



BİNALARDA ISI YALITIMI VE ISITMA SİSTEMİNİN BİRLİKTE OPTİMİZASYONU

Ahmet ARISOY
Edvin ÇETEGEN

ÖZET

Sunulan çalışmada bir örnek yapıda ve iklimde ısıtma amaçlı yakıt tüketiminin minimizasyonu amacıyla ısı yalıtımıyla birlikte ısıtma sistemi optimizasyonu ele alınmıştır. Pencere cinsleri ve termostatik vana kullanımı da optimizasyona ilave edilmiştir. Örnek bina mevcut bina ve yeni yapılan bina olarak iki ayrı biçimde ele alınmıştır. Örnek üzerinde gösterilmiştir ki yakıt tüketimini minimize eden en uygun çözümler ısı yalıtımı + ısıtma sistemi ortak iyileştirmesiyle elde edilmektedir. Hesapların yapılmasında tarafımızca geliştirilen tek zonlu bir bina simülasyon programı kullanılmıştır. Bu simülasyonda İstanbul için 1995 tipik yıl saatlik iklim verilerine dayanılmıştır.

1. GİRİŞ

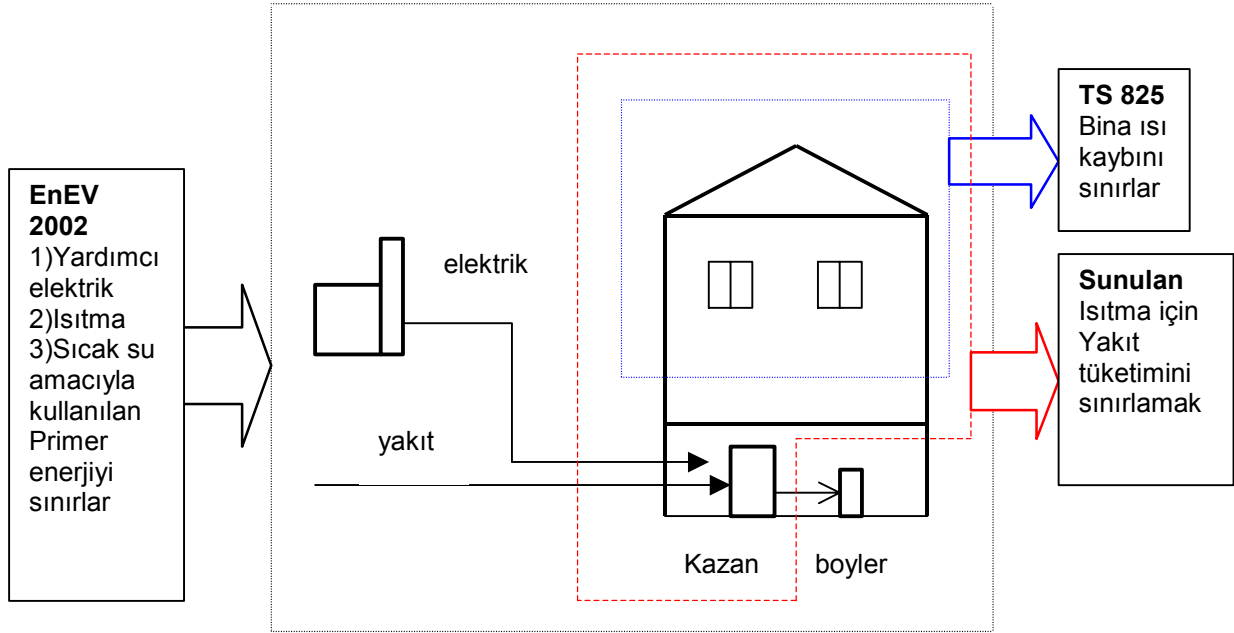
Yapılarda enerji tasarrufu çalışmaları 1970'li yılların ortasından itibaren bütün dünyada önem kazanmıştır. Bu amaca yönelik olarak başlatılan araştırmalar her ülkede kendi koşullarına uygun olarak bazı yönetmeliklerin ve standartların oluşmasıyla sonuçlanmıştır. Türkiye'de de enerji tasarrufu hayati bir önem taşıdığından, binalarda enerji tasarrufuna yönelik olarak bu tarihten itibaren çeşitli yönetmelikler, standartlar ve şartnameler yayınlanmıştır. Ancak konuya her seferinde sadece ısı yalıtımı bakış açısıyla yaklaşmıştır. Yani **binalardaki ısı kaybı minimize edilmeye çalışılmıştır**. Son olarak yeniden düzenlenen TS 825 numaralı zorunlu standart ve buna dayanan Bayındırlık Bakanlığı Şartnamesi yine ısı yalıtımını tek boyutlu olarak esas almaktadır.

Halbuki enerji tasarrufunda ana amaç, **binalarda ısıtma amacıyla tüketilen yakıtın azaltılması** olmalıdır. Bunun için de yalıtımla birlikte ısıtma tesisatının iyileştirilmesi birlikte ele alınmalıdır. Optimum ısı yalıtım kalınlığı kavramı, çoğunlukla sadece ısı yalıtımına yatırılacak para ile elde edilecek yakıt tasarrufu olarak algılanmaktadır. Halbuki ısı yalıtımına ayrılacak kaynağın bir kısmı mekanik tesisata yönlendirilirse, sonuçta aynı yatırım tutarıyla daha fazla yakıt tasarrufu yapabileme imkanı bulunmaktadır. Dolayısıyla yakıt tasarrufu konusundaki optimizasyonda sadece ısı yalıtımı değil, aynı zamanda ısıtma tesisatının verimliliği de ele alınmalıdır. Devlet de konuyu bu boyutuyla ele alıp, yönetmeliklerini buna göre oluşturmalıdır. Böylece hem kamu kaynaklarının kullanımı en faydalı biçimde yönlendirilirken, hem de sektörler arasında haksızlığa yol açılmamış olur.

Nitekim Batı ülkelerinde söz konusu alandaki düzenlemeler yapılırken bu yaklaşım esas alınmıştır. Almanya'da 1 Şubat 2002'de yürürlüğe giren EnEV 2002 Yönetmeliği [1] bir adım daha ileri giderek **binada ısıtma amacıyla tüketilen primer enerji kaynaklarının minimize edilmesi** esasını getirmektedir. Bu yönetmeliğe göre bina ısıtmasında ve sıcak su üretiminde kullanılan yakıt ile pompa, fan gibi yardımcı ekipmanda kullanılan elektrik enerjisi nedeniyle tüketilen yıllık primer enerji miktarına sınırlama getirilmektedir. Bu sınırın altında kalabilmek için mimar ve ısıtma sistemi tasarımcısı birlikte önlem almalıdır. Bir taraftan yalıtımı artırarak, pencereleri uygun seçerek ve diğer pasif önlemleri alarak ısı kaybını azaltırken; diğer yandan da daha verimli kazanlar, daha iyi kontrol sistemleri, termostatik vanalar ve daha verimli ekipmanlar kullanarak yakıt tüketimini azaltmalıdır. Güneş enerjisi

gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılabilir. Bütün bunlar bir optimizasyon stratejisiyle uygulanmalıdır. Söz konusu yönetmelikteki yaklaşım, bu çalışmada sunulan yaklaşımla temel fikir çerçevesinde tamamen çakışmaktadır. EnEV 2002'de, bu çalışmada sunulan yaklaşım daha geniş biçimde ele alınmıştır.

Sunulan çalışmada önerilen yaklaşım, TS 825'de (ve Bayındırlık Bakanlığı Şartnamesinde) geçerli yaklaşım ve EnEV 2002 Alman yönetmeliğinde geçerli yaklaşım **Şekil 1'de** şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Binalarda enerji tasarrufuna yönelik farklı yönetmeliklerin ve sunulan çalışmanın yaklaşımının şematik gösterimi.

