

Enerji Performansı Gereksinimlerinin Optimum Maliyet Düzeyinin Türkiye'deki Örnek Bir Ofis Binasında Yapılan İyileştirmeler İçin Hesaplanması

Neşe GANIÇ
A. Zerrin YILMAZ
Stefano P. CORGNATI

ÖZET

Avrupa'da binaların enerji performanslarını artırma ve karbon salımını azaltma hedefiyle 2002 yılında Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD) yürürlüğe girmiştir. İhtiyaç duyulan ilave gereklilikler doğrultusunda, EPBD revize edilmiş ve söz konusu değişiklik 2010 yılında EPBD-recast olarak yayınlanmıştır. EPBD-recast ile "yaklaşık sıfır enerjili bina" ve buna paralel olarak "bina enerji performansı minimum gereksinimlerinin optimum maliyet düzeyi" kavramları ortaya konulmuştur. EPBD-recast ve ilgili yönetmeliğe göre, optimum maliyet düzeylerini belirlemek amacıyla binalar için enerji performansı ve maliyet analizleri karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmeli ve bu değerlendirmeler hem binaların yapımında hem de mevcut binaların iyileştirilmesinde dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada Türkiye'de bulunan örnek bir ofis binası üzerinde çeşitli enerji performansı iyileştirmeleri EPBD ile sunulan yöntemle paralel olarak analiz edilmiştir. Ilımlı kuru iklim bölgesini temsilen Ankara, sıcak nemli iklim bölgesini temsilen ise Antalya ili için örnek ofis binası çalışılmıştır. Çalışma kapsamında örnek ofis binasının karakteristik özellikleri tanımlandıktan sonra, değerlendirmeye alınan enerji performansı iyileştirme senaryoları açıklanmış ve bu senaryolar örnek bina için analiz edilmiştir. Bu iyileştirmeler arasında, bina kabuğunda yapılan iyileştirmelerin yanı sıra, soğutma sistemi ile aydınlatma sisteminde yapılabilecek iyileştirmeler de incelenmiştir.

Her bir iyileştirme senaryosu için, enerji performans analizleri ile bu enerji performanslarının optimum maliyet düzeyi hesaplamaları için gerekli çalışmalar EPBD-recast'e uygun olarak yapılmıştır. Maliyet hesaplarında ise Türkiye için farklı hesaplama süreleri ile değerlendirme yapılmıştır. Çalışma kapsamında, optimum maliyet hesaplarının Türkiye için kullanılmasında oluşan sorunlar ile hesaplamada kullanılması kaçınılmaz olan varsayımların etkisi de tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Binalarda Enerji Performansı, Binalarda Enerji Performansı Direktifi, Optimum Maliyet Düzeyleri

1. GİRİŞ

Binalar, dünyada tüketilen enerjinin ve buna bağlı olarak oluşan karbon salımının büyük bir bölümünden sorumludurlar. Buna karşın,

Abstract:

EU directive on Energy Performance of Buildings (EPBD) came into force in 2002 with the aim of increasing the energy performance of the buildings and decreasing the greenhouse gas emissions. EPBD was revised in accordance with the additional requirements and recast-EPBD was published in 2010. Recast-EPBD introduces new concepts such as "nearly zero energy building" and "cost optimal levels of minimum energy performance requirements". Recast-EPBD and EU Regulation require to assess energy performance and cost analyses for buildings simultaneously in order to define cost optimal levels. These analyses should be performed for both new building design and renovation of existing buildings.

In this study, renovation scenarios are analyzed on an exemplary office building in parallel with the method defined for EPBD. The building is analyzed in Ankara as the representative city for tempered-dry climate and Antalya as the representative city for hot-humid climate. Initially the characteristics of the exemplary building are defined and then renovation scenarios are explained and analyzed for the office building. Beside the renovations regarding building envelope, cooling system and lighting system retrofits are also considered.

For each renovation scenario, energy performance analysis and other studies for the calculation of cost optimal levels are done according to EPBD requirements. The necessary cost calculations are made for Turkey with different calculation periods. Within the scope of this paper, the problems in adaptation of the cost optimal calculation methodology for Turkey are discussed with the effect of assumptions made compulsorily.

Key Words:

Building Energy Performance, EPBD, Cost Optimal Levels

Makale

binalarda alınacak önlemler ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabileceği de son yıllarda yapılan birçok çalışma ile ortaya konulmuştur. Bu nedenle, tüm dünyada olduğu gibi Avrupa Birliği (AB) de binaların enerji performansının artırılması amacı ile mevzuat düzenlemelerinde bulunmuştur. Bu amaçla, 2002 yılında Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD) yayınlanmıştır. EPBD ile tüm AB ülkelerinin binalarda minimum enerji performans seviyelerini belirlemeleri ve binaları enerji performans düzeylerine göre sertifikalandırmaları zorunlu kılınmıştır [1].

Türkiye ise AB mevzuatı uyum süreci çerçevesinde EPBD gerekliliklerine paralel olarak, 2008 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ni yayımlamıştır [2]. Bu ulusal yönetmelik gereğince, tüm binaların sertifikalandırılması amacına yönelik olarak bina enerji performansı ulusal hesap metodu Bep-Tr geliştirilmiş ve 2010 yılında yayınlanmıştır [3].

Bu süreçte, AB'de yeni gelişmeler yaşanmış ve güncel koşullar gözetilerek 2010 yılında EPBD yenilenmiştir. Yeni EPBD, mevcut gereksinimlere ek olarak "maliyet etkin enerji verimliliği" ve "yaklaşık sıfır enerjili bina" kavramlarını da ortaya koymaktadır. Yeni EPBD'ye (EPBD Recast'e) göre her ülke kendi ulusal koşullarına uygun şekilde bir hesaplama yöntemi geliştirmek ve bu yöntemle minimum enerji performans gereksinimlerinin optimum maliyet düzeylerini belirlemekle sorumludur [4]. Tüm AB üyesi ülkelerin üzerinde çalışmakta olduğu bu konunun yakın bir gelecekte AB uyum sürecinde bulunan Türkiye için de bir zorunluluk olacağı öngörülmektedir. Bu sebeple, bu alanda kapsamlı ve uzun soluklu çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

2. BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI REVİZE DİREKTİFİ (EPBD Recast)

2010 yılında yayınlanan AB direktifi ile tüm Avrupa ülkelerinden minimum enerji performans gereksinimlerine ilişkin optimum maliyet düzeylerini hesaplamaları beklenmektedir. Bu hesaplamalar için kullanılacak olan çerçeve metot, yeni direktifi destekleyen ilgili AB yönetmeliği ile açıklanmaktadır ve Avrupa ülkeleri, yayımlanan bu çerçeve metodun yanı sıra kendi ülke koşullarını göz ederek binalar için

ulusal ölçekte optimum maliyet düzeyi hesaplama yöntemini geliştirmek yükümlülüğündedir. Temel olarak, binalarda enerji performansı analizleri ile maliyet analizleri entegre edilerek optimum enerji performans düzeylerinin belirlenmesi ve tüm bina stoğu için genel sonuçlara varılmasını hedefleyen bu çalışma için AB yönetmeliği kapsamında yayımlanan çerçeve metot aşağıdaki altı ana aşamadan oluşmaktadır [4]:

1. Ulusal referans binaların belirlenmesi,
2. Analiz edilecek enerji verimliliği tedbirlerinin belirlenmesi,
3. Referans binalara uygulanacak enerji verimliliği tedbirlerinin sonucunda binalarda tüketilen birincil enerji miktarının hesaplanması,
4. Her bir referans bina için net bugünkü değer yöntemi kullanılarak enerji verimliliği tedbirlerinin maliyetlerinin hesaplanması,
5. Maliyet analizleri için duyarlılık analizlerinin yapılması,
6. Her bir referans bina için enerji performans gereksinimlerinin optimum maliyet düzeyinin belirlenmesi.

2.1. Ulusal Referans Binaların Belirlenmesi

AB mevzuatına göre, enerji performansı gereksinimleri üzerinde maliyet etkinlik analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle bu çalışmalarda kullanılacak ulusal referans binaların belirlenmesi gereklidir. Her bir bina için ayrı ve oldukça detaylı analizlerin yapılması pratik bir yaklaşım olmayacağından, binaların enerji performansını etkileyen tüm parametreler dikkate alınarak en sık görülen bina türlerinin tanımlanması ve böylece analizlerle elde edilen sonuçların olabildiğince fazla sayıda binaya hizmet etmesi istenmektedir [4]. Bu da, iklim, yapım yılı, yönü, büyüklüğü, kabuk özellikleri, iklimlendirme sistemleri gibi binanın enerji performansına etki edecek her bir parametre için bina stoğunu ve genel eğilimi temsil edecek değerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Anlaşılacağı gibi ulusal referans binaların belirlenmesi, binalar hakkında detaylı teknik ve istatistiksel verilerin de analiz edilmesini gerektirmektedir.

Bu kapsamda, her bir bina kategorisinde mevcut

binalar için en az ikişer, yeni binalar için ise en az birer referans binanın belirlenmesi gerekmektedir [5]. Ancak AB direktifinin gerektirdiği şekilde, Avrupa'da konut tipolojileri ve ofis binaları için yapılan çalışmalar ön plana çıkmaktadır [6,7].

İlgili parametreler için referans değerler belirlendikten sonra referans binaların belirlenmesinde iki farklı yol izlenebilir. Bunlardan birincisi, her bir parametresi ile bina stoğunu temsil eden gerçek referans binaların seçilmesi, ikincisi ise, belirlenen her bir parametreye ilişkin referans değerlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş sanal referans binaların belirlenmesidir [8].

2.2. Enerji Verimliliği Tedbirlerinin Belirlenmesi

Binalar için optimum maliyet düzeyinin belirlenmesinde çeşitli enerji verimliliği tedbirlerinin binaların enerji performansına etkisi ve maliyetleri değerlendirilmektedir. Binaların enerji performansına birbirleri ile etkileşimli olarak etki eden birçok parametre olduğundan, enerji verimliliği tedbirlerinin tekil olarak analiz edilmesinin yanı sıra farklı enerji verimliliği tedbirlerini bir arada barındıran enerji verimliliği paketleri de oluşturulabilir. Ayrıca bu şekilde, oldukça verimli ancak yüksek maliyetli olan parametrelerin de bu paketler içinde yer alması sağlanabilmektedir [8].

Optimum maliyet analizleri için bina enerji performansına etki eden sınırsız sayıda enerji verimliliği tedbiri ve paketi belirlenebilmektedir. Ancak açıktır ki tümünün binaların enerji performansı üzerindeki etkisinin ve maliyetinin detaylı şekilde değerlendirilmesi mümkün olmayacaktır. Bu nedenle ulusal düzeydeki analizlerde ele alınacak tedbirlerin konusunda uzman kişilerce ülke çıkarları gözetilerek belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada, mevcut ulusal standartlar ve teşvikler de dikkate alınmalıdır.

2.3. Tüketilen Birincil Enerji Miktarının Hesaplanması

Ulusal referans binalar ve analiz edilecek olan enerji verimliliği tedbirlerinin belirlenmesinin ardından izlenmesi gereken süreç de ilgili AB mevzuatında tanımlanmıştır. Bu aşamada, ele alınacak enerji

verimliliği tedbirlerinin veya bu tedbirlerden oluşan paketlerin referans binalara uygulanması sonucunda tüketilen enerji miktarları hesaplanır. Bu hesaplamaların ilgili AB standartları ya da mevcut bina enerji performansı ulusal hesap metodu kullanılarak yapılması gerekmektedir [5]. İlgili AB standartlarında üç farklı yöntem sunulmaktadır [9]:

1. Aylık/mevsimsel statik hesaplama yöntemi
2. Basit saatlik dinamik hesaplama yöntemi
3. Detaylı dinamik hesaplama yöntemi

Birçok AB ülkesinde aylık/mevsimsel statik hesap metodu kullanılmaktadır. Türkiye'nin bina enerji performansı hesap metodu Bep-Tr ise yarı dinamik bir metod olan basit saatlik metodu esas almaktadır [3]. Ancak bu yöntemler binaların gerçek enerji tüketimlerini göstermemekte, binaların sertifikalandırılması amacı ile eşit koşullar altında karşılaştırma sağlamaktadır. Bu nedenle, Avrupa Komisyonu tarafından optimum maliyet analizlerinde kullanılması tavsiye edilen yöntem detaylı dinamik hesaplama yöntemidir [8].

2.4. Maliyetin Hesaplanması

Enerji performansı analizlerinin yanı sıra bu analizlere entegre bir şekilde değerlendirilmek üzere maliyet analizlerinin yapılması da optimum maliyet hesaplamalarının ana aşamalarından biridir. İlgili AB yönetmeliğine göre maliyet hesaplamaları net bugünkü değer yöntemi kullanılarak yapılmalıdır. Net bugünkü değer yönteminde, gelecek yıllar için hesaplanmış olan kazanç ve maliyetler buldukları yıla ait indirim faktörü ile çarpılarak gelecekteki bu maliyetlerin başlangıç yılına ait değeri bulunur ve değerlendirme bugünkü değer üzerinden yapılır [5].

Optimum maliyet analizleri kapsamında gerçekleştirilen maliyet hesaplarında, değerlendirilen her bir enerji verimliliği tedbiri için sabit olan maliyetler ile binanın enerji performansına etki etmeyen bina elemanlarına ait maliyetler hesaba katılmaz, diğer tüm maliyetler değerlendirmeye alınır [5].

Maliyet hesapları konut işlevli binalar ile kamu binaları için 20 yıllık, diğer binalar için 30 yıllık hesap-

Makale

lama dönemleri için yapılmalıdır. Hesaplama için ise, iki farklı hesap şekli sunulmaktadır. Bunlardan biri kişisel harcamaları dikkate alan finansal hesaplama iken, diğeri makroekonomik hesaplama. Finansal hesaplama, ilk yatırım maliyetleri, işletim maliyetleri, enerji giderleri ve binanın ömrünün sona ermesiyle oluşan bertaraf bedeli hesaplamalara dahil edilir. Bu hesaplamada vergiler de hesaplamada kullanılır ve aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanır [5].

$$C_g(\tau) = C_l + \sum_j [\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j)] \quad (1)$$

τ : hesaplama süresi
 $C_g(\tau)$: toplam maliyet
 C_l : ilk yatırım maliyeti
 $C_{a,i}(j)$: yıllık giderler
 $V_{f,\tau}(j)$: binanın, hesaplama süresi sonunda kalan bedeli
 $R_d(i)$: i yılı için indirim oranı, eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^p \quad (2)$$

r : reel indirim oranı
p : hesaplama başlangıç yılından itibaren geçen yıl sayısı

Diğer hesap şekli olan makroekonomik hesaplama, finansal hesaplama dikkate alınan maliyet kategorilerinin dışında sera gazı salımlarının maliyetleri de hesaba katılır, buna karşın vergiler hesaba katılmaz ve aşağıdaki formül ile hesaplanır [5].

$$C_g(\tau) = C_l + \sum_j [\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) + C_{c,i}(j) - V_{f,\tau}(j)] \quad (3)$$

$C_{c,i}(j)$: karbon fiyatı

Maliyet hesaplamalarında birim fiyat verilerine, bina elemanlarının ve binaların yaşam ömürlerine ve ilgili finansal verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Birim fiyatlar, yürürlükte olan piyasa fiyatları derlenerek elde edilebilmektedir. Bina elemanlarının yaşam ömürleri için, EN 15459 isimli Avrupa standardı referans gösterilmiştir [10]. Binaların yaşam ömürleri için ise, ulusal düzeyde karar verilmesi gerekmektedir.

Finansal verilerin kullanımında çeşitli değişkenler için duyarlılık analizlerinin yapılması istenmektedir.

2.5. Duyarlılık Analizlerinin Yapılması

AB çerçeve dokümanında sunulan çerçeve metot gereğince, optimum maliyet analizleri gerçekleştirilirken, indirim oranları, enerji fiyatlarındaki artış ve diğer tüm gerekli veriler için duyarlılık analizlerinin gerekmektedir. Duyarlılık analizlerinin amacı, optimum maliyet analizleri için en önemli parametrelerin belirlenmesidir [5].

2.6. Bina Enerji Performansının Optimum Düzeyinin Belirlenmesi

Gerçekleştirilen tüm analizlerin sonucunda, her bir referans bina için enerji verimliliği tedbirlerinin uzun dönem maliyetleri karşılaştırılarak optimum maliyet düzeyleri belirlenir. Burada amaç, enerji performansı analizleri ile maliyet analizlerini entegre ederek, binalarda en az maliyetle en fazla enerji verimliliğini sağlayan parametreleri tespit etmektir.

3. OPTİMUM MALİYET ANALİZLERİNİN TÜRKİYE'DEKİ ÖRNEK BİR OFİS BİNASINA UYGULANMASI

Bu çalışmada, AB yönetmeliği ile tanımlanan çerçeve metot izlenerek, Türkiye için örnek bir hesaplama yapılmıştır.

3.1. Örnek Binaların Tanımlanması

Yukarıda bahsedildiği gibi, optimum maliyet analizlerinde ilk aşama referans binaların belirlenmesidir ve bu aşama oldukça detaylı analizler ile istatistiksel verilere ihtiyaç duymaktadır. Ancak Türkiye'de temsili referans binaların belirlenmesi ile ilgili herhangi bir çalışma henüz bulunmadığından, bu çalışmada örnek bir bina kullanılarak, metodun ulusal koşullara adaptasyonunda karşılaşılabilecek güçlüklerin belirlenmesi amaçlanmıştır [11].

Ele alınan bina, beş katlı sanal bir ofis binasıdır. Plan tipi, daha önce bina enerji performansı ulusal hesap metodu Bep-Tr'nin test çalışmaları için kullanılmış olan ofis binasından türetilmiştir. Bu binanın mevcut ulusal standartlardan önce inşa edilmiş ve yenileme-

ye ihtiyaç duyan bir bina olduğu kabul edilmiştir. Her katı birbiri ile aynı ve 900m² olan ofis binası Şekil 1’de görüldüğü şekilde her katta yedi farklı ısıl zona ayrılmıştır. Cephede bulunan ve dış etkilerden etkilenen açık ofis işlevli zonların her biri 144 m², dış etkilerden etkilenmeyen iç ofis zonlarının her biri 72 m² ve çekirdek zonu 180 m²dir.

Ofis binasının bina kabuğu, ısı yalıtım malzemesi kullanılmadığı varsayılarak belirlenmiştir. Bina kabuğunun opak bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayıları (U katsayısı) Tablo 1’de verilmiştir.

Analiz edilen ofis binasının cephesi %50 saydamlık oranına sahiptir ve pencerelerinin plastik doğramalı



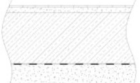
ve 4mm düz camlı olduğu kabul edilmiştir. Camın saydamlık oranı (T_{vis}) 0,89, güneş enerjisi kazanç değeri (SHGC) 0,86 ve U katsayısı 5,7 W/m²K dir.

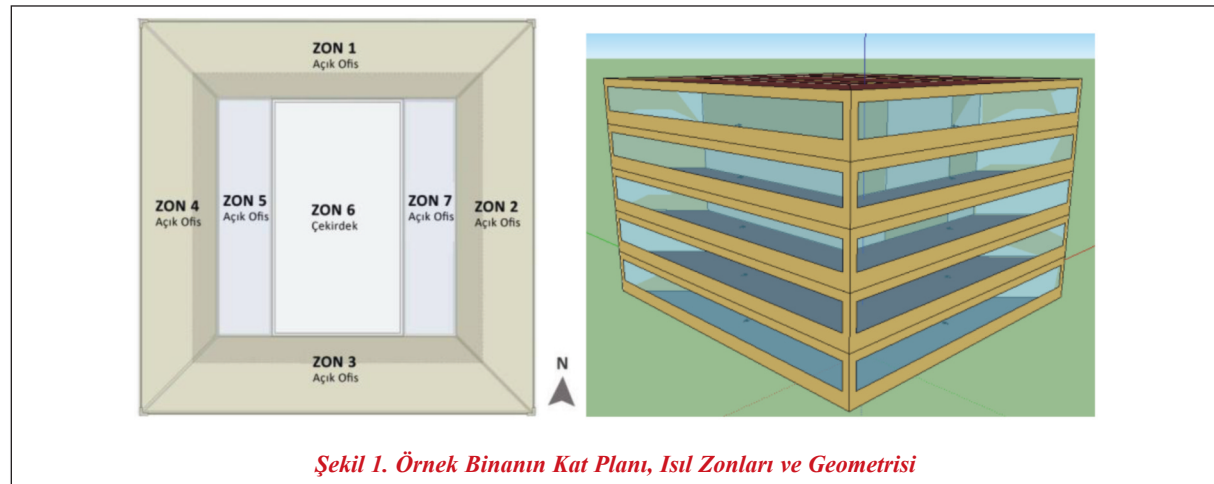
Ele alınan binada kullanıcı yoğunluğu 9,3 m²/kişidir, bu kullanıcıların 09:00-18:00 saatleri arasında binada buldukları dikkate alınmıştır ve iklimlendirme sistemi de aynı saatler arasında çalışmaktadır. Isıtma ayar sıcaklığı 21°C ve soğutma ayar sıcaklığı 26°C olarak belirlenmiştir. Binanın ısıtma enerjisi sıcak sulu kazan ve soğutma enerjisi de soğutma grubu ile karşılanmakta ve fan coil üniteleri ile de dağıtımı yapılmaktadır. Binanın iklimlendirme sisteminin de bina ile aynı şekilde yenilemeye ihtiyaç duyduğu ve %80 verimlilikteki kazan ile 1,5 performans katsayısına

(COP değerine) sahip soğutma grubundan oluştuğu kabul edilmiştir. Binanın aydınlatması ise %70 kompakt floresan ve %30 enkandesan lambalar ile sağlanmaktadır. Enkandesan lambaların 60W, flüoresan lambaların ise 12 Watt gücünde olduğu kabul edilmiştir.

Örnek ofis binası, hem Ankara hem de Antalya iklim koşullarında analiz edilerek, hem sıcak nemli hem de ılımlı kuru iklim

Tablo 1. Bina Kabuğu Opak Bileşenlerinin Isıl Geçirgenlik Katsayıları

Çizim	Kabuk bileşeni	Katmanlaşma	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik (W/mK) [10]	U değeri
	Dış Duvar	Dış sıva	0,03	1,4	1,02 W/m ² K
		Düsey Delikli Tuğla	0,19	0,25	
		İç Sıva	0,02	0,7	
	Çatı	Çatı kaplaması	0,015	1,5	1,78 W/m ² K
		Hava boşluğu	0,05	-	
		Su yalıtımı	0,006	0,1	
		Şap	0,04	1,65	
		Betonarme Döşeme	0,12	2,5	
	Zemine Oturan Döşeme	Tavan sıvası	0,02	0,7	1,60 W/m ² K
		Grobeton	0,15	1,65	
		Su yalıtımı	0,006	0,1	
		Betonarme temel	0,4	2,5	
		Düzeltilme şapı	0,04	1,65	
Laminat Parke	0,015	0,20			



Şekil 1. Örnek Binanın Kat Planı, Isıl Zonları ve Geometrisi

Makale

bölgesi ele alınmıştır ve Türkiye'deki bu iki farklı iklim koşulunun analizler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

3.2. Optimum Maliyet Hesaplamalarının Örnek Binaya Uygulanması

Çalışma kapsamında, seçilmiş olan örnek ofis binasının bina kabuğu, soğutma sistemi ve aydınlatma sisteminde gerçekleştirilen iyileştirmelerin binanın enerji performansı ve maliyeti üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Analiz edilecek senaryolar belirle-

nirken, Türkiye'de yaygın olarak karşılaşılan iyileştirmeler göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 2'de çalışma kapsamında ele alınan senaryolar açıklanmıştır. Görüldüğü üzere, bina kabuğu iyileştirmelerinde iki farklı ısı yalıtım düzeyi incelenmiştir:

- Isı yalıtım düzeyi 1: TS 825 standardınca izin verilen maksimum U katsayılarına uygun olarak ısı yalıtım katmanı ilave edilerek yenilenmiş bina kabuğunu temsil etmektedir.

Tablo 2. Analiz Edilen İyileştirme Senaryoları

Tablo 2. Analiz Edilen İyileştirme Senaryoları					
Mevcut Bina					
Senaryo 1	= Isı yalıtım düzeyi 1				
Senaryo 2	= Isı yalıtım düzeyi 2				
Senaryo 3	=				Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 4	= Isı yalıtım düzeyi 1				+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 5	= Isı yalıtım düzeyi 2				+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 6	=	Pencere iyileştirme			+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 7	=		Gölgeleme elemanı		+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 8	=			%100 kompakt floresan lamba	+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 9	= Isı yalıtım düzeyi 1	+ Pencere iyileştirme			+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 10	= Isı yalıtım düzeyi 2	+ Pencere iyileştirme			+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 11	= Isı yalıtım düzeyi 1		+ Gölgeleme elemanı		+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 12	= Isı yalıtım düzeyi 2		+ Gölgeleme elemanı		+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 13	=	Pencere iyileştirme	+ Gölgeleme elemanı		+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 14	= Isı yalıtım düzeyi 1	+ Pencere iyileştirme	+ Gölgeleme elemanı		+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 15	= Isı yalıtım düzeyi 2	+ Pencere iyileştirme	+ Gölgeleme elemanı		+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 16	= Isı yalıtım düzeyi 1	+ Pencere iyileştirme	+ Gölgeleme elemanı	+ %100 kompakt floresan lamba	
Senaryo 17	= Isı yalıtım düzeyi 2	+ Pencere iyileştirme	+ Gölgeleme elemanı	+ %100 kompakt floresan lamba	
Senaryo 18	= Isı yalıtım düzeyi 1	+ Pencere iyileştirme	+ Gölgeleme elemanı	+ %100 kompakt floresan lamba	+ Aydınlatma Kontrolü
Senaryo 19	= Isı yalıtım düzeyi 2	+ Pencere iyileştirme	+ Gölgeleme elemanı	+ %100 kompakt floresan lamba	+ Aydınlatma Kontrolü

- Isı yalıtım düzeyi 2: TS 825 standardınca izin verilen maksimum U katsayılarından daha düşük U katsayısını sağlayacak şekilde ısı yalıtım katmanı ilave edilerek yenilenmiş bina kabuğunu temsil etmektedir [12].

Bina kabuğunda ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılan 0,40 W/mK ısı iletkenlik değerine sahip ekstrüde polistren levha kalınlığının değiştirilmesi ile elde edilen U katsayıları Tablo 3'te sunulmaktadır.

Örnek binaya uygulanan pencere iyileştirmesi, mevcut pencerelerin saydamlık oranı (T_{vis}) 0,71, güneş enerjisi kazanç değeri (SHGC) 0,44 ve U katsayısı 1,6 W/m²K özelliklerine sahip pencereler ile değiştirilmesini kapsamaktadır. Önerilen gölgeleme elemanları ise, güney yönünde yatay, doğu ve batı yönünde ise düşey olarak yerleştirilmiş sabit alüminyum gölgeleme elemanlarıdır. Gölgeleme elemanlarının cepheler üzerindeki yerleşimleri Şekil 2'de görülmektedir.

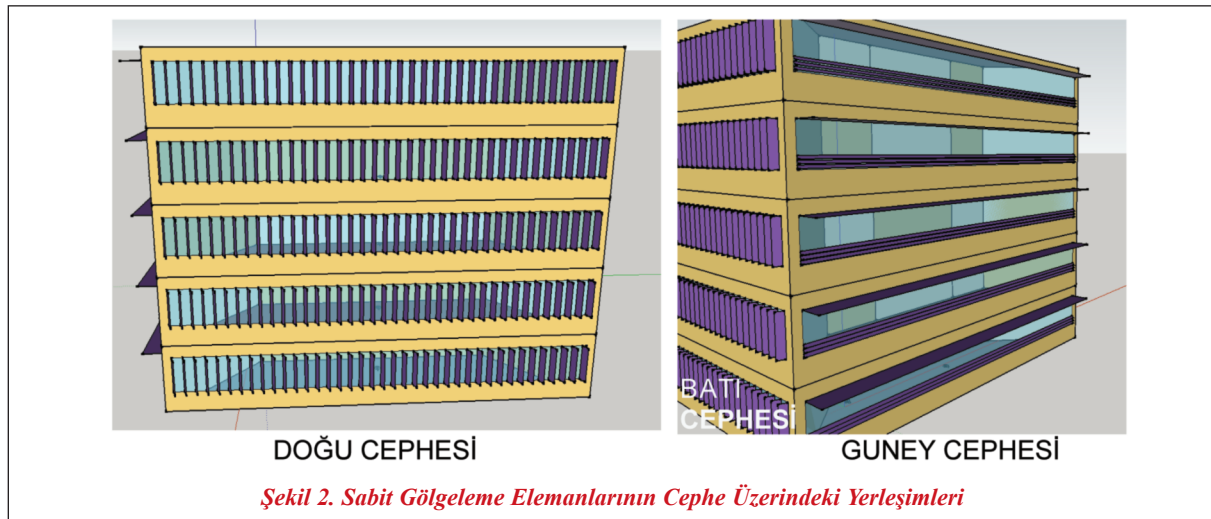
Bina kabuğuna ilişkin bu iyileştirmelerin yanı sıra,

aydınlatma sisteminde de iyileştirme önerileri analiz edilmiştir. Bu iyileştirmelerden biri ofis binasındaki lambaların %30'unu oluşturan 60w gücündeki enkandesan lambaların 12 W gücündeki kompakt floresan lambalar ile değiştirilmesidir. Bu değişiklik analiz edilirken, mevcut binada sağlanmış olan aydınlık düzeyinin korunması dikkate alınmıştır. Diğer iyileştirme ise, analiz edilen ofis binasına gün ışığına duyarlı otomatik kontrollü aydınlatma sistemi kurulmasıdır.

Tablo 2'de yer alan tüm senaryolara ek olarak, ofis binalarının soğutma yükü de göz önünde bulundurulmuş ve çalışma kapsamında soğutma grubunun verimliliğinin etkisi de incelenmiştir. Bu amaçla soğutma grubunun performans katsayısı (COP değeri), A)1,5 ve B) 4,5 olarak iki farklı şekilde analiz edilmiş ve senaryolar bu parametreye bağlı olarak isimlendirilmiştir (örneğin Senaryo 1A, Tablo 2 ile verilen Senaryo 1 için soğutma grubu COP değerinin 1,5 olduğu senaryoyu, Senaryo 1B ise 4,5 olduğu senaryoyu ifade etmektedir).

Tablo 3. İncelenen Isı Yalıtım Düzeylerinin Temsil Ettiği U Katsayıları TS 825 ile İzin Verilen Maksimum Değerler

	TS 825 ile izin verilen maksimum değerler (W/m ² K)			Isı yalıtım düzeyi 1 (W/m ² K)			Isı yalıtım düzeyi 2 (W/m ² K)		
	U_{duvar}	$U_{çatı}$	$U_{döşeme}$	U_{duvar}	$U_{çatı}$	$U_{döşeme}$	U_{duvar}	$U_{çatı}$	$U_{döşeme}$
Ankara	0,5	0,3	0,45	0,47	0,27	0,43	0,37	0,23	0,3
Antalya	0,7	0,45	0,7	0,68	0,45	0,7	0,45	0,32	0,52



Makale

Her bir yenileme senaryosunun seçilen ofis binasına uygulanması sonucunda oluşan yıllık ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimleri detaylı dinamik metot kullanılarak hesaplanmıştır. Detaylı dinamik hesaplama metodunu temsilen EnergyPlus yazılımı kullanılmış ve bina geometrisinin tanıtılmasında, Google SketchUp yazılımı için geliştirilen Legacy Open Studio eklentisinden yararlanılmıştır. EnergyPlus, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı tarafından oluşturulmuş, binalarda enerji analizi ve ısı yük simülasyon yazılımıdır [13]. Legacy Open Studio eklentisi ise, EnergyPlus yazılımına veri girişi sırasında bina geometrisini oluşturmak ve düzenlemek amacıyla geliştirilmiş bir eklentidir. Bu yolla hesaplanan enerji tüketimleri, birincil enerji dönüşüm katsayıları ile çarpılarak toplam birincil enerji tüketimi hesaplanmıştır. Türkiye için birincil enerji dönüşüm katsayıları doğalgaz için 1, elektrik için ise 2,36'dır.

Bu çalışma kapsamında ele alınan yenileme senaryolarının binanın enerji performansı üzerindeki etkisinin yanı sıra Türkiye koşullarında maliyet üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Hesaplamaların amacına uygun olarak, yalnızca ilk yatırım maliyetleri değil, kullanım dönemine ait maliyetler de dikkate alınmıştır. Böylece enerji verimliliği tedbirlerine ait birim fiyatlar için hesaplamaların yapıldığı 2011 yılı Bayındırlık ve İskan Bakanlığı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları kullanılmıştır [14]. Ancak bu veritabanında yer almayan kimi tedbirler ile enerji tüketimleri için birim fiyatlar, 2011 yılı güncel piyasa fiyatları kullanılarak hesaba katılmıştır. Maliyet hesaplamalarında kullanılan bu veriler Tablo 4 ile verilmiştir.

Tablo 4. Maliyet Hesaplamalarında Kullanılan Değerler

Doğalgaz birim fiyatı	0,06609915 TL/kWh [13]
Elektrik birim fiyatı	0,25386 TL/kWh [14]
Enflasyon Oranı	%10,45
Piyasa Faiz Oranı	%15
Enerji Verimliliği Tedbirleri için malzeme ve işçilik fiyatları	2011 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları [14]

Maliyet hesaplamaları, 30 yıllık, 20 yıllık, 10 yıllık ve 5 yıllık olmak üzere farklı hesaplama süreleri için yapılmıştır.

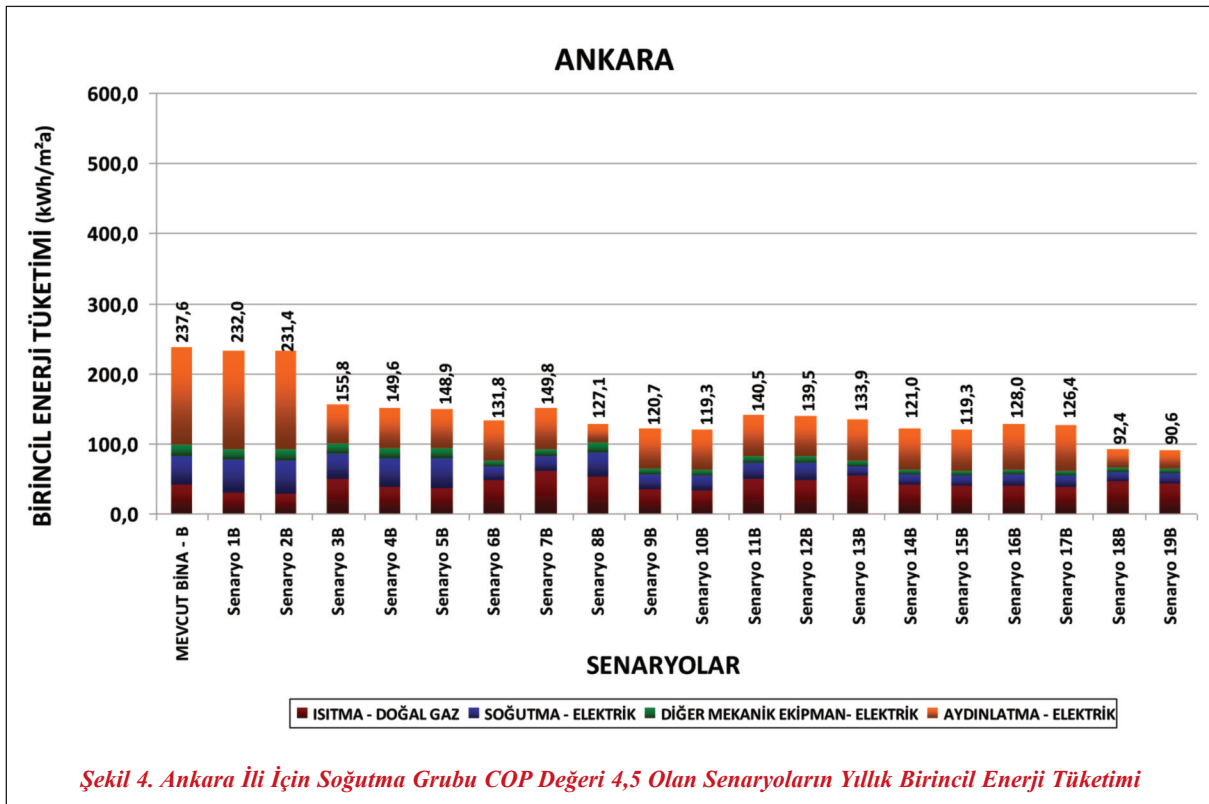
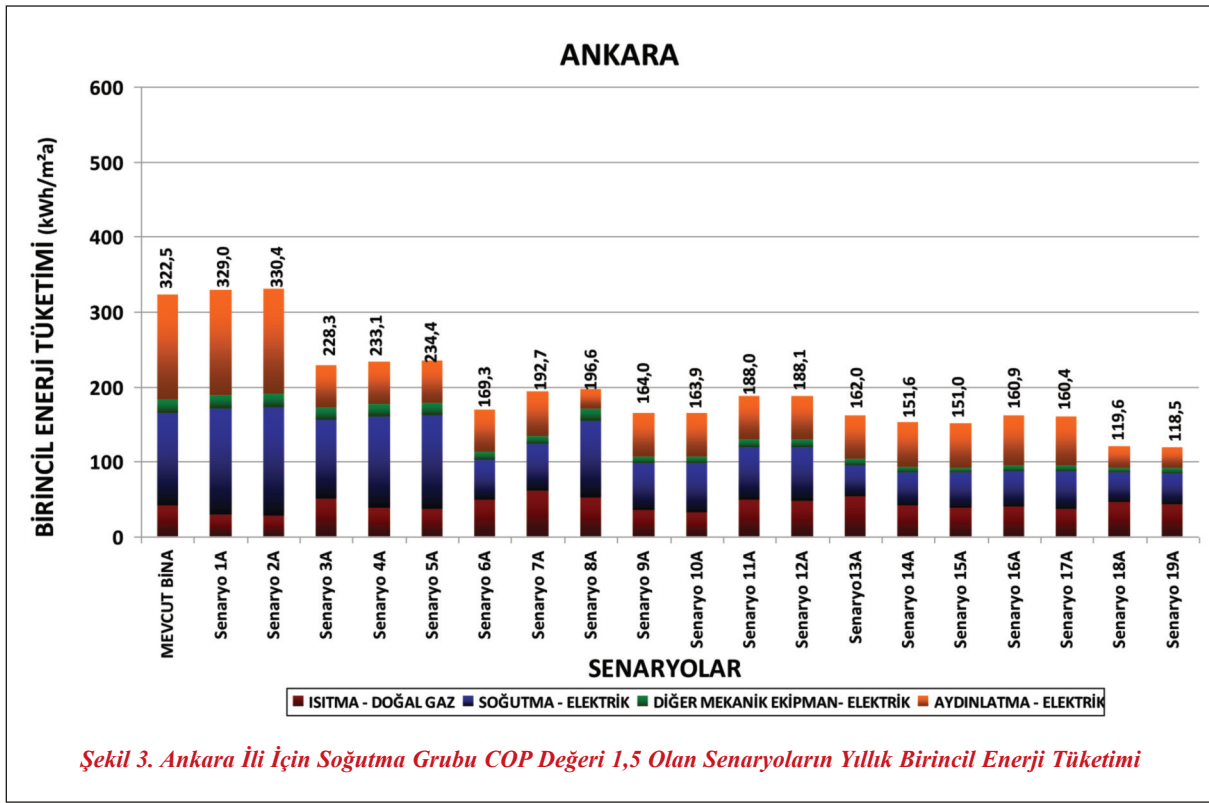
Çalışmanın son aşamasında, ele alınan yenileme senaryoları üzerinde yapılan araştırmalardan elde edilen bina enerji performansı hesaplama sonuçları ile maliyet hesaplamalarının sonuçları entegre edilmiş ve birlikte değerlendirilmiştir.

4. HESAPLAMA SONUÇLARI

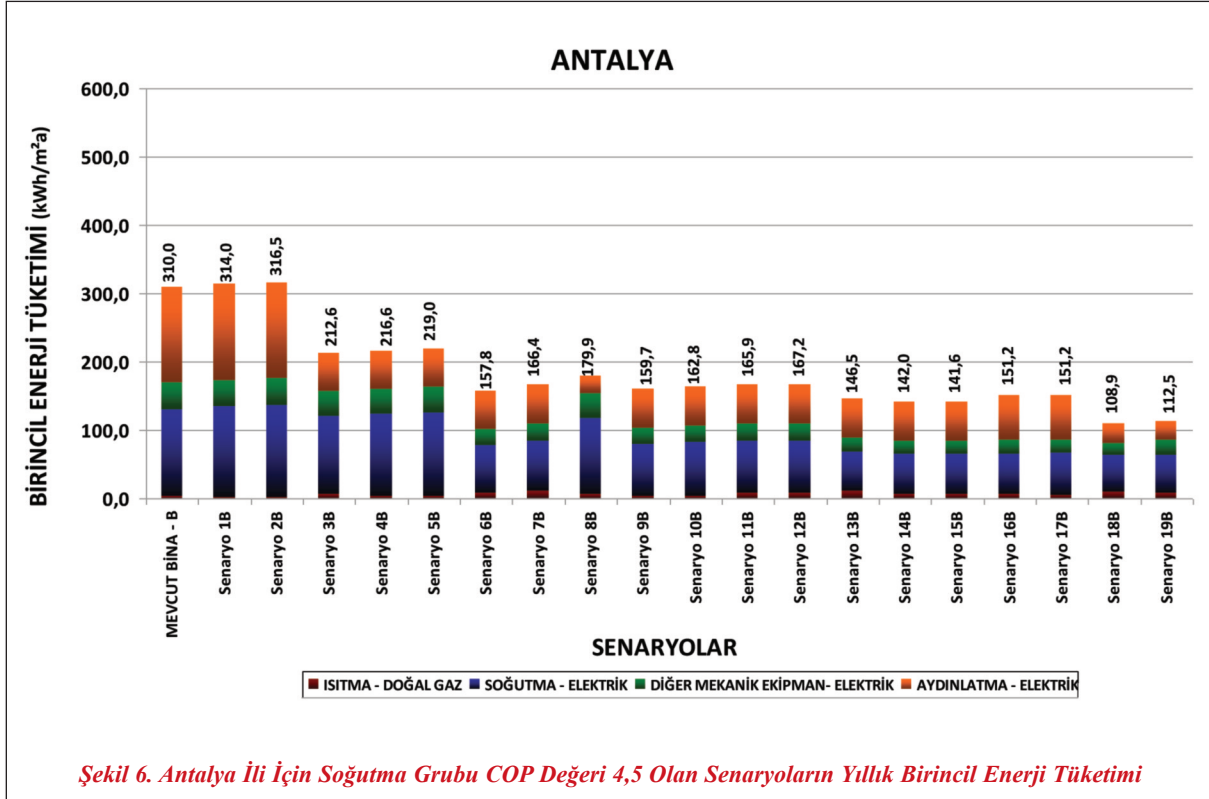
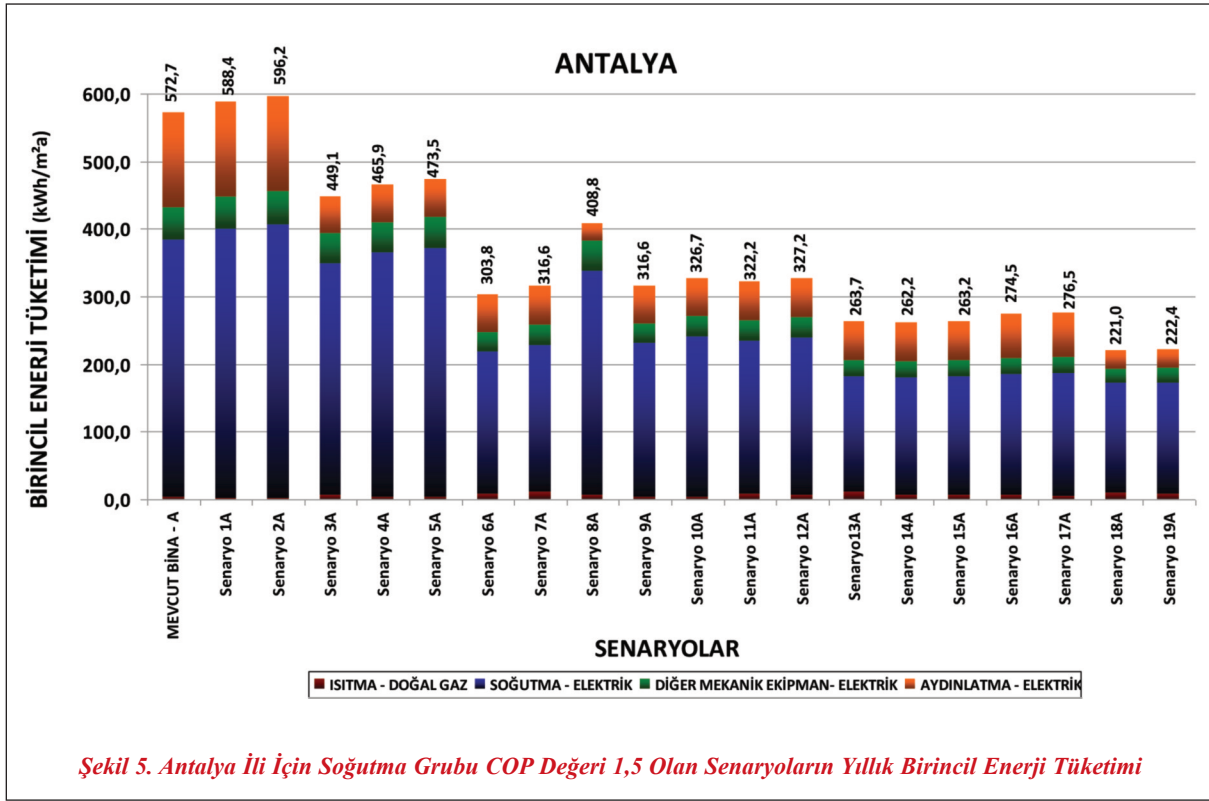
Üçüncü bölümde açıklanmış olan yöntem uygun olarak Türkiye için gerçekleştirilen analizler sonucunda, her bir yenileme senaryosu için ofis binasının yıllık birincil enerji tüketimleri belirlenmiştir. Senaryoların örnek binaya uygulanması sonucunda elde edilen yıllık birincil enerji tüketimi miktarları Ankara iklimi ile değerlendirilen senaryolar için Şekil 3 ve 4'te, Antalya iklimi ile değerlendirilen senaryolar için ise Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.

Şekil 3 ve 4 ile verilen sonuçlardan görüldüğü gibi, Ankara ilinde dahi ofis binasında önemli ölçüde soğutma yükü oluşmaktadır. Bunun sebebi, ofis tipolojisinde iç ısı kazançlarının oldukça yüksek olması ve saydam yüzeyler aracılığıyla güneş kazançlarının da ısı kazancı sağlamasıdır. Ayrıca, Şekil 3 ve Şekil 4 karşılaştırıldığında, soğutma sistemi verimliliğinin de diğer parametrelerin analizleri üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Özellikle, soğutma sisteminin elektrik enerjisi kullanıyor olması ve elektriğin birincil enerji dönüşüm katsayısının yüksek olması, bu durumu desteklemektedir. Tüm bunların yanı sıra, soğutma sistemi verimliliği aynı zamanda optimum maliyet analizlerinin sonuçlarını da etkilemektedir. Örneğin, soğutma grubunun COP değeri

1,5 olan A grubu analizlerde (Şekil 3), ısı yalıtım seviyesinin yükselmesi olumsuz sonuç verirken, soğutma grubu COP değeri 4,5 olan B grubu analizlerde (Şekil 4) olumlu sonuç vermektedir.



Makale



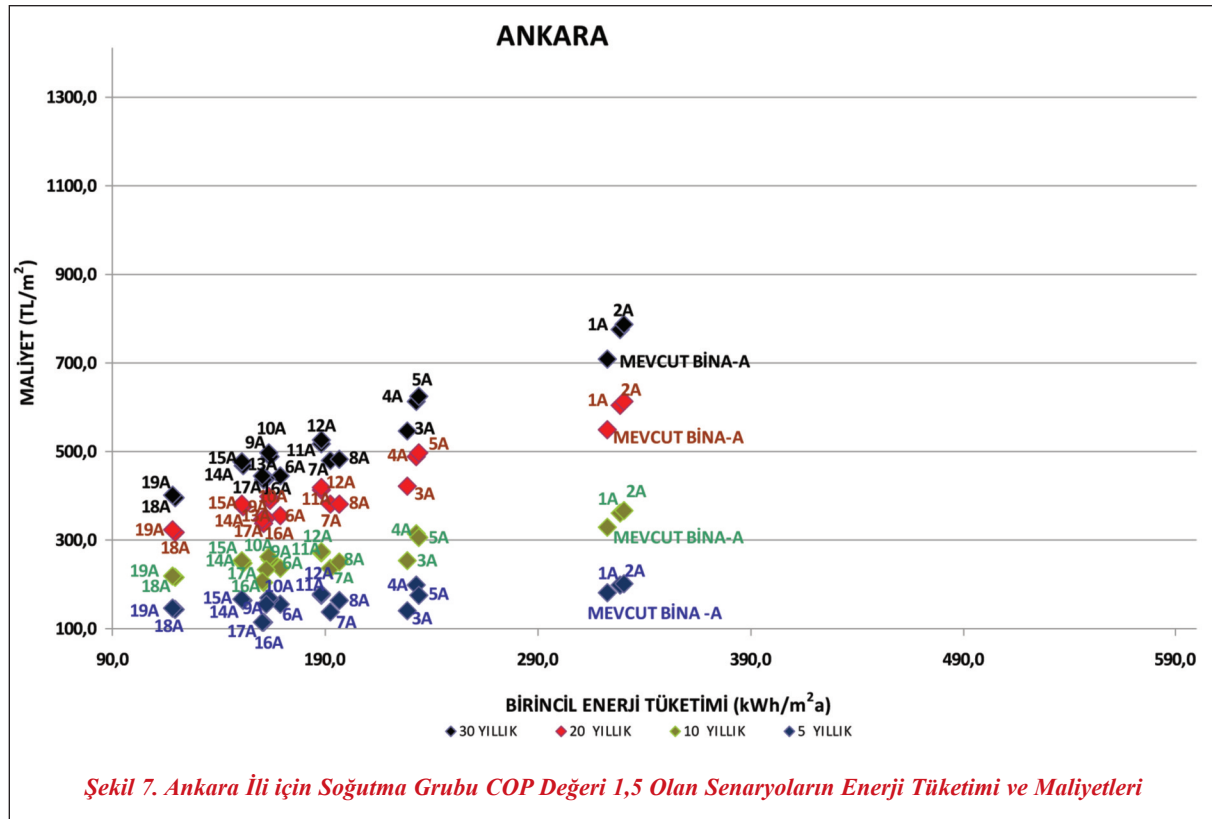
Şekil 5 ve 6'dan görüldüğü gibi, Antalya ili için soğutma yükleri Ankara'ya kıyasla daha ön plandadır, ısıtma yükleri ise binanın enerji performansına oldukça az etki etmektedir. Bu nedenle mevcut soğutma grubunun daha verimli bir soğutma grubu ile değiştirilmesinin analiz edilen bu ofis binasının birincil enerji tüketiminin azaltılmasındaki payı büyüktür. Ayrıca cepheye gölgeleme elemanı ilave edilmesi (Senaryo 7) ya da güneş enerjisi geçirgenliği düşük olan camların kullanılması (Senaryo 6) gibi soğutma yüklerinin azalmasında etkili olan yenilemeler olumlu sonuçlar vermiştir. Buna karşın, ısıtma yükünün azaltılmasında etkili olan ısı yalıtım seviyesinin artırılması gibi önlemler ise yıllık birincil enerji tüketimini arttırmaktadır.

Ankara ve Antalya illeri için elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında ise, soğutma yüklerine bağlı olarak Antalya'daki enerji tüketimlerinin Ankara'ya oranla yüksek çıktığı görülmektedir.

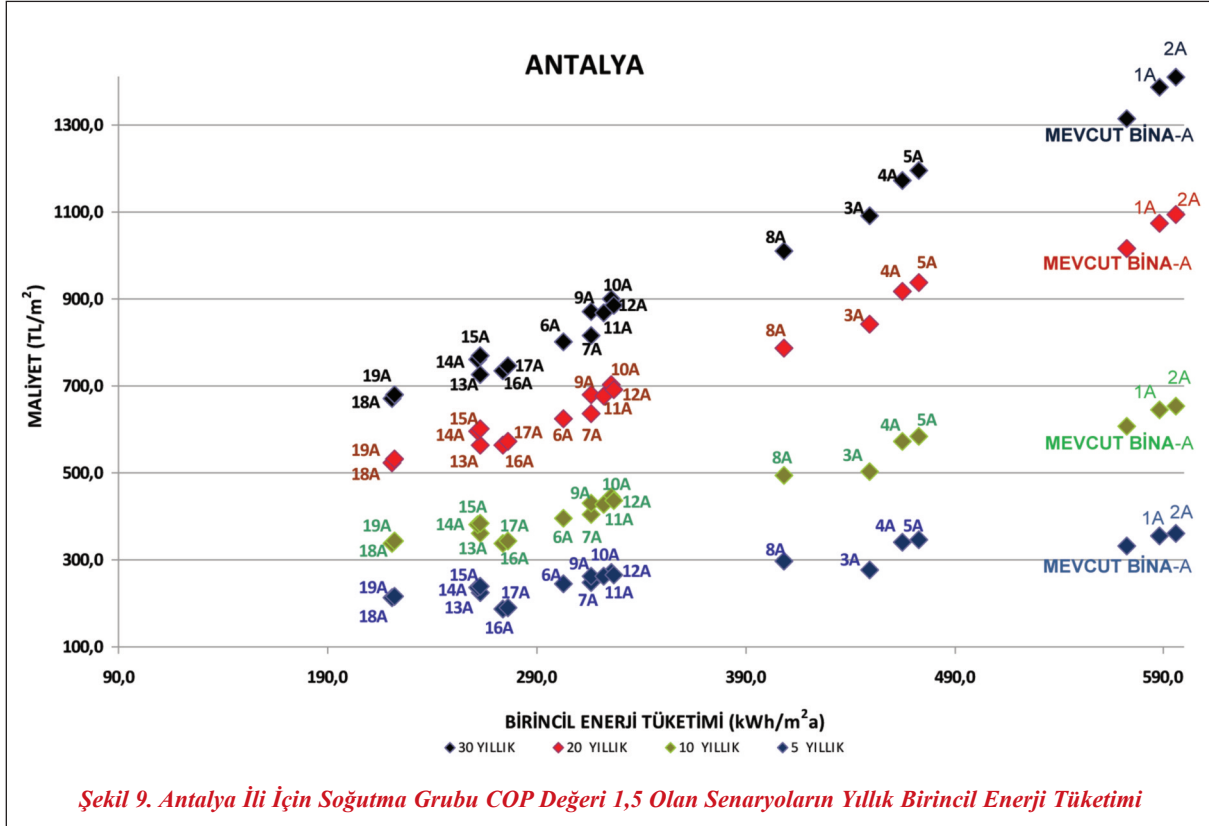
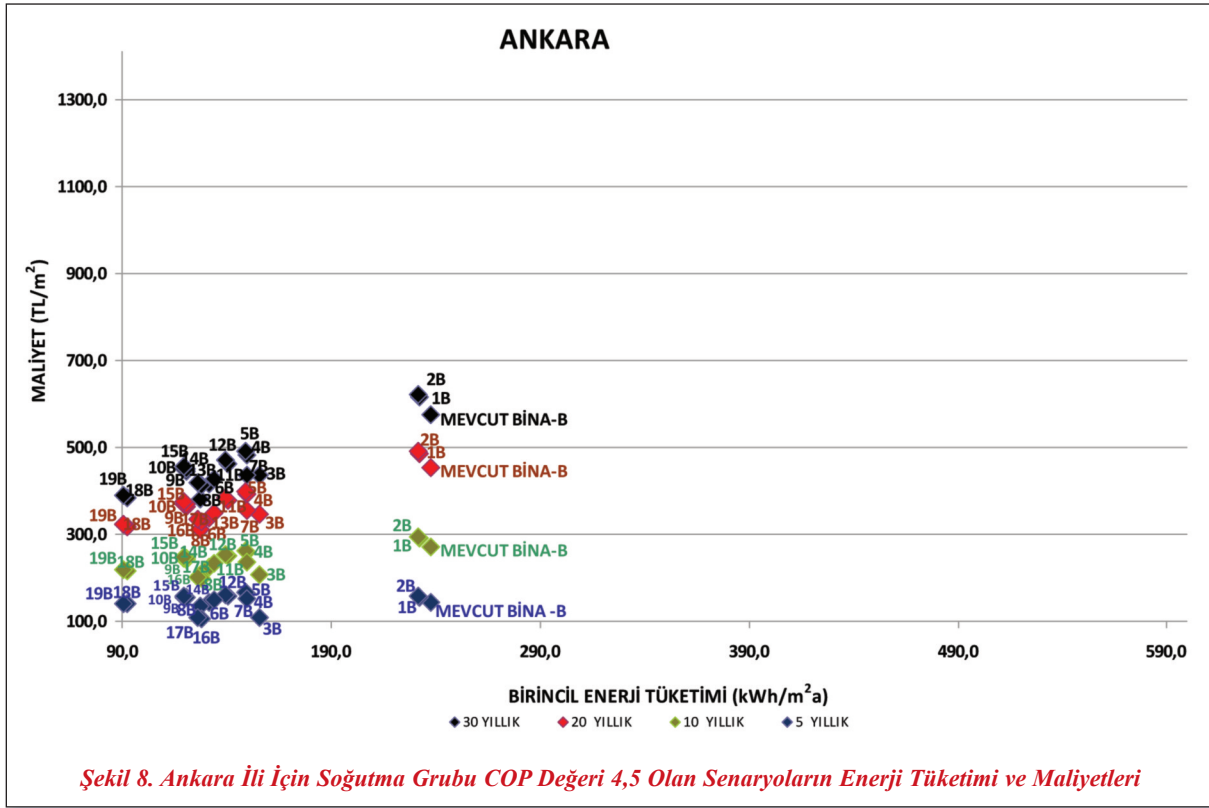
Enerji performansı analizleri yapılan her bir senaryo için maliyet analizleri de üçüncü bölümde bahsedilen

yönteme uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir yenileme senaryosunun maliyetleri 30, 20, 10 ve 5 yıllık hesap süreleri için hesaplanmıştır. Birincil enerji tüketimi ile maliyet analizlerini birlikte içeren analizlerin sonuçları Ankara ili için Şekil 7 ve 8, Antalya ili için ise Şekil 9 ve 10 ile gösterilmiştir. Grafiklerde, her bir yenileme senaryosu sonucunda oluşan toplam maliyet ve enerji tüketimi değerleri gösterilmiştir. Grafiklerdeki her bir nokta bir iyileştirme senaryosunu temsil etmektedir ve senaryo numaraları yanlarında belirtilmiştir. Her bir renk ise farklı bir hesaplama süresini ifade etmektedir.

Şekil 7'den görüldüğü gibi, 20 ve 30 yıllık hesaplama süreleri göz önüne alındığında, tüm iyileştirme parametrelerini bir arada barındıran senaryo 18A ve 19A en düşük maliyetli ve en yüksek enerji performanslı senaryo olarak görülmektedir. Ancak 5 ve 10 yıllık hesaplamalara bakıldığında, bu iki senaryonun maliyetlerinin optimum noktadan uzaklaşmaya başladığı, minimum enerji tüketimini sağlamalarına rağmen minimum maliyet ile sonuçlanmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, söz konusu senaryolarda



Makale



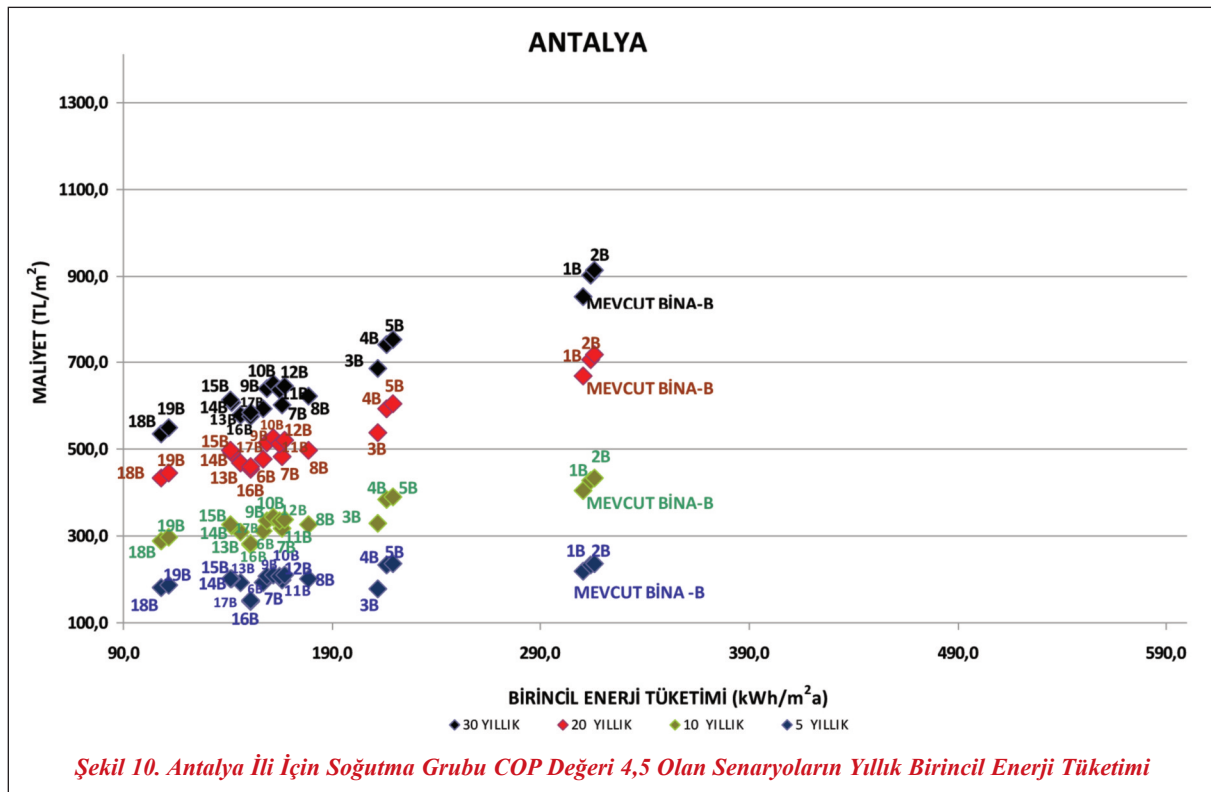
diğerlerine oranla yüksek olan ilk yatırım maliyetlerinin, uzun hesaplama süreleri göz önüne alındığında enerji giderleri ile sağlanan maddi tasarruf karşısında etkili olamaması, buna karşın kısa hesaplama sürelerinde ilk yatırım maliyetlerinin ön planda olmasıdır. Türkiye'deki elektrik ve doğalgaz kullanım maliyetleri düşünüldüğünde, binalarda yapılan iyileştirmelerin 20 ve 30 yıl gibi uzun vadede enerji verimliliğine bağlı olarak maddi kazanç sağladığı analizlerden anlaşılmaktadır. Şekil 8'de de benzer bir durum söz konusudur. Ancak soğutma grubunun verimlilik değerine bağlı olarak, daha düşük enerji tüketimleri görülmektedir.

Antalya ili için yapılan analiz sonuçlarını gösteren Şekil 9'dan görüldüğü gibi, soğutma yüklerini azaltacak yönde yapılan iyileştirmelerin tümü 20 ve 30 yıllık hesaplama süreleri ile oldukça olumlu sonuçlar vermektedir. Ancak, Ankara ili için elde edilen sonuçlara benzer şekilde 5 ve 10 yıllık hesaplama süreleri ile analiz yapıldığında yüksek ilk yatırım maliyetine sahip senaryolar optimum maliyet noktasından uzaklaşmaktadır. Ancak, ısı yalıtımı seviyesinin artırılması gibi soğutma yüklerini azaltıcı, iç

kazançlara bağlı olarak ısıtma yüklerini arttırıcı yönde yapılan iyileştirmeler, enerji tüketiminde artışa sebep olduğu gibi, bu artışa sebep olan bir yatırım maliyeti doğurmaktadır. TS 825'in zorunlu kıldığı yalıtım düzeyini sağlamak üzere bina kabuğunda yapılan yenilemeyi de kapsayan söz konusu iyileştirmelerin, Antalya için hem ekonomik açıdan hem de enerji performansı açısından sakıncalı olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Bu durum, Ankara ili için düşük verimli soğutma grubu dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda da benzer şekildedir ancak Antalya ili için yapılan analizlerde çok daha etkili bir biçimde ortaya çıkmaktadır. Şekil 9 ile Şekil 10 karşılaştırıldığında ise, Antalya ilinde soğutma grubu verimliliğinin hesaplamalar üzerindeki açık etkisi görülmektedir. Bu durum, tanımlanacak olan referans binaların iklimlendirme sistemlerinin de ulusal düzeyde kullanılacak sonuçlar üzerinde etkili olacağına işaret etmektedir.

SONUÇ

EPBD'nin zorunlu kıldığı optimum maliyet düzeyi hesaplamalarının AB uyum sürecindeki Türkiye için de yakın gelecekte bir zorunluluk olacağı görülmek-



Makale

tedir. Ancak, yukarıda açıklanan çalışma sonuçlarından anlaşılacağı gibi, çerçeve metodun Türkiye koşullarına uyarlanması konusunda uzun soluklu çalışmalar gerekmektedir.

Avrupa Komisyonu'nun sunduğu çerçeve yöntemi esas alan bir ulusal hesaplama yönteminin Türkiye için oluşturulacağı düşünüldüğünde, çerçeve metodun ilk aşaması olan ulusal referans bina tanımlarının, hesaplama sonuçları üzerinde çok büyük bir öneme sahip olduğu açıktır. Ulusal referans bina tanımlarına bağlı olarak optimum maliyet noktasını temsil eden enerji verimliliği tedbirleri de değişiklik gösterebilmektedir. Türkiye için belirlenecek olan referans binaların sınıflandırılmasında, yukarıda gerekliliği açıklanan iklim bölgesi ve bina tipolojisine bağlı sınıflandırmaların yanı sıra hangi parametrelerin sınıflandırmaya esas oluşturması gerektiği ulusal araştırmalar ile belirlenmelidir.

Ayrıca, oluşturulacak olan yöntemin öncelikle ilgili ulusal standartlarca desteklenmesi gerekmektedir. Bu nedenle metodun Türkiye'ye adaptasyonu sırasında gerçekleştirilen çalışmalarda mevcut standartların ülke çıkarları gözetilerek yeniden analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu standartların değerlendirilmesinde, ulusal ve yerel koşullar dikkate alınmalı ve öncelikler tespit edilmelidir. Çalışmanın sonuçları ile sunulan ve ülke ekonomisini olumsuz etkileyen yaptırımlar da bu kapsamda öncelikli olarak değerlendirmeye alınmalıdır.

Optimum maliyet hesaplamaları için gerekli ulusal hesap yöntemi ancak birçok duyarlılık analizlerinin yapılması ile gerçekleştirilebilir. Bu duyarlılık analizleri, bu çalışmada yer alan hesaplama sürelerine ilave olarak, enerji performansını etkileyen tüm parametreler ve kullanılacak finansal değerler için de yapılmalıdır. Hesaplama süreleri ile ilgili olarak yapılacak analizlerde, Türkiye'deki yatırımcıların da dikkate alacağı geri ödeme süreleri göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle, 20-30 yıllık hesaplamalarda olumlu sonuçlar veren ancak 5-10 yıllık periyotlarda kısa vadede enerji performansında artış yaratmasına rağmen ekonomik anlamda olumlu

gözükmeyen kimi yatırımlarda bu durum büyük önem taşımaktadır.

Sözü geçen tüm analizlerin ulusal ve yerel koşulları gözetererek tüm bina tipolojileri için yapılması gerektiği ve bu analizlerin yalnızca AB uyum sürecinin bir parçası değil ulusal düzeyde binaların enerji performanslarının iyileştirilmesinin yanı sıra ülkenin ekonomik çıkarları da koruyacak bir çalışma konusu olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Directive 2002/91/EC, Directive of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings, 2002.
- [2] Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2008.
- [3] T.C. Resmi Gazete, Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi, Bina Enerji Performansı – Isıtma ve Soğutma için Net Enerji İhtiyacının Hesaplanması, Aralık, 2010.
- [4] Directive 2010/31/EU, Directive of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast), 2010.
- [5] Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements, 2012.
- [6] LOGA T. DİEFENBACH N., Use of building typologies for energy performance assessment of national building stocks. Existent experiences in European countries and common approach, First TABULA synthesis report, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, Almanya (2010)
- [7] SPIEKMAN M., Comparison of energy performance requirements levels: possibilities and impossibilities. Summary report. Report of ASIEPI (2010).

- [8] Guidelines Accompanying on Supplementing Directive 2010/31/EU, of the European Parliament and of the Council on energy performance of buildings (recast) by establishing a comparative methodology framework for calculating cost optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building element, 2010.
- [9] EN ISO 13790, Energy Performance of Buildings – Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling (ISO 13790:2008), Şubat, 2008.
- [10] EN 15459, Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings (EN 15459:2008), Mayıs, 2007.
- [11] S.P. Corngati, M. Filippi, E. Fabrizio, V. Monetti, Reference Buildings for cost optimal analysis: method of definition and application, Applied Energy – 2012, DOI:10.1016/j.apenergy.2012.06.001, ISSN: 0306-2619, 2012.
- [12] TS 825, Thermal Insulation Requirements for Buildings, TSE, Ankara, 2008.
- [13] U.S. Department of Energy, <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>, 2013 Ocak'ta erişilmiştir.
- [14] 2011 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, Ankara, 2011.
- [15] Başkent Doğalgaz Dağıtım A.Ş., <http://www.baskentdogalgaz.com.tr>, 2011 Aralık'ta erişilmiştir.
- [16] Türkiye Elektrik Dağıtım www.tedas.gov.tr, 2011 Aralık'ta erişilmiştir.