

Enerji Verimli Bina Isıtılmasının Termodinamik ve Ekonomik Değerlendirilmesi

Ahmet CAN
Selin ENĞİN

ÖZET

Enerji, ülkelerin sosyal ve ekonomik olarak gelişmesi ve çevrenin korunması açısından önemli bir etkidir. Enerji verimliliğini artırmanın temel yolu, enerji tüketimini azaltmaktır. Bu bağlamda, 02 Mayıs 2007 tarih ve 26510 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan, 5627 sayılı "Enerji Verimliliği Kanunu" yürürlüğe girmiştir [1]. Bu kanun kapsamında, Türkiye'nin enerji tüketimi oranını 2020 yılına kadar %15 azaltmak hedeflenmektedir.

Binalarda tüketilen enerji, Türkiye'nin toplam enerji tüketiminin %35'ini oluşturmaktadır. Binalarda, %40'ian fazla enerji tasarrufu potansiyeli vardır. Sadece binalarda tüketilen enerjiden yıllık 7 milyar US Doları tasarruf sağlanabilir.

Binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Binalarda birim alan başına yıllık tüketilecek enerji miktarının öngörülen değere uygun olması 05 Aralık 2008 tarihli, 27075 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" ile zorunlu hale getirilmiştir [2]. Yönetmeliğe göre; dış iklim şartları, iç mekan gereksinimleri, mahalli şartlar ve maliyet etkinliği de dikkate alınmalıdır. Binanın bütün enerji kullanımının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kuralları belirlenmiştir. Birincil enerji ve karbondioksit (CO₂) emisyonu değerlerine göre sınıflandırılması gereklidir. Yeni ve önemli oranda yenilik yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans ölçütleri belirlenmelidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliği değerlendirilmelidir.

İkinci Derece-Gün bölgesinde bulunan Tekirdağ il sınırları içerisinde, konut olarak kullanılan ayrıık nizamli, iki katlı bir bina örnek seçilmiştir. Burada, C tipi normal enerji verimli bina, B tipi orta enerji verimli bina ve A tipi süper enerji verimli bina olacak şekilde her birinin enerji kimlik belgelerine uygun kWh/m²yıl değerleri esas alınarak ısı yalıtımları ve tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Örnek binanın ısı kaybı ve yoğuşma hesapları TS 825 standardına uygun hesap programı ile bir defa C sınıfına göre, ikinci defa da B Sınıfı ve son adımda A sınıfına göre üç şekilde yapılmıştır [3].

Tasarımlar karşılaştırılmış ve hesaplamaların sonuçları, termodinamik ve ekonomik olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Isı Yalıtımı, Geri Ödeme Süresi Hesabı.

Abstract:

Energy, in terms of social and economic development and the protection of the environment in the countries is an important factor. Basic ways to increase energy efficiency, reduce energy consumption. In this context, No. 26 510 dated May 2, 2007 in the Official Gazette published in the 5627 "Energy Efficiency Law" came into force. In this context, No. 5627, "Energy Efficiency Law" came into force, published in the Official Gazette No. 26510 on 2 May 2007 [1]. Accordance with this law, Turkey's energy consumption rate by 2020 aims to reduce by 15%. The energy consumed in buildings is 35% of Turkey's total energy consumption. In the buildings, there are more than 40% energy saving potential. The energy consumed in buildings, provide an annual savings of U.S. \$ 7 billion.

A large part of the energy consumed in buildings is used for heating. The annual amount of energy consumed per unit area of the buildings comply with the prescribed value on dated December 5, 2008, No. 27075 published in Official Gazette "Energy Performance Directive of Buildings" was made mandatory [2]. According to the regulation, the external climatic conditions, the internal space requirements, local conditions, and cost-effectiveness should also be considered. To ensure assessment of all the energy use of the building, calculation rules of are determined. The primary energy and carbon dioxide (CO₂) emissions are required according to the classifi-

Makale

cation. In new and made a significant innovation existing buildings should be determined the minimum energy performance criteria. Evaluated the applicability of renewable energy sources.

Located in the Second Degree-days in the city of Tekirdag, discrete systematic used as a residence, a two-storey building, the sample was selected. Here, the normal energy-efficient building in C-type, the medium energy efficient building in B-type and the super energy efficient building in A-type designs to be made. According to the energy identity documents kWh / myl values were based on the heat insulation. The building heat loss and condensation calculations TS 825 standard accounting program with C, B and A in the class made in three ways [3].

The designs are compared and the results of the calculations, the thermodynamic and economic assessment.