Sunulan çalışmada yukarıda özetlenen yaklaşım çerçevesinde yapılan bir araştırmaya yer verilmektedir. Bu araştırmada ilk etapta ele alınan bir örnek yapıda ve iklimde **ısı yalıtımıyla birlikte ısıtma sistemi optimizasyonu** ele alınmıştır. Pencere cinsleri ve termostatik vana kullanımı da optimizasyona ilave edilmiştir. Ayrıca örnek bina mevcut bina ve yeni yapılan bina olarak iki ayrı biçimde ele alınmıştır. Doğal olarak binanın kendisinin ve iklim koşullarının optimum değerler üzerinde etkisi vardır. Burada sadece konunun örnekleriyle dikkate sunulması ve yöntem tartışması amaçlanmıştır. Standarda esas olacak bir çalışma yapmak ve belirli değerleri empoze etmek gibi bir amaç güdülmemiştir. **Örnek üzerinde gösterilmiştir ki yakıt tüketimini minimize eden en uygun çözümler ısı yalıtımı + ısıtma sistemi ortak iyileştirmesiyle elde edilmektedir.** Hesapların yapılmasında tarafımızca geliştirilen tek zonlu bir bina simülasyon programı kullanılmıştır. Bu simülasyonda İstanbul için 1995 tipik yıl saatlik iklim verilerine dayanılmıştır.

2. ÖRNEK BİNA

Göz önüne alınan örnek bina İstanbul'da kurulu 12 katlı bir ofis binasıdır. Bu ofis binasına ait ısı kaybı hesapları ve mekanik tesisat projesi mevcuttur [2]. Buradan yararlanılarak simülasyonda kullanılan büyüklükler **Tablo 1, 2 ve 3'de** özet halinde verilmiştir.

Bu tablolarda görüldüğü üzere enfiltrasyon yükleri bu binada ahşap çerçeveli tek camlı pencere kullanılması halinde önemli bir pay tutmaktadır. Bina dış duvarları 15 cm kalınlıkta betonarme olup,

dıştan izole edilmişlerdir. Duvar ve izolasyonun ısı özellikleri **Tablo 1**'de verilmiştir. Binada panel radyatörler kullanılmış olup, özellikleri **Tablo 3**'de görülmektedir.

Yeni inşa edilecek bir binada en kötü hal olan izolasyonsuz, ahşap çerçeveli tek camlı pencere, standart kazanlı ve termostatik vanasız durum referans olarak ele alınmıştır. Yapılan iyileştirmeler 1. İzolasyon kalınlıklarının artırılması, 2. Pencere, çift camlı ve contalı plastik doğramalı hale getirilmesi, 3. Daha iyi kaliteli kazanlar olan düşük sıcaklık kazanı veya yoğuşmalı kazan kullanılması, 4. Radyatör girişlerinde termostatik vana kullanılması olarak sıralanabilir.

Tablo 1. Bina Dış Kabuk Özellikleri

	k	ρ_o	c_p	Kalınlık	Duvar alanı	Pencere alanı
	(W/m.K)	(kg/m ³)	(j/kg.K)	(m)	(m ²)	(m ²)
dış duvar-beton (Kuzey)	2,14	2400	800	0,15	1040	255
dış duvar-yalıtım (Kuzey)	0,04	15	800	değişken	1040	255
dış duvar-beton (Doğu)	2,14	2400	800	0,15	1040	255
dış duvar- yalıtım (Doğu)	0,04	15	800	değişken	1040	255
dış duvar-beton (Güney)	2,14	2400	800	0,15	1040	255
dış duvar-yalıtım (Güney)	0,04	15	800	değişken	1040	255
dış duvar-beton (Batı)	2,14	2400	800	0,15	1040	255
dış duvar-yalıtım (Batı)	0,04	15	800	değişken	1040	255
çatı-beton	2,14	2400	800	0,28	808	-
çatı-yalıtım	0,04	15	800	0,08	808	-
döşeme-beton	2,14	2400	800	0,2	808	-
döşeme-yalıtım	0,04	15	800	0,03	808	-
iç duvar-beton	2,14	2400	800	0,2	1685	-
iç duvar-yalıtım	0,04	60	800	0	1500	-

Tablo 2. Bina ısı kaybı (2 cm yalıtım ve tek pencere hali) ve kullanılan katsayılar

Kat sayısı	12
Kat yüksekliği (m)	3
Sıcaklık farkı (K)	23
Toplam transmisyon ısı yükü, W	163000
Enfiltrasyon yükü, W	327000
Kazan kapasitesi W	490000

Tablo 3. Kullanılan panel radyatör özellikleri

Yükseklik (mm)	600
70 °C de norm güç W/m	2376
Su giriş sıcaklığı (°C)	75
Su çıkış sıcaklığı (°C)	60
Oda sıcaklığı (°C)	20
Toplam KF değeri (W/K)	12185

3. YENİ BİNA İÇİN SİMÜLASYON SONUÇLARI

Hesaplamlarda tarafımızdan geliştirilen bir program kullanılmıştır. Bu program esasları başka yerde anlatılmıştır [3]. Programa saatlik dış sıcaklık değerleri girildiğinde, tek zonlu bir yapının ve onun ısıtma tesisatının dinamik ısı davranışı simüle edilebilmekte ve yıllık yakıt tüketimi hesaplanabilmektedir. Dış duvarlar çift katmanlı (beton+izolasyon katmanları) olarak ele alınmaktadır. Programa iklim verileri ve bina verileri dışında kazan kısmi yük davranışları (kısmi yüke bağlı kazan verim değişimi) ve dış sıcaklığa bağlı olarak, otomatik kontrol panelinin su sıcaklığı ayar eğrisi girilmelidir.

Hesaplamlarda ilk olarak yeni bina hali ele alınmıştır. Yukarıda tanımlanan binanın yeni inşa edilmekte olduğu düşünülerek, incelenen her hal için ısıtma sistemi yeniden projelendirilmiştir. Bu durumda izolasyon artırıldıkça ısı kaybı azalmakta ve gerekli ısıtma tesisatının büyüklüğü de azalmaktadır. **Referans olarak** dış duvar izolasyonunun olmadığı ve ahşap çerçeveli tek camlı pencere kullanılan hal ele alınmıştır. Kazan cinsi standart kazan olup, termostatik vana da kullanılmamaktadır. Bu durumda **inşaat maliyeti en düşük, yakıt tüketimi en fazladır**. Bu referans halden itibaren parametrik olarak izolasyon artırılmakta, pencereler çift camlı ve contalı hale getirilmekte, kazanlar iyileştirilmekte ve termostatik vana kullanmaya başlanılmaktadır. Bu şekilde 84 alternatif halde sistemin yıllık yakıt tüketimleri ve referans hale göre izolasyon, pencere, kazan, radyatör ve termostatik vanaların yatırım maliyetleri hesaplanmıştır.

Hesap sonuçları aşağıda tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Referans halde yatırım maliyeti ve yıllık yakıt maliyeti değerleri aşağıda verilmiştir:

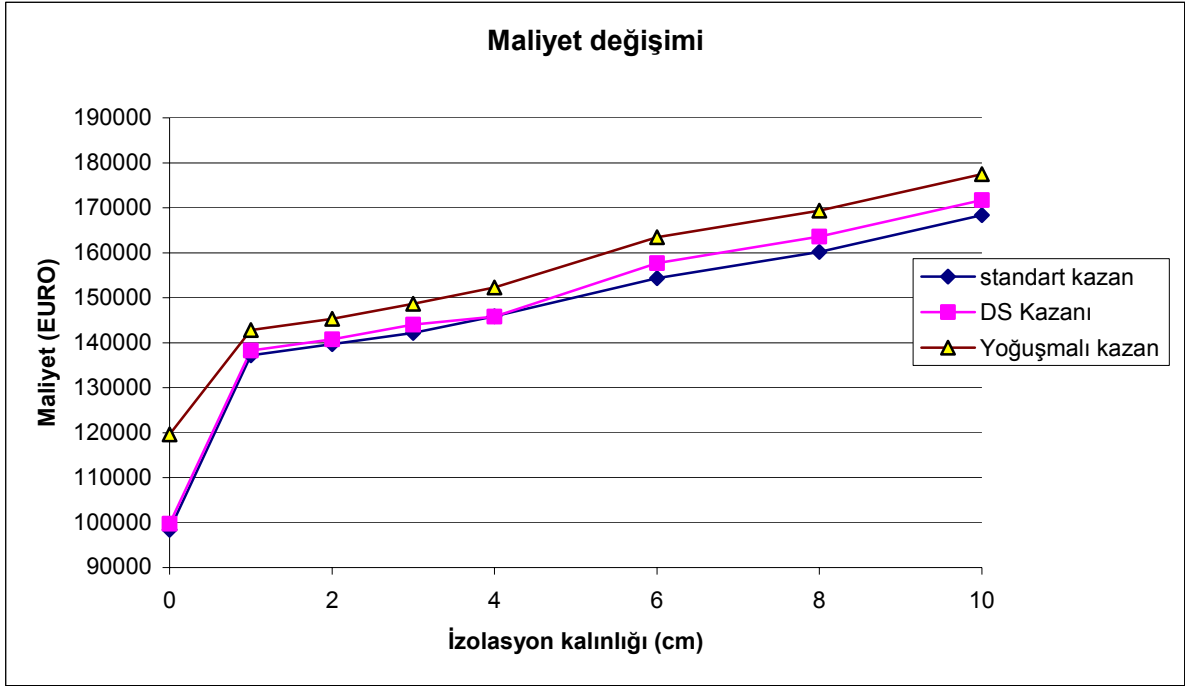
Yatırım maliyeti = izolasyon+pencere +kazan +radyatör+termostatik vana

Yatırım maliyeti = 0 + 61.200 + 15.810 + 21.356 + 0 = 98.367 EURO

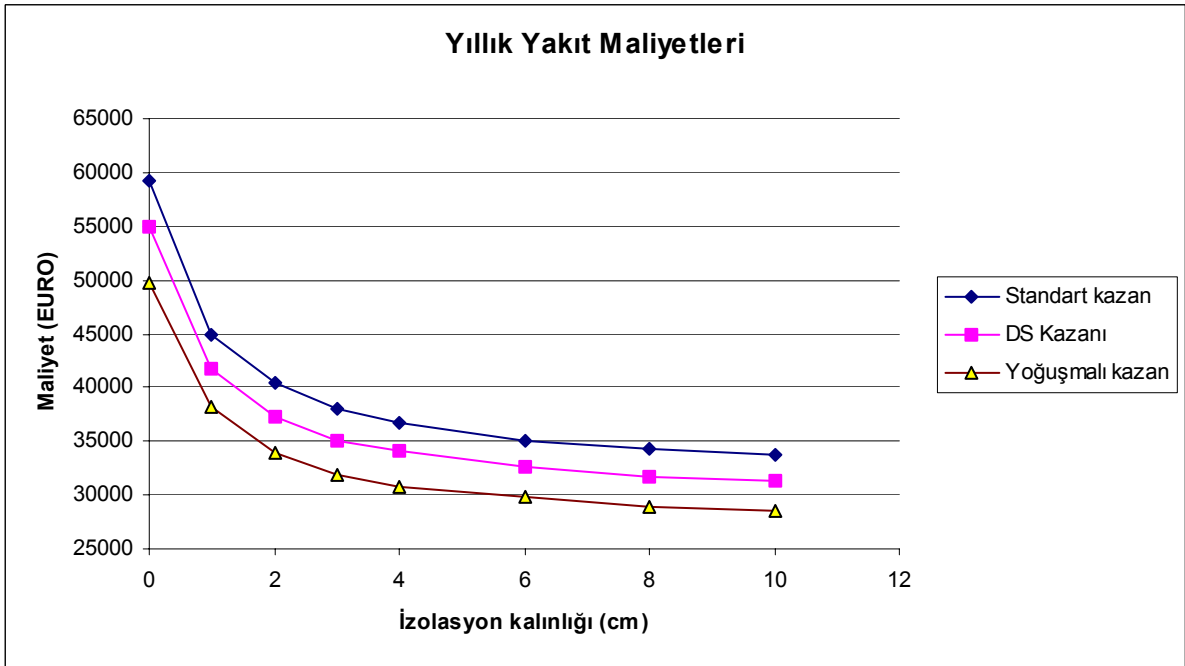
Yıllık Yakıt Maliyeti= 59.286 EURO

Burada tesisatın diğer elemanlarının maliyeti gözönüne alınmamıştır. Isıtma yüküne göre diğer tesisat elemanlarının maliyetindeki değişim ihmal edilebilir. **Görüldüğü gibi hiç bir önlem alınmamış halde, yıllık yakıt maliyeti kazan ve radyatör maliyetinin toplamından çok daha fazladır.**

Ahşap çerçeveli tek camlı pencere ve termostatik vanasız radyatörler kullanıldığında farklı izolasyon kalınlıkları ve farklı kazan hallerindeki yatırım maliyetlerinin değişimi **Şekil 2'de** verilmiştir. İzolasyon kalınlığı arttıkça kazan ve radyatör maliyetinde bir azalma olmakla birlikte, doğal olarak izolasyon maliyeti artmaktadır. Pencere maliyeti değişmemektedir. Toplam maliyet ise izolasyon kalınlığıyla birlikte artmaktadır. Öte yandan standart kazandan yoğunlaşmalı kazana gidildikçe doğal olarak maliyet artmaktadır. Yoğunlaşmalı kazan kullanılması ve 10 cm izolasyon kalınlığı alınması halinde maliyet 177.467 EURO değerine yükselmektedir. Yoğunlaşmalı kazan kullanmanın maliyeti, izolasyonun yaklaşık 2,5 cm daha artırılma maliyetine eşittir.



Şekil 2. Yeni bina için yatırım maliyetlerinin ahşap çerçeveli tek camlı pencere ve termostatik vanasız halde farklı izolasyon kalınlıkları ve farklı kazan tipleri için değişimi

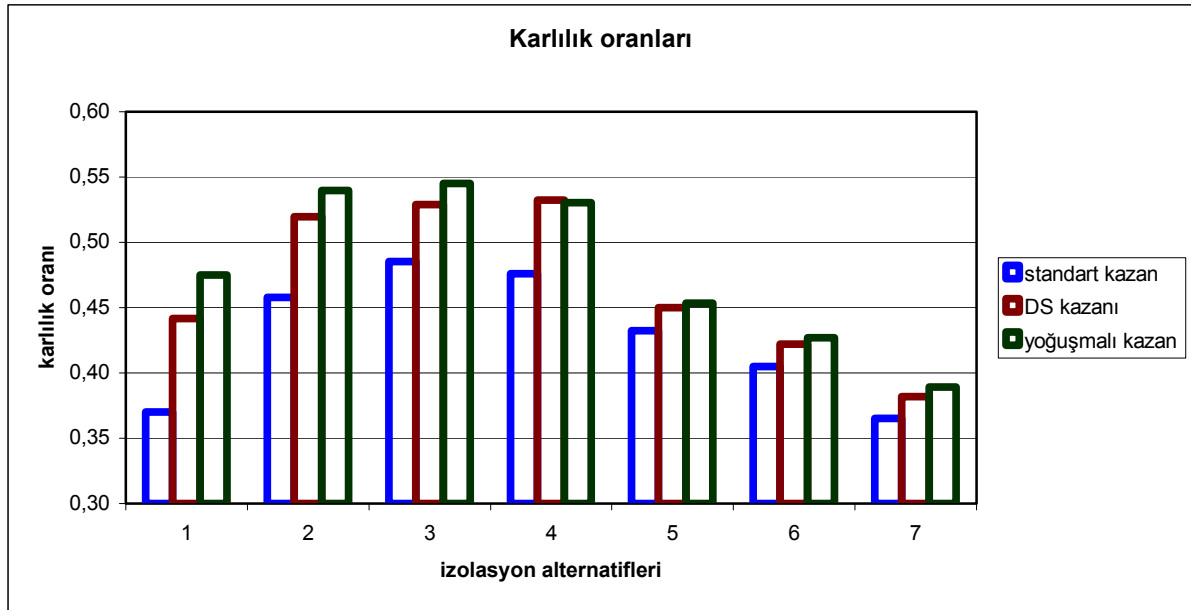


Şekil 3. Yıllık yakıt maliyetlerinin ahşap çerçeveli tek camlı pencere ve termostatik vanasız farklı izolasyon kalınlıkları ve farklı kazan hallerindeki değişimi

Yıllık yakıt maliyetlerinin ahşap çerçeveli tek camlı pencere ve termostatik vanasız radyatörlü halde farklı izolasyon kalınlıkları ve farklı kazanlar için değişimi Şekil 3'de verilmiştir. İzolasyon kalınlığı arttıkça yakıt maliyeti doğal olarak azalmaktadır. Aynı şekilde standart kazandan yoğuşmalı kazana

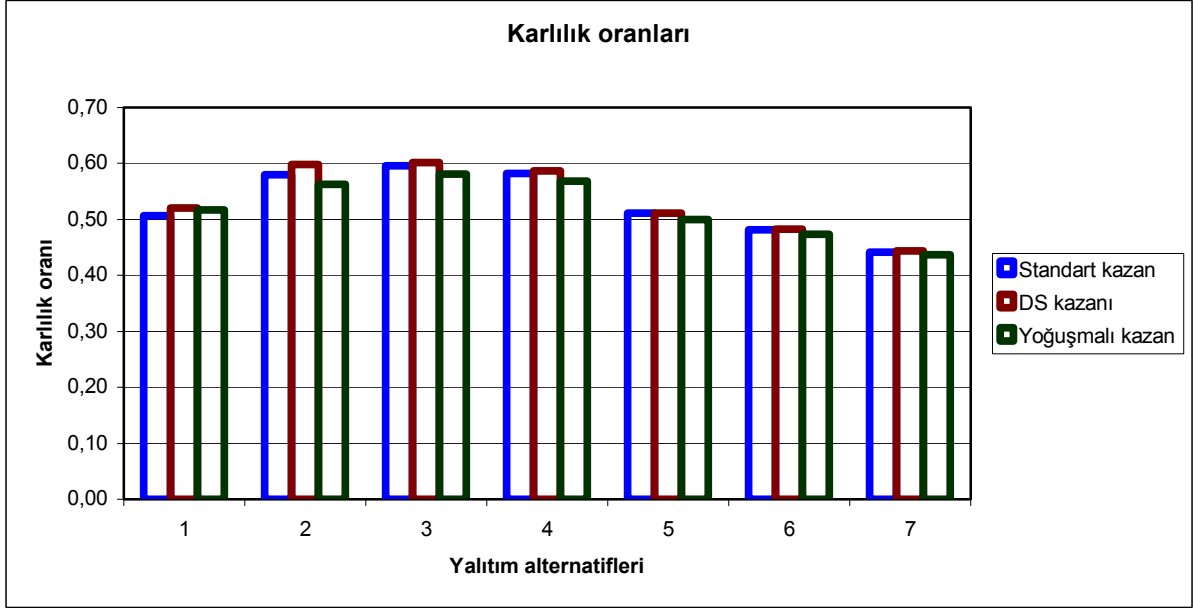
gidildikçe yakıt maliyeti yine azalmaktadır. En iyi halde yoğuşmalı kazan ve 10 cm izolasyon kalınlığında **yıllık yakıt maliyeti 28.515 EURO değerine inmektedir**. Ancak 2 cm izolasyon kalınlığından itibaren izolasyonu 2 cm daha artırmanın yarattığı tasarruf, bunun yerine kazan değişimi yapılarak yoğuşmalı kazan kullanmanın yarattığı tasarruftan çok daha az olmaktadır. İzolasyon kalınlığı sıfırdan itibaren artırıldıkça yakıt tasarrufuna olan etkisi başta çok fazla olurken, bu etki giderek azalmakta ve eğri yataya yaklaşmaktadır. Buna karşılık kazan etkisi yaklaşık sabittir. Örneğin yoğuşmalı kazan kullanılması hemen her izolasyon kalınlığında fazla değişmeyen bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır.

Yapılan **birim yatırıma karşılık elde edilen tasarrufun maksimize edilmesi, bu çalışmada optimizasyon kriteri olarak ele alınmıştır**. Bunun için yapılan yıllık yakıt maliyeti tasarrufu (referans hale göre yapılan tasarruf), yapılan ilave yatırıma (referans hal ile incelenen hal arasındaki yatırım maliyeti farkı) bölünerek her durum için bir sayı bulunmuştur. Bu sayı karlılık olarak isimlendirilirse karlılığı en yüksek olan çözüm, optimum çözüm olarak tanımlanabilir. **Şekil 4'de** hesap sonuçları çubuk diyagramı olarak verilmiştir. Buna göre yapılan ilave yatırımların karlılığı %50 mertebelerinin üstüne çıkabilmektedir. Yani yapılan ilave yatırımın %50'sinden fazlası ilk yılda yakıt tasarrufuyla geri ödenmektedir. Ahşap çerçevli tek camlı pencere ve termostatik vanasız halde en karlı yatırım, %54 değeriyle ikinci ve üçüncü yalıtım alternatifinde (yani binanın 2 cm ve 3 cm kalınlığında izole edilmesi durumunda) yoğuşmalı kazan kullanılmasıdır. İkinci en karlı yatırım ise %53 değeriyle üç ve dördüncü yalıtım alternatifinde (yani binanın 3 cm ve 4 cm kalınlığında izole edilmesi durumunda) DSK kazan kullanılması ve dördüncü yalıtım alternatifinde (yani binanın 4 cm kalınlığında izole edilmesi durumunda) Yoğuşmalı kazan kullanılmasıdır. Burada özellikle belirtilmesi gereken husus binanın bir önceki ısı yalıtım yönetmeliğine göre yapılması halinde Referans halde 2 cm yalıtımın yeterli olmasıdır. Bu durumdaki binanın yakıt tüketimini azaltma için yapılacak en karlı yatırımın, bina izolasyonunu artırmak yerine yoğuşmalı kazana geçmek olduğu Şekil 3'deki sonuçlardan görülebilmektedir.

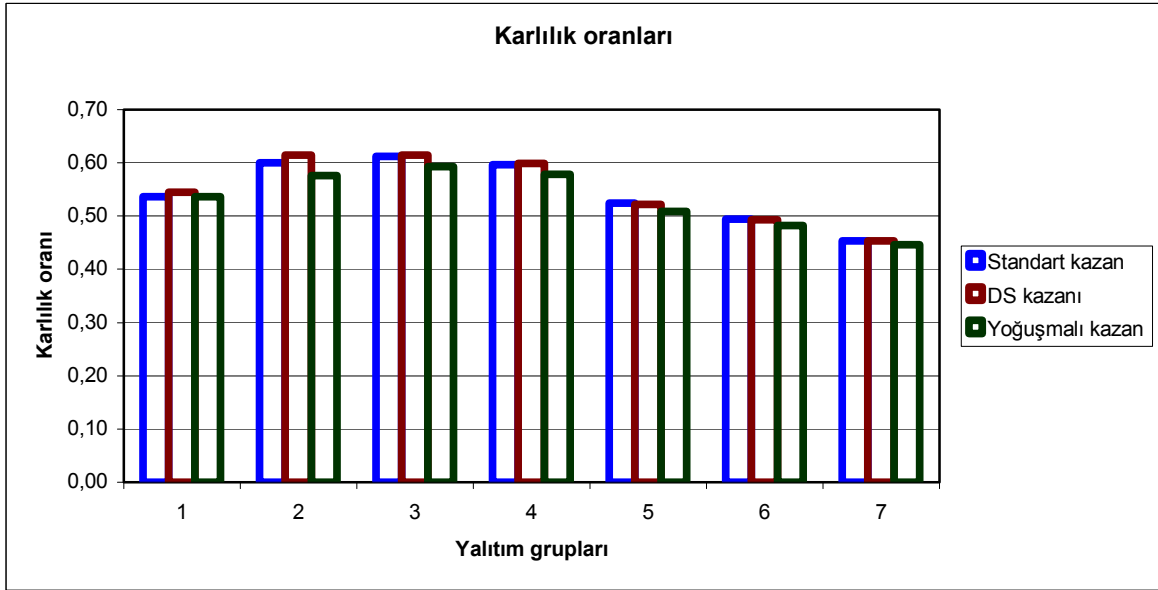


Şekil 4. Karlılık oranlarının ahşap çerçevli tek camlı pencere ve termostatik vanasız durumda farklı izolasyon kalınlık alternatifleri ve farklı kazan hallerindeki değişimi

Şekil 5'de contalı plastik çerçevli çift camlı pencere ve termostatik vanasız durumda farklı izolasyon kalınlık alternatifleri ve farklı kazan hallerindeki karlılık oranları görülmektedir. Bu durumda yatırım daha fazla olmakla birlikte elde edilen tasarruf çok daha fazla olmakta ve karlılıklar artmaktadır. Bu durumda karlılıklar %60 değerlerine ulaşmaktadır. Contalı plastik çerçevli çift camlı pencere ve termostatik vanasız halde en karlı yatırım, %60 değeriyle ikinci ve üçüncü yalıtım alternatifinde (yani binanın 2 cm ve 3 cm kalınlığında izole edilmesi durumunda) Düşük Sıcaklık Kazanı kullanılmasıdır.



Şekil 5. Karlılık oranlarının contalı plastik çerçeveli çift camlı pencere ve termostatik vanasız durumda farklı izolasyon kalınlık alternatifleri ve farklı kazan hallerindeki değişimi



Şekil 6. Contalı plastik çerçeveli çift camlı pencere ve termostatik vanalı durumda farklı izolasyon kalınlık grupları ve farklı kazan hallerindeki karlılık oranları

Contalı plastik çerçeveli çift camlı pencere ve termostatik vanalı durumda farklı izolasyon kalınlık alternatifleri ve farklı kazan hallerindeki karlılık oranları **Şekil 6'da** görülmektedir. Bu durumda yatırım en fazla olmakla birlikte elde edilen tasarruf da de fazladır ve bu durumda karlılıklar %62 değerine ulaşmaktadır. Contalı plastik çerçeveli çift camlı pencere ve termostatik vanasız halde en karlı yatırım, %62 değeriyle ikinci yalıtım alternatifinde (yani binanın 2 cm kalınlığında izole edilmesi durumunda) Düşük Sıcaklık Kazanı kullanılmasıdır.

Tablo 4. Bütün hesaplar sonucu yeni binada **karlılık oranı en yüksek** ilk 10 çözüm.

Pencere	Termostatik vana	Kazan	İzolasyon kalınlığı	Karlılık Oranı	Gerekli ilave yatırım
TCP: Tek camlı ÇCP: Çift camlı	1: yok (+): var	1: Standart 2: DSK 3: Yoğuşmalı	(cm)	(%)	(EURO)
ÇCP	+	DSK	3	62	59898
ÇCP	+	DSK	2	61	56791
ÇCP	+	Standart	3	61	57168
ÇCP	-	DSK	3	60	57528
ÇCP	+	Standart	2	60	54931
ÇCP	+	DSK	4	60	63457
ÇCP	-	DSK	2	60	54211
ÇCP	-	Standart	3	60	54798
ÇCP	+	Standart	4	60	60727
ÇCP	+	Yoğuşmalı	3	59	65633

Hesaplamalar sonucunda 84 alternatif hal içinde karlılık açısından bir sıralama yapılmıştır. Elde edilen sıralamadaki ilk en iyi 10 çözüm **Tablo 4'de** gösterilmiştir. Bu tabloda aynı zamanda gerekli ilave yatırım değerine de bilgi olarak yer verilmiştir. Bütün incelenen haller arasında %62 karlılık değeriyle en karlı yatırım; plastik çerçeveli çift camlı pencere ve termostatik vanalı radyatörler kullanılması, Düşük Sıcaklık Kazanı seçmek ve izolasyon kalınlığını 3 cm değeriyle sınırlandırmaktır. İkinci iyi durumda %61 karlılık değeriyle iki seçenek yer almaktadır.

Tablo 5. Bütün hesaplar sonucu yeni bina için **yıllık toplam maliyeti en düşük** ilk 10 çözüm sıralaması (Toplam maliyet hesabında amortisman süresi 5 yıl ve EURO bazında enflasyon oranı %10 kabulüyle).

Pencere	Termostatik vana	Kazan	İzolasyon kalınlığı	Karlılık Oranı	Gerekli ilave yatırım	Yıllık toplam maliyet
TCP: Tek camlı ÇCP: Çift camlı	(-) : yok (+): var		(cm)	(%)	(EURO)	(EURO)
ÇCP	+	Yoğuşmalı	4	0,58	69192	63500
ÇCP	+	Yoğuşmalı	3	0,59	65633	63646
ÇCP	+	DSK	4	0,60	63457	63980
ÇCP	+	DSK	3	0,62	59898	64189
ÇCP	-	Yoğuşmalı	4	0,57	66942	64870
ÇCP	+	Yoğuşmalı	2	0,58	64976	64961
ÇCP	+	Standart	4	0,60	60727	65057
ÇCP	-	Yoğuşmalı	3	0,58	63263	65134
ÇCP	+	DSK	2	0,61	56791	65301
ÇCP	+	Standart	3	0,61	57168	65311

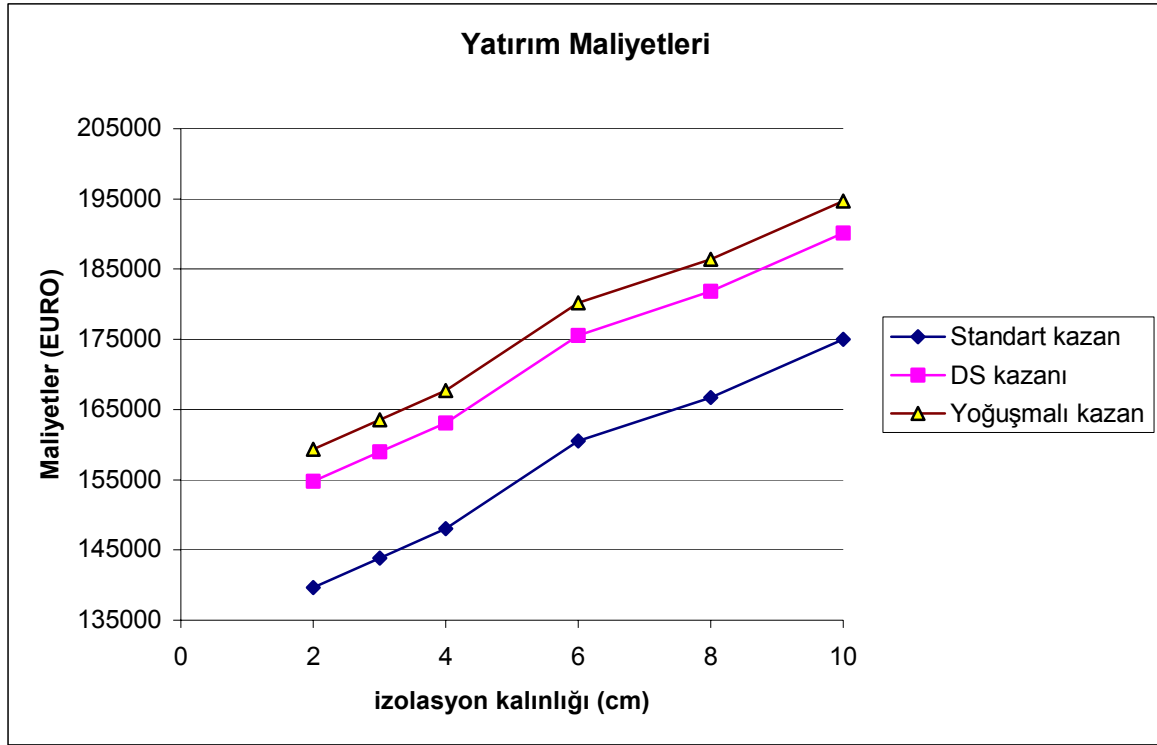
Bunlardan daha az yatırım gerektirdiği için önceliği olan halde, izolasyon kalınlığı 2 cm değerindedir. Üçüncü iyi durumda %60 karlılık değeriyle beş seçenek yer almaktadır. Bu çözümlerde; mutlaka çift camlı pencere kullanılması, tercih termostatik vana kullanılması, Düşük Sıcaklık kazanı kullanılması ve izolasyonun 4 cm değerini geçmemesi söz konusudur.

Kriter olarak karlılık oranı ele alındığında, yatırım maliyeti daha ağırlıklı rol oynamaktadır. Bunun yerine **toplam yıllık maliyetin minimizasyonu da kriter olarak ele alınabilir**. Toplam yıllık maliyeti belirlenmek için yatırımın yıllık amortisman maliyetiyle yıllık yakıt maliyeti toplanmaktadır. Örnek hesapta amortisman süresi Türkiye koşulları göz önüne alınarak 5 yıl kabul edilmiştir. EURO bazında

enflasyon oranı da %10 alınmıştır. Buna göre hesaplanan 84 hal arasındaki sıralamada ilk 10 sırayı alanlar **Tablo 5'de** verilmiştir. Bu durumda tablodaki sıralama bir öncekine göre fark etmektedir. Yakıt maliyetlerinin ağırlığı daha öne çıkmakta, daha fazla yatırım gerektiren ama daha fazla kazanç sağlayan çözümler ilk sıralara çıkmaktadır. Yıllık yakıt maliyetini minimize eden çözüm çift camlı pencere, termostatik vanalı ve yoğuşmalı kazanlı bina olmaktadır. İzolasyon kalınlığı ise 4 cm değerindedir. Daha sonraki sıralarda yer alan çözümlerde, izolasyonun 3 cm değerine indirilmesi veya DSK kazan kullanılması gelmektedir. Karlılık oranı en yüksek olan çözüm 4. sıraya düşmektedir.

4. MEVCUT BİNA İÇİN SİMÜLASYON SONUÇLARI

Hesaplamalarda ikinci bir grup olarak mevcut bina hali ele alınmıştır. Yukarıda tanımlanan binanın bir önceki yalıtım yönetmeliğine uygun olarak 2 cm izolasyon malzemesiyle dıştan izole edildiği kabul edilmiştir. Ayrıca döşeme ve çatı izolasyonları yapılmıştır. Mevcut binada pencere olarak tek camlı ahşap çerçeveli pencere ve kazan olarak standart kazan bulunmaktadır. Termostatik vana kullanılmamıştır. Referans hal bu şekilde tanımlanmaktadır. Sistem ilave yatırımlarla iyileştirilmek istendiğinde mevcut olan kazan veya pencereler atılacak ve yerine yenileri konulacaktır. İzolasyonun eskisi üzerine ilave edilebileceği kabul edilmiştir.



Şekil 7. Mevcut binada yatırım maliyetlerinin, ahşap çerçeveli tek camlı pencere ve termostatik vanasız hal için, farklı izolasyon kalınlıkları ve farklı kazan hallerindeki değişimi

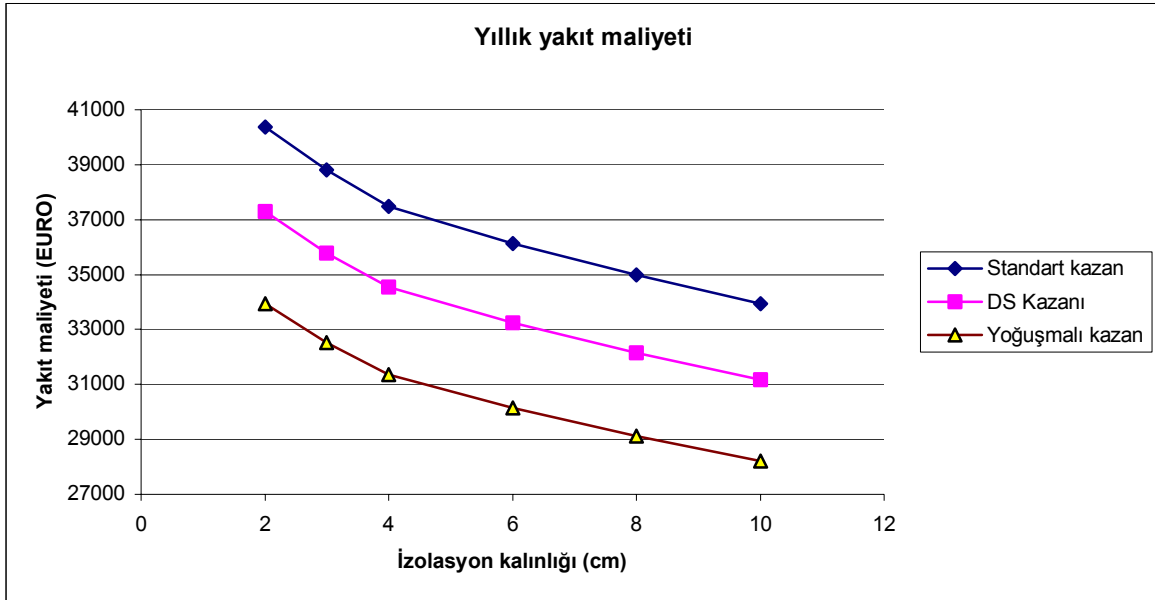
Mevcut ısıtma sistemi ve radyatörler değişmeyecektir. Bu durumda izolasyon artırıldıkça ısı kaybı azalmakta ve buna bağlı olarak su sıcaklıkları azalmaktadır. Su sıcaklıklarının düşmesi kazan tipine bağlı olarak kazan verimlerini etkilemektedir. Daha önce yeni bina için yapıldığı gibi değişik durumlar için sistemin yıllık yakıt tüketimleri ve izolasyon, pencere, kazan ve termostatik vanaların yatırım maliyetleri hesaplanmıştır.

Ahşap çerçeveli tek camlı pencere ve termostatik vanasız radyatörler kullanıldığında farklı izolasyon kalınlıkları ve farklı kazan hallerindeki yatırım maliyetlerinin değişimi **Şekil 7'de** verilmiştir. İzolasyon

kalınlığı arttıkça ve kazan değiştirildiğinde maliyet artmaktadır. Bu durumda maliyet farkları daha belirgindir. Mevcut kazanın yoğuşmalı kazanla değiştirilmesi ve izolasyon kalınlığının 10 cm değerine artırılması halinde maliyet 195.000 EURO değerine yükselmektedir.

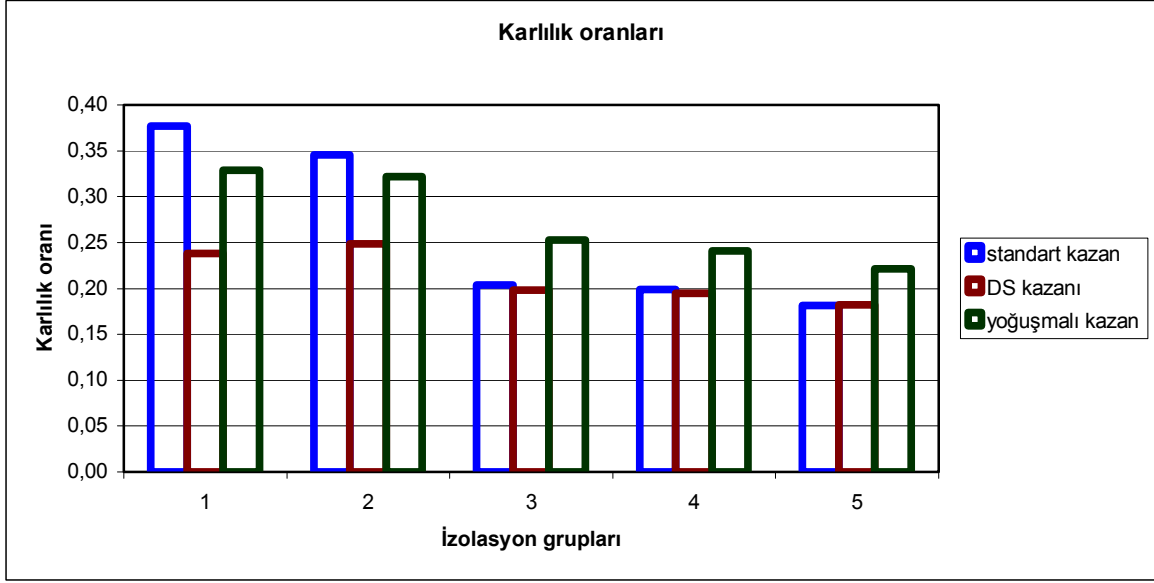
Aynı durum için yıllık yakıt maliyetlerinin değişimi ise **Şekil 8'de** verilmiştir. İzolasyon kalınlığı arttıkça ve standart kazandan yoğuşmalı kazana gidildikçe yakıt maliyeti doğal olarak azalmaktadır. Ancak mevcut binada kazan değişiminin etkisi daha fazladır. Referans halden itibaren her durumda kazan kalitesini artırmak, izolasyonu artırmaktan daha fazla tasarruf yaratmaktadır. Ayrıca standart kazandan DS Kazana, buradan da yoğuşmalı kazana geçmek yaklaşık benzer miktarda tasarrufa neden olmaktadır.

Mevcut binada ahşap çerçeveli tek camlı pencereleri korumak ve **termostatik vana kullanmamak** durumunda karlılık oranı hesap sonuçları **Şekil 9'da** çubuk diyagramı olarak verilmiştir. Mevcut binada yapılacak değişiklikte, eskisini atıp yenisini koymak gereği nedeniyle yatırımlar daha yüksektir. İzolasyonun ilave edilebildiği kabul edildiğinden izolasyonu artırmak daha karlı çözümler olarak ortaya çıkmaktadır. Karlılık oranları en iyi hallerde %35 mertebelerinde kalmaktadır. Bu durumda en iyi çözümler sadece izolasyonu 1 ve 2 cm artırmaktır. Daha sonraki en karlı durumlar izolasyonu 1 veya 2 cm artırmakla birlikte yoğuşmalı kazana geçmektir.

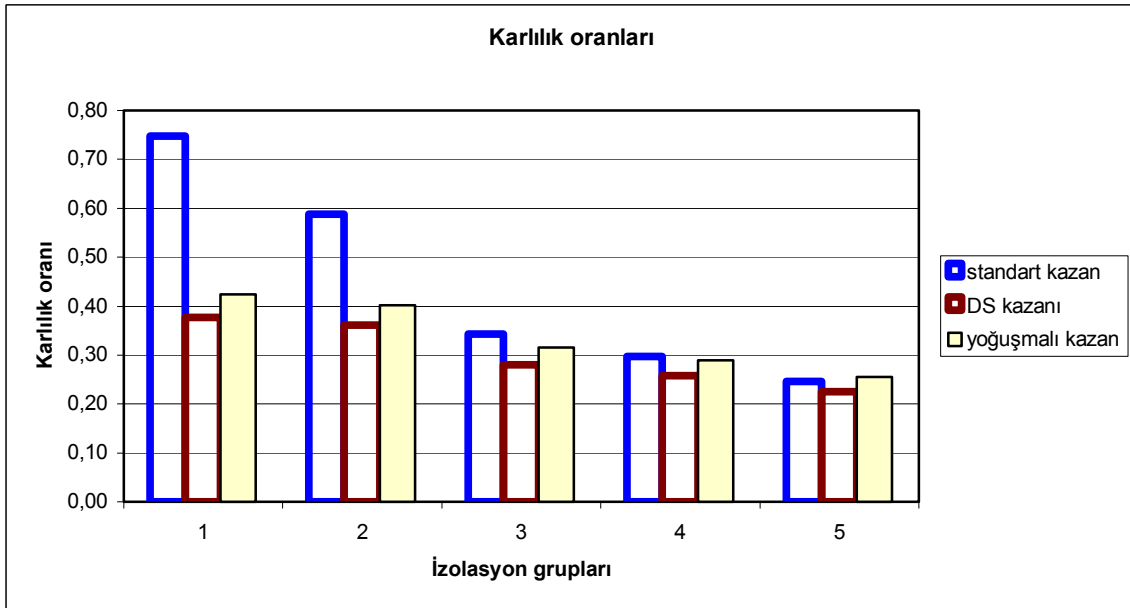


Şekil 8. Yıllık yakıt maliyetlerinin mevcut binada ahşap çerçeveli tek camlı pencere ve termostatik vanasız durumda farklı izolasyon kalınlıkları ve farklı kazan hallerindeki değişimi

Pencerelerin değiştirilmesinin maliyeti çok fazladır. Pencere değişimi halinde karlılık oranları %15 mertebelerine düşmektedir. Bunun yerine ahşap çerçeveli tek camlı halde termostatik vana kullanılması en uygun çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. **Şekil 10'da** mevcut binada ahşap çerçeveli tek camlı pencereli ve **termostatik vanalı** durumda karlılık oranı hesap sonuçları çubuk diyagramı olarak verilmiştir. Sadece izolasyonu 1 cm artırıp, termostatik vana kullanıldığında karlılık %75 olmaktadır. Termostatik vanalı durumda izolasyonu 2 cm artırmak ve her iki izolasyon kalınlığında yoğuşmalı kazana geçmek daha sonraki ikinci ve üçüncü sıradaki en iyi durumlardır.



Şekil 9. Karlılık oranlarının mevcut bina için ahşap çerçeveli tek camlı pencere ve **termostatik vanasız** durumda farklı izolasyon kalınlık alternatifleri ve farklı kazan hallerindeki değişimi



Şekil 10. Karlılık oranlarının mevcut bina için ahşap çerçeveli tek camlı pencere ve **termostatik vanalı** durumda farklı izolasyon kalınlık alternatifleri ve farklı kazan hallerindeki değişimi

Mevcut binadaki 84 alternatif hal içinde karlılık açısından bir sıralama yapılmıştır. Elde edilen sıralamadaki ilk 10 hal **Tablo 6'da** gösterilmiştir. Bu tabloda aynı zamanda gerekli ilave yatırım değeri ve toplam yıllık maliyet değerine de bilgi olarak yer verilmiştir. Öncelikle pencerelerin değiştirilmesi pahalı bir yatırım olduğundan karlılık oranı olarak ilk 10 sıraya hiç girememiştir. Bütün incelenen haller arasında %75 karlılık değeriyle en karlı yatırım; binada izolasyonu 1 cm artırmak ve radyatörlere termostatik vana takmaktır. Termostatik vana + izolasyonu 2 cm artırmak ikinci en iyi çözümdür. Bu durumlarda kazanı da yoğuşmalı kazana çevirmek arkadan gelen en iyi üçüncü ve dördüncü çözümlerdir.

Tablo 6. Mevcut bina için bütün hesaplar sonucu **karlılık oranı** en yüksek ilk 10 çözüm

Pencere	Termostatik vana	Kazan	İzolasyon kalınlığı	Karlılık Oranı	Gerekli ilave yatırım	Yıllık toplam maliyet
TCP: Tek camlı ÇCP: Çift camlı	(-) : yok (+) : var		(cm)	(%)	(EURO)	(EURO)
TCP	+	Standart	3	0,75	7775	36607
TCP	+	Standart	4	0,59	11935	36506
TCP	+	Yoğuşmalı	3	0,42	27460	35971
TCP	+	Yoğuşmalı	4	0,40	31620	35999
TCP	+	DSK	3	0,38	22880	37775
TCP	-	Standart	3	0,38	4160	39897
TCP	+	DSK	4	0,36	27040	37733
TCP	-	Standart	4	0,35	8320	39689
TCP	+	Standart	5	0,34	24415	38434
TCP	-	Yoğuşmalı	3	0,33	23845	38822

Kriter olarak toplam yıllık maliyetin minimizasyonu ele alındığında, yakıt maliyetindeki tasarruf sıralamada daha etkili olmaktadır. Amortisman süresi 5 yıl kabul edilerek ve EURO bazında enflasyon oranı da %10 alınarak hesaplanan 84 hal arasındaki sıralamada ilk 10 sırayı alanlar **Tablo 7'de** verilmiştir. Yine bütün uygun yatırımlarda pencere değişimi bulunmamaktadır. Ancak termostatik vana kullanımı ve yoğuşmalı kazan kullanımı en iyi yatırımlar olarak ilk sıralara çıkmaktadır. İzolasyon kalınlığı ise 3 ve 4 cm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 7. Mevcut binada **yıllık toplam maliyeti en düşük** ilk 10 çözüm sıralaması (Toplam maliyet hesabında amortisman süresi 5 yıl ve EURO bazında enflasyon oranı %10 kabulüyle).

Pencere	Termostatik vana	Kazan	İzolasyon kalınlığı	Karlılık Oranı	Gerekli ilave yatırım	Yıllık toplam maliyet
TCP: Tek camlı ÇCP: Çift camlı	(-) : yok (+) : var		(cm)	(%)	(EURO)	(EURO)
TCP	+	Yoğuşmalı	3	0,42	28727	35971
TCP	+	Yoğuşmalı	4	0,40	27658	35999
TCP	+	Standart	4	0,59	33357	36506
TCP	+	Standart	3	0,75	34555	36607
TCP	+	DSK	4	0,36	30600	37733
TCP	+	DSK	3	0,38	31740	37775
TCP	+	Yoğuşmalı	5	0,32	26448	38081
TCP	+	Standart	5	0,34	31993	38434
TCP	-	Yoğuşmalı	4	0,32	31358	38746
TCP	-	Yoğuşmalı	3	0,33	32532	38822

SONUÇ

Türkiye’de de binalarda enerji tasarrufuna sadece ısı yalıtımı bakış açısıyla yaklaşmıştır. Yani **binalardaki ısı kaybı minimize edilmeye çalışılmıştır**. Son olarak yeniden düzenlenen TS 825 numaralı zorunlu standart ve buna dayanan Bayındırlık Bakanlığı Şartnamesi yine ısı yalıtımını tek boyutlu olarak esas almaktadır. Halbuki ana amaç, **binalarda ısıtma amacıyla tüketilen yakıtın azaltılması olmalıdır**. yakıt tasarrufu konusundaki optimizasyonda sadece ısı yalıtımı değil, aynı zamanda mekanik tesisatın verimliliği de ele alınmalıdır. Dünyadaki, örneğin Almanya’daki yaklaşım da bu şekildedir.

Bu araştırmada bir bina simülasyon programı yardımıyla örnek bir yapıda, ısı yalıtımıyla birlikte sıcak su kazanı ve ısıtma sistemi optimizasyonu birlikte ele alınmıştır.

Yeni yapılan binalarda sistem optimizasyonu baştan yapıma imkanı olduğundan daha etkindir. Yanlış yapılmış bir seçimi düzeltme gerekmediğinden seçenekler arasında maliyet farkları daha azdır.

Yeni projelendirilen bir binada referans hal olarak hiç bir yalıtım olmayan ve en ucuz ısıtma sistemi ele alınmıştır. Bu en ucuz ve en fazla yakıt tüketen durumdan hareketle en karlı yatırım; plastik çerçeveli çift camlı pencere, termostatik vanalı radyatörler ve Düşük Sıcaklık Kazanı kullanılmasıdır. İzolasyon kalınlığı 3 cm değeriyle sınırlandırılmalıdır.

Kriter olarak toplam yıllık maliyetin minimizasyonu kullanıldığında, sıralama bir öncesine göre fark etmektedir. Yakıt maliyetlerinin ağırlığı daha öne çıkmakta, daha fazla yatırım gerektiren ama daha fazla kazanç sağlayan çözümler ilk sıralara çıkmaktadır. Yıllık yakıt maliyetini minimize eden çözüm çift camlı pencereli, termostatik vanalı ve yoğuşmalı kazanlı bina olmaktadır. İzolasyon kalınlığı ise 4 cm değerindedir.

Mevcut bina halinde binanın bir önceki yalıtım yönetmeliğine uygun olarak 2 cm izolasyon malzemesiyle dıştan izole edildiği kabul edilmiştir. Ayrıca döşeme ve çatı izolasyonları yapılmıştır. Mevcut binada pencere olarak tek camlı ahşap çerçeveli pencere ve kazan olarak standart kazan bulunmaktadır. Termostatik vana kullanılmamıştır. Referans hal bu şekilde tanımlanmaktadır.

Sistem ilave yatırımlarla iyileştirilmek istendiğinde mevcut olan kazan veya pencereler atılacak ve yerine yenileri konulacaktır. İzolasyonun eskisi üzerine ilave edilebileceği kabul edilmiştir.

Mevcut binada pencerelerin değiştirilmesi pahalı bir yatırım olduğundan karlılık oranı çok düşüktür. En karlı yatırım; binada izolasyonu 1 cm artırmak ve radyatörlere termostatik vana takmaktır.

Kriter olarak toplam yıllık maliyetin minimizasyonu ele alındığında, mevcut binada izolasyonun 1 cm artırılması, radyatörlere termostatik vana takılması ve mevcut kazanın yoğuşmalı kazanla değişimi en iyi yatırım olarak çıkmaktadır.

Farklı kriterlerle yaklaşıldığında optimum çözüm belirli ölçüde değişmekle birlikte, bu çalışmada ortaya çıkan ana konu binada kullanılan yakıtın minimize edilmesi amaçlandığında optimum çözümün yalıtım + ısıtma sisteminin birlikte ele alınması gereğidir. Belirli ölçüde yalıtımla birlikte sistemde kullanılan elemanların verim değerlerinin yüksek olması veya kalitesinin iyi olması mutlaka aranmalıdır. Tek başına sadece yalıtımı düşünmek ve bunu maksimize etmeye çalışmak yakıt tasarrufu amacı açısından rasyonel bir yaklaşım değildir.

Bir önceki ısı yalıtımı yönetmeliğinin şart koştuğu kurallar çerçevesinde örnek binanın gerekli izolasyon kalınlığı 2 cm mertebelerindedir. Yeni TS 825 Standardı ve buna dayanılarak çıkarılan Bayındırlık Bakanlığı Şartnamesi sadece yalıtım kalınlıklarını artırmaya yönelik olmasıyla yanlıştır. Bunun yerine doğru bir şartname mekanik tesisatı ve bina kabuğunu birlikte ele alacak bir bakış açısına sahip olmalıdır. Türkiye’nin gerçeklerini içeren bilimsel bir araştırmaya dayanmalıdır.



KAYNAKLAR

- [1] EnEV: Verordnung über energisparenden Wärmeschutz und energisparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Stand 13.07.2001.
- [2] Özar B., Bilgisayar programıyla bir ofis binasında fan coil ve VAV sistemlerinin enerji analizi, Bitirme Ödevi, İTÜ, 2000.
- [3] Arısoy A., Çetegen E., , Gece Soğutmasında Binaların Isıl Performansı, 5. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 1 Mayıs 2002, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞLER

Ahmet ARISOY

1972 yılında İ.T.Ü. Makina Fakültesi'nden Y.Müh unvanıyla mezun olmuştur. 1979 yılında Makina Mühendisliğinde Doktora derecesi, 1992 yılında Isı Tekniği Bilim Dalında Profesörlük unvanı almıştır. 1972 yılından bugüne kadar İTÜ Makina Fakültesinde görev yapmıştır. 1980- 1982 arasında A.B.D. Michigan Üniversitesi Makina Mühendisliği ve Uçak-Uzay Mühendisliği bölümlerinde misafir araştırmacı olarak bulunmuştur. Lisans ve yüksek lisans seviyesinde; Buhar Kazanları, Isıtma Havalandırma, Soğutma, İklimlendirme, Bina Tesisatı, Yanma, Isı ve Kütle Transferi derslerini vermiştir.

Edvin ÇETEGEN

2000 yılında İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2002 yılında Yüksek Mühendis Doktor ünvanını almıştır. 2000 yılından itibaren aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Genel olarak HVAC konularında çalışmaktadır.