kuru ve sıcak bir iklime sahip Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinde ortaya

çıkılmaktadır. Bu bölgeyi nemli ve sıcak iklim özelliği gösteren Akdeniz ve Ege Bölgesi illeri takip etmektedir. TS 825'te ki sınıflandırmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesi illeri çoğunlukla 2. bölgede iken Akdeniz Bölgesi illeri 1. bölgede yer almaktadır. Malatya, Elazığ Bingöl ve Tunceli gibi kış aylarının soğuk ve yaz aylarının sıcak geçtiği Doğu Anadolu Bölgesi illeri, yaklaşık olarak 350 saat'lik soğutma derece gün değerine sahip olup, TS 825'te 3. ısıtma derece gün bölgesindedir. TS 825'te 4. bölgede olan Doğu Anadolu Bölgesi illerinden Hakkari ve Muş illeri yaklaşık olarak 200 saat'lik soğutma derece gün değerine sahip iken aynı bölgede yer alan Kütahya, Sivas, Kars, Erzurum, Artvin, Bolu illerinde ise soğutma derece gün değerleri görülmemektedir. TS 825'te 2. bölgede olan Düzce, Bartın, Zonguldak gibi illerin derece gün değerleri oldukça düşüktür. Dolayısıyla Türkiye için ısıtma ve soğutma derece gün değerlerine göre yapılan sınıflandırmalarda, illerin oluşturacağı bölgeler farklı olacağı açıktır. Bulut [10] Türkiye'yi ısıtma ve soğutma derece gün değerlerine göre değerlendirerek, 5 ısıtma derece-gün bölgesine ve 3 soğutma derece-gün bölgesine ayırmıştır. Bolattürk [11] ise çalışmasında, Türkiye'nin en sıcak bölgelerinde ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak binaların dış duvarları için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiş ve en uygun sonuçların soğutma derece gün değerlerine göre olduğunu ortaya koymuştur.

3. ÖRNEK UYGULAMA

Bu çalışmada, bir binaya, o binanın sadece ısıtma enerjisi dikkate alan TS 825'e göre uygulanan ısı yalıtımının soğutma sezonu boyunca etkisini araştırabilmek için örnek bir bina ele alınmıştır.

Örnek uygulama için, TS 825'te 1. derece gün bölgesinde yer alan Adana ilinde bulunan 3 katlı iş merkezi belirlenmiştir. 27 bürosu bulunan iş merkezinin tüm bürolarında, 2 personelin 9:00-20:00 saatleri arasında çalıştığı kabul edilmiştir. 1628 m²lik kullanım alanına sahip olan iş merkezinin, toplam pencere yüzey alanı 299 m² olup, dış duvar alanı 668 m²'dir. İş merkezinin zemin kat mimari projesi Şekil 1'de gösterilmiştir. Opak yapı elemanlarının özellikleri ayrıntılı olarak Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Soğutma yükü hesaplanan yapının zemin kat mimari projesi

Tablo 2. Opak yapı elemanlarının özellikleri

Yapı Elemanı	Açıklama
Dış duvar	İç sıva, Tuğla, Ekstrüde polistiren ısı yalıtım levhası, Dış sıva
Zemin	Karo mozaik, Harç, Su izolasyonu, Donatılı betonu, Grobeton, Blokaj
Tavan	İç sıva, Donatılı ağır beton, Tesfiye betonu, Ekstrüde polistiren ısı yalıtım levhası, Şap beton