Key Words:

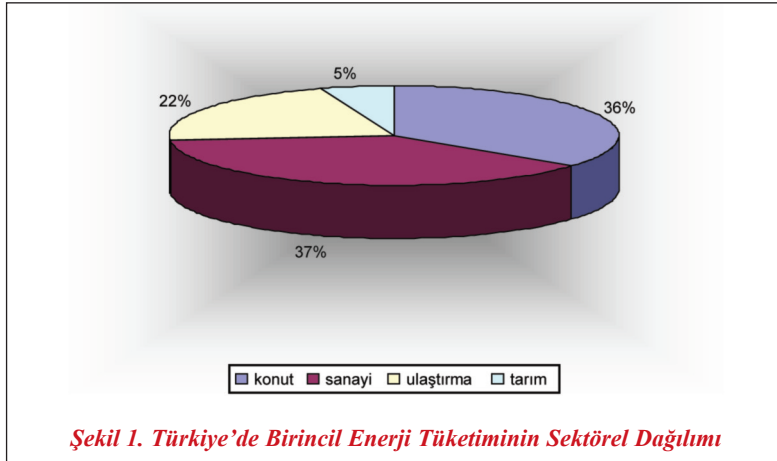
Energy Efficiency, Heat Insulation, Account The Payback Period.

1. GİRİŞ

Enerji, ülkelerin sosyal ve ekonomik olarak gelişmesi ve çevrenin korunması açısından önemli bir etkidir.

Enerji verimliliği, üretimdeki kalite, miktar ve hayat standardını düşürmeden en az enerji tüketimi olarak tanımlanır.

Türkiye’de birincil enerji tüketiminin sektörel dağılımı Şekil 1’de gösterildiği gibidir. Sanayi alanında %37, ulaşımda %21, konut sektöründe %35 olduğu görülür. Sadece binalarda tüketilen enerjiden yıllık 7 milyar US Doları tasarruf sağlanabilir [3]. Türkiye’de enerji tüketiminin büyük bir kısmının binalarda gerçekleştiği görülmektedir. Binalarda tüketilen enerji, Türkiye’nin toplam enerji tüketiminin %35’ini oluşturmaktadır ve bu oranın %85’inin ısıtma amaçlı harcanması, enerji verimliliği ile ilgili kanun ve düzenlemelerin getirilmesini sağlamıştır. Türkiye’nin enerji yoğunluğunu 2020 yılına kadar %15 azaltmak için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Enerji Verimliliği Kanunu”nu yürürlüğe koymuştur. Bu kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, sanayi, ulaşım, bina vb. enerji tüketim sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılması, toplumda enerji bilinci geliştirilmesi, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılmasını kapsar [1].



Dünyadaki enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan fosil yakıt kaynaklarının, petrol rezervlerinin hızla tükenmesi ve kullanımlarından sonra çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması nedeniyle enerjinin verimli kullanılması önemli bir konu olmuştur. 2006 yılında Türkiye’de toplam enerji tüketimi 72,2 milyon TEP (Ton Eşdeğer Petrol) olduğu görülmüş ve sadece %29’u yerli kaynaklarımız ile karşılanabilmiştir. 2020 yılında bu oranın %20 olacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle enerji verimliliğini arttırmada yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir. Binalar

oluşturulurken iklim bölgesi ve bu bölgenin yenilenebilir enerji kaynaklarına göre de tasarımlar yapılmalıdır. Örneğin; soğuk iklim bölgelerinde güneşten maksimum fayda sağlanırken, sıcak iklim bölgelerinde gölgelendirme ve doğal havalandırma yapılmaktadır.

Binalarda kışın iç ortamdan dış ortama ısı geçişini azaltarak soğuktan korunmak ve yazın da dış ortamdan iç ortama ısı geçişini azaltarak sıcaktan korunmak için yapılan ısı yalıtımı ile birim zamanda olan ısı geçiş miktarı düşürülmektedir. Isı yalıtımı, ısı konfor sağlamaktadır. Isıl konforu sağlamak için ortam sıcaklığı ile duvar iç yüzey sıcaklığı arasındaki fark en fazla 3 °C olmalıdır [3]. İç yüzey sıcaklığı düşük ise ısı soğuk yüzeylere doğru hava akımları oluşturur. Hava akımlarını engellemek için ısı yalıtımı yapılmalıdır.

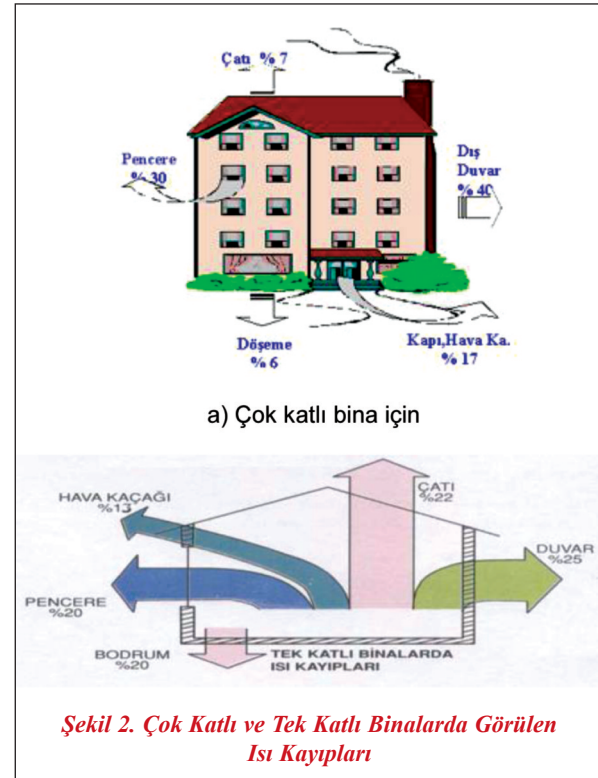
Binalarda kullanılan enerji miktarını düşürmek için binaların, henüz tasarım aşamasındayken enerji verimli şekilde yapılması gerekmektedir. Bu da binanın bulunduğu yerin iklimsel özelliklerine, rakım ve arsa durumu ile binanın yönüne, formuna, bina ve binayı çevreleyen elemanların ısı geçirme özelliklerine, binanın kullanım saatlerine, binayı ısıtmak veya soğutmak için kullanılan sistemlerin özelliklerine bağlıdır.

Bina duvar, tavan, taban vb. yapı elemanlarının yalıtımı ile toplam ısı geçiş sayısı düşürülerek, ısı geçişi azaltılabilmekte ve yapı elemanlarından beton içindeki çeliğin paslanarak mukavemetini kaybetmesine ve taşıma kapasitesinin düşmesine neden olan yoğuşma engellenebilmektedir.

Genel olarak bakıldığında, Şekil 2’de görüldüğü gibi çok katlı konutlarda toplam ısı kaybının %40’ı dış duvarlardan, %30’u pencerelerden, %7’si çatılardan, %6’sı bodrum döşemesinden, %17’i hava kaçaklarından oluşur. Tek katlı konutlarda ise ısı kayıplarının dış duvarlardan %25, çatılardan %22, pencerelerden %20, bodrum döşemesinden %20 ve hava kaçaklarından %13 olduğu tespit edilmiştir [3]. Buradan da anlaşıldığı üzere, bir binanın ısı yalıtımı-

na etki eden parametreler duvarlar, pencereler, tavan ve döşemelerden oluşmaktadır. Binalarda meydana gelen taşınım ile ısı kayıpları ve dolayısıyla enerji kayıplarının büyük bir kısmı duvarlardan kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada İkinci Derece-Gün bölgesinde bulunan Tekirdağ il sınırları içerisinde, konut olarak kullanılan ayırık nizamlı, iki katlı bir bina örnek seçilmiştir.



Örnek binanın ısı kaybı ve yoğuşma hesapları, TS 825 standardına uygun hesap programı kullanılarak yapılmıştır. C tipi normal enerji verimli bina, B tipi orta enerji verimli bina ve A tipi süper enerji verimli bina olacak şekilde her birinin enerji kimlik belgelerine uygun kWh/m²yıl değerleri esas alınarak ısı yalıtımları ve tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

2. HESAP YÖNTEMİ

Binaların ısıtılmasında enerjinin verimli kullanılması amacıyla, 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren yürürlüğe giren TS 825 “Binaların Isı Yalıtım Kuralları” standardı, binaların ısıtılması için gerekli

Makale

enerji ihtiyacının hesaplanmasında kullanılan hesap metodunu vermektedir. Bu standart; konutlar, büro ve idari binalar, eğitim yapıları, hastaneler vb. binalarda uygulanır. Pasif güneş enerjisi sistemleri bulunan binalarda ve ısıtma sistemlerinin tasarımında TS 825 standardı kullanılmaz.

Bu standartta bina özellikleri, iç ve dış iklim şartları, güneşten gelen kazançlar ve iç kazançlar ile iletim ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları ele alınarak yapılan hesaplamada binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı bulunmaktadır. Bulunan bu değer in standarda uygunluğuna göre hangi enerji sınıfında olduğu belirlenir. Konutlar için enerji sınıfları, süper enerji verimli bina A, iyi enerji verimli bina B ve normal enerji verimli bina C olarak standarda göre belirlenmiştir. Binanın enerji sınıfı, binanın ısı yalıtım projesinde verilir.

Bu bilgiler dışında binanın duvar, tavan, döşeme, pencere ve kapı sistemlerinin yapımında ve yalıtımında kullanılan malzemeler kalınlık, ısıl iletkenlik, alan, ısıl geçirgenlik değerleri ile sıralı olarak çizelgede verilmelidir. Isı kayıp ve kazançları, kazanç / kayıp oranı, kazanç kullanım faktörü, aylık ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, güneş enerjisi kazancı, sıcaklık farkı, özgül ısı kaybı çizelgede gösterilmelidir. Binadaki yapı elemanlarının kesitleri detayları ile çizilmeli, pencere ve kapı elemanlarının yönlerine göre alanları ve ısı geçiş sayısı değerleri belirtilmelidir. Bina yapı elemanlarının yoğuşma ve buharlaşma miktarları hesaplanmalıdır. Havalandırma raporu düzenlenmelidir. Binanın enerji verimliliği sınıfını gösteren ısı ihtiyacı kimlik belgesi düzenlenmelidir. Yalıtım yapılmış bir binanın; hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının, standartta verilen sınırdan küçük olması, dış duvar, tavan ve döşeme için hesaplanan toplam ısı transfer katsayısı standartta verilen değere eşit ya da küçük olması sağlanmıştır. Binanın ısı kaybeden yüzeylerinde yoğuşma oluşması ya da yoğuşma miktarının buharlaşma miktarından küçük olması, iç yüzey sıcaklığının iç ortam sıcaklığından 3 °C az olması standarda uygunluğunu gösterir [3].

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasında, her ay için ısı kayıplarından ısı kazançlarının çıkarılması ile bulunan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplamı olarak, aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Q_{yu} = \sum Q_{ay} \quad (1)$$

$$Q_{ay} = [H(T_i - T_{d,ay}) - \eta(\phi_i - \phi_{g,ay}) \times t] \quad (2)$$

Binanın özgül ısı kaybı iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ile havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının toplamıdır.

$$H = H_i + H_v \quad (3)$$

Yapı elemanlarından ve ısı köprülerinden iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı için aşağıdaki eşitlikler yazılır.

$$H_i = \sum AU + IU_I \quad (4)$$

$$\sum AU = U_D A_D + 0,8U_{tav} A_{tav} + 0,5U_{tab} A_{tab} + U_p A_p + U_k A_k + U_d A_d + 0,5U_{ds} A_{ds} \quad (5)$$

0,5 ve 0,8 katsayıları dış yüzeyin, direkt dış hava ile temas etmeyip, dış ortamdan daha yüksek sıcaklıklı ortamla temas etmesi nedeniyle yazılmaktadır. Çatı döşemesi doğrudan hava ile temas ediyorsa U_T ısı geçiş sayısının önündeki 0,8 katsayısı, 1 olarak alınmalıdır.

Isı köprüleri, ortalama ısı geçişinden çok daha büyük ısı geçişine sahip genellikle iki yapı elemanının kesiştiği noktalarda oluşur. Isı köprüsündeki ısı geçiş sayısı için aşağıdaki tanım ifadesi kullanılır.

$$U_I = bU_{TB} + \zeta \quad (6)$$

Toplam ısı geçiş direnci, aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

$$\frac{1}{U} = R_{ic} + \frac{d_1}{\lambda_{n1}} + \frac{d_2}{\lambda_{n2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{nm}} + R_{dis} \quad (7)$$

Doğal havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, aşağıdaki ifade ile verilir.

$$H_v = \rho c V' = \rho c n_h V_h = 0,33 n_h V_h \quad (8)$$

Ölçüm sonucuna dayanan bir belge veya değer yoksa n_h hava değişim sayısı 0,8 değerinde alınır. Havalandırılan hacim brüt hacmin %80'i kadardır.

$$V_h = 0,8 V_{brüt} \quad (9)$$

Havanın özgül kütlelerinin ve özgül ısının sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişikliği ihmal edilmiştir. 20 °C ve 100 kPa için, aşağıdaki değer bulunmuş ve kullanılmıştır.

$$\rho c / 3600 = 1,184 \cdot 1006 / 3600 = 0,33 \text{ Jh} / \text{m}^3 \text{ Ks} \quad (10)$$

$$= 0,33 \text{ Wh} / \text{m}^3 \text{ K}$$

Binalarda ısı kayıplarının yanı sıra, iç ortamda saydam yüzeylerden içeri giren güneş enerjisi, çeşitli cihazların kullanımı, insanların metabolik ısısı, mutfakta ocağın kullanılması, sıcak su ve aydınlatma sistemlerinden kaynaklanan ısı kazançları oluşmaktadır. (2) eşitliğinin ikinci terimi bu ısı kazançlarını ifade etmektedir. Aylık ortalama iç kazançlar konutlar için birim döşeme alanı başına en fazla 5 W/m² alınmaktadır.

$$\phi_i \leq 5 \times A_n \quad (11)$$

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt} \quad (12)$$

Yönlere göre hesaplanan aylık ortalama güneş enerjisi kazancı aşağıdaki şekilde verilmektedir. Pencere-lerden birim zamanda doğrudan sağlanan güneş enerjisi miktarını ifade etmektedir.

$$\phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (13)$$

$r_{i,ay}$ değeri, binanın konumuna göre ayırık ve 3 kata kadar binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için 0,8, ağaçlardan kaynaklanan gölgelendirmenin olduğu ve 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu bölgeler için 0,6, bitişik nizam ve çok katlı binaların bulunduğu bölgeler için de 0,5 değerini alır.

$g_{i,ay}$ değeri, güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak değişmektedir.

$$g_{i,ay} = 0,80 \times g_{\perp} \quad (14)$$

g_{\perp} , laboratuvar şartlarında ölçülen, yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür. Berrak tek cam için g_{\perp} , 0,85, berrak çok katlı cam için 0,75, ısı geçirgenlik katsayısı 2 W/m²K'den az olan ısı yalıtım kaplamalı cam için 0,50 değerini alır.

Isı kazançlarının bir kısmı yapı elemanlarında depolanır, bir kısmı da anlık kazançlar olup ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir veya pencerelerin açılmasıyla kaybedilebilir. Bu nedenle aylık kazanç kullanım faktörü ile kazançlar azaltılabilir.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (15)$$

$$KKO_{ay} = (\phi_i + \phi_{g,ay}) / H (T_i - T_{d,ay}) \quad (16)$$

Burada; KKO_{ay} aylık ortalama kazanç/kayıp oranıdır, 2,5 ve üzerinde olursa o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir. T_i iç ortam sıcaklığı konutlar için 19°C alınmıştır.

TS 825 için verilen bu hesap metodu ile binanın Q_{ya} yıllık net ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenir. Binanın net oda yüksekliği 2,6 m veya daha az ise kullanım alanı başına düşen, 2,6 m'den yüksek ise brüt hacim başına düşen Q yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı bulunur.

Net oda yüksekliği;

$$\begin{aligned} > 2,6 \text{ m} & \quad Q = Q_{yu} / V_{brüt} \quad \text{kWh/m}^3 \\ \leq 2,6 \text{ m} & \quad Q = Q_{yu} / A_n \quad \text{kWh/m}^2 \end{aligned}$$

TS 825 standardında verilen sınır değerlerine göre izin verilen Q' maksimum yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanır. Bu hesaplamalar sonucunda $Q < Q'$ ise proje standarda uygundur, denir. Q/Q' oranı da binanın hangi enerji sınıfına girdiğinin belirlenmesini sağlar [3].

Binayı oluşturan yapı elemanlarının yalıtımının sağlıklı ve uzun ömürlü olabilmesi için dikkate alınması gereken bir diğer olgu da yoğuşma kontrolünün yapılmasıdır. Yoğuşma, yapı elemanının iki yüzü arasında sıcaklıkların ve bağıl nemin farklı olmasının

Makale

dan kaynaklanan farklı buhar basınçlarının oluşumundan ileri gelir. Su buharının dış ortama geçemesi yapı elemanının içinde sıvılaşması şeklinde meydana gelir. Yapı elemanlarına uygulanan yalıtım sonucu yoğunlaşma oluşup oluşmadığının belirlenmesi ve yoğunlaşma oluşmuş ise farklı yalıtım şekilleriyle giderilmesi için bina proje aşamasındayken yoğunlaşma kontrolünün yapılması doğru yalıtım uygulanabilmesi için önemli bir parametredir [3].

Yapı malzemelerinin kalınlıkları, diziliş sırası, ısı geçişi, su buharı difüzyonuna gösterdikleri direnç, içlerinde oluşan sıcaklık dağılımı, yapının kullanım amacı ve yapının bulunduğu bölgenin iklim şartları yoğunlaşma oluşumuna etki eden temel faktörlerdir.

Çok tabakalı bir yapı elemanı için toplam ısı geçiş direnci aşağıdaki ifade ile tanımlanır.

$$R = \frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_{n1}} + \frac{d_2}{\lambda_{n2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{nn}} \quad (17)$$

Yoğunlaşma kontrolü hesaplamalarında yapı elemanlarının iç ve dış yüzeylerindeki yüzeyel ısı taşınım direnci değerleri $R_i = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ ve $d = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ alınmıştır.

Her ay için ısı akış yoğunluğu hesaplanmıştır.

$$q = U (T_i - T_{d,ay}) \quad (18)$$

Konut olarak kullanılan binalarda iç ortam sıcaklığı, TS 825 standardında verilen iç sıcaklık değeri 1°C artırılarak, 20°C (19+1) olarak alınmıştır. Dış ortam sıcaklık değerleri, TS 825 standardında Derece-Gün bölgelerine göre aylık ortalama dış sıcaklık değerleri olarak verilen listeden alınmıştır. Yapı elemanına temas eden toprak sıcaklığı için TS 825 standardında verilen dış hava sıcaklıklarının ortalaması kullanılmıştır.

Yapı elemanının iç yüzey sıcaklığı (19) eşitliği, dış yüzey sıcaklığı (20) eşitliği ve ara yüzey sıcaklıkları (21) eşitliği kullanılarak belirlenmiştir.

$$T_{yi} = T_i - R_i q \quad (19)$$

$$T_{yd} = T_{d,ay} - R_d q \quad (20)$$

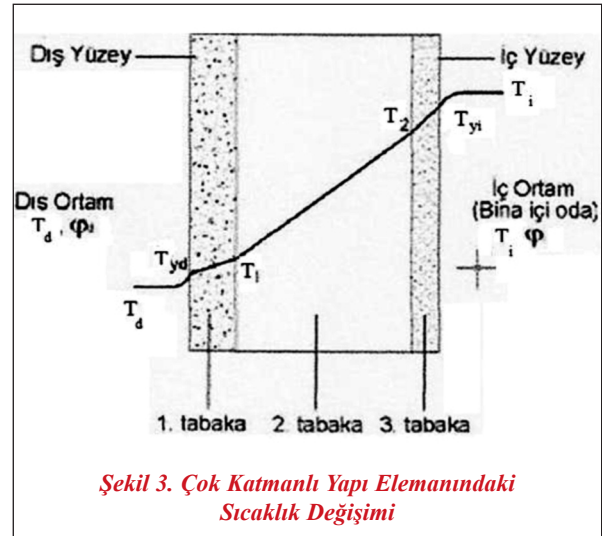
$$T_1 = T_i - R_1 q$$

$$T_2 = T_1 - R_2 q$$

$$T_n = T_{n-1} - R_n q \quad (21)$$

Binanın iç hacim yüzeyinde yoğunlaşma görülmemesi için iç yüzey sıcaklığı, söz konusu hacim için öngörülen iç ortam sıcaklık değerinden en fazla 3°C düşük olmalıdır.

Çok katmanlı yapı elemanındaki sürekli rejim hali için sıcaklık değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Yapı elemanının ara yüzeyleri için hesaplanan sıcaklık değerlerine karşılık gelen su buharı doyma basınçları TS 825'de verilen çizelgeden tespit edilmiştir.



Şekil 3. Çok Katmanlı Yapı Elemanındaki Sıcaklık Değişimi

Su buharı difüzyonu- eşdeğer hava tabakası kalınlığı, aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$S_d = \mu \cdot d \quad (22)$$

Bir yapı elemanı katmanının su buharının geçişine gösterdiği dirence eşdeğer direnci gösteren hareket-siz hava tabakasının kalınlığı olarak tanımlanır. Burada; μ su buharı difüzyon direnç faktörüdür.

İç ve dış ortamdaki kısmi buhar basınçları, aşağıdaki eşitlikler ile tanımlanır.

$$P_{iç} = \varphi_{iç} P_{doy,iç} \quad (23)$$

$$P_{dış} = \varphi_{dış} P_{doy,dış} \quad (24)$$

Doğal havalandırma yapılan binalarda iç ortamın bağıl nemi %65 alınır. Dış ortamın bağıl nemi için TS 825 standardında illere göre değerler verilmektedir. Toprak temaslı yapı elemanında toprağın bağıl nemi %100 alınır. Yüzeyin yoğuşma oluşturmaya neden olan %80 ve üzerindeki bağıl nem değerine yüzeyin kritik nemi denir.

Açıklandığı üzere TS 825 standardı oldukça detaylı çözümler gerektiren bir hesap metodudur. Bu nedenle TS 825 standardındaki ısı kaybı, ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yoğuşma tahkiki hesaplamalarının kolaylıkla yapılabilmesi için birçok hesap program geliştirilmiştir. Bu programlara göre, hesaplanan değerlerin standartta verilen sınır değerler ile kıyaslanarak binanın enerji verimliliği değerlendirilmektedir.

Hesaplama programı; binanın yapı elemanlarının ve yalıtım malzemelerinin kalınlığının standartta verilen sınır şartlara uygun olarak tasarlanması sağlar. Standartta göre; duvar, döşeme, çatı, pencere vb. yapı elemanları bir bütün olarak tasarlanır.

TS 825 standardına uygun bir programının genel işleyişi ve akış şeması Şekil 4'de verilmiştir.

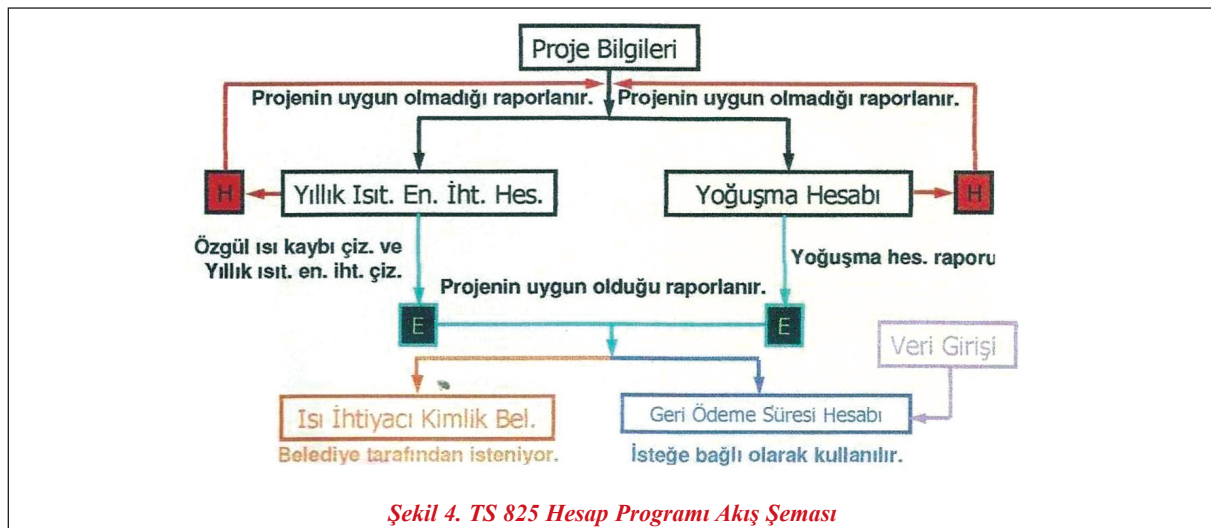
Bina ile ilgili bilgiler programa girilerek, yıllık ısıt-

ma enerjisi ihtiyacı ve yoğuşma hesapları yapılır, standarda uygunluğu kontrol edilir. Bu iki parametreden biri bile standarda uygun değilse tasarımda yeniden düzenleme yapılmalıdır. Projenin uygunluğu sağlandığında ısı ihtiyacı kimlik belgesi oluşturulur. İstenirse geri ödeme süresi hesabı yapılarak yatırım yatırımının enerji tasarrufu ile kendini ne kadar sürede geri ödediği belirlenebilir.

TS 825 standardına uygun birçok firma tarafından hesap programları geliştirilerek kullanacakların hizmetine sunulmuştur. Bunlar TS 825 standardına uygun oluşturulduğundan hepsinin içeriği aynı olmaktadır. Genel olarak veri girişleri, parametre girişleri, yoğuşma hesabı ve çizelgeler vb. başlıkları kapsamaktadır.

Veri girişleri yapılırken, öncelikle proje bilgileri girilir. Proje bilgileri ekranında binanın adı, sahibi, arsa bilgileri, projeyi yapan kişiye ait bilgiler bulunmaktadır. Bina tipi, kat adedi, brüt hacim, kullanım alanı, tavan yüksekliği, havalandırma türü vb. hesaplamalarda kullanılacak olan temel bilgiler de genellikle bu kısımda yer alır.

Hesaplamaların yapılması için yapının duvar, tavan ve tabanında kullanılan malzemelerin türünün belirtildiği yapı elemanları ekranında yapı bileşenleri ayrı seçilerek isimlendirilir. Her bir yapı elemanı için malzeme listesinden, elemanın içten dışa doğru malzeme girişi yapılır. Girişi yapılan malzemelerin



Şekil 4. TS 825 Hesap Programı Akış Şeması

Makale

kalınlıkları da belirtilir. Her yapı elemanı için alan bilgileri verilir. Girişi yapılan bu değerler yapı elemanının U toplam ısı geçiş sayısının hesaplanmasını sağlar. Ayrıca malzeme girişleri yapıldıkça ekranda yapının kesiti de şekil olarak görülmektedir. Malzeme listesinde yer almayan fakat standarda uygunluk belgesi olan bir ürünün, λ ısı iletim kabiliyeti hesap değeri ve μ difüzyon direnç faktörü değeri programa girilerek kullanılabilir.

Pencere bilgileri ekranında, yönler göre pencerelerin alanları ve toplam pencere alanı programa girilir. Binada kullanılan pencere sistemi belirlenir ve U değeri girilir. Ayrıca $g_{i,ay}$ güneş enerjisi geçirme faktörü ile $r_{i,ay}$ gölgelenme faktörü değerleri girilerek güneş enerjisi kazancı belirlenir. Kapı bilgileri ekranında ise alan ve U değerleri belirtilir.

Parametre girişleri kısmında yoğuşma parametreleri, ısı köprüsü parametreleri ve ısıtma sistemi parametreleri bulunur. Yoğuşma parametreleri ekranı, yoğuşma hesabında kullanılacak sıcaklık ve nem sabitlerinin bölgelere göre ayarlanması için kullanılan verileri içerir. Isı köprüsünün meydana geldiği balkonlar, çatılar, döşemeler, iç duvarlar, kolonlar, köşeler ve pencereler şeklinde yapı elemanlarının türünün belirlenmesi, ısı köprüsü parametreleri ekranında belirlenir. Isıtma sistemi parametreleri ekranında, yakıt türlerinin alt ısı değerleri, kullanılan yakıt türü için kazan verimleri şeklinde değerleri içerir.

Çizelgeler ekranında, tüm girişler yapılarak elde edilen raporlar ve çizelgeler görülür. Bunlar bina hakkında genel bilgiler, ısı ihtiyacı kimlik belgesi, binanın özgül ısı kaybı hesabı, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, pencere ve kapı listesi, kesitli yapı elemanları listesi, havalandırma raporu, yapı elemanının madde fiziki değerleri çizelgesidir. Yapı elemanındaki basınç ve sıcaklık dağılımı çizelgesi ve yapı elemanındaki yoğuşma ve buharlaşma miktarı çizelgesi, yoğuşma grafikleri şeklinde TS 825 hesap raporunda düzenlenen belgelerdir.

3. ÖRNEK BİNANIN ÖZELLİKLERİ

İkinci Derece-Gün bölgesinde bulunan Tekirdağ il sınırları içerisinde, ayırık nizamlı, 2 katlı konut ola-

rak kullanılan örnek bina seçilmiştir. Örnek binanın tasarım bilgileri Tablo 1’de verilmiştir. Örnek binanın ısı kaybı ve yoğuşma hesapları TS 825 standardına uygun hesap programı ile bir defa C enerji kimlik belgesi sınıfına göre, ikinci defa da B enerji kimlik belgesi sınıfı ve son adımda A enerji kimlik belgesi sınıfına göre üç şekilde yalıtım tasarımı yapılarak enerji verimliliği yönünden karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 1. Örnek Binanın Tasarım Bilgileri

Brüt Hacim	342,2 m ³
Tavan Yüksekliği	< 2,6 m
Kat Adedi	2
Bina Tipi	Konut
Yakıt Türü	Doğalgaz
Bölgesi	Tekirdağ-2
Havalandırma Şekli	Doğal
Pencere Alanı Oranı	%60’tan az

Hesaplamalarda kullanılan örnek binanın yapı elemanlarına ait alan değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Örnek Binaya Ait Alan Değerleri

Bina alanı	118 m ²
Dış duvar alanı, A_d	156,26 m ²
Betonarme alanı, A_{bet}	15,40 m ²
Tavan alanı, A_{tav}	67,80 m ²
Taban alanı, A_{tab}	50,20 m ²
Pencere alanı, A_p	22,90 m ²
Kapı alanı, A_k	8,24 m ²
Bina kullanım alanı, A_n	109,5 m ²

4. HESAPLAMALAR

Örnek binaya binanın enerji verimliliği endeksi süper enerji verimli A tipi bina, iyi enerji verimli B tipi bina ve normal enerji verimli C tipi bina olacak şekilde üç adet tasarım yapılmıştır.

Tablo 3’te örnek binanın yapı elemanlarında kullanılan yalıtım malzemeleri ve yalıtım kalınlığı bilgileri verilmiştir. Üç tasarımda da tavan ve taban yapı elemanlarına uygulanan yalıtım kalınlığı aynı tutulurken, duvarlarda uygulanan yalıtım kalınlıkları A tipi bina için 7 cm, B tipi bina için 5 cm ve C tipi bina için 3 cm olarak tespit edilmiştir.

Hesaplamalar TS 825 hesap programı kullanılarak yapılmış ve uygulanan yalıtım sonucunda elde edilen U ısı geçiş sayısı değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Elde edilen U ısı geçiş değeri TS 825 standardında tavsiye edilen değerlerin altında olduğundan TS 825 standardına uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan hesaplamalar ile binanın A tipi, B tipi ve C tipi enerji kimliği için dış hava temaslı duvarlar ve üzeri çatılı tavan yapı elemanlarında yoğuşma oluşmadığı tespit edilmiştir. İç yüzey ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkı $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den az olduğu için yapılan yalıtımlar standarda uygundur. Toprak temaslı taban elemanında ise üç bina tipi için de yapı elemanında 4. bileşende su yalıtım tabakasında yoğuşma şartları oluştuğu tespit edilmiştir. Ancak yoğuşan su miktarının $0,5\text{ kg/m}^2$ değerinden küçük olması sebebiyle TS 825 standardında belirtilen sınırlar içerisinde bulunması ve yoğuşan su miktarının buharlaşan su miktarından küçük olduğu için yaz aylarında yapı bileşeninden yoğuşan su buharlaşarak atılacağından yoğuşmanın zararsız olacağı sonucuna varılmıştır.

Örnek binanın tüm yapı elemanlarından olan ısı kayıpları ve pencerelerden olan güneş enerjisi kazançları Şekil 5'de çizilen grafiklere göre, binanın A, B ve C tipi enerji kimlikleri için haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ısı kayıplarının olmadığı, diğer tüm aylarda ısı kayıplarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca; ısı kayıplarının, güneş enerjisi kazançlarından fazla olması sebebiyle binanın 1-6 ve 9-12 ayları arasında ısıtma ihtiyacı olduğu görülmektedir.

Şekil 6'da binanın A tipi, B tipi ve C tipi enerji kimlik belgesi için yapılan yalıtım uygulamaları