



**Bu bir MMO  
yayıdır**

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

## **ÖMÜR MALİYET ANALİZİYLE ENTEGRE EDİLMİŞ TAVLAMA BENZETİMİ META SEZGİSELİ YÖNTEMİ İLE YALITIM KALINLIĞININ OPTİMİZASYONU**

**FİGEN BALO**  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ

**UKBE ÜSAME UÇAR**  
GAZİ ÜNİVERSİTESİ



# ÖMÜR MALİYET ANALİZİYLE ENTEGRE EDİLMİŞ TAVLAMA BENZETİMİ META SEZGİSELİ YÖNTEMİ İLE YALITIM KALINLIĞININ OPTİMİZASYONU

Figen BALO  
Ukbe Üsame UÇAR

## ÖZET

Bu çalışmada; Türkiye'nin Ankara ili için sandviç duvar üzerinde uygulanan beş farklı yalıtım malzemesinin (XPS, EPS, Poliüretan, Cam Yünü, Taş Yünü), optimum kalınlığı, 10 yıllık ömür zamanı üzerinden enerji kazanımı, geri ödeme süresi, duyarlılık analizi, yalıtım kalınlığına göre CO<sub>2</sub>- SO<sub>2</sub> emisyon analizi, beş farklı enerji tipi (Kömür, doğal gaz, LPG, fuel-oil ve elektrik) için belirlenmiştir. Ömür maliyet ekonomik değerlendirme metodu ile meta sezgisel (tavlama benzetimi metasezgiseli) yöntem entegre edilerek değerler hesaplanmıştır. Bu metot binaların yalıtım kalınlığının optimizasyonunda *C Sharp*'da kodlanarak ilk kez kullanılmıştır. Elde edilen yalıtım kalınlıklarından hareketle geri ödeme süresi, maliyet analizi, duyarlılık analizi, emisyon analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir, Ankara ili için en uygun yakıt ve yalıtım malzemesi seçilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yalıtım, ekonomiklik analizi, çevresel analiz, tavlama benzetimi algoritması, metasezgisel

## ABSTRACT

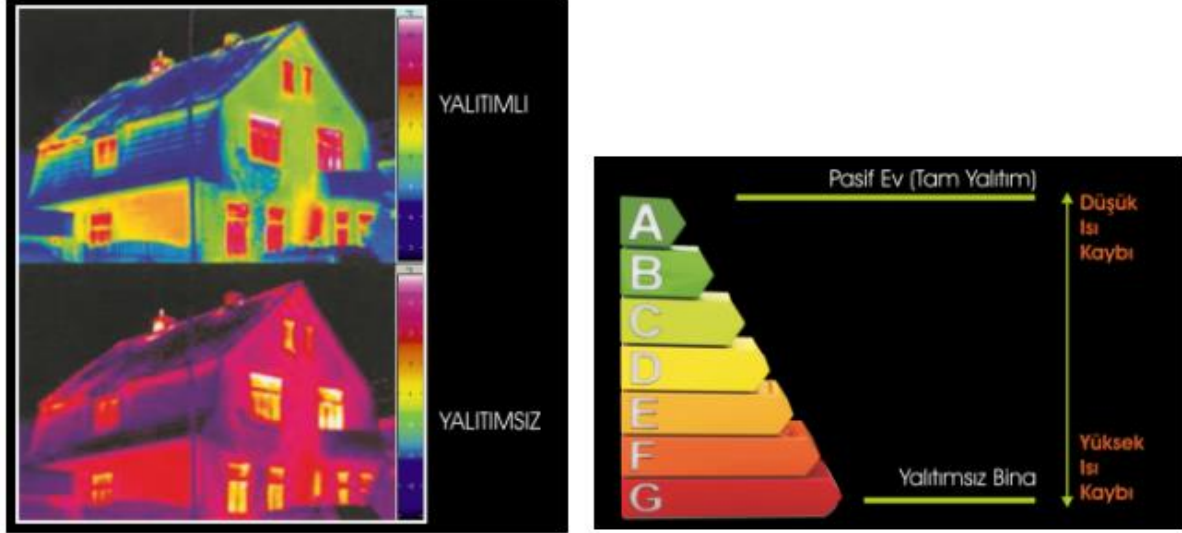
In this study, The optimum insulation thickness of five different insulation materials ((XPS, EPS, polyurethane, glass wool, rock wool)) and applied on sandwich wall for Ankara city of Turkey, energy saving over a lifetime of 10 years, payback periods, sensitivity analysis and emissions of CO<sub>2</sub>- SO<sub>2</sub> versus insulation thickness were obtained for the five energy types (coal, natural gas, fuel oil, LPG, electricity). It is calculated the values by applying the metaheuristic optimization (with simulated annealing algorithm) to the life cycle cost analysis economical evaluation method. This method is used for the first time in the optimization of the insulation thickness of buildings by coding at C Sharp

**Key Words:** Insulation, economical analysis, environmental analysis, simulated annealing algorithm, metaheuristic optimization.

## 1.GİRİŞ

Enerji, ülkelerin ayakta kalması ve devamlılığını sağlayabilmesi için gerekli olan temel parametrelerden biridir. Binalarda ısıtma giderlerinin azaltılması ve ısının verimli kullanılması için bir yol da uygun yalıtım malzemesinin seçilmesidir. Şekil 1'de görüldüğü gibi yalıtımlı binada ısı kayıpları yok denecek kadar azken, yalıtımsız binada özellikle duvarlarda ısı kayıpları yüksek seviyededir. Şekil 1'deki skalada enerji tüketimi sınıflandırılması A'dan G'ye düşük ısı kaybından yüksek ısı kaybına doğru gitmektedir. Dolayısıyla pasif evlerde maksimum yalıtım ile minimum enerji gideri gözlenmektedir [1]. Şekil 2'de Türkiye'de Bölgelere göre ısı yalıtım kalınlık değerleri haritası verilmiştir

[1]. Yapılarda standartlara uygun yalıtım yapmakla; daha düşük yıllık enerji ihtiyacı, daha düşük kazan ve brülör kapasitesi, daha az yakıt tüketimi, daha az radyatör dilim ve grup sayısı, daha düşük çaplı boru ve bunlara bağlı ekipmanlar, daha düşük kapasiteli pompa ve bunların ekipmanları, daha düşük baca gazı emisyonlar gibi avantajlar sağlanabilmektedir. Bu faktörler geri ödeme süresinin kısalığını ifade eder ve aynı zamanda yakıt tüketiminin birer fonksiyonudur [2]. Yalıtım kalınlığının artması, yıllık ısıtma maliyetini azaltırken yalıtım maliyetini de artırmaktadır. Bu iki değer arasında dengeyi sağlamak için yalıtım kalınlığının toplam maliyet üzerinden minimize edilmesi gerekmektedir. Yalıtım kalınlığının minimize edilmesi aynı zamanda çevre kirliliğine ve doğal kaynakların tüketiminin azalmasına da katkı sağlayacaktır. Optimum kalınlıkta uygulanması hedeflenen yalıtım malzemesinin seçiminde bölgenin ortalama dış ortam sıcaklığı, yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği ve maliyeti en önemli parametrelerdir.



Şekil 1. Yalıtımlı ve yalıtımsız bina termal görüntüsü [1]



Şekil 2. Bölgelere göre ısı yalıtım kalınlığı değerleri haritası [1]

Literatürde binalarda optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesine ilişkin birçok çalışma bulunmaktadır. Kürekçi ve arkadaşları, ısıtma derece-gün (DD) değerleriyle ömür maliyet analizi yöntemini kullanarak, Türkiye'deki 81 il merkezinin iki farklı yakıt (doğal gaz, ithal kömür) ve beş farklı yalıtım malzemesi (taş yünü, cam yünü, XPS, EPS ve poliüretan) için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır [3]. Bolattürk, Türkiye'deki 16 il için beş farklı yakıt türü (Kömür, doğal gaz, LGP, fuel-oil ve elektrik) kullanarak optimum yalıtım kalınlığını ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır [4]. Bir diğer çalışmada ise yıllık ısıtma ve soğutma yüklerini kullanarak Türkiye'de birinci iklim bölgesinde bulunan binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığını hesaplamış, P1-P2 metodu ile geri ödeme sürelerini belirlemiştir [5]. Dombayacı ve arkadaşları bu konuda Denizli ili için iki farklı çalışma yapmıştır. Bir çalışmada, iki değişik yalıtım malzemesi (Ekspande Polistiren ve Taş Yünü) ve beş farklı yakıt (Kömür, Doğal Gaz, LGP, Fuel-oil ve Elektrik) kullanarak optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Yakıt tüketiminin % 46,6 oranında azalması ile CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının % 41,53 oranında azaldığını belirlemiştir [6]. Bir diğer çalışmada ise ısıtma için iki farklı enerji kaynağı

(kömür ve fuel oil) kullanarak dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını DD sayısını esas alarak belirlemişlerdir [7]. Kaynaklı, Bursa ili için, 1992–2005 yılları arasındaki dış hava sıcaklık değerlerini kullanarak, ısıtma mevsimi için derece-saat değerlerini hesaplayarak optimum yalıtım kalınlığını tespit etmiştir [8]. Gürel ve Daşdemir, Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden seçilen Aydın, Edirne, Malatya ve Sivas illeri için ısıtma ve soğutma yükleri için oluşan optimum yalıtım kalınlıkları ile enerji tasarruflarını iki farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS) ve ısıtma için doğalgazı, soğutma için ise elektriği yakıt olarak kullanılmak suretiyle hesaplamıştır. Çalışmada ekonomik analiz  $P_1$ –  $P_2$  yöntemini kullanarak yapılmıştır [9]. Kon ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada ise, Balıkesir Üniversitesi kampüsü içerisindeki iki binanın dış duvarlarının DD yöntemi ve ömür maliyet analizi ile ısıtmada yakıt olarak doğal gaz ve beş farklı özellikte dış duvar yalıtım malzemesi (EPS, XPS, camyünü, taş yünü, Poliüretan Köpük) kullanılarak optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tüketimleri tespit edilmiştir. Bunun için, 1999-2010 yıllarını kapsayan Meteoroloji Genel Müdürlüğün günlük ortalama dış hava sıcaklık verileri ve TS 825 aylık ortalama dış hava sıcaklık verilerini kullanılmıştır [10]. Ekici ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Türkiye'de dört iklim bölgesindeki dört farklı (Antalya, İstanbul, Elazığ ve Kayseri) şehir için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri dönüş periyodu hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak fiberglas, ekstrüde polistiren, ekspande polistiren ve köpük poliüretan ve yakıt olarak ta beş farklı yakıt (Kömür, LPG, Elektrik, Fuel-oil ve Doğal Gaz) üç farklı duvar tipi (taş, tuğla ve beton) için incelemeler yapılmıştır [11]. Uçar ve Balo, dıştan yalıtımlı duvarlar için üç farklı metot kullanarak, dört farklı iklim bölgesinden seçilen İzmir, Diyarbakır, Uşak ve Bayburt şehirleri için ömür maliyet optimizasyon metoduyla, sırasıyla 0,073-0,077-0,101-0,138 m olarak bulmuştur. Termodinamik Optimizasyon metodu kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı, ömür maliyet analizi kullanılarak elde edilen sonuçlardan aynı şehirler için sırasıyla % 2,6, % 4,9, % 22,3 ve % 41,6 daha fazla bulunmuştur. TS 825 Isı Yalıtımı Standardı ile hesaplandığında, söz konusu şehirlerin optimum yalıtım kalınlıklarının, 0,038 ile 0,120 m arasında değiştiğini ifade etmişlerdir [11]. Aslan, Gönen'de örnek binalar için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çalışmada dört farklı yalıtım malzemesi (Ekstrüde polistiren, ekspande polistiren, cam yünü ve taş yünü), jeotermal, kömür ve doğal gaz yakıt olarak kullanılmıştır. Ömür maliyet analizi ve DD metodu ile hesaplamalar yapılmıştır [12]. Tolun, Türkiye'de dört DD bölgesinden seçilen dört farklı (Antalya, İstanbul, Ankara ve Erzurum) şehir için optimum yalıtım kalınlıkları tespit edilmiştir. Üç farklı yalıtım malzemesi (genleştirilmiş polistiren, taş yünü ve cam yünü) ve yakıt (doğal gaz, kömür ve fuel-oil) için yıllık tasarruf miktarı, toplam maliyet ve geri ödeme süresini hesaplamıştır. Optimum yalıtım kalınlığını, DD yöntemi ve ömür maliyet analizi ile bulmuştur [13]. Ulaş, okul binaları için ısı kaybı, yakıt tüketimi ve tüketilen yakıtın yanması sonucu atmosfere salınan karbondioksit miktarı dört farklı ısı yalıtım bölgesi ve üç farklı yakıt türü için incelemiştir. DD yöntemi ve ömür maliyet analizi ile optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamıştır. Bulunan optimum yalıtım kalınlığı, TS 825 hesap yöntemine göre belirlenen yalıtım kalınlıkları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada üç farklı yalıtım malzemesi (Ekspande polistiren, ekstrüde polistiren ve cam yünü) ve üç farklı yakıt (Linyit ve maden kömürü, doğal gaz ve fuel oil) kullanılmıştır [14]. Gürel ve arkadaşları, Karabük'te kömür ve doğalgaz kullanımında dış duvar optimum yalıtım kalınlığı tespitinin ekonomik ve çevresel analizi yapmıştır. Ekonomik analiz, yaşam döngüsü maliyet analizine (LCCA) dayanan  $P_1$ - $P_2$  yöntemi ile gerçekleştirilmiştir [15]. Bostancıoğlu, duvarda ve/veya çatıda kullanılan yalıtım malzemesinin, yalıtımsız binaya getirdiği bina kabuğu maliyeti artışı ve yıllık ısıtma enerjisi maliyeti tasarrufu; duvar ve çatı yalıtım malzemesi kalınlığının artışının bina kabuğu, ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetlerinde meydana getirdiği değişimleri değerlendirmiştir [16]. Bu çalışmaların çoğunda Matlab optimization Toolbox kullanılmıştır.

Bu çalışmada, bina dış duvarlarına uygulanan yalıtım malzemelerinin optimum kalınlığının belirlenmesi için daha önce kullanılmamış bir metasezgisel metod kullanılmıştır. Analiz, *ömür maliyet analizi metoduna (LCCA) tavlama benzetimi meta sezgiseli, C Sharp'da* kodlanarak yapılmıştır. Yalıtımın uygulandığı şehir olarak Başkent Ankara seçilmiştir. Bina dış duvarının sandviç yapıda olduğu düşünülerek çalışma detaylarında beş farklı yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığının tespitinden hareketle, geri ödeme süresi, maliyet analizi, duyarlılık analizi, emisyon analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Ömür-Maliyet Analizi

Ömür maliyet analizi, bir binanın ısıtma ömrü boyunca olan ısıtma (ve soğutma) maliyetlerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu hesaplamalar şimdiki değer faktörü (PWF) dikkate alınarak yapılmaktadır. PWF; enflasyon oranı  $g$ , faiz oranı  $i$  ve ömür süresi  $N$  ile birlikte değerlendirilir [25]. PWF; (9) denklemi ifade edilir.

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad \left\{ \begin{array}{l} i > g \quad r = \frac{i-g}{1+g} \\ i < g \quad r = \frac{g-i}{1+i} \end{array} \right. \quad (9)$$

Çalışmada kullanılan 2013 yılı haziran ayındaki yıllık TÜFE' ye göre enflasyon oranı ve hesaplanan yıllık faiz oranı değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1.** Faiz ve enflasyon değerleri

Parametre	Değer
Faiz Oranı ( $i$ )	%11
Enflasyon Oranı ( $d$ )	%8,30
Ömür Süresi ( $N$ )	10

Yalıtım maliyeti  $C_{ins}$  (TL/m<sup>2</sup>); yalıtım malzemesinin TL/m<sup>3</sup> olarak maliyeti  $C_i$ , ve  $x$ ; yalıtım kalınlığı olarak gösterilirse;

$$C_{ins} = C_i x \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir. Sonuç olarak, yalıtılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti; sistemle ilgili tüm harcamaların toplamından oluşan ömür maliyet analizi dikkate alınarak hesaplandığında [23]

$$C_t = C_a PWF + C_{ins} \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir.

Toplam ısıtma maliyetinin yalıtım kalınlığına ( $x$ ) göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse optimum yalıtım kalınlığı elde edilir [7].

$$x_{opt} = 293,94 * \sqrt{\frac{DD * C_f * k * PWF}{H_u * n_s * C_i}} - k * R_{wt} \quad (12)$$

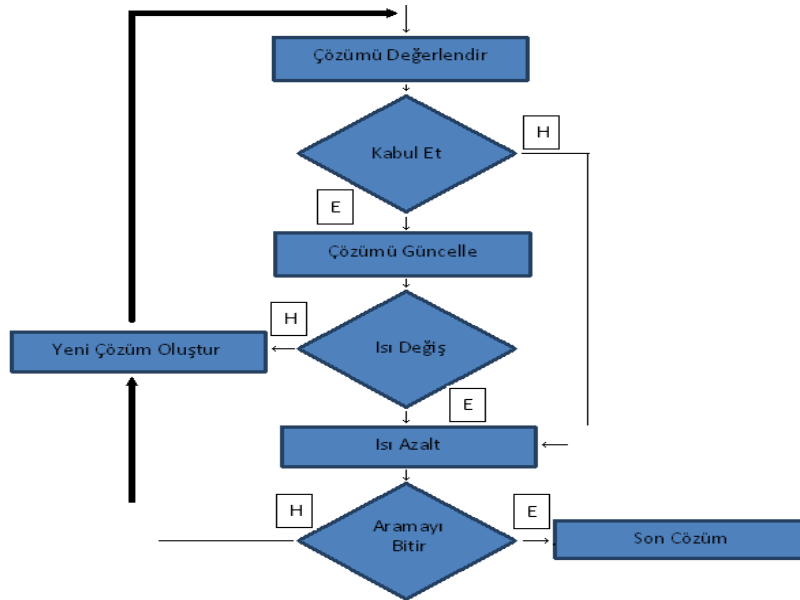
### 2.2. Tavlama Benzetimi Metasezgiseli

Tavlama benzetimi meta sezgiseli, optimizasyon problemleri için iyi çözümler veren olasılıklı bir arama tekniğidir. Bu algoritma birbirlerinden bağımsız olarak, Kirkpatrick, Gerlatt ve Vecchi (1983) Cerny (1985) tarafından ortaya konmuştur. Tavlama Benzetimi ismi, katıların fiziksel tavlama süreci ile olan benzerlikten ileri gelmektedir. Katıların ısıtılması ve sonra kristalleşmeye kadar yavaş yavaş soğutulması esasına dayanır. Sıcaklık değeri elde edilen en iyi çözümden daha kötü bir çözümün kabul edilme olasılığını belirlemek için kullanılır. Tavlama benzetimi yüksek bir sıcaklık değeriyle başlar. Her bir hesaplama adımında mevcut çözümün komşuları arasından çok sayıda çözüm üretilir. Yeni çözümler belirlenen kriterlere göre kabul edilir veya reddedilir. Her bir hesaplama adımından sonra sıcaklık belirlenen bir fonksiyona göre azaltılır. Algoritma istenen iterasyona ulaşıldığında ya da sıcaklık minimum değerine ulaşıldığında veya istenen çözüme ulaşıldığında sonlandırılır. Tavlama benzetimi meta sezgiseli; başlangıç sıcaklığı, her sıcaklıkta üretilecek çözüm sayısı fonksiyonu, sıcaklık azaltma fonksiyonu, algoritmayı durdurma şartı olmak üzere 4 parametre kullanılarak uygulanır. Algoritmanın durdurulması; belirlenen maksimum iterasyona ulaşılması, belirlenmiş

minimum sıcaklığa ulaşılması, istenen kriterleri sağlayan çözüme ulaşılması ile gerçekleştirilir [17, 18]. Tavlama Benzetimi Algoritması Şekil 3, algoritmaya ait akış şeması Şekil 4’de verilmiştir [19].

```
Bir başlangıç çözümünü seç:  $s_0 \in S$  ve amaç fonksiyonu  $f(s_0)$  hesapla;  
Bir başlangıç sıcaklığı belirle:  $T > 0$ ;  
Sıcaklık değişim sayacını sıfırla:  $t \leftarrow 0$ ;  
 $s \leftarrow s_0$ ;  $f(s) \leftarrow f(s_0)$ ;  
 $s_{iyi} \leftarrow s_0$ ;  $f(s_{iyi}) \leftarrow f(s_0)$ ;  
Repeat  
   $n \leftarrow 0$   
Repeat  
   $s$  nin komşusu olan  $\hat{s}$  çözümünü ( $\hat{s} \in N(s)$ ) rasal olarak üret;  
   $\Delta \leftarrow f(\hat{s}) - f(s)$ ;  
   $\Delta \leq 0$  ise  $s \leftarrow \hat{s}$ ;  
  değilse  $(0,1)$  aralığında düzgün dağılımdan bir rasal sayı üret ( $u$ ) ve  
   $u < \exp(-\Delta/T)$  ise  $s \leftarrow \hat{s}$ ;  
   $f(\hat{s}) < f(s_{iyi})$  ise  $s_{iyi} \leftarrow \hat{s}$ ;  
   $n \leftarrow n + 1$ ;  
Until  $n > M$   
   $t \leftarrow t + 1$ ;  
   $T = T(t)$ ;  
Until (durdurma koşulu sağlanana kadar)  
 $s_{iyi}$  problem için bulunan sezgisel çözüm
```

Şekil 3. Tavlama Benzetimi Algoritması [19]



Şekil 4. Tavlama Benzetimi Algoritmasına ait akış şeması [19]

Tavlama Benzetimi algoritması kullanılırken probleme ve algoritmaya ilişkin bazı kararların verilmesi gerekmektedir. Çözümlerin uygun bir şekilde gösterilmesi, amaç fonksiyonunun tanımlanması, başlangıç çözümünün seçilmesi ve komşu çözümler üretmek için komşu üretme mekanizmasının belirlenmesi probleme özgü kararlardır. Bu çalışmada, bu kararlardan amaç fonksiyonu minimum

yalıtım kalınlığı olarak alınmıştır. Başlangıç çözümü rassal olarak seçilmiştir. Komşu çözümlerde rassal olarak belirlenmiştir. Başlangıç sıcaklığının belirlenmesi, soğutma oranı ve sıcaklık değiştirme kuralının tanımlanması, her sıcaklıkta gerçekleştirilecek iterasyon sayısının tanımlanması ve aramanın durdurulması için durdurma kriterinin belirlenmesi ise algoritmaya ait kararlardır. Başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı ve her bir aramada aranacak komşu sayısı kullanıcının isteğine bağlı olarak dışarıdan girilecek şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan programa ait ara yüz Şekil 5’ de verilmiştir.

Şekil 5. Oluşturulan programın ara yüzü.

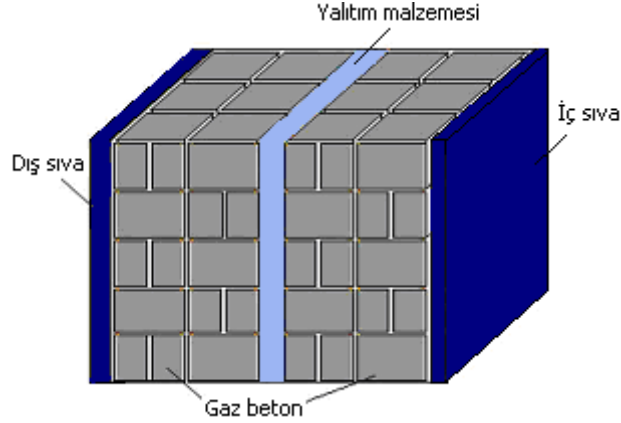
### 3.SANDVIÇ DİZAYNLI BİNA KABUĞU İÇİN HESAPLAMALAR

Optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde ömür maliyet analizi (LCCA) kullanılmıştır. Bu yöntemdeki formüllere, tavlama benzetimi metasezgiseli uygulanmıştır. Tavlama benzetimi C Sharp’da kodlanmıştır. Kodun çözülmesi sonucu elde edilen sonuçlara göre maliyet analizi, duyarlılık analizi, gaz salınımı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

#### 3.1. Bina Duvarlarının Yapısı

Binalardaki ısı kaybının, %40 duvarlarda, %30 pencerelerde, %17 si hava sızıntıları, %7 çatılarda, %6 sı ise bodrum kat da gerçekleşmektedir. Görüldüğü gibi en fazla ısı kaybı duvarlar da meydana gelmektedir [20]. Isı kaybı açısından en iyi performansı, yalıtım sürekliliğinin sağlandığı dıştan yalıtımlı duvar sağlar. Ancak, dıştan yalıtımlı duvarlarda kaplama yapılması zorluğu, maliyet gibi nedenlerden dolayı ülkemizde, sandviç duvar uygulaması da yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, hesaplamalar için sandviç duvar kullanılmış olup, duvar yapısı Şekil 6’de gösterilmiştir. Söz konusu duvar, 2 cm iç sıva, 25 cm gaz beton, yalıtım malzemesi, 25 cm gaz beton, 3 cm dış sıvadan oluşmaktadır. Duvar yapısında ana yapı malzemesi olarak seçilen gaz beton, hafif beton sınıfına giren silisyum, kum, çimento, kireç ve alüminyumun farklı miktarlardaki karışımından elde edilen bir yapı malzemesi olup son yıllarda düşük ısı iletim katsayısı sebebiyle inşaat sektöründe çok fazla kullanıldığı için çalışmada tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan yalıtım malzemelerine ait ısıl iletkenlik değerleri ve birim fiyatlar Tablo 2’ de verilmiştir.





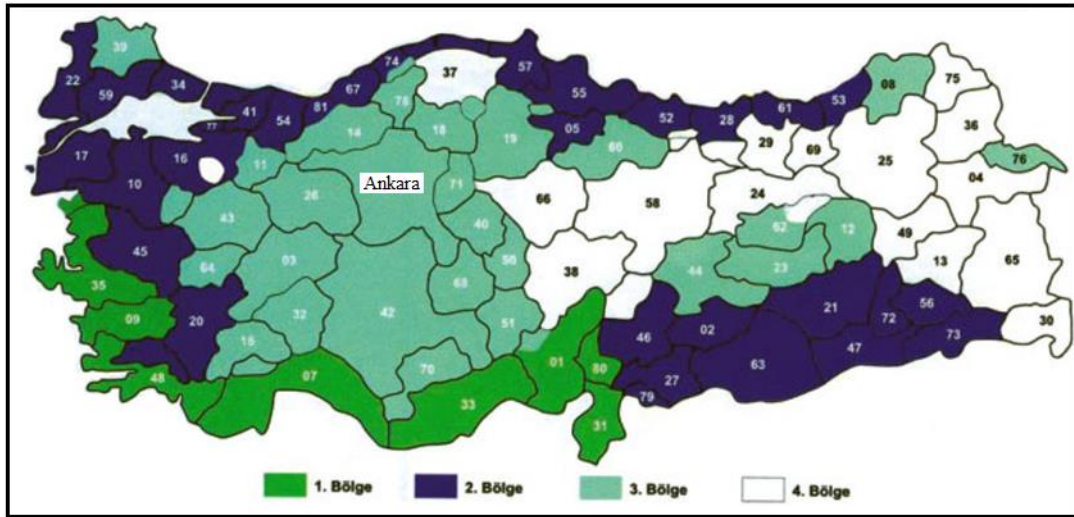
Şekil 6. Sandviç dış duvarın yapısı (Rwt = 0,777 m<sup>2</sup> K/W)

Tablo 2. Yalıtım malzemelerinin özellikleri

	XPS	EPS	Poliüretan	Cam Yünü	Taş Yünü
İletkenlik, <i>k</i>	0,032	0,033	0,024	0,04	0,04
Fiyat, <i>C<sub>i</sub></i>	150TL/m <sup>3</sup>	230 TL/m <sup>3</sup>	650 TL/m <sup>3</sup>	115 TL/m <sup>3</sup>	160 TL/m <sup>3</sup>

### 3.2. Uygulama Yeri

Belirli bir bölgedeki bir yapının bir yıl boyunca kaç gün süreyle kaç derece ısıtılması veya soğutulması gerektiğini gösteren DD değerinin büyüklüğü, yapının yıllık ısı ihtiyacının ne kadar fazla olduğunu gösterir [21]. DD değerleri yardımı ile saptanan iklim bölgeleri de göz önüne alınarak bu çalışmada 3. bölgeden Ankara ili için hesaplamalar yapılmıştır [22]. İç Anadolu Bölgesinin en soğuk illerinden biri olan ve 39°53'30" Kuzey- 32°52' Doğu koordinatlarında yer alan Ankara ili için DD değeri 2677 (18°C için), kış için dış ortam sıcaklığı -12°C'dir [21]. Şekil 7, Türkiye'deki yıllık ısıtma DD bölgelerine göre Ankara'nın konumunu göstermektedir



Şekil 7. Türkiye'deki yıllık ısıtma DD bölgelerine göre Ankara'nın konumu

### 3.3. Isı Kaybının Hesaplanması

Binalarda ısı kaybı genellikle dış duvar, tavan, pencereler ve temelden oluşur. Isı kayıplarının sadece dış duvar yüzeyinden meydana geldiği kabul edilerek dış duvarın birim alanından gerçekleşen ısı kaybı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$q = U(T_b - T_o) \quad (1)$$

Burada; U toplam ısı transfer katsayısı,  $T_b$ , temel sıcaklık,  $T_o$ , günlük sıcaklıktır. Birim alandan yıllık ısı kaybı  $q_A$ ;

$$q_A = 86400 \cdot DD \cdot U \quad (2)$$

formülü ile hesaplanabilir [23]. Dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı sebebiyle, ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı  $E_A$ , yıllık ısı kaybının yakma sisteminin verimine bölünmesi ile yaklaşık olarak elde edilir. Yıllık enerji miktarı üzerinde yakma sisteminin verimin yanında boru... vb dağıtma sisteminin verimi de etkili olur.

$$E_A = \frac{86400 \cdot DD \cdot U}{\eta_s} \quad (3)$$

Şekil 4'de gösterilen tipik bir duvar için toplam ısı geçirgenliği;

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_d} \quad (4)$$

formülü ile ifade edilebilir. Burada  $R_i$  ve  $R_d$  sırası ile iç ve dış yüzeyin ısı dirençleridir.  $R_w$ ; yalıtımsız duvar tabakalarının toplam ısı direncidir.  $R_{ins}$ ; yalıtım malzemesinin ısı direncidir.

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (5)$$

olarak yazılabilir. Burada x ve k sırası ile yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısıdır. Yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısı direnci,

$$U = \frac{1}{R_{tw} + R_{ins}} \quad (6)$$

Burada  $R_{tw}$ ;  $R_i$ ,  $R_w$  ve  $R_d$  ısı dirençlerinin toplamıdır. Isıtma için gerekli yıllık enerji miktarı  $E_A$ ; Denklem 7 ile bulunur.

$$E_A = \frac{86400 \cdot DD}{\left(R_{tw} + \frac{x}{k}\right) \eta_s} \quad (7)$$

### 3.4. Yıllık Enerji Maliyeti

Birim alan başına ısıtmanın yıllık enerji maliyeti,

$$C_a = \frac{86400 \cdot DD \cdot C_f}{\left(R_{tw} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta_s} \quad (8)$$

formülü ile bulunur [24]. Burada  $H_u$  (J/kg) yakıt tipine bağlı olarak belirlenen yakıtın alt ısı değeri,  $C_f$  (TL/kg) yakıtın fiyatıdır.

### 3.5. Isıtma İçin Net Enerji Kazanımı

Yalıtılmamış bir binanın toplam ısıtma maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanır [7].

$$C_{ys} = \frac{86400 \cdot DD \cdot C_f \cdot PWF}{R_{wt} \cdot H_u \cdot \eta_s} \quad (13)$$



Yıllık toplam maliyet farkı yani enerji tasarruf miktarı; [7]

$$YF = C_{ye} - C_t \quad (14)$$

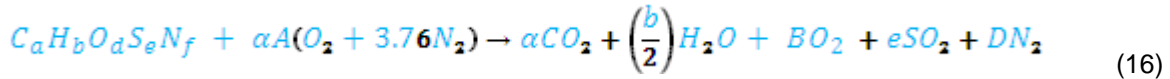
### 3.6. Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi (PP) [3, 7]

$$(PP) = \frac{C_{ye}}{YF} \quad (15)$$

### 3.7. Yakıt Tüketim Sürecinin Hesaplanması

Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların yanması sonucu karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) gibi büyük miktarlarda atık gaz çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu atık gaz (özellikle karbondioksit) dünyanın geri yansıttığı güneş ışınlarını da tutarak dünya sıcaklığının artmasına yol açmaktadır. Bunun uzantısında gelecek yıllarda iklim değişiklikleri beklenmektedir. Kükürt esaslı baca gazı atıkları havadaki su ile birleşerek sülfürik asit oluşturarak asit yağmurlarına neden olmaktadır. Asit yağmurları da bitki örtüsü ve yapıları tahrip etmektedir. Gerekli yalıtım tedbirlerinin alınması binanın ısı ihtiyacını azaltarak, dışarıya atılan baca gazı miktarını azaltacak dolayısıyla çevre kirliliğini azaltacaktır. Yakıtlar için yanmanın genel kimyasal bağıntısı aşağıda verilmektedir [26];



Burada A, B ve D sabit olup, aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmaktadır:

$$A = a + \left(\frac{b}{4}\right) + e - \left(\frac{d}{2}\right) \quad (17)$$

$$B = (\alpha - 1) \left[ a + \left(\frac{b}{4}\right) + e - \left(\frac{d}{2}\right) \right] \quad (18)$$

$$D = 3.76\alpha \left[ a + \left(\frac{b}{4}\right) + e - \left(\frac{d}{2}\right) \right] + \frac{f}{2} \quad (19)$$

1 kg yakıtın yanmasından ortaya çıkan emisyon oranı;

$$M_{CO_2} = \frac{aCO_2}{M} \quad \text{kgCO}_2/\text{kgyakıt} \quad (20)$$

$$M_{SO_2} = \frac{eSO_2}{M} \quad \text{kgSO}_2/\text{kgyakıt} \quad (21)$$

yukarıdaki bağıntının sağ tarafını, yıllık yakıt tüketim miktarı  $m_y$  ile ifade edecek olursak, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>'nin toplam emisyon miktarları aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır:

$$M_{CO_2} = \frac{44a}{M} m_y \quad (22)$$

$$M_{SO_2} = \frac{44e}{M} m_y \quad (23)$$

Burada M, yakıtın mol ağırlığı olup, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$M = 12.a + b + 16.d + 32.e + 14.f \quad (24)$$

Tablo 3'de hesaplamalarda kullanılan yakıtların kimyasal formülü, fiyatı, ısıl değeri ve verimleri, Tablo 4'de ise hesaplamalarda kullanılan yakıtların kimyasal bileşenleri verilmiştir.

**Tablo 3.** Yakıtların özellikleri

Yakıt Malzemesi	Kimyasal Formül	(Cf) Fiyat [TL/1000kwh]	H <sub>u</sub>	N <sub>s</sub>
Doğalgaz	C <sub>1.05</sub> H <sub>4</sub> O <sub>0.034</sub> N <sub>0.022</sub>	0.1241 TL/m <sup>3</sup>	34.526 × 10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup>	0.90
Kömür	C <sub>7.078</sub> H <sub>5.149</sub> O <sub>0.517</sub> S <sub>0.01</sub> N <sub>0.086</sub>	0.1934 TL/kg	29.295 × 10 <sup>6</sup> J/kg	0.65
LPG	C <sub>3,7</sub> H <sub>4,1</sub>	0.5087 TL/kg	46.453 × 10 <sup>6</sup> J/kg	0.90
Fuel - Oil	C <sub>7.3125</sub> H <sub>10.407</sub> O <sub>0.04</sub> S <sub>0.026</sub> N <sub>0.02</sub>	0.2874 TL/m <sup>3</sup>	40.594 × 10 <sup>6</sup> J/kg	0.80
Elektirik	-	0.3334TL/kWh	3.599 × 10 <sup>6</sup> J/kWh	0.99

**Tablo 4.** Hesaplamalarda kullanılan yakıtların kimyasal bileşenleri [26, 27]

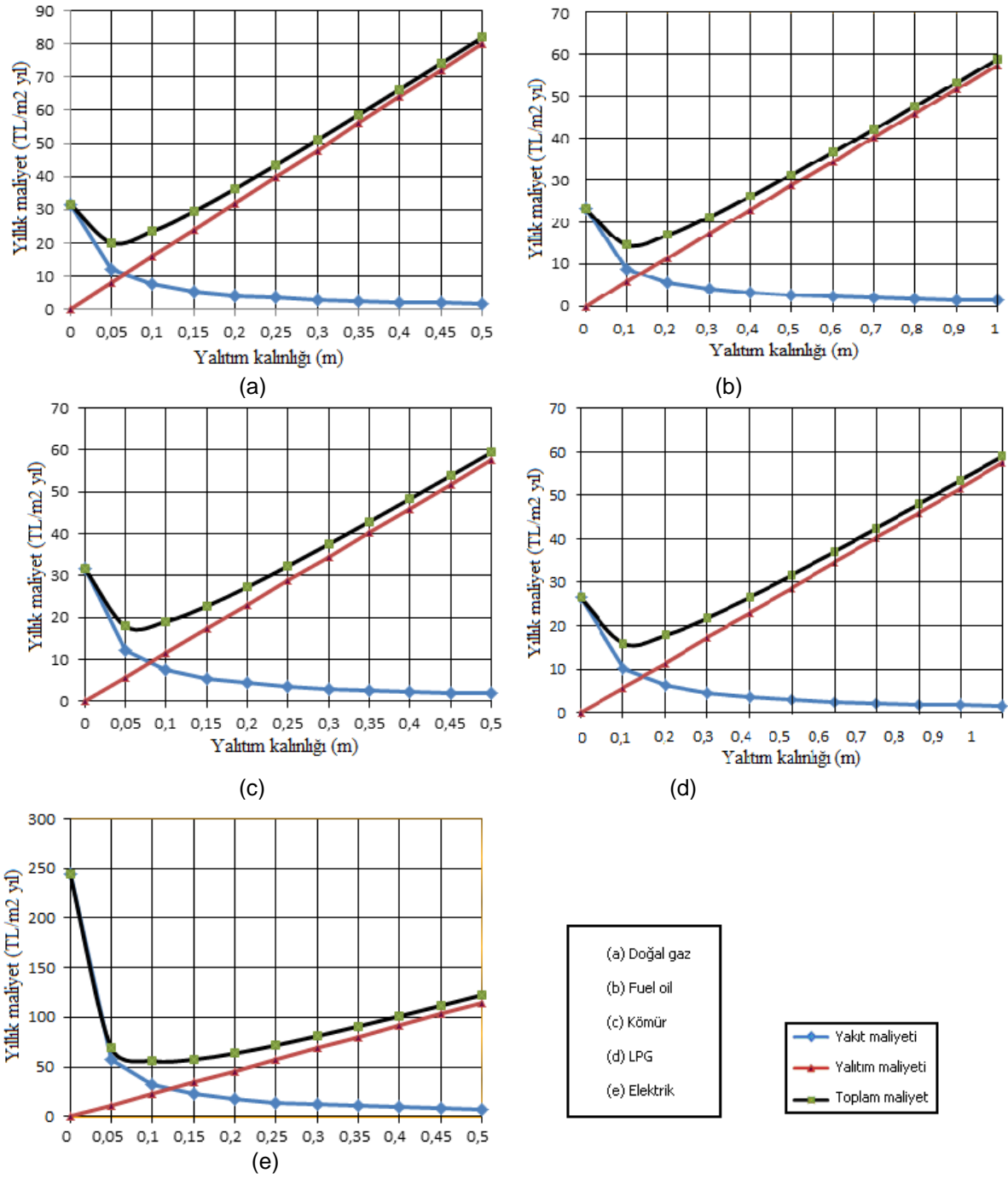
Yakıt	Kimyasal bileşenler											
	%C	%H	%O	%N	%S	%CH <sub>4</sub>	%C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	%C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	%C <sub>3</sub> H <sub>10</sub>	%C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	%CO <sub>2</sub>	%N <sub>2</sub>
Doğal gaz	-	-	-	-	-	91.22	5.9	0.06	-	0.02	1.7	1.1
Kömür	85.01	5.19	8.27	1.21	0.32	-	-	-	-	-	-	-
LPG	-	-	-	-	-	-	-	-	0.30	0.70	-	-
Fuel-oil	87.75	10.49	0.64	0.28	0.84	-	-	-	-	-	-	-

### 3.8. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık Analizi; tasarım yüklemeleri ve bazı ekonomik varsayımların optimizasyon sonuçları üzerindeki etkisini bulmak ve tasarıma dahil olan değişkenlerin önemini araştırmak üzere çalışmaya eklenmiştir. Bu analiz; maliyetler/nakit akışlarının, hata verileri değerlendirilerek dikkate alınması bakımından faydalı olup alternatif senaryolar üzerinde mevcut senaryo ve verilerin doğruluğunu teyit edici tahmin içerdiği için önemlidir. Yatay eksen faizlerdeki değişimi ifade etmektedir. Alınan faizdeki değişime göre senaryolar oluşturulmuş ve bu durumda maliyetlerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Alınan faizin artı ve eksi yönde %5, %10, %15, %20 oranında değişimi yapılmıştır. Dikey eksen ise maliyetlerde meydana gelen değişimdir. Bu değişim ilk başta alınan faiz durumundaki toplam maliyetten, faizlerde yapılan değişimler sonucu elde edilen maliyetin çıkarılması sonucu oluşturulmuştur. Maliyetler ise yalıtımlı malzemede her bir birim yüzeyi ısıtmanın yıllık enerji maliyeti ile yalıtım maliyetinin toplamından elde edilmiştir.

## 4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; Ankara ilindeki konutların dış duvarlarında duvar tipi sandviç duvar olduğu durum için yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS, poliüretan, cam yünü, taş yünü ve enerji kaynağı olarak kömür, doğalgaz, fuel oil, LPG, elektrik kullanıldığında, optimum yalıtım kalınlıkları ve buna bağlı olarak elde edilecek enerji kazancı ile geri ödeme süreleri hesaplanarak duyarlılık ve emisyon analizleri yapılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı, faiz ve enflasyon oranları dikkate alınarak hesaplanmış olup, hesaplar ömür maliyet analizi ve tavlama benzetimi metasezgiselinin hibritlenmesi ile yapılmıştır. Ankara ili için 10 yıllık bir sürede yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi yalıtım malzemesi olarak camyünü kullanıldığında farklı yakıtlar için Şekil 8'da gösterilmektedir.



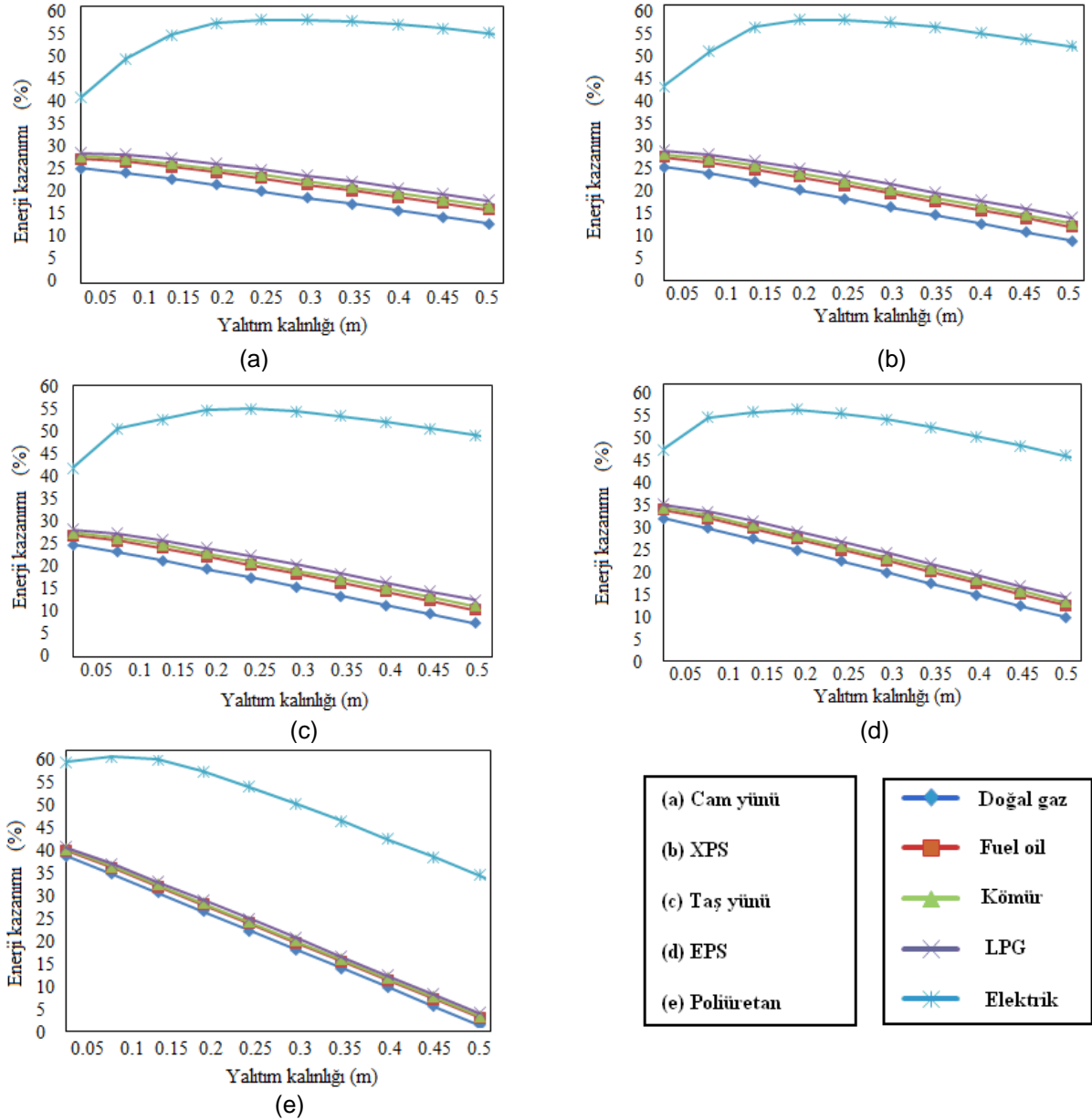
Şekil 8. Ankara ili için sandviç duvarda cam yünü yalıtım malzemesi kullanıldığı durum için farklı yakıtlara göre maliyet analizi

**Tablo 5.** Ankara ili için sandviç duvarda optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyet, geri ödeme süresi, CO2 ve SO2 gaz salınımı.

	Yakıt Tipi	XPS	EPS	Poliüretan	Cam Yünü	Taş Yünü
Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)	Kömür	0.066	0.049	0.019	0.085	0.067
	Doğalgaz	0.054	0.039	0.014	0.069	0.054
	Fuel-Oil	0.095	0.072	0.031	0.121	0.098
	LPG	0.133	0.104	0.047	0.171	0.140
	Elektrik	0.104	0.08	0.035	0.133	0.108
Toplam Maliyet	Kömür	23.501	28.336	36.961	23.078	26.465
	Doğalgaz	19.828	23.726	30.341	19.488	22.223
	Fuel-Oil	32.122	39.175	52.506	31.515	36.422
	LPG	43.747	53.808	73.470	42.902	49.846
	Elektrik	34.889	42.661	57.495	34.226	39.615
Geri Ödeme Süresi (Yıl)	Kömür	1.897	2.327	3.903	1.867	2.139
	Doğalgaz	2.142	2.762	5.429	2.101	2.485
	Fuel-Oil	1.595	1.834	2.561	1.577	1.733
	LPG	1.408	1.553	1.946	1.397	1.492
	Elektrik	1.536	1.745	2.354	1.521	1.657
Gaz CO <sub>2</sub> Salınımı	Kömür	13.339	16.744	24.143	13.052	15.447
	Doğalgaz	7.995	10.06	14.486	7.876	9.263
	Fuel-Oil	6.122	7.752	11.088	6.032	7.107
	LPG	3.763	4.726	6.791	3.676	4.344
	Elektrik	0	0	0	0	0
SO <sub>2</sub> Salınımı	Kömür	0.019	0.024	0.034	0.018	0.022
	Doğalgaz	0	0	0	0	0
	Fuel-Oil	0.022	0.028	0.039	0.021	0.025
	LPG	0	0	0	0	0
	Elektrik	0	0	0	0	0

Binaların dış duvarlarına uygulanan yalıtım kalınlığı arttıkça, binanın ısı kaybı ve buna bağlı olarak da ısıtma yükü azalır. Bu da yakıt maliyetini azaltır. Ancak yalıtım kalınlığının artması yalıtım maliyetinin artması demektir. Bununla birlikte, yalıtım kalınlığının artması yakıt ve yalıtım maliyetinin toplamından oluşan toplam maliyette artışa neden olur. Bu artış, optimum yalıtım kalınlığına kadar orantılı bir şekilde devam eder. Bu değerden sonra, gereksiz yere artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak, yalıtım maliyeti ve dolayısıyla toplam maliyette bir artış görülür. Toplam maliyet, optimum yalıtım kalınlığı noktasında minimumdur. Bu çalışma sonucu Ankara ili için sandviç duvarda elde edilen optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyet, geri ödeme süresi, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gaz salınımı değerleri Tablo 5'de verilmektedir.

Şekil 8 ve Tablo 5'den görüldüğü gibi bütün yalıtım malzemeleri değerlendirildiğinde en düşük optimum yalıtım kalınlığı; cam yünü ile enerji kaynağı olarak LPG kullanıldığı zaman 0.014 m olarak elde edilirken, en yüksek optimum yalıtım kalınlığı ise doğal gaz yakıt tipi için poliüretan kullanıldığında 0.171 m olarak elde edilmiştir.



**Şekil 9.** Ankara ilinde sandviç duvar, beş farklı yakıt türü ve beş farklı yalıtım malzemesi kullanıldığı durum için net enerji kazancı.

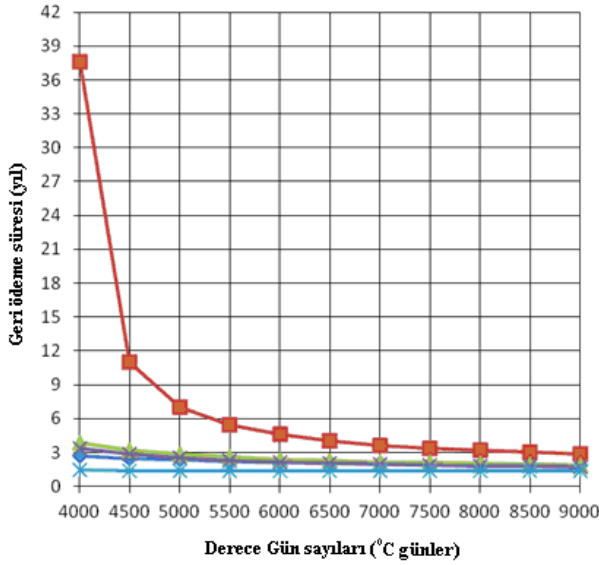
Sandviç duvar modeli için beş farklı yakıt ve beş farklı yalıtım malzemesine için, yalıtım kalınlığına göre enerji kazanım değerleri Şekil 9'de, toplam maliyet değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Toplam maliyet değerleri yakıt tipine ve yalıtım malzemesine bağlı olarak dış duvarlar için 73.470 TL (poliüretan-LPG) ile 19.488 TL (camyünü-doğal gaz) arasında değişmektedir. Şekil 9 ve Tablo 6'dan da görüldüğü gibi yıllık tasarruf, yakıt maliyeti ile doğru orantılıdır. Yakıt maliyetindeki herhangi bir artış tasarrufu da arttırmaktadır. Dolayısıyla en yüksek enerji kazanımı doğal gaz yakıt olarak kullanıldığında camyünü ile en düşük enerji kazanımı ise LPG yakıt olarak kullanıldığında poliüretan ile elde edildiği tespit edilmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı arttıkça, enerji kazanımı da artacağından en yüksek enerji kazanımı ve en düşük enerji kazanımı değerleri optimum yalıtım kalınlığı ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla Ankara gibi soğuk iklim bölgelerinde yer alan illerde yalıtım uygulamalarından daha fazla enerji tasarrufu yapılabileceği yorumu yapılabilir.

Şekil 10'de Ankara ilinde incelenen sandviç duvar tipinde beş farklı yakıt türü ve beş farklı yalıtım malzemesi kullanıldığı durumda DD sayılarına göre 10 yıllık ömür süresi için geri ödeme süreleri

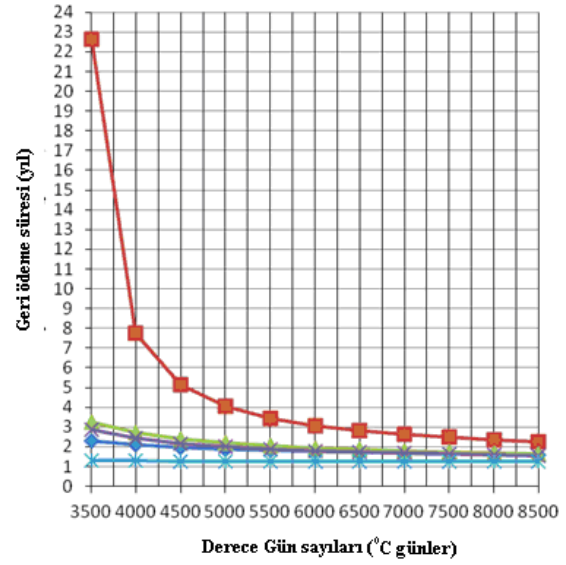
üzerinde yalıtım kalınlığının etkisi gösterilmiştir. Geri ödeme süreleri, 5,429 ile 1,408 yıl arasında değişirken en düşük geri ödeme süresi; yalıtım malzemesi olarak XPS, yakıt olarak LPG kullanıldığında, en düşük geri ödeme süresi ise, yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanıldığında doğal gaz yakıtı için elde edilmiştir.

Şekil 11 ve Şekil 12'da sırasıyla Ankara ilinde sandviç duvar, beş farklı yakıt türü ve beş farklı yalıtım malzemesi kullanıldığı durum için CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının yalıtım kalınlığı ile değişimleri gösterilmektedir. Yalıtım kalınlığı arttığı zaman yıllık yakıt tüketimi ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonu azalmaktadır. Yani fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan hava kirliliği de azalmaktadır. Şekil 11'den de görüldüğü gibi Ankara ilinde sandviç duvarda en yüksek CO<sub>2</sub> emisyonu; yalıtım malzemesi olarak EPS yakıt olarak kömür kullanıldığı zaman 16,744 kg/m<sup>2</sup>yıl, en düşük CO<sub>2</sub> emisyonu; yalıtım malzemesi olarak cam yünü yakıt olarak LPG kullanıldığında 3,676 kg/m<sup>2</sup>yıl olarak elde edilmiştir.

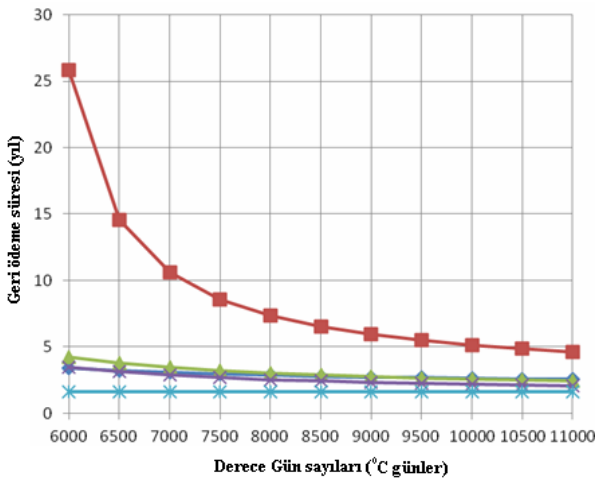
Şekil 12'da görüldüğü gibi, en yüksek SO<sub>2</sub> emisyonu fuel oil yandığı zaman yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanıldığında 0,039 kg/m<sup>2</sup>yıl olarak elde edilirken, en düşük SO<sub>2</sub> emisyonu kömür yandığı zaman yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanıldığında 0,018 kg/m<sup>2</sup>yıl olarak elde edilmiştir. Sistemde çevreye en az kirletici etki yapan doğal gaz ve LPG yandığı zaman SO<sub>2</sub> emisyonu elde edilmemiştir. Şekil 10'dan da görüldüğü gibi yalıtım kalınlığı arttıkça SO<sub>2</sub> emisyonu azalmaktadır.



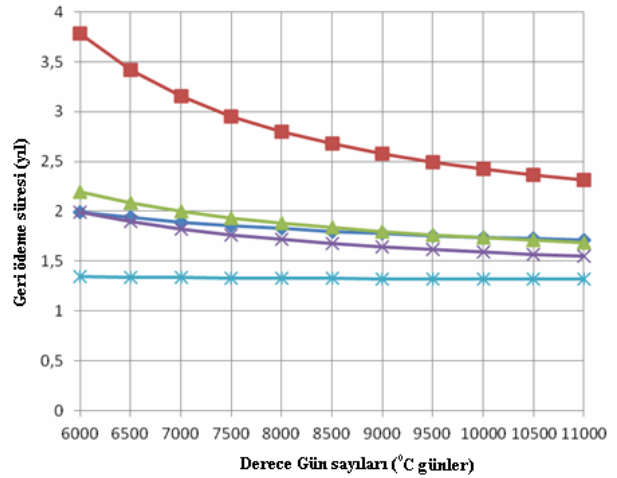
(a)



(b)

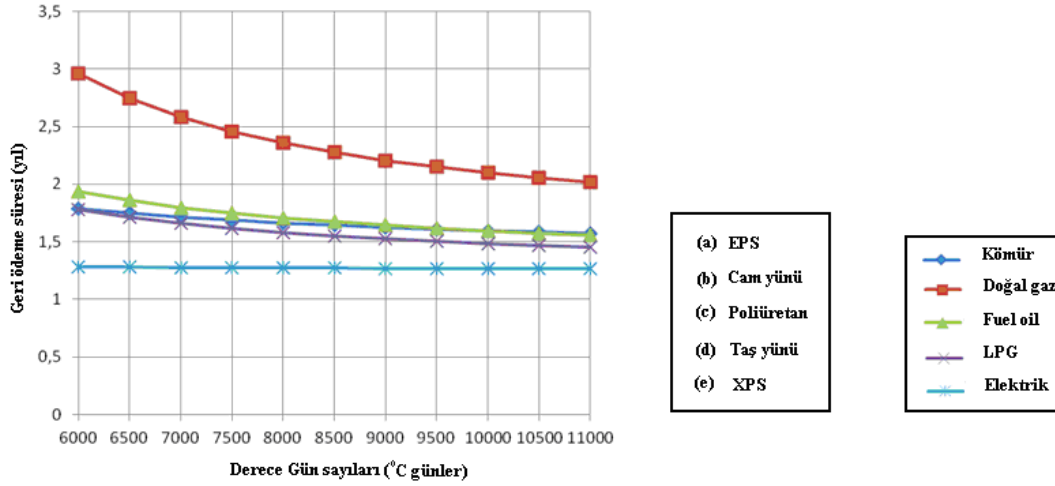


(c)



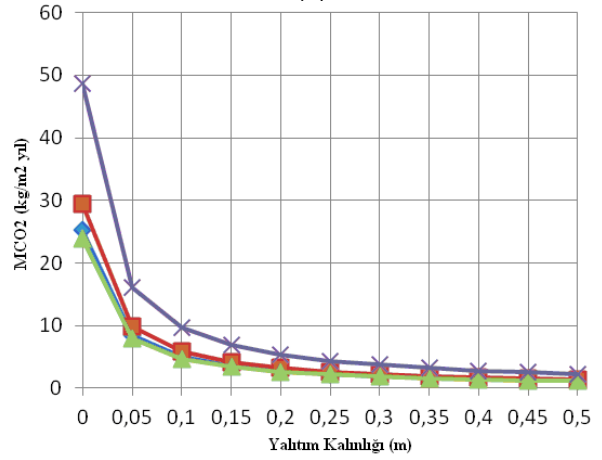
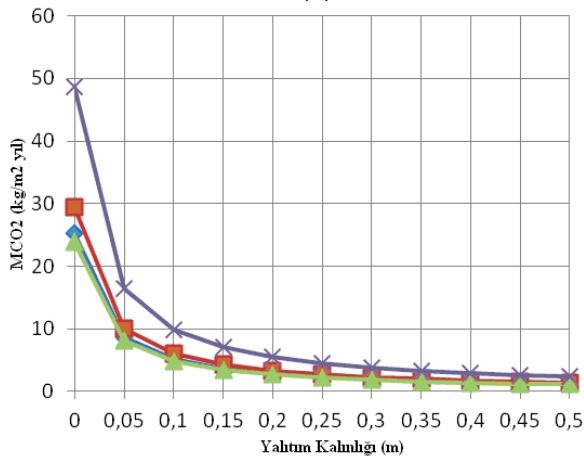
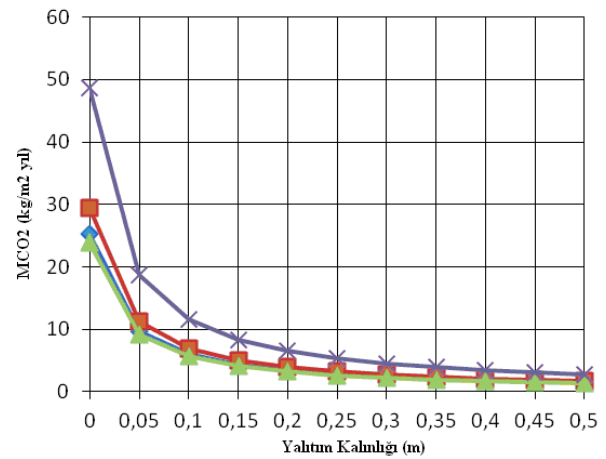
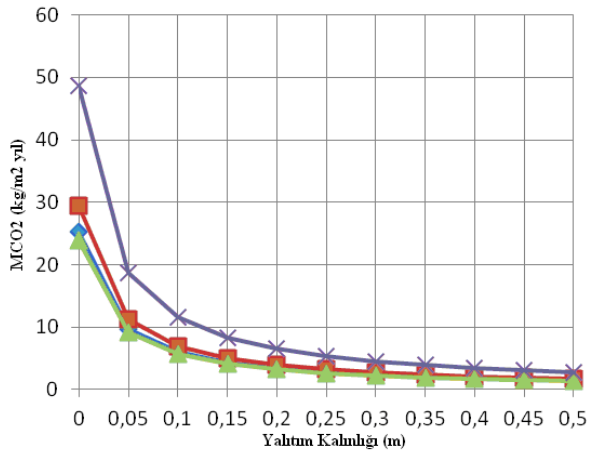
(d)

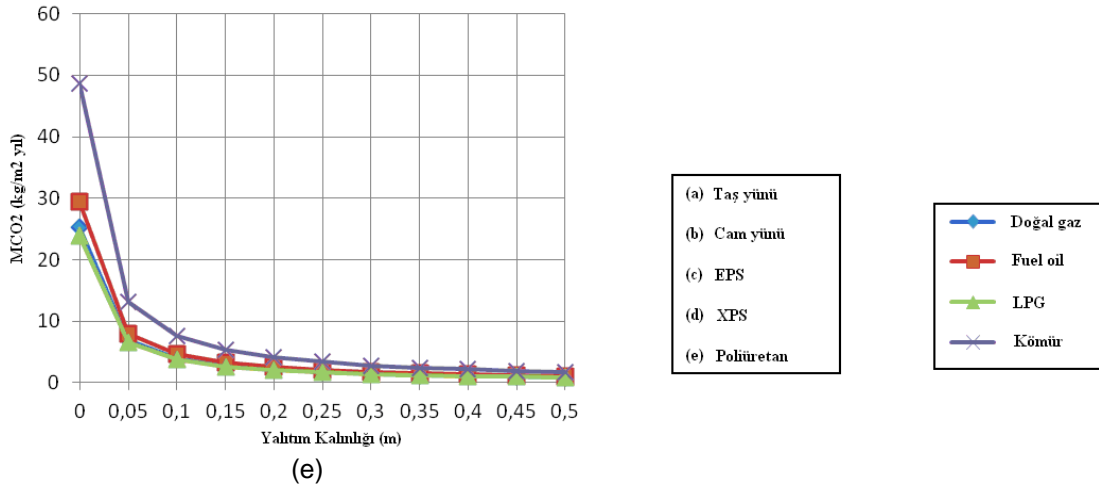




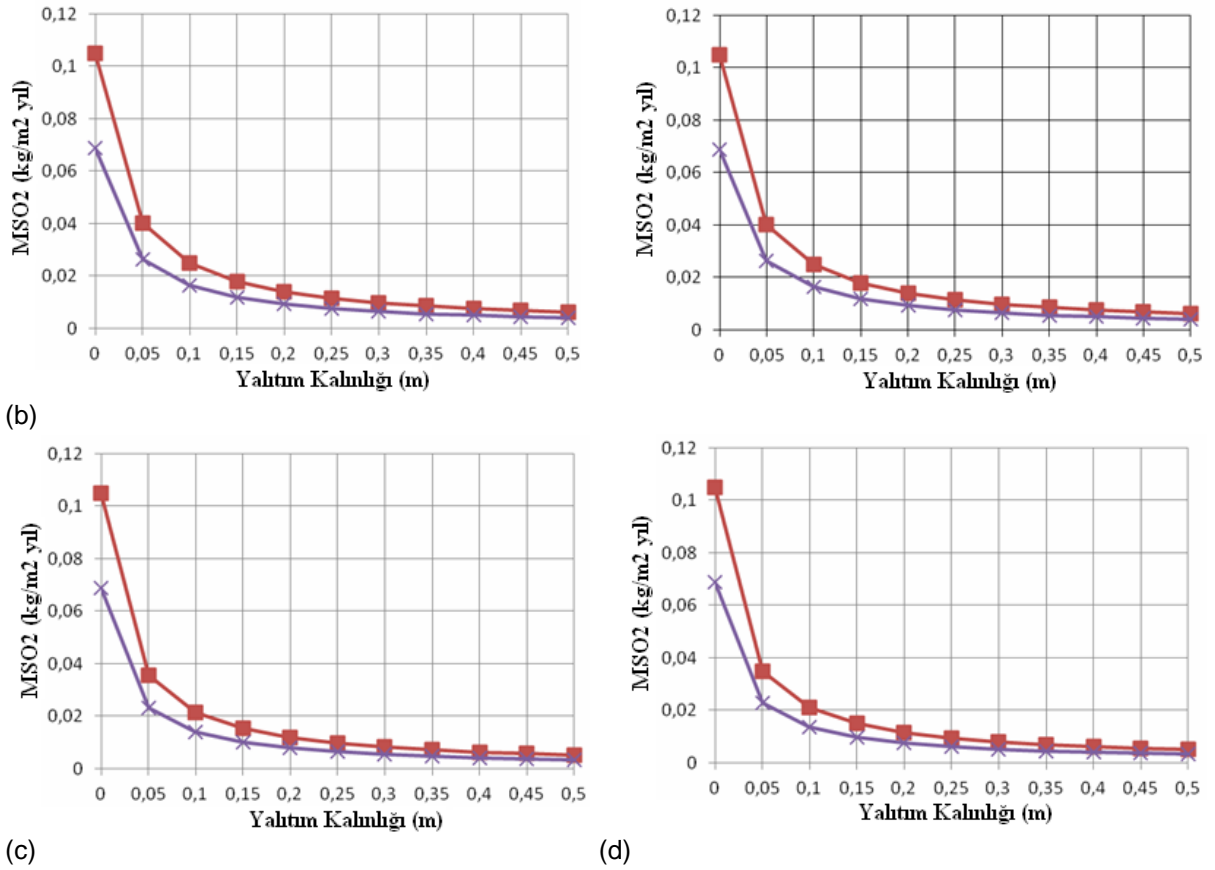
(e)

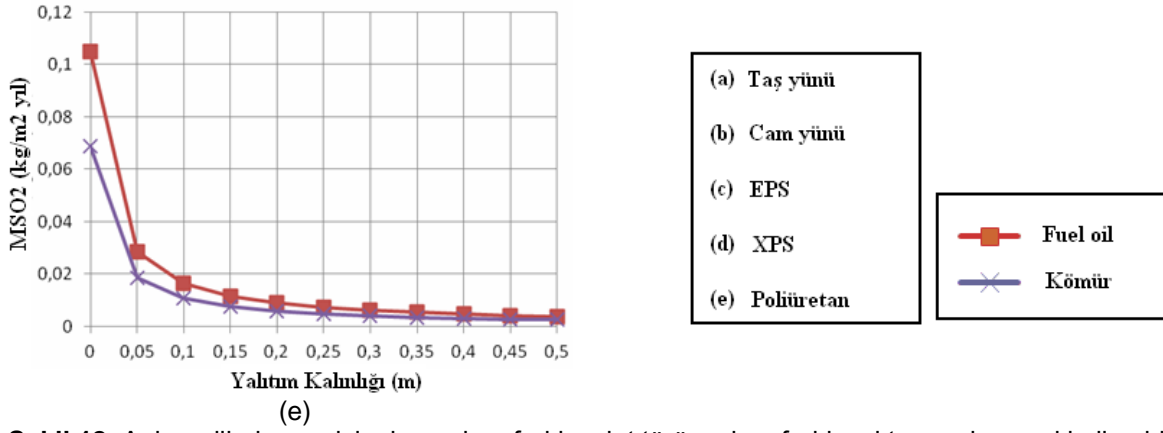
**Şekil 10.** Ankara ilinde sandviç duvar, beş farklı yakıt türü ve beş farklı yalıtım malzemesi kullanıldığı durum için geri ödeme süreleri.





**Şekil 11.** Ankara ilinde sandviç duvar, beş farklı yakıt türü ve beş farklı yalıtım malzemesi kullanıldığı durum için CO<sub>2</sub> gaz salınımı.

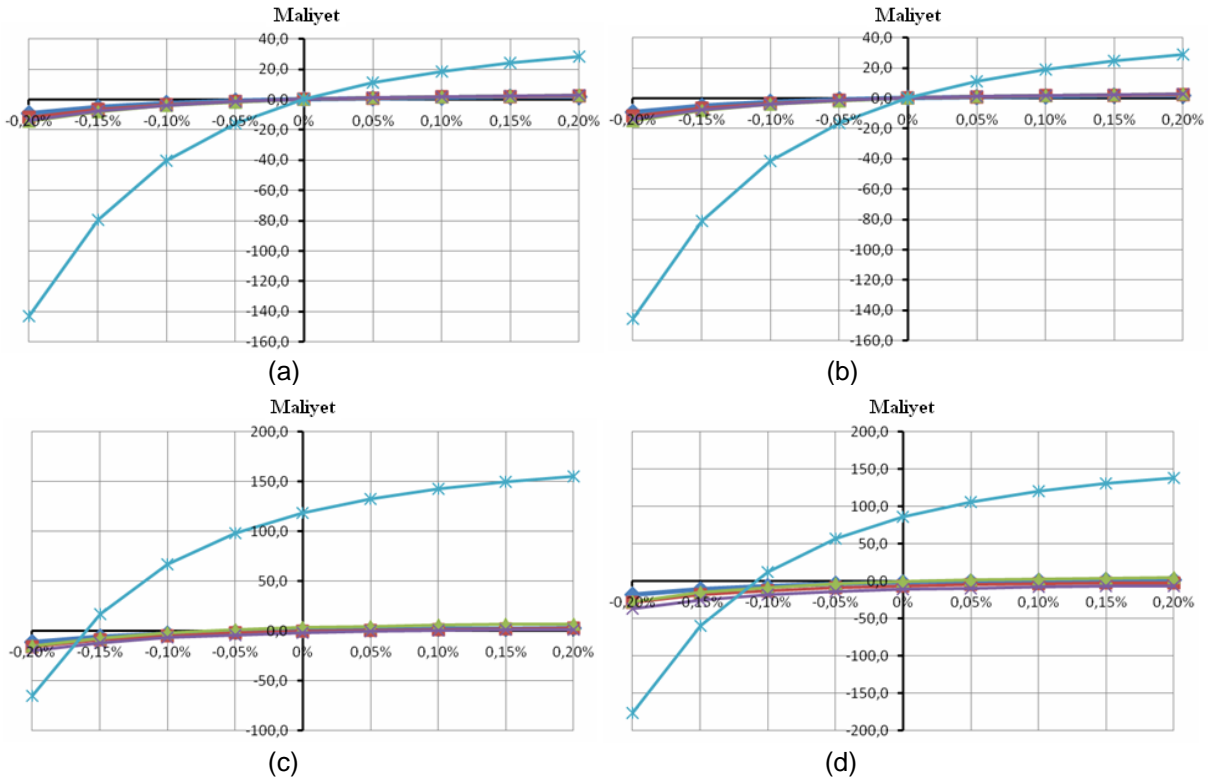


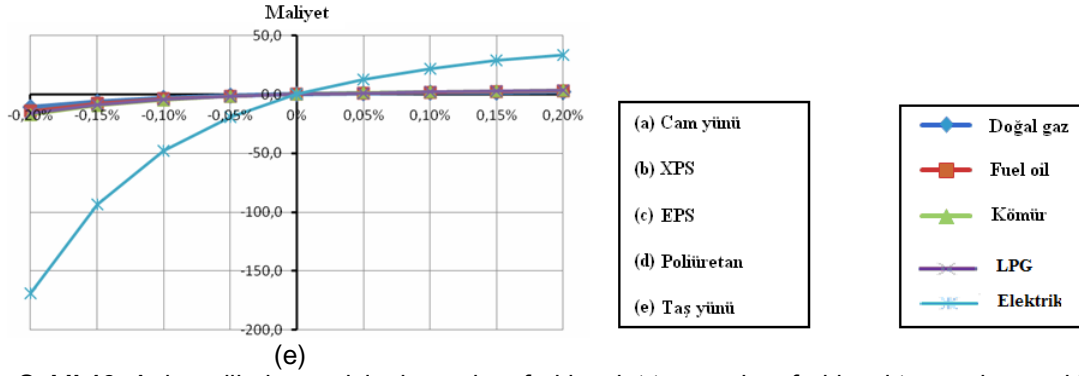


**Şekil 12.** Ankara ilinde sandviç duvar, beş farklı yakıt türü ve beş farklı yalıtım malzemesi kullanıldığı durum için SO<sub>2</sub> gaz salınımı.

Duyarlılık analizi Şekil 13'de verilmiştir. Maliyetler/nakit akışlarının, hata verileri değerlendirilerek dikkate alınması bakımından faydalı olup alternatif senaryolar üzerinde mevcut senaryo ve verilerin doğruluğunu teyit edici tahminleri göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar; daha önce Ankara ilinde sandviç duvar için ömür maliyet analizi formülleriyle MATLAB ile yapılmış çalışmalarla karşılaştırıldığında [28], ömür maliyet analizi formülleriyle Tavlama Benzetimi Metasezgiseli ile yapılan çalışmalara göre 0.070 - 0.087 arasında bir farkla daha yüksek değerler elde edilmiştir.





Şekil 13. Ankara ilinde sandviç duvar, beş farklı yakıt türü ve beş farklı yalıtım malzemesi kullanıldığı durum için duyarlılık analizi.

#### 4. SONUÇ

Enerji kullanımının artmasına bağlı olarak mevcut enerji kaynaklarının azalması ve artan çevre kirliliği, enerji etkinliğini gündeme getirmiştir. Isı yalıtımı, tüm Dünya'da enerji verimliliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli ayağını oluşturmaktadır. Binalarda enerji verimliliği konusunda sunulan önerilerin gerçekleştirilebilmesi ve konuya ilişkin önemli atılımlar sağlamak için tasarımcılar, yapımcılar ve karar vericiler birlikte çalışmalıdır. Ülkemizde ithal edilen ve kendi öz kaynaklarımızdan üretilen enerjinin üçte birinin, binaların ısıtılması ve soğutulması amacıyla kullanıldığı düşünüldüğünde, yalıtım konusuna eğilmenin enerjinin etkin kullanımını desteklemeye ve mevcut kaynakların ömrünü uzatmaya katkıda bulunacağı açıktır. Türkiye'de enerji verimliliği sağlamada etkili olan optimal boyutlarda bina yalıtım uygun yapısal düzenlemeler ile mevcut binaların enerjiyi verimli kullanacak şekilde yenilenmesi ve yeni tasarlanacak binaların da enerji etkin olarak tasarlanması ve gerçekleştirilmesi için önemlidir.

Bu çalışmada, Ankara ili iklim verileri dikkate alınarak dizayn edilen sandviç bina kabuğu için optimum yalıtım kalınlığını tespit edilerek sonuçlarını değerlendirilmiştir. Binaların ısıtılmasında beş farklı enerji kaynağı (kömür, doğalgaz, fuel oil, LPG, elektrik) ve beş farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, Poliüretan, Cam Yünü, Taş Yünü) için sandviç bina kabuğunda optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda ömür maliyet ekonomik değerlendirme metoduna meta sezgisel (tavlama benzetimi metasezgiseli) uygulanarak araştırılan değerler hesaplanmıştır. Bu metot binaların yalıtım kalınlığının optimizasyonunda *C Sharp*'da kodlanarak ilk kez kullanılmıştır. Sandviç duvar tipine göre inceleme yapıldığında, 10 yıllık ömür süresinde, optimum yalıtım kalınlığı 0.014 ile 0.171 m, toplam maliyet 19.488 ile 73.470 TL ve geri ödeme süresi ise 1,397 ile 5,429 yıl, CO<sub>2</sub> gaz salınımı 3,676 ile 16,744 kg/m<sup>2</sup>yıl, SO<sub>2</sub> gaz salınımı 0,018 ile 0,039 kg/m<sup>2</sup>yıl arasında tespit edilmiştir. Sandviç bina kabuğunda en yüksek enerji tasarrufu doğal gaz enerji kaynağı ve camyünü yalıtım malzemesi için bulunmuştur. Ayrıca, bu çalışmada incelenen Ankara ilindeki en yüksek CO<sub>2</sub> emisyonunun yakıt olarak kömür kullanıldığı zaman EPS malzemesi ile elde edildiği görülmüştür. Yakıt olarak LPG ve cam yünü malzemesi kullanıldığı zaman CO<sub>2</sub> emisyon miktarının çok az olduğu görülmüştür. Aynı şekilde en yüksek SO<sub>2</sub> emisyonu yakıt olarak fuel oil kullanıldığında elde edilirken, en düşük SO<sub>2</sub> emisyonu yakıt olarak kömür kullanıldığında elde edilmiştir. SO<sub>2</sub> emisyonu, elektrik LPG ve doğal gaz kullanıldığında elde edilmemiştir. Bundan dolayı da bu tür yakıt kullanmanın hava kirliliğinin azalmasında önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

#### KISALTMALAR

DD	Derece Gün Sayısı
C <sub>f</sub>	Yakıt Maliyeti(\$/kg)
R <sub>wt</sub>	R <sub>i</sub> + R <sub>w</sub> + R <sub>o</sub>



LCCA	Ömür maliyet analizi
M	Yakıtın mol ağırlığı
N	Ömür süresi (yıl)
x	Yalıtım kalınlığı
k	Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı
H <sub>u</sub>	Yakıtın alt ısı ı değeri (j/kg)
n <sub>s</sub>	Yakma sisteminin verimi
R <sub>i</sub>	İç ortam havasının ısı ı direnç katsayısı
R <sub>w</sub>	Yalıtımsız duvar tabakasının ısı ı direnç katsayısı
R <sub>o</sub>	Dış ortam havasının ısı ı direnç katsayısı
r	Gerçek faiz oranı
i	Faiz oranı
g	Enflasyon oranı
m <sub>y</sub>	Yıllık yakıt tüketim miktarı
M	Yakıtın mol ağırlığı [kg/kmol]
M <sub>CO2</sub>	CO <sub>2</sub> 'nin mol ağırlığı [kg CO <sub>2</sub> / kg yakıt]
M <sub>SO2</sub>	SO <sub>2</sub> 'nin mol ağırlığı [kg SO <sub>2</sub> / kg yakıt]
N	Ömür süresi
η	Yakma sisteminin verimi
PWF	Şimdiki değ er faktörü
C <sub>a</sub>	Yıllık enerji maliyeti
C <sub>f</sub>	Yakıt maliyeti (YTL/kg)
C <sub>i</sub>	Yalıtım malzemesinin (TL/maliyet) olarak değ eri
C <sub>ins</sub>	Yalıtım maliyeti
C <sub>t</sub>	Toplam ısı tma maliyeti
C <sub>ye</sub>	Yalıtılmamış bir binanın toplam ısı tma maliyeti
PP	Geri ödeme süresi
YF	Enerji tasarruf miktarı
X	Yalıtım kalınlığı
Xopt	Optimum yalıtım kalınlığı

## KAYNAKLAR

- [1] [http://znr.com.tr/tr\\_TR/mantolama/](http://znr.com.tr/tr_TR/mantolama/)
- [2] AKSOY, T., İNALLI, M., “Bina Dış Kabuk Yalıtımın ve Yönlendirmesinin Isıtma Enerjisine Etkisinin Sayısal Analizi”, Balıkesir Üniversitesi, 4. Mühendislik- Mimarlık Sempozyumu,. 303-313, 2002
- [3] KÜREKÇİ, A., BARDAKÇI, A.T., ÇUBUK, H., EMANET, Ö., “Türkiye'nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi”, Tesisat Mühendisliği, Sayı 131, Eylül/Ekim 2012
- [4] BOLATTÜRK, A., “Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey”, Applied Thermal Engineering, cilt 26, 1301-1309, 2006
- [5] BOLATTÜRK, A., “Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey”, Building and Environment, Vol: 43, 1055-1064, 2008
- [6] GÖLCÜ, M., DOMBAYCI, A., ABALI, S., “Optimization of Insulation Thickness for External Walls Using Different Energy-Sources”, Applied Energy, cilt 83, 921-928, 2006.
- [7] GÖLCÜ, M., DOMBAYCI, A., ABALI, S., “Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları”, Gazi Üniversitesi, Muh. Mim. Fak. Dergisi, cilt 21, 639- 644,
- [8] KAYNAKLI, O., “A Study on Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness”, Renewable Energy, cilt 33, 1164-1172, 2008.

- [9] GÜREL, A., DAŞDEMİR, A., “Türkiye’nin Dört Farklı İklim Bölgesinde Isıtma ve Soğutma Yükleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt 27, 346-352, 2011.
- [10] KON, O., YÜKSEL, B., “Kamu binalarının ısıtma yüküne göre dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tüketimleri, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, Cilt 15(1), 30-47, 2013.
- [11] UÇAR, A., BALO, F., “Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls, Renewable Energy, 35, 88-94, (2010).
- [12] ASLAN, A., “Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Enerji ve Termoekonomik Verimliliğinin İncelenmesi”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir, (2010).
- [13] TOLUN, M., “Farklı Derece-Gün Bölgeleri için Yalıtım Probleminin İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2010), İstanbul.
- [14] ULAŞ, A., “Binalarda TS 825 Hesap Yöntemine Göre Isı Kaybı, Yakıt Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu Hesabı ve Maliyet Analizi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2010.
- [15] GÜREL, A.E., ÇAY, Y., DAŞDEMİR, A., KÜÇÜKKÜLAHLI, E., “Karabük İçin Dış Duvar Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufu Ve Hava Kirliliğine Etkileri”, Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi (ISSN: 2147-0626), Vol. 1, No. 4, December 2012.
- [16] BOSTANCIOĞLU, E., “Konutlarda duvar ve çatı yalıtımlarının bina kabuğu, ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetleri üzerindeki etkisi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 2010.
- [17] AKCAYOL, M.A., “Zeki Optimizasyon Teknikleri, Tavlama Benzetimi”, G.Ü. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
- [18] <http://www.cs.sandia.gov/opt/survey/sa.html>
- [19] AYDIN, İ., “Tavlama Benzetimi Algoritması. BMÜ – 579 Benzetim Ve Modelleme.” Sayfa 11. ([http://web.firat.edu.tr/iyaydin/bmu579/bmu\\_579\\_bolum7.pdf](http://web.firat.edu.tr/iyaydin/bmu579/bmu_579_bolum7.pdf))
- [20] AKSOY, U.T, İNALLI, M., “Bina Kabuğundaki Yalıtım Uygulamalarının Isıtma Enerjisine Etkisinin Sayısal Analizi”, Tesilat Mühendisliği Dergisi, 76, 34-39, 2003.
- [21] DAĞSÖZ, A.K., “Türkiye’de Derece-Gün Sayılan, Ulusal Enerji Tasarruf Politikası”, Yapılarda Isı Yalıtımı”, 1995, İzocam Yayınları A-6,.
- [22] “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1998.
- [23] HASAN, A, 1999, Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost”, Applied Energy, 63, 115-124.
- [24] DAĞSÖZ, A.K., BAYRAKTAR, K., “Türkiye’de Derece-Gün Sayıları ve Enerji Politikamız”, İzocam Yayınları, A-8. 1995,
- [25] DOMBAYCI, Ö.A., GÖLCÜ, M., PANCAR, Y., “Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources”. Applied Energy, 83, 921–928, 2006.
- [26] YILDIZ, A., GÜRLEK, G., ERKEK, M., ÖZBALTA, N., “Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings”, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 28, 25-34, 2008.
- [27] ERBATUR, G., ERBATUR, O., “Batı Kardeniz Bölgesi Kömürlerinin Yapı-Koklaşma İlişkileri Üzerine Bir Araştırma”, *Uluslararası Kömür Teknolojisi Semineri*, İTÜ, 1982.
- [28] KANBUR, B.B., Duvardan ısıtma panellerinin optimum yalıtım kalınlığı analizi, hesaplanması ve karşılaştırılması, Makina Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2012.

## ÖZGEÇMİŞ

### Figen BALO

Lüleburgaz doğumludur. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversite’de Enerji Anabilim Dalında 2002 yılında Yüksek Mühendis ve 2008 yılında



Doktor unvanını almıştır. 2000-2012 yılları arasında Elazığ Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde kontrol mühendisi olarak çalışmıştır. 2012 yılında FÜ Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne Yrd. Doç. Dr olarak atanmıştır. Aynı yıl Makina Mühendisliği alanında Doçent unvanını almıştır. Halen FÜ Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. olarak görevini sürdürmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenebilir yalıtım malzemeleri, enerji verimliliği ve enerji etkin binalar konularında çalışmaktadır.

### **Ukbe Üsame UÇAR**

1991 yılı Elazığ doğumludur. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2013 yılında FÜ Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atanmıştır. Halen 2014 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'de başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Sezgisel ve metasezgisel yöntemler, matematiksel modelleme, sıralama-çizelgeleme ve çok ölçütlü karar verme teknikleri konularında çalışmaktadır.