3.1. Isı Yalıtım Hesabı ve Maliyeti

Çalışmanın amacına uygun olarak seçilen binanın opak yapı elemanlarına, 3 farklı kalınlıkta (bundan sonra Bina A, Bina B, Bina C olarak adlandırılacaklardır) ısı yalıtımı uygulandığı kabul edilmiştir. Binaya uygulanan farklı ısı yalıtım kalınlıkları; Türkiye’de zorunlu olarak uygulanan ısı yalıtım yönetmeliğinde belirtilen “Bina enerji verimliliği indeksine” uygun olarak A, B ve C tip bina tiplerine göre belirlenmiştir [1]. Tablo 3’te bina enerji verimlilik indeksi gösterilmiştir. Burada $Q_{yıl}$ (kWh/m^2 , kWh/m^3), binanın hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını, Q_{max} (kWh/m^2 , kWh/m^3) ise “TS 825 binalarda ısı yalıtımı kuralları” standardına göre müsaade edilen maksimum yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını göstermektedir. Bina A’nın $Q_{yıl}/Q_{max}$ oranı yaklaşık olarak 0.79, Bina B’nin 0.89 ve Bina C’nin 0.99 alınarak, opak yapı elemanlarının toplam ısı transfer katsayıları (U) ve ısı yalıtım kalınlıkları (d) belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 3. Isı yalıtımı yönetmeliğine göre bir binanın enerji verimlilik indeksi

Bina Tipi	$Q_{yıl}/Q_{max}$	Enerji verimliliği
A	≤ 0.80	Çok İyi
B	≤ 0.90	İyi
C	≤ 0.99	Normal

Tablo 4. Toplam ısı transfer (U) katsayıları ve ısı yalıtım (d) kalınlıkları

Bina Adı	Dış duvar		Tavan		Taban		Pencere
	d [m]	U [W/m^2K]	d [m]	U [W/m^2K]	d [m]	U [W/m^2K]	
Bina A	0.06	0.403	0.08	0.349	0.07	0.374	3.0
Bina B	0.04	0.546	0.06	0.451	0.04	0.588	
Bina C	0.03	0.662	0.04	0.637	0.03	0.725	
Yalıtımsız	0	1.849	0	3.588	0	2.440	

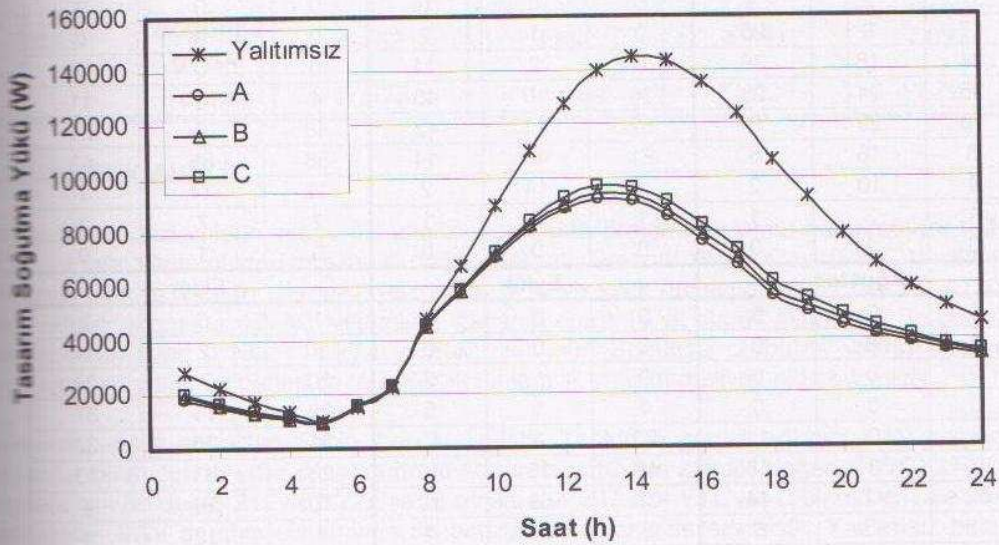
Örnek binada, ısı iletim katsayısı $0.028 W/m^2K$ olan ekstrüde polistiren ısı yalıtım levhaları kullanılmıştır. Bu uygulamada kullanılan ısı yalıtımı malzemesinin yaklaşık maliyeti, Bina A için 18.334 YTL, Bina B için 12.235 YTL ve Bina C için 8.746 YTL’dir. Bu uygulama bina inşasında yapıldığı kabul edildiğinden, ısı yalıtım maliyetine işçilik maliyeti ilave edilmemiştir.

