



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **SOĞUK İKLİM BÖLGESİNDEKİ KONUT BİNALARININ MALİYET OPTİMUM ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEVİYELERİ İÇİN DUYARLILIK ANALİZLERİ**

**NEŞE GANIÇ SAĞLAM  
A. ZERRİN YILMAZ  
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**STEFANO P. CORGNATI  
TORİNO ENERJİ MERKEZİ**

# SOĞUK İKLİM BÖLGESİNDEKİ KONUT BİNALARININ MALİYET OPTİMUM ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEVİYELERİ İÇİN DUYARLILIK ANALİZLERİ

*Sensitivity Analyses for Cost Optimal Levels of Residential Buildings in Cold Climatic Region*

**Neşe GANIÇ SAĞLAM**  
**A. Zerrin YILMAZ**  
**Stefano P. CORGNATI**

## ÖZET

Avrupa'da Binalarda Enerji Performansı Direktifi'nin 2010 yılında revize edilmesiyle birlikte, maliyet optimum enerji verimliliği ve yaklaşık sıfır enerji bina kavramları gündeme gelmiş ve buna paralel olarak yapılan araştırmalar da binalarda enerji performansı ve maliyet hesaplamalarının karşılaştırmalı analizlerine yönelmiştir. Türkiye'de de bu araştırmaların gerçekleştirilmesi ve sonuçlarının mevzuata aktarılması, hem enerji kullanımında hem de ekonomik anlamda tasarrufun sağlanması açısından büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin soğuk iklim bölgesindeki mevcut konut binalarının iyileştirilmesi için hesaplanmış maliyet optimum enerji verimliliği seviyelerinin ekonomik göstergelerdeki değişime duyarlılığı incelenmektedir. Araştırmada izlenen yöntem, ilgili AB Yönetmeliği'nde sunulan çerçeve metodun ulusal koşullar gözetilerek uygulanmasını içermektedir.

Çalışmada ele alınan referans bina çok katlı bir konut binasıdır. İncelenen referans bina için gerçekleştirilen maliyet optimum enerji verimliliği hesaplamalarına ait sonuçlar özet olarak sunulmuştur. Ardından, ekonomik göstergelerdeki değişimin bu sonuçlar üzerindeki etkisi duyarlılık analizleri yoluyla incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, ekonomik göstergelerin soğuk iklim bölgeleri için maliyet optimum seviyelerin belirlenmesine yönelik hesap sonuçları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, hem ulusal standartlar, hem de maliyet optimum enerji verimliliği ile yaklaşık sıfır enerji kavramları arasındaki ilişki gözetilerek değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Maliyet optimum enerji verimliliği, Bina enerji performansı, Enerji etkin iyileştirme, Enerji etkin konutlar.

## ABSTRACT

Cost-optimum energy efficiency and nearly zero energy building concepts were introduced with the recast of EPBD in 2010 and correspondingly research activities focused on comparative assessment of building energy performance and cost calculations. Carrying out similar studies at national level and adaptation of the results to the legislation are also very important for Turkey in order to provide benefits in both energy and economic point of views.

This study investigates sensitivity of the cost-optimal results for renovation of existing apartment buildings in cold climatic region of Turkey to the changes in economic indicators. The method used in this research includes the application of the EU methodology framework considering national context.

Analysed reference building is an existing high rise residential building. Initially, results of the cost-optimal analysis for the reference building are summarily presented. Afterwards, effect of the economic indicators on these results is analysed through sensitivity analyses.

The results show that economic indicators are effective on determination of cost-optimal levels for the cold climatic region. The findings are criticised considering the national standards and relationship between cost-optimal and nearly zero energy performance levels.

**Key Words:** Cost-optimum energy efficiency, Building energy performance, Energy efficient renovation, Energy efficient dwellings.

## 1. GİRİŞ

Bina sektörü ülkemizdeki en büyük ikinci enerji tüketen sektör olarak toplam nihai enerji tüketiminin %30'undan sorumludur [1]. Türkiye'de binalarda kullanılan enerji miktarının artmakta olduğu [2] ve enerjinin %73'ünün ithal edildiği [1] dikkate alındığında, binalarda enerji verimliliğinin sağlanmasının ekonomik, çevresel ve politik önemi açıktır. Bu doğrultuda, 2009 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir [3].

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Avrupa Birliği'nin 2003 yılında yayımladığı 2002/91/EC sayılı Binalarda Enerji Performansı Direktifi'ni (EPBD) [4] izlenmektedir. Aynı yaklaşımla, Yönetmelik'in 5. Maddesi, Avrupa Birliği'ndeki binalarda minimum enerji performansı uygulamaları dikkate alınarak gerekli revizyonların da yapılmasını gerektirmektedir [3].

Avrupa Birliği'nde binalarda enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla yayımlanmış olan EPBD, 2010 yılında revize edilmiştir. EPBD recast olarak anılan yeni direktif, iki yeni kavramı ön plana çıkarmıştır: maliyet optimum enerji verimliliği seviyesi ve yaklaşık sıfır enerji binalar [5]. “*Ekonomik yaşam dönemi boyunca en düşük maliyet ile sonuçlanan enerji performansı seviyesi*” olarak tanımlanan maliyet optimum enerji verimliliği seviyesinin farklı bina tipleri için hesaplanması ve elde edilen sonuçların mevcut minimum enerji performansı gereksinimleriyle karşılaştırılması beklenmektedir. Mevcut gereksinimlerinin maliyet optimum seviyeden daha düşük bir enerji performansı seviyesine denk gelmesi durumunda, mevzuatın revize edilmesi gereklidir. Bu çalışmanın ulusal ölçekte hem yeni binalar için hem de mevcut binaların maliyet etkin şekilde iyileştirilmesi için gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bir sonraki aşama ise daha yüksek enerji performansı seviyesine ulaşmak amacıyla yaklaşık sıfır enerji bina tanımlarının her bir bina tipi için yapılmasıdır. Yaklaşık sıfır enerji bina “çok yüksek enerji performansına sahip bina” olarak tanımlanmaktadır ve tüm ülkelerin kendi yaklaşık sıfır enerji seviyelerini belirlenmesi beklenmektedir. 2021 yılından itibaren ise tüm yeni binaların yaklaşık sıfır enerji bina olması gerekmektedir. Mevcut binalar için ise, maliyet etkin enerji verimliliği iyileştirmeleri aracılığıyla yaklaşık sıfır enerji binalara dönüşümü hedef alan bir ulusal planın hazırlanması istenmektedir [5].

Tüm bu gelişmeler dikkate alındığında, Türkiye'de de maliyet optimum enerji seviyelerinin belirlenmesi, elde edilen sonuçların mevcut gereksinimlerle karşılaştırılması, mevzuatın yeniden değerlendirilmesi ve ardından yaklaşık sıfır enerji seviyelerinin belirlenmesinin gerektiği görülmektedir.

Bu çalışmada, mevcut konut binaları için maliyet optimum enerji verimliliği seviyelerinin belirlenmesine yönelik bir analiz gerçekleştirilmiştir. İncelenen referans konut binası için gerçekleştirilen maliyet optimum enerji verimliliği hesaplamalarına ait sonuçlar özet olarak sunulmuştur. Ardından, ekonomik göstergelerdeki değişimin bu sonuçlar üzerindeki etkisi duyarlılık analizleri yoluyla incelenmiştir. Duyarlılık analizleri ile elde edilen sonuçlar mevcut binalar için yaklaşık sıfır enerji seviyelerinin belirlenmesi ve maliyet etkin olarak yaklaşık sıfır enerji binalara dönüştürülmesi için izlenecek yola dair bulgular da sunmaktadır.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışmada izlenen yöntem, ilgili AB Yönetmeliği'nde [6] açıklanan çerçeve yöntemin Türkiye için uyarlanmasını esas almaktadır. AB çerçeve yöntemi aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

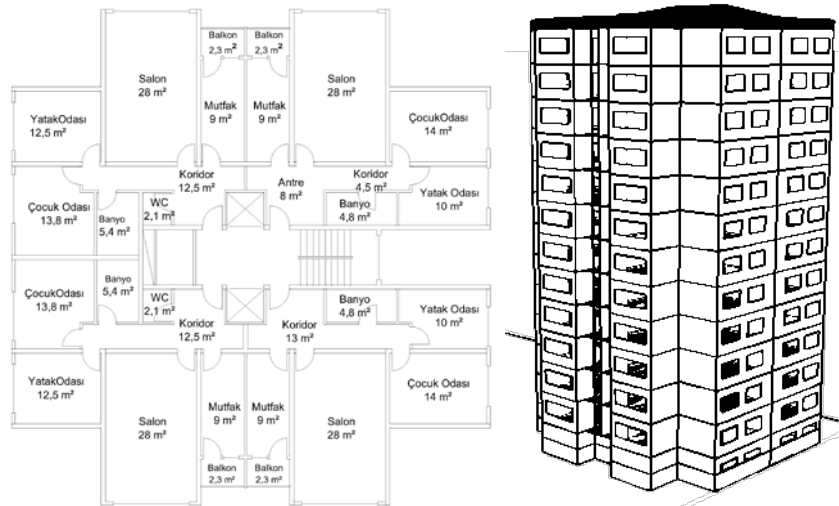
1. Referans binaların tanımlanması
2. Referans binalar için analiz edilecek enerji verimliliği tedbirlerinin belirlenmesi
3. Her bir enerji verimliliği tedbiri için enerji tüketimlerinin birincil enerji cinsinden hesaplanması
4. Her bir enerji verimliliği tedbiri için uzun dönem maliyetlerin hesaplanması
5. Duyarlılık analizlerinin yapılması
6. Maliyet optimum enerji verimliliği seviyelerinin belirlenmesi

Aşağıda detayları sunulan çalışma, bu çerçeve yöntemin Türkiye koşulları için örnek uygulamasını içermektedir. 3. Bölümde detaylı olarak açıklandığı gibi, maliyet optimum enerji verimliliği seviyesi öncelikle geçmiş yıllara ait istatistiksel verilere dayalı olarak belirlenmiş ekonomik göstergeler gözetilerek elde edilmiştir. Farklı ekonomik senaryoların sonuçlar üzerindeki etkisi ise bu çalışmanın özellikle yoğunlaştığı duyarlılık analizleri bölümünde ele alınmıştır. Yöntemin her bir adımının örnek uygulaması ile ilgili bilgiler 3. Bölümde ayrıntılı şekilde açıklanmaktadır.

## 3. SOĞUK İKLİM BÖLGESİNDEKİ KONUT BİNALARININ MALİYET OPTİMUM ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEVİYELERİ İÇİN DUYARLILIK ANALİZLERİ

### 3.1. Referans Bina

Bu çalışmada analiz edilen referans bina, TÜBİTAK tarafından desteklenen 113M596 no'lu "Binalarda Maliyet Optimum Enerji Verimliliği Seviyesi için Türkiye Koşullarına Uygun Yöntemin ve Referans Binaların Belirlenmesi" başlıklı araştırma projesi kapsamında tanımlanmış referans konut binalarından biridir [7]. Bir bodrum katı ve 12 normal katı bulunan bu apartman binası, 1985-1990 yılları arasında inşa edilen çok katlı konut binalarını temsil etmektedir. Şekil 1'de de gösterildiği gibi her katta dört daire bulunmaktadır. Toplam net alanı 5186 m<sup>2</sup> olan bu binada 3823m<sup>2</sup> cephe alanı bulunmaktadır.



Şekil 1. Seçilen referans binanın şematik planı ve görseli.

Tünel kalıp sistemiyle inşa edilmiş olan bu referans binada cepheler de beton panel duvarlar ile kapatılmıştır. Bina kabuğu opak bileşenlerinin ısı geçirgenlik katsayıları (U değerleri) Tablo 1 ile verilmiştir. Pencere camları çift kat 4mm düz cam ve arasında 12mm hava boşluğundan oluşan ünitelerdir. Bu camların ısı geçirgenliği 2.9 W/m<sup>2</sup>K, gün ışığı geçirgenliği %80 ve güneş enerjisi geçirgenliği (SHGC) %75'tir.

**Tablo 1.** Bina kabuğu bileşenleri ısı geçirenlik katsayıları (U değerleri).

	U (W/m <sup>2</sup> K)
Dış duvar (perde duvar)	1.04
Dış duvar (cephe paneli)	1.09
Çatı arası döşemesi	0.71
Giriş kat döşemesi	1.25

Referans binanın tanımlandığı Tübitak destekli araştırmada [7], Türkiye'deki aile yapısına ait istatistikler de incelenmiş ve en yaygın olarak görülen aile tipi (çocuklu çiftlerden oluşan 4 kişilik aile) için iç ısı kazançlarını ve enerji tüketimlerini etkileyecek davranış senaryoları belirlenmiştir. Bu çalışmadaki referans bina için de, her bir dairede araştırma projesi kapsamında tanımlanmış olan 4 kişilik ailenin yaşadığı varsayılmış ve enerji performansı hesaplamalarında bu aileye ilişkin davranış senaryosu dikkate alınmıştır.

Referans apartman binasının ısıtma ayar sıcaklığı 20°C ve soğutma ayar sıcaklığı 26°C olarak kabul edilmiştir. Isıtma enerjisi ihtiyacı %80 verimlilikte doğalgazlı sıcak su kazanı ile merkezi olarak karşılanmakta, her dairede bulunan sıcak sulu radyatörler yardımıyla dağıtılmaktadır. Soğutma enerjisi ihtiyacı ise her dairede SEER değeri 5.8 Btu/W-h olan split klima cihazları ile karşılanmaktadır. Sıhhi sıcak su için her dairede %80 verimlilikte elektrikli kombi bulunmaktadır. Hava değişim oranı 0.5 h<sup>-1</sup> olarak kabul edilmiştir [8].

Türkiye'nin soğuk iklim bölgesinin incelenmesi amacıyla, iklimi temsilen Erzurum ili seçilmiş ve referans binanın bu ilde bulunduğu varsayılmıştır.

### 3.2. Maliyet Optimum Enerji Verimliliği Seviyesinin Belirlenmesi

Bu bölümde, referans konut binası üzerinde gerçekleştirilen maliyet optimum enerji verimliliği seviyesi hesaplamaları özet olarak sunulmaktadır. Bu nedenle, özellikle duyarlılık analizleri için önemli görülen kabuller, açıklamalar ve sonuçlar açıklanmıştır.

İlgili AB çerçeve yöntemine göre referans binanın belirlenmesinin ardından, ikinci adım olarak referans binalar için analiz edilecek enerji verimliliği tedbirlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada analiz edilen enerji verimliliği tedbirleri Tablo 2 ile aşağıda sunulmaktadır.

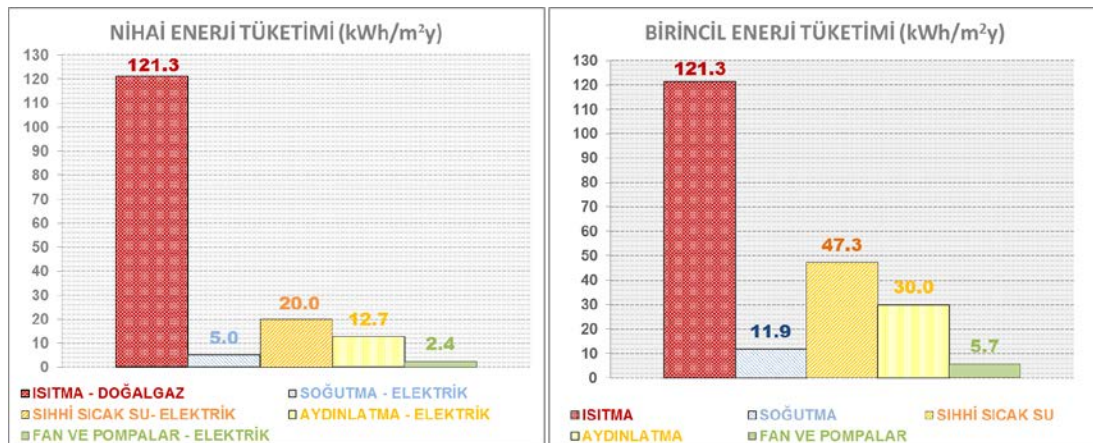
Analiz edilen tedbirler; mevcut konut binasının bina kabuğu, iklimlendirme sistemleri, su ısıtma sistemi ve aydınlatma sisteminin iyileştirmesine yönelik enerji verimliliği tedbirleri ile yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımına yönelik tedbirleri içermektedir.

Tablo 2 ile açıklanan enerji verimliliği tedbirleri hem tekil olarak hem de bu tedbirlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş enerji verimliliği tedbir paketleri olarak analiz edilmiştir. Toplamda enerji verimliliği tedbirleri ve tedbir paketlerini temsil eden 332 farklı senaryo için enerji performansı ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 2.** Enerji verimliliği tedbirleri.

İsim	Açıklama
IN1	TS 825-2013 [9] standardında verilen ısı geçirenlik katsayılarını sağlayacak düzeyde ısı yalıtımı yapılması (dış duvarlarda ve tüm kabukta yapılması durumu ayrı ayrı analiz edilmiştir).
IN2	TS 825-2013 standardında verilen ısı geçirenlik katsayılarından %25 daha düşük katsayıları sağlayacak düzeyde ısı yalıtımı yapılması (dış duvarlarda ve tüm kabukta yapılması durumu ayrı ayrı analiz edilmiştir).
IN3	TS 825-2013 standardında verilen ısı geçirenlik katsayılarından %50 daha düşük katsayıları sağlayacak düzeyde ısı yalıtımı yapılması (dış duvarlarda ve tüm kabukta yapılması durumu ayrı ayrı analiz edilmiştir).
IN4	TS 825-2013 standardında verilen ısı geçirenlik katsayılarından %75 daha düşük katsayıları sağlayacak düzeyde ısı yalıtımı yapılması (dış duvarlarda ve tüm kabukta yapılması durumu ayrı ayrı analiz edilmiştir).
GL	Pencere camının iyileştirilmesi (7 farklı pencere camı analiz edilmiştir).
BOI	Binanın ısıtma enerjisini karşılayan mevcut kazanın %95 verimlilikte yoğunmalı bir kazan ile değiştirilmesi.
RF	Mevcut ısıtma sisteminin döşemeden ısıtma sistemine dönüştürülmesi.
CHW	Bireysel sıcak su sisteminin kazandan beslenen merkezi bir sıcak su sistemine dönüştürülmesi.
LED	Mevcut kompakt flüoresan lambaların LED lambalar ile değiştirilmesi.
SP	Çatıda 48 kollektörden oluşan termal güneş enerjisi sistemi kurulması.
PV	Çatıda 11kW gücünde fotovoltaik sistem kurulması.

Üçüncü adım olarak, enerji performansı hesaplamaları, EnergyPlus detaylı dinamik simülasyon aracı kullanılarak yapılmıştır. Bu hesaplamalar için, her bir daire bir ısıl zon ve ortak sirkülasyon alanları ise her katta ayrı bir ısıl zon olarak modellenmiştir. Hesaplamalarda, her bir senaryo için ısıtma, soğutma, aydınlatma ve sıhhi sıcak su için enerji tüketimleri dikkate alınmıştır. Simülasyon aracı yardımıyla hesaplanan enerji tüketimleri, birincil enerji dönüşüm katsayıları kullanılarak birincil enerji cinsinden sonuçlar elde edilmiştir. Birincil enerji dönüşüm katsayıları, doğal gaz için 1, elektrik için ise 2.36'dır. Nihai enerji tüketimleri ve birincil enerji cinsinden sonuçlar Şekil 2'de sunulmaktadır. Referans binanın yıllık birincil enerji tüketimi 216.3 kWh/m<sup>2</sup>'dir.

**Şekil 2.** Referans bina enerji tüketimleri.

Maliyet hesaplamaları, ilgili AB yönetmeliği [6] ve EN 15459 standardı [10] esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, hesaplamalar için Net Bugünkü Değer Yöntemi kullanılmıştır. Net bugünkü değer yönteminde, her bir maliyet bugünkü (veya hesaplamayı başlangıç yılındaki) değerine indirgenerek hesaba katılmaktadır. Bugünkü değerleri elde etmek üzere, enflasyon oranı, enerji fiyatlarının artışı ve faiz oranı gibi finansal veriler kullanılarak indirim faktörü, bugünkü değer faktörü gibi hesaplamalarda kullanılacak katsayılar elde edilir. Gelecek yıllar için öngörülen kazanç ve maliyetler bu katsayılar ile çarpılarak bugünkü değerleri hesaplanır ve uzun yıllara ait toplam maliyetler elde edilir. Bu çalışmada mikro ekonomik bakış açısı dikkate alınmış ve aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir:

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

- $\tau$  : hesaplama süresi  
 $C_g(\tau)$  : toplam maliyet  
 $C_I$  : 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 faktörü, eşitlik 2 ile hesaplanır.

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

- $p$  : hesaplama başlangıç yılından itibaren geçen yıl sayısı  
 $R_R$  : reel indirim oranı, eşitlik 3 ile hesaplanır.

$$R_R = \frac{R - R_i}{1 + R_i/100} \quad (3)$$

Yukarıdaki eşitlikte (3)  $R$  piyasa faiz oranı,  $R_i$  ise enflasyon oranıdır.

Hesaplama süresi olarak AB çerçeve yöntemi uyarınca 30 yıllık hesaplama süresi göz önünde bulundurulmuştur [6]. Hesaplama başlangıç yılı olarak 2015 yılı kabul edilmiştir. Bina enerji performansına etki etmeyen bileşenlerin maliyetleri ile tüm senaryolar için aynı olan maliyetler dikkate alınmamıştır.

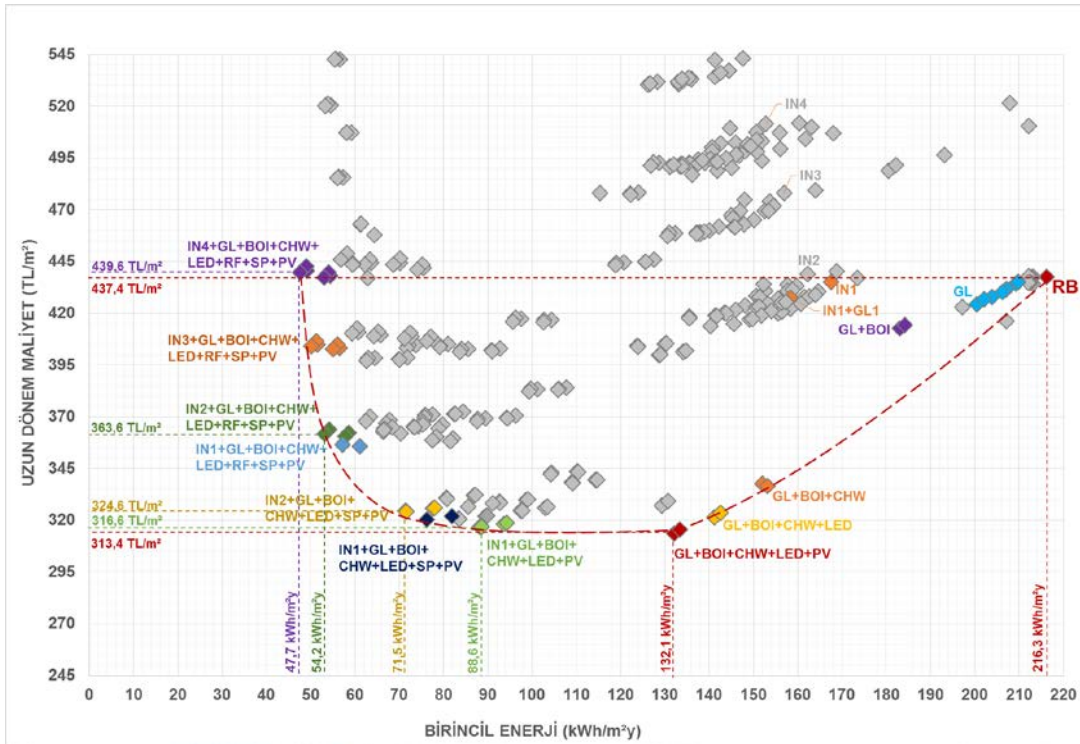
Maliyet hesaplamalarında kullanılmak üzere gerekli olan ilk yatırım maliyetleri, her bir yatırım için üç farklı firmadan alınan 2015 yılı tekliflerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Döviz cinsinden alınan teklifler için de bu yıla ait ortalama döviz kurları kullanılmıştır. Buna göre, Euro/TL 3.02, Amerikan doları/TL ise 2.72 olarak hesaplamalara katılmıştır [11].

Yıllık bakım maliyetleri ve sistemlerin kullanım ömürleri ile ilgili kabuller EN 15459 standardına göre kabul edilmiştir.

Piyasa indirim oranının hesap edilebilmesi için gerekli ekonomik göstergeler için Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2015 yılı öncesindeki son 5 yıl için sağlanan veriler incelenmiştir [11, 12]. Bu veriler dikkate alınarak, son 5 yıl için ortalama değerler hesaplanmış ve bu hesaplamalar sonucunda enflasyon oranı 8.054%, piyasa faiz oranı ise 14.3% olarak hesaba katılmıştır. Bu veriler kullanılarak, 3 numaralı eşitlik yardımıyla, reel indirim oranı %5.78 olarak hesaplanmıştır.

Enerji birim fiyatları için 2015 yılının ortalama fiyatları dikkate alınmıştır. Erzurum için 2015 yılı ortalama elektrik fiyatı 0.366372 TL/kWh [13], doğalgaz fiyatı ise 0.1043683 TL/kWh [14] olarak hesaplanmıştır. Enerji fiyat artış oranı, ilk hesaplamalarda enflasyon oranı ile eşit kabul edilmiştir.

Yukarıda açıklanan enerji performansı ve uzun dönem maliyet hesapları, enerji verimliliği tedbirleri veya tedbir paketinden oluşan her bir senaryo için ayrı ayrı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3 ile sunulan maliyet optimum sonuç grafiğinde değerlendirilmiştir. Bu grafikte her bir nokta farklı bir senaryoyu temsil etmektedir. Yatay ekseninde birincil enerji cinsinden yıllık enerji tüketimleri, dikey ekseninde ise uzun dönem maliyet sonuçları gösterilmektedir. Duyarlılık analizleri için önemli olan senaryolar farklı renklerde vurgulanmıştır. Senaryoları ifade eden noktaların yanlarında yer alan kodlamalar, ilgili senaryonun içerdiği tedbirleri ifade etmektedir ve açıklamaları yukarıda verilen Tablo 2'de sunulmuştur.



Şekil 3. Maliyet optimum enerji verimliliği sonuçları.

Şekil 3'ten görüldüğü üzere, pencere camlarının değiştirilmesi (GL), merkezi kazanın iyileştirilmesi (BOI), merkezi sıcak su sistemine geçilmesi (CHW), LED lambaların kullanılması ve fotovoltaik sistem kurulumunu (PV) içeren senaryo Erzurum'da bulunan referans konut binası için optimum sonuç vermektedir. Bu enerji verimliliği paketi, yıllık 132 kWh/m<sup>2</sup> birincil enerji tüketimi ile %39 enerji tasarrufu ve 313.4 TL/m<sup>2</sup> toplam maliyetiyle %28 ekonomik tasarruf sağlamaktadır. Bu iyileştirmeler için gerçekleştirilecek yatırımın geri ödeme süresi ise 4.2 yıldır. Ancak bu pakete dış cephede ısı yalıtım uygulaması eklenmesiyle, yaklaşık olarak yalnızca 3 TL/m<sup>2</sup> gibi bir maliyet artışı ile 43.5 kWh/m<sup>2</sup>y daha fazla birincil enerji tasarrufu sağlanmasının mümkün olduğu da görülmektedir. Bu sayede maliyet etkin bir şekilde %59 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Maliyet optimum pakete ek olarak ikinci seviye ısı yalıtımı (IN2) uygulaması ve termal güneş enerjisi sisteminin kurulumu söz konusu olduğunda ise, yaklaşık 11TL/m<sup>2</sup>'lik maliyet artışı ile 71.5 kWh/m<sup>2</sup>y birincil enerji tüketim seviyesine ulaşılması ve bu sayede referans binanın mevcut durumuna kıyasla %67 enerji tasarrufu ve % 26 ekonomik tasarruf sağlanması mümkün olabilmektedir. Ulaşılan bu seviyeden sonra, enerji performansındaki iyileştirmelere karşılık gelen maliyet artışları daha hızlı yükselmektedir. Yalıtım seviyesinin artırılması ve döşemeden ısıtma sistemine geçilmesi gibi önlemlerin eklenmesiyle IN4, GL, BOI, CHW, LED, RF, SP ve PV tedbirlerini içeren paketin referans binaya çok yakın bir maliyet ile 47.7 kWh/m<sup>2</sup>y birincil enerji tüketim seviyesine ulaştığı görülmektedir. Bu seviye %78 (168.6 kWh/m<sup>2</sup>y) gibi önemli miktarda enerji tasarrufuna karşılık gelmektedir.

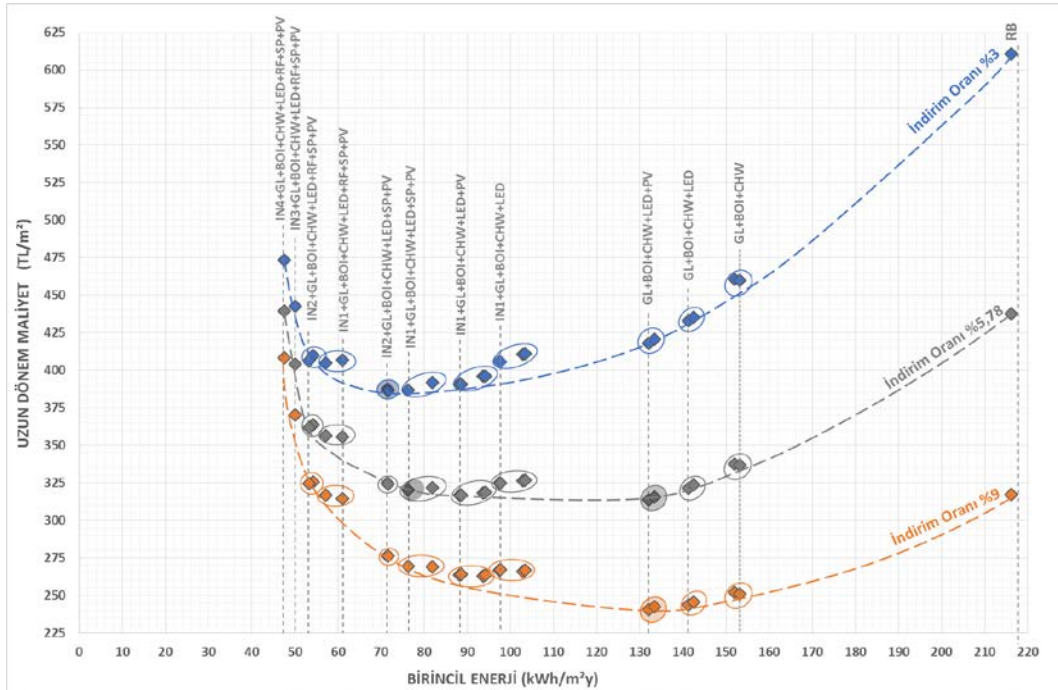


IN1+GL1 enerji verimliliği paketi, TS 825-2013 standardında belirtilen ısı geçirgenlik katsayılarını temsil etmektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, bu enerji verimliliği paketi 58 kWh/m<sup>2</sup>y enerji tasarrufu ve %2 ekonomik tasarruf sağlamaktadır, ancak buna karşılık maliyet optimum enerji verimliliği seviyesine oldukça uzak olduğu görülmektedir. Bu enerji verimliliği paketinin diğer tedbirlerle birleştirilmesi durumunda daha yüksek oranda enerji tasarrufuna daha düşük uzun dönem maliyetle ulaşılabilmektedir.

### 3.3. Duyarlılık Analizleri

Geçmiş dönem istatistiklerine bağlı kabullerle belirlenmiş ekonomik göstergeler kullanılarak gerçekleştirilen maliyet optimum enerji verimliliği hesaplamalarının, bu göstergelerdeki değişikliğe duyarlılığının incelenmesi amacıyla duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, seçilmiş yirmi dört (24) senaryo üzerinde reel indirim oranı ve enerji fiyat artış oranındaki değişimler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ısı yalıtımı ve termal güneş enerjisi sistemi için vergi muafiyeti uygulanması durumu da bu çalışmada incelenmiştir.

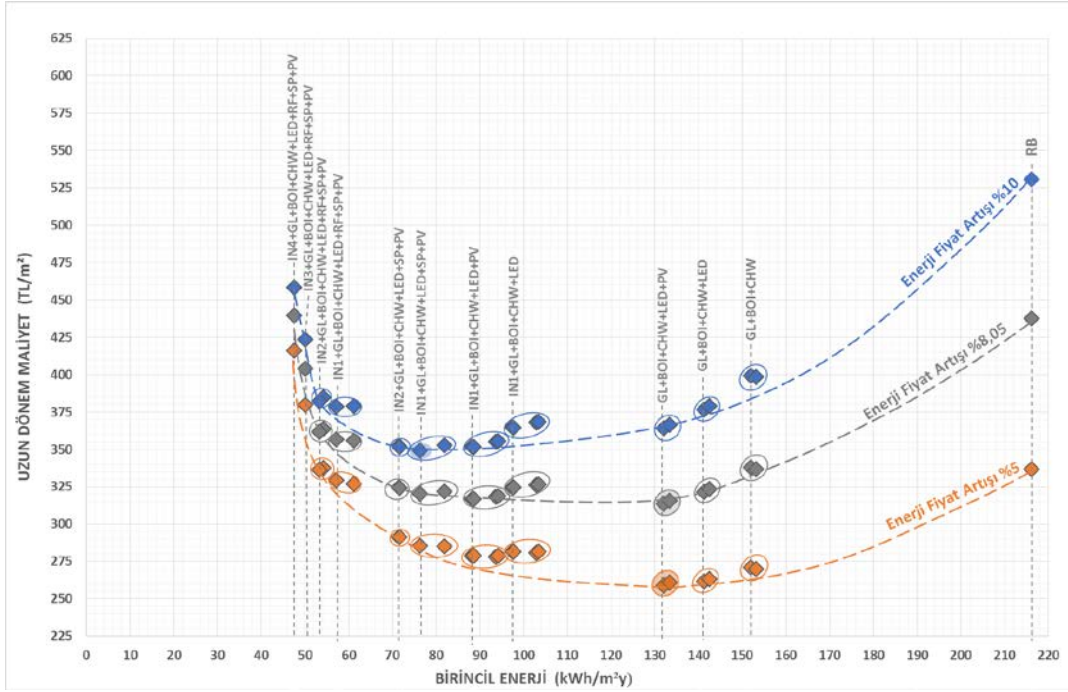
Reel indirim oranı ile ilgili duyarlılık analizlerinde, bu oranın istatistiklere bağlı belirlenen senaryodan (%5,78) daha yüksek (%9) ve daha düşük (%3) gerçekleşmesi durumları dikkate alınmıştır. Farklı reel indirim oranı senaryoları için elde edilen sonuçlar Şekil 4'te sunulmaktadır. Bu şekilden görüldüğü üzere, indirim oranının %3 olarak gerçekleşmesi durumunda, bina performansı iyileştirme yatırımlarından daha olumlu sonuçlar alınabilmektedir ve 71.5 kWh/m<sup>2</sup>y birincil enerji tüketimi ile sonuçlanan IN2, GL, BOI, CHW, LED, RF, SP ve PV tedbirlerini içeren enerji verimliliği paketi maliyet optimum senaryo olarak sonuçlanmaktadır. Önceki kabullerle elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında, ısı yalıtımı, döşemeden ısıtma sistemi ve termal güneş panelleri için yapılacak yatırımların da maliyet optimum paket içinde yer aldığı görülmektedir. Ayrıca bu durumda, yılda 60 kWh/m<sup>2</sup> daha fazla birincil enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Reel indirim oranının %9 olması durumunda ise maliyet optimum sonuçlanan enerji verimliliği paketi değişmemekte, ancak bu paket ve diğer enerji verimliliği paketleri arasındaki uzun dönem maliyet farkı belirginleşmektedir.



Şekil 4. Farklı reel indirim oranı senaryoları için maliyet optimum enerji verimliliği sonuçları.

Enerji fiyatlarındaki artış oranının mevcut kabullerden (%8,05) daha düşük (%5) veya daha yüksek (%10) gerçekleşmesine ilişkin sonuçlar Şekil 5'te sunulmuştur. Enerji fiyatlarındaki artışın önceki ön analizdeki kabullerden daha yüksek gerçekleşmesi durumu, reel indirim oranının %3 oranında gerçekleşmesi durumu ile benzer sonuçlar vermektedir. Bu durumda, 76.3 kWh/m<sup>2</sup>y birincil enerji

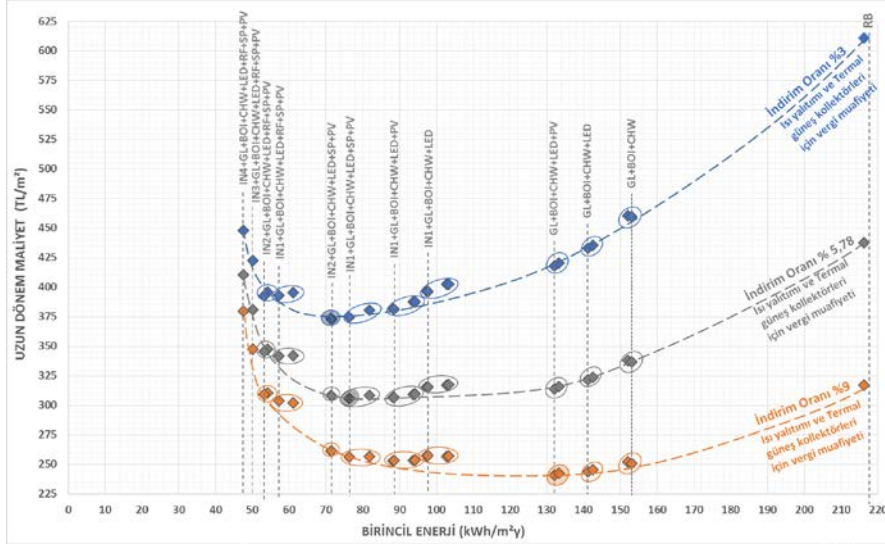
tüketimi ile sonuçlanan ve IN2, GL, BOI, CHW, LED, RF, SP ve PV tedbirlerini içeren enerji verimliliği paketi optimum sonucu temsil etmektedir. Benzer şekilde, enerji fiyatlarındaki artışın öngörülenden düşük oranda olması da maliyet optimum senaryoya diğer senaryolar arasındaki uzun dönem maliyet farkını belirginleştirmektedir.



Şekil 5. Farklı enerji fiyat artışı senaryoları için maliyet optimum enerji verimliliği sonuçları.

Ekonomik göstergelere ek olarak, maliyet optimum enerji verimliliği seviyesini olumlu yönde etkileyebilecek bir diğer değişken de, teknolojik gelişmeler, araştırma ve geliştirme faaliyetleri veya teşviklerle binalarda enerji verimliliği sağlamaya yönelik ilk yatırım maliyetlerinin azalmasıdır. Analiz edilen referans binada, maliyet optimum enerji verimliliği paketinde ısı yalıtımı ve termal güneş enerjisi sisteminin bulunmasının (ve dolayısıyla maliyet optimum sonucun daha iyi enerji performansı seviyelerine ulaşılabilmesinin) ekonomik göstergelere duyarlı olduğu Şekil 4 ve 5'teki grafiklerden görülmektedir. Bu nedenle, bu iki enerji verimliliği tedbiri için ilk yatırım maliyetlerinde sağlanabilecek olan azaltımlar da analiz edilmiştir. Bu çalışmada analizler vergi muafiyeti dikkate alınarak yapılmış olmakla birlikte, diğer gelişmelerle (örneğin teknolojik gelişmeler) sağlanacak olan yatırım maliyeti azaltımlarının da benzer şekilde sonuçlanacağı açıktır. Farklı reel indirim oranları için ısı yalıtımı ve termal güneş enerjisi sistemlerinde vergi muafiyeti uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Şekil 6 ile sunulmaktadır.

Şekil 6'da görüldüğü gibi, ısı yalıtımı ve termal güneş enerjisi sitemlerindeki ilk yatırım maliyeti azaltımı, bu iki tedbirin de maliyet optimum senaryoda yer almasını sağlamaktadır. Bu sayede, maliyet optimum enerji verimliliği seviyesi istatistiklere dayalı belirlenen ekonomik senaryo dikkate alındığı durumda dahi 76.3 kWh/m<sup>2</sup>y birincil enerji tüketimi ile sonuçlanmaktadır. İlk yatırım maliyetlerindeki bu düşüş, indirim oranının %9 olduğu durumda maliyet optimum enerji verimliliği senaryosunu değiştirmemekle birlikte, optimum senaryo ile diğer senaryolar arasındaki uzun dönem maliyet farkını azaltmakta ve daha yüksek enerji verimliliği seviyelerini yatırımcı açısından tercih edilebilir duruma getirmektedir.



**Şekil 6.** Farklı reel indirim oranları için ısı yalıtımı ve termal güneş enerjisi sistemlerinde vergi muafiyeti uygulanması ile elde edilen sonuçlar.

## SONUÇ

Bu çalışmada, soğuk iklim bölgelerinde yer alan çok katlı mevcut konut binaları için maliyet optimum enerji verimliliği hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ana hedefi, istatistiksel verilere dayalı olarak elde edilen sonuçların ekonomik göstergelerde ve ilk yatırım maliyetlerinde gerçekleşebilecek değişimlere duyarlılığının analiz edilmesidir. Bu kapsamda, reel indirim oranı ve enerji fiyatları artış oranındaki değişimler karşısında maliyet optimum enerji verimliliği seviyesinin duyarlılığı incelenmiştir. Ek olarak, ısı yalıtımı uygulamaları ve termal güneş enerjisi sistemi kurulumu için ilk yatırım maliyetlerindeki azaltımın sonuçlar üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, öncelikle soğuk iklim bölgelerindeki mevcut çok katlı konut binalarında oldukça yüksek oranda maliyet etkin enerji tasarrufu potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir. Bu potansiyelin kullanılmasının, enerji verimliliği sağlamanın yanında ekonomik tasarrufların sağlanmasına da katkıda bulunacağı açıktır.

Mevcut konut binalarında, TS 825'te yer alan ısı geçirgenlik katsayılarının sağlanmasına yönelik enerji performansı iyileştirmelerinin, tekil olarak bakıldığında diğer senaryolara kıyasla yeterince maliyet etkin sonuçlanmadığı, ancak diğer tedbirlerle birlikte uygulanması sonucunda ciddi enerji tasarruf potansiyeline işaret ettiği görülmektedir. Ancak bu sonuçların mevcut bina iyileştirmeleri için geçerli olup, yeni binaların tasarlanması söz konusu olduğunda aynı yöntem kullanılarak yeniden hesaplama yapılması gerektiği de unutulmamalıdır.

Bu çalışmada analiz edilen, döşmeden ısıtma (RF) ve merkezi sıcak su (CHW) sistemlerine geçilmesini içeren enerji verimliliği tedbirlerinin her mevcut konut binası için elverişli olmayacağı açıktır. Ancak, bu tedbirlerin önemli enerji tasarruflarıyla sonuçlandığı göz önünde bulundurulduğunda, hem koşulları elverişli olan mevcut binaların iyileştirilmesinde hem de yeni binaların analizinde değerlendirilmesi gereken tedbirler olduğu görülmektedir.

Bu araştırmanın sonuçları, maliyet optimum enerji verimliliği hesaplarının ekonomik göstergelere duyarlı olduğunu göstermiştir. Duyarlılık analizleri, Türkiye'nin soğuk iklim bölgesi için ısı yalıtımı ve güneş enerjisi kullanımının desteklenmesinin önemini vurgulamaktadır. Özellikle, maliyet optimum enerji verimliliği seviyesi belirlendikten sonraki adım olan yaklaşık sıfır enerji seviyelerinin belirlenmesi amacıyla zaman içinde maliyet optimum sonuçlardan daha iyi enerji performansı seviyesine doğru

ilerlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, mevcut binaların maliyet etkin şekilde yaklaşık sıfır enerji binalara dönüştürülmesi gerektiği düşünüldüğünde, bu iki tedbirin değerlendirilmesi ve desteklenmesi büyük önem taşımaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma TÜBİTAK tarafından 2214-A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı kapsamında 9 ay süre ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Dünya Bankası, Türkiye'de enerji Tasarrufu Potansiyelini Kullanmak, 2011.
- [2] Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Building Energy Performance Metrics, Supporting Energy Efficiency Progress in Major Economies, 2015.
- [3] Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2008.
- [4] Directive 2002/91/EC, Directive of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings, 2002.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] impossibilities. Summary report. Report of ASIEPI (2010).
- [8] T.C. Resmi Gazete, Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi, Bina Enerji Performansı – Isıtma ve Soğutma için Net Enerji İhtiyacının Hesaplanması, Aralık, 2010
- [9] Türk Standardları Enstitüsü, TS 825: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Ankara (2013)
- [10] EN 15459, Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings (EN 15459:2008), Mayıs, 2007.
- [11] Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, [www.tcmb.gov.tr](http://www.tcmb.gov.tr), Şubat 2016 tarihinde erişilmiştir
- [12] Türkiye İstatistik Kurumu, [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr), Şubat 2016 tarihinde erişilmiştir.
- [13] Türkiye Elektrik Dağıtım [www.tedas.gov.tr](http://www.tedas.gov.tr), Şubat 2016 tarihinde erişilmiştir.
- [14] <http://www.palen.com.tr>, Şubat 2016 tarihinde erişilmiştir.

## ÖZGEÇMİŞ

### Neşe GANIÇ SAĞLAM

1989 yılı İstanbul doğumludur. 2010 yılında İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü derece ile bitirmiştir. 2012 yılında aynı üniversitede Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi programından mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimi boyunca Prof. Dr. Zerrin Yılmaz'ın danışmanlığında binalarda enerji verimliliği ve maliyet etkin enerji performansı konularında çalışmalar yapmış ve bu çalışmalarının bir bölümünü Politecnico di Torino'da yürütmüştür. Türkiye için konutlara yönelik yeşil bina sertifikalandırma sisteminin oluşturulmasında, enerji verimliliği kredilerinin belirlenmesi ve farklı konut tipolojileri için referans binaların tanımlanması konusunda görev yapmıştır. 2013-2015 yılları arasında TÜBİTAK tarafından desteklenen "Binalarda Maliyet Optimum Enerji Verimliliği Seviyesi için Türkiye Koşullarına Uygun Yöntemin ve Referans Binaların Belirlenmesi" başlıklı araştırma projesinde çalışmıştır. 2011 yılından beri İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmakta ve binalarda enerji verimliliği konusunda doktora çalışmalarını Prof. Dr. Zerrin Yılmaz danışmanlığında sürdürmektedir. Doktora eğitimi sırasında da çalışmalarını 1 yıl süre ile Politecnico di Torino'da sürdürmüştür.

## A. Zerrin YILMAZ

1979 yılından beri İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Fiziksel Çevre Kontrolü Birimi'nde görev yapmakta olan, 1983-1984 yılları arasında "Lawrence Berkeley Laboratory Passive Solar Group" ile çalışan ve 1993 yılından beri İTÜ'de aynı birimde görevini profesör olarak sürdüren A. Zerrin Yılmaz'ın enerji etkin tasarım, bina fiziği, yeşil bina, yeşil yerleşim, bina enerji simülasyonu ve enerji modelleme, iklimsel konfor, binalarda güneş enerjisi kullanımı ve yoğunlaşma kontrolü konularında ulusal ve uluslararası 100 den fazla yayını, biri halen devam etmekte olan ulusal ve uluslararası araştırmaları, yürüttüğü yüksek lisans ve doktora tezleri ve bu alanlarda uygulamaları bulunmaktadır. Binalarda enerji verimliliği, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı, bina enerji modelleme ve enerji etkin iyileştirme gibi alanlarda çeşitli ulusal projeler ve AB projeleri dahil uluslar arası projelerde çoğunlukla yönetici olarak yer almıştır. Bu alandaki CITYNET AB projesi Avrupa Komisyonu tarafından star projeler arasına alınmıştır. Binalarda Enerji Performansı hesaplama yöntemi araştırmasında BEP-TR hesaplama yönteminin net enerji hesaplama modülünü geliştiren grubun koordinatörlüğünü yapmıştır. Ayrıca, Türkiye için konutlara yönelik yeşil bina sertifikalandırma sisteminin oluşturulmasında, enerji verimliliği kredilerinin belirlenmesi ve farklı konut tipolojileri için referans binaların tanımlanması konusunda görev yapmıştır. EPBD-Recast kapsamında AB ülkelerinde Referans Bina çalışmaları yapmak üzere kurulmuş TASK-FORCE1 ekibinin Türkiye'den davetli üyesi olarak görev yapmıştır. Halen REHVA bünyesinde Akdeniz ülkeleri için yaklaşık sıfır enerji bina seviyelerinin belirlenmesi için oluşturulmuş çalışma grubu içerisinde yer almaktadır. Eskişehir Kocakır Mevkii'nde yer alan ve 80 bin nüfus için öngörülen "sıfır enerjili ve sıfır atıklı ekolojik yerleşme biriminin planlanması" araştırmasının İTÜ adına yürütücülüğünü yapmıştır.

## Stefano P. CORGNATI

Üniversite öğrenimini Makina Mühendisliği, doktorasını da Enerji Bilimi konularında dereceyle tamamlayan Prof. Dr. Stefano Paolo Corgnati, şu an, Politecnico di Torino, Enerji Bilimi Bölümü'nde çalışmakta ve yapı mühendisliği ve mimarlık bölümlerine "yapı fiziği" ve "sürdürülebilir yapı tasarımı" derslerini vermektedir. Ayrıca Politecnico di Torino'da rektör yardımcısı olarak görev yapmaktadır. REHVA'nın (European Federation of HVAC Association) başkanı ve İtalyan Havalandırma Kurumu'nun (AICARR) yönetim kurulu üyesidir. Politecnico di Torino'da TEBE Araştırma Grubu'nda, "enerji ve binalar" konusunda çalışmaktadır ve birçok bilimsel ve teknik yayını mevcuttur. Kopenhag Teknik Üniversitesi, Aalborg Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Coimbra Üniversitesi ve Barselona Mimarlık Okulu ETSAB ile Socrates/Erasmus programı çerçevesinde işbirliğini sürdürmektedir. Yaptığı araştırmalar ile 2009 yılında REHVA tarafından "Genç Bilimadamı Ödülü" ile ödüllendirilmiştir. Ayrıca, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA-ECBCS) Ek 53 ve Ek 59 isimli ve binalarda enerji performansı konulu alt-projelerinin lideridir. REHVA bünyesinde İç Hava Kalitesi Değerlendirmesi ve Akdeniz ülkeleri için yaklaşık sıfır enerji bina seviyelerinin belirlenmesi için oluşturulmuş çalışma grubu içerisinde yer almaktadır. Politecnico di Torino'da Enerji Modelleme ve Analiz Laboratuvarının başkan yardımcısı ve Kasım 2014'ten beri Torino Enerji Merkezi'nin yönetim kurulu üyesidir. Rehva dergisinin editörüdür ve Building and Environment dergisinin editör kurulunda yer almaktadır. 2009 ve 2010 yıllarında, Piemonte bölgesinde bina enerji sertifikalarının uygulanması amacıyla Politecnico di Torino'da kurulan çalışma grubunun başkanı olarak görev yapmıştır.