3.2 İklimlendirme Sistemi Tasarımı

Tam havalı merkezi klima santrali ile iklimlendirilen binanın iç mahal ısı konfor şartları, $26^\circ C$ kuru termometre sıcaklığı ve %50 bağıl nem olarak alınmıştır. ASHRAE Standart 62’ye göre bina için gerekli taze hava miktarı $1596 m^3/h$ olarak belirlenmiştir [12]. Üfleme sıcaklığı $15^\circ C$ olarak alınmış ve mahale gönderilen hava, havalandırma için gerekli taze hava ile dönüş havasından elde edilmiştir. Bu çalışmada fanların sabit debide (CAV) ve değişken debide (VAV) çalıştığı kabul edilerek iki farklı hava dağıtım sistemi göz önüne alınmıştır. VAV sisteminde, CAV sisteminden farklı olarak VAV kutuları ve frekans invertörleri sisteme ilave edilmiştir [13].

Şekil 2'de binaların tasarım soğutma yükü verilmiştir. Adana için dış tasarım şartları, 38°C kuru termometre sıcaklığı ve 26°C yaş termometre sıcaklığı olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yalıtımsız binanın tasarım soğutma yükü 145.14 kW ve duyulur ısı oranı (DIO) 0.98'dir. A, B ve C tip binaların tasarım soğutma yükleri ise sırasıyla 92.15 kW, 94.19 kW ve 97.11 kW ve DIO'ları da 0.97'dir. Binanın tasarım soğutma yükü, ısı yalıtımıyla yaklaşık olarak %37 oranında düşürülmüştür. En iyi yalıtıma sahip olan Bina A'nın tasarım soğutma yükü, Bina B'nin yükünden %2, Bina C'nin yükünden %5 daha az bulunmuştur.

Tasarım şartlarına göre iklimlendirme sisteminin psikrometrik analizi yapılarak sistem kapasiteleri belirlenmiştir. Yerel bir üreticiden, nominal çalışma şartlarında yalıtımsız bina için 160 kW, yalıtımlı binalar için 120 kW kapasiteli soğutma grupları seçilmiştir. Benzer şekilde, yalıtımsız bina için fan kapasitesi 45438 m³/h ve üfleme ve emme fanlarının motor güçleri sırasıyla 18.5 kW ve 22 kW olmak üzere sistemin toplam fan motor gücü 40.5 kW'dir. Yalıtımlı binalar için ise fan kapasitesi yaklaşık olarak 30000 m³/h ve üfleme ve emme fanlarının motor güçleri sırasıyla 11 kW ve 15 kW'dir. İklimlendirme sisteminin ilk yatırım maliyeti; yalıtımsız binada CAV dağıtım sistemine göre 118.505YTL, VAV dağıtım sistemine göre 149.149YTL iken yalıtımlı binalarda CAV dağıtım sistemine göre 89.130YTL ve VAV dağıtım sistemine göre 113.544'dir. Yalıtım uygulanması ile iklimlendirme sisteminin ilk yatırım maliyeti yaklaşık olarak %25 oranında daha düşük olmaktadır.



Şekil 2. Tüm bina tipleri için tasarım soğutma yükü

1.1 İşletme Maliyeti Hesabı

İklimlendirme sistemlerin soğutma sezonu boyunca işletme maliyetleri bin sayıları kullanılarak bulunmuştur [6, 14]. Bin sayısı bir sıcaklık aralığında ve saat periyodunda görülen sıcaklık değerinin tekrar sayısıdır. Tablo 5'de Adana için soğutma sezonunca 4 saatlik periyotlarla 9:00-20:00 saatleri arasında 3 °C'lik sıcaklık aralıklarında görülen bin sayıları verilmiştir [14].

Bir iklimlendirme sistemi ömrünün çok büyük bir kısmında, tasarım kapasitelerinden daha düşük kapasitelerde (kısmi yüklerde) çalışır. Bu sebeple, işletme maliyeti hesabında sistem elemanlarının kısmi yük altındaki enerji tüketimleri dikkate alınmalıdır [13, 15].

İklimlendirme sisteminin enerji tüketimi, bin aralıkları için ayrı ayrı hesaplanarak bulunur. Bu amaç için aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır:

$$W_{\text{chil_part}} = \frac{Q_{\text{coil_part}}}{\text{COP}_{\text{part}}} \quad (1)$$

$$W_{\text{fan_part}} = W_{\text{fan_full}} \left(\frac{M_{\text{fan_part}}}{M_{\text{fan_full}}} \right)^3 \quad (2)$$

Eşitliklerdeki; $W_{\text{chil_part}}$ kısmi yükte soğutma grubu kompresörünün tükettiği enerjiyi, COP_{part} kısmi yükte soğutma grubunun performans katsayısını, $Q_{\text{coil_part}}$ kısmi yükte ortamdan uzaklaştırılan soğutma yükünü, $W_{\text{fan_part}}$ kısmi yükte fanın tükettiği enerjiyi, $W_{\text{fan_full}}$ tam yükte fanın tükettiği enerjiyi, $M_{\text{fan_full}}$ fanların tasarım (maksimum) kapasitesini ve $M_{\text{fan_part}}$ fanların anlık debisini göstermektedir.

Tablo 5. Adana için soğutma sezonu boyunca görülen bin sayıları [13]

Sıcaklık Aralığı	Mayıs			Haziran			Temmuz		
	9 ⁰⁰ -12 ⁰⁰ saat	13 ⁰⁰ -16 ⁰⁰ saat	17 ⁰⁰ -20 ⁰⁰ saat	9 ⁰⁰ -12 ⁰⁰ saat	13 ⁰⁰ -16 ⁰⁰ saat	17 ⁰⁰ -20 ⁰⁰ hours	9 ⁰⁰ -12 ⁰⁰ saat	13 ⁰⁰ -16 ⁰⁰ saat	17 ⁰⁰ -20 ⁰⁰ saat
12/15	1	1	2	0	0	0	0	0	0
15/18	6	3	9	0	0	0	0	0	0
18/21	17	9	25	0	1	2	0	0	0
21/24	34	18	36	6	2	14	0	0	1
24/27	35	34	28	36	10	45	4	1	11
27/30	18	29	15	52	41	42	48	6	61
30/33	8	16	6	21	49	14	58	65	43
33/36	4	10	2	4	14	2	12	44	7
36/39	1	3	1	1	3	1	2	7	1
39/42	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	Ağustos			Eylül			Ekim		
12/15	0	0	0	0	0	0	1	0	2
15/18	0	0	0	0	0	0	6	2	11
18/21	0	0	0	0	1	2	20	7	24
21/24	0	0	0	4	1	5	28	14	37
24/27	2	0	11	20	2	43	31	25	32
27/30	40	3	58	48	15	46	23	33	13
30/33	62	47	44	39	59	19	10	26	4
33/36	18	63	9	8	32	4	4	12	1
36/39	2	9	2	1	9	1	1	5	0
39/42	0	2	0	0	1	0	0	0	0

Soğutma sezonu boyunca elde edilen W_{part} değerleri ile hesabın yapıldığı saatteki bin sayıları (N_{bin}) çarpılarak soğutma sisteminde harcanan toplam enerji tüketimi (E_{part} , kWh) bulunur:

$$E_{\text{part}} = N_{\text{bin}}(W_{\text{chil_part}} + W_{\text{fan_part}}) \quad (3)$$

İşletme maliyeti (O_{cost} , YTL), enerji birim fiyatıyla (T ; YTL/kWh) tüketilen enerji miktarı çarpılarak bulunur:

$$O_{\text{cost}} = E_{\text{part}} T \quad (4)$$

Bu çalışmada sistemin işletme maliyetleri soğutma sezonu boyunca mesai saatleri süresince (9:00-12:00, 13:00-16:00, 17:00-20:00) hesaplanmıştır. Ortamın soğutma yükü, soğutma sezonu boyunca

Ömür bin aralıklarında RTS hesap yöntemine göre elde edilmiştir. Soğutma grubuna ait değerler üretici firmadan elde edilmiştir. VAV dağıtım sisteminde fan motorunun devrini ayarlayan invertörün (VSD) minimum kısma oranı %30 olarak alınmıştır. Soğutulan mahallerin iç ortam sıcaklığı (T_{oda}) 26 °C'dir. Dış hava sıcaklığının ($T_{dış}$) oda sıcaklığından minimum 8°C düşük olduğu sıcaklıklarda ($T_{dış} \leq 18$ °C) iklimlendirme sisteminin serbest soğutma (free cooling) yaptığı kabul edilmiştir. İklimlendirme sisteminin incelenen tüm durumlar için elde edilen işletme maliyetleri Tablo 6'da verilmiştir. Fanların işletme maliyetlerine, sistemin serbest soğutma durumundaki fan giderleri de ilave edilmiştir. VAV iklimlendirme sisteminin toplam işletme maliyeti yalıtımsız bina için 8.360 YTL olarak bulunmuştur. Diğer binaların toplam işletme giderleri bu değerden yaklaşık olarak %25 daha küçüktür. CAV iklimlendirme sisteminde elde edilen sonuçlar VAV ile benzer olup, yalıtımlı binaların işletme giderleri, yalıtımsız binadan yaklaşık olarak %33 daha küçük olarak elde edilmiştir.

Tablo 6. Soğutma sezonu boyunca toplam yıllık işletme maliyetleri

Hava Dağıtım Sistemi	Cihaz	Yalıtımsız [YTL/yıl]	Bina A [YTL /yıl]	Bina B [YTL /yıl]	Bina C [YTL /yıl]
VAV	Fan	1.908	1.591	1.559	1.526
	Soğutma grubu	6.452	4.697	4.751	4.837
	Toplam	8.360	6.288	6.310	6.364
CAV	Fan	10.726	6.886	6.886	6.886
	Soğutma grubu	6.452	4.697	4.751	4.837
	Toplam	17.178	11.582	11.636	11.723

4. EKONOMİK ANALİZ

Bu çalışmada sistemlerin ekonomik analizini gerçekleştirmek için; ömür-boyu maliyet (Life-Cycle Cost (LCC)) analiz yöntemlerinden şimdiki değer maliyeti (Present Worth Cost (PWC)) kullanılmıştır [6, 8]. Analizde Türkiye şartları için yıllık faiz oranı %16 ve yıllık enflasyon oranı ise %8.4 (2007 verilerine göre) olarak alınmıştır. HVAC sistemlerin çalışma ömrü 15 yıl olarak alınmıştır. Bu çalışmada elektrik enerjisi birim fiyatı 0.132 YTL/kWh olarak alınmıştır. Soğutma grubu ilk yatırım maliyetine, binaya uygulanan ısı yalıtım giderleri ilave edilerek toplam ilk yatırım maliyeti elde edilmiştir.

Ekonomik analiz sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Tablodan görüleceği gibi CAV dağıtım sisteminde yalıtımsız bina için 15 yıllık çalışma ömrü sonunda yatırımın şimdiki değeri (PWC) 274.851 YTL iken, A binası için bu değer 212.881 YTL'ye, B binası için 207.274 YTL'ye, C binası için ise 204.571 YTL'ye gerilemiştir. VAV dağıtım sisteminde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yalıtımsız bina için çalışma ömrü sonunda yatırımın şimdiki değeri 225.238 YTL iken, A binası için bu değer 189.109 YTL, B binası için 183.210 YTL ve C binası için 180.212 YTL olarak belirlenmiştir.

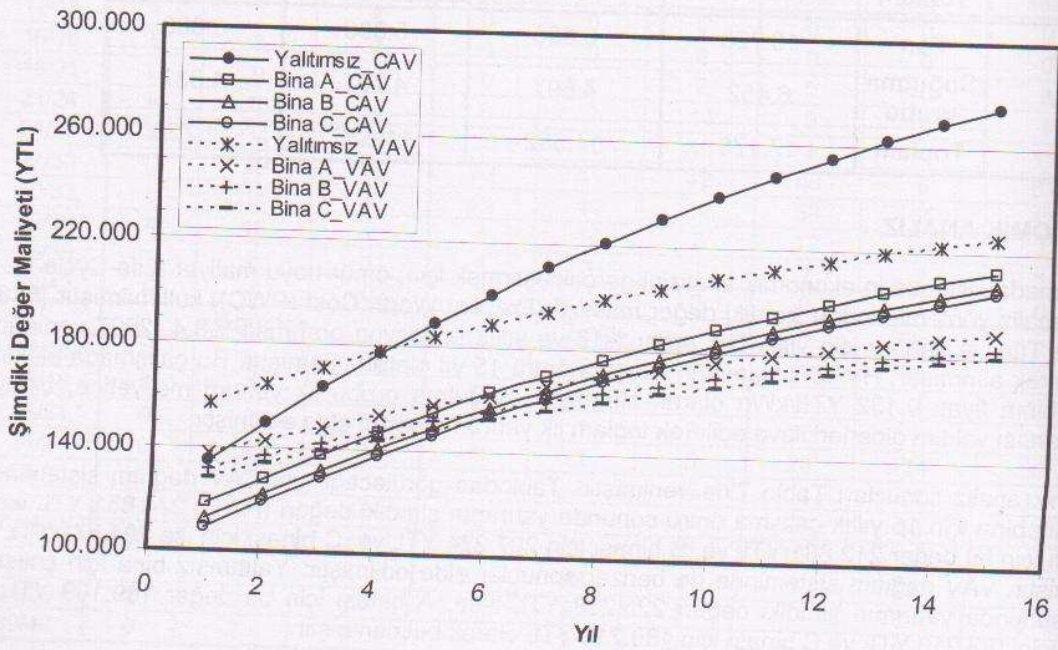
İklimlendirme sisteminin ekonomik analiz sonuçlarına göre yıllara göre şimdiki değer dağılımı (PWC) Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi, yalıtımsız bina için sistemin yıllık toplam yatırım değeri diğer bina formlarına göre daima büyük olmakta ve her yıl sistemden elde edilen kar artmaktadır. Bu sonuçta göre yalıtım uygulanan binalarda, enerji tasarrufu sağlandığından ekonomik açıdan bu yatırımlar uygulanabilir. Ancak yalıtım uygulamaları arasında ekonomik açıdan en iyi uygulamanın belirlenmesi gerekir. Bu amaçla, en az yalıtım uygulanan Bina C'nin daha fazla yalıtım uygulanan Bina A ve B'ye göre ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçları Tablo 8'de sunulmuştur. Tablo 8'den görüleceği gibi Bina C'ye A kalite bir yatırım için ilave yatırım 9.588 YTL iken B kalite bir yalıtım için 3.489 YTL ilave yatırım gereklidir. Bunun karşılığı olarak işletme giderlerinde yıllık tasarruf miktarı CAV sisteminde Bina A'da 141 YTL, Bina B'de 87 YTL iken VAV sisteminde Bina A'da 76 YTL, Bina B'de 54 YTL olmaktadır. Yapılan yatırıma karşılık olarak yıllık kazanç çok düşük olduğundan sistemin geri ödeme süresi oldukça

yüksektir (Tablo 8). Bu sonuca göre aynı binada daha kaliteli ısı yalıtımı uygulanmasının soğutma sisteminde beklenen faydayı sağlamadığı açık olarak görülmektedir. Bu bina için soğutma sistemi açısından C kalite bir yalıtım yeterli gelmekte, daha iyi bir yalıtım gerekli olmadığı ortaya çıkmaktadır.

Tablo 7. Ekonomik analiz sonuçları

Sistem	Bina Adı	PWC değeri [YTL]	Tasarruf	
			[YTL]	[%]
VAV	Yalıtımsız	225.238	-	-
	Bina A	189.109	36.129	16
	Bina B	183.210	42.028	19
	Bina C	180.212	45.026	20
CAV	Yalıtımsız	274.851	-	-
	Bina A	212.881	61.970	23
	Bina B	207.274	67.577	25
	Bina C	204.571	70.280	26



Şekil 3. İklimlendirme sistemi için yatırımının yıllara göre şimdiki değer maliyetleri

Tablo 8. Bina A ve B'nin Bina C'ye göre ilave yatırım miktarı, yıllık işletme kazançları ve sistemin geri ödeme süreleri

		Bina A	Bina B
İlave yatırım		9.588 YTL	3.489 YTL
Yıllık kazanç	CAV	141 YTL	87 YTL
	VAV	76 YTL	54 YTL
Geri ödeme süresi [Yıl]	CAV	126	65
	VAV	68	40

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye’de zorunlu standart olarak uygulanan TS 825 ısı yalıtım standardının Türkiye’nin sıcak bölgelerinde etkinliği incelenmiştir. Bu amaçla TS 825’te verilen sıcaklık derece gün bölgelerinde bulunan illerin soğutma derece gün değerleri karşılaştırılmıştır. Türkiye’nin soğutma ihtiyacının en fazla görüldüğü iller TS 825’te 1. ve 2. derece gün bölgesinde olduğu görülmüştür. Bu amaçla, TS 825’te 1. derece gün bölgesinde yer alan Adana ilinde bulunan bir binanın opak dış yapı elemanlarına, ısı yalıtım yönetmeliğinde belirtilen “Bina Enerji Verimliliği İndeksinde” tanımlanan A, B ve C bina tiplerine uygun olarak ısı yalıtımı uygulanmıştır. Binanın tasarım soğutma yükü ısı yalıtımıyla %37’ye kadar düşürülmüştür. Bunun sonucu olarak,

- Binada kullanılan iklimlendirme sisteminin soğutma grubu %25, fan debisi %33 daha düşük kapasiteli,
- Yalıtımlı binalarda kullanılan iklimlendirme sisteminin ilk yatırım maliyeti, yalıtımsız binaya göre %30 daha az,
- Yalıtımlı binalarda iklimlendirme sisteminin toplam işletme maliyeti yalıtımsız binaya göre VAV dağıtım sisteminde %25, CAV dağıtım sisteminde %32 daha az olarak elde edilmiştir.

Ekonomik analiz sonuçlarına göre CAV dağıtım sisteminde yalıtımsız bina için 15 yıllık çalışma ömrü sonunda yatırımın şimdiki değeri; CAV için 274.851 YTL, VAV için 225.238 YTL’dir. Yalıtım uygulanması durumunda; bu değer; CAV için %23-26, VAV için %16-20 oranında azalmıştır.

Sonuç olarak, her üç yalıtım kalınlığında da iklimlendirme sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin her ikisi de azaldığı için bu yatırımlar ekonomik olarak uygulanabilir. Ancak ısı yalıtım kalitesi açısından bakıldığında C sınıfı bir yalıtım kalınlığı yeterli görülmektedir. Özellikle Türkiye’nin güney bölgelerinde binalara C sınıfı bir yalıtım uygulaması, soğutma sistemlerinin gerek işletme gerekse ilk yatırım maliyetlerinde dikkate değer bir oranda düşürmektedir. A ve B sınıfı ısı yalıtım kalınlığının uygulanması durumunda, binanın ilk yatırım giderlerini artmakta ancak işletme giderlerinde beklenen tasarruf sağlanamamaktadır.

6. KAYNAKLAR

- [1] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, Ankara: Resmi Gazete (23725), 14 Haziran 1999.
- [2] Dilmaç S., and Kesen N. A comparison of new Turkish thermal insulation Standard (TS 825), ISO 9164, EN 832 and German regulation. Energy and Building; 35:161-174, 2003.
- [3] Ogawa Y., Gao W., Zhou N., Watanabe T., Yoshino H., and Ojima T. Investigation on standard for energy and environmental design of residential house in China. Journal of Asian Architecture and Building Engineering; 4(1):253-258, 2005.
- [4] Architectural Technical Guide 0016. Thermal Performance Construction Standards and Eligible Locations for Air-Conditioning for New and Existing Construction Financed by the USDA/Rural Housing Service’s Single Family Housing (SFH) Programs, 10 March 2006.
- [5] Australian Standard (AS2627.1). Thermal Insulation of Roof/Ceilings and Walls in Dwellings, 1993. http://www.ais-group.com.au/homeinsulation/r_values.htm.
- [6] ASHRAE handbook-fundamentals. Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc; 2001.
- [7] Spittler JD., Fisher DE., and Pedersen CO. The radiant time series cooling load calculation procedure. ASHRAE Transactions; 103(2):503-515, 1997.
- [8] Hasan A. Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. Applied Energy; 63:115-124, 1999.
- [9] Şensoy S., Eken M., Sağır R., ve Ulupınar Y. 2006 yılı Isıtma ve soğutma derece gün değerleri. II.Ulusal İklimlendirme Kongresi Bildiriler Kitabı, sayfa 133-148, 15-18 Kasım 2007, Antalya.
- [10] Bulut H. Determination of weather data for Turkey for heating and cooling systems, PhD thesis, Çukurova University Institute of Natural and applied sciences, Adana, 2001.

- [11] Bolattürk A. Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and Environment*; 43(6):1055-1064, 2008.
- [12] ANSI/ASHRAE Standard 62, Ventilation for Acceptable Air-quality. Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 1989.
- [13] Aktacir MA., Büyükalaca O., and Yılmaz T. Life-cycle cost analysis for constant-air-volume and variable-air-volume air-conditioning systems. *Applied Energy*; 83(6):606-627, 2006.
- [14] Bulut H., Büyükalaca O. and Yılmaz T. Bin weather data for Turkey. *Applied Energy*; 70(2):135-155, 2001.
- [15] Aktacir MA., Büyükalaca O., Bulut H., and Yılmaz T. Influence of Different Outdoor Design Conditions on Design Cooling Load and Design Capacities of Air Conditioning Equipments. *Energy Conversion and Management*, in press, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

M. Azmi Aktacir

1973 tarihinde Şanlıurfa'da doğdu. 1993 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1995'te Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisansını, 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora öğrenimi tamamladı. 2000-2005 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2007 yılında Harran Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümüne Yrd. Doç. olarak atandı. İklimlendirme sistemi uygulamaları, kurutma uygulamaları ve yapıların enerji analizi başlıca çalışma alanlarıdır. TTMD ve MMO üyesidir.

Orhan Büyükalaca

1964'te Kaş-Antalya'da doğdu. 1984 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1987 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisansını tamamladı. 1993 yılında Manchester Üniversitesinde Doktorasını tamamladı ve aynı yıl Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümüne Yrd. Doç. Olarak atandı. 1998 yılında Makina Mühendisliğinde Isı Tekniği Bilim Dalında Doçent oldu. 1993 ve 1996 yıllarında School of Engineering, University of Manchester, UK'de Visiting Researcher olarak bulundu. 2005 yılından itibaren Çukurova Üniversitesi, Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Uygulama ve Araştırma Merkezi (SİMER) müdürlüğü görevini yürüttü. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalına Profesör olarak atandı. 2002-2006 yılları arasında Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölüm Başkanı yardımcılığı, 2005-2006 Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekan yardımcılığı yaptı. 2006 yılından beri Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanlığı görevini yürütmektedir. Çalışma alanları ısıtma ve soğutma sistemleri için iklim verilerinin analizi, enerji analizi, ısı pompaları ve türbülanslı akışta konveksiyonla ısı transferidir. TTMD ve MMO üyesidir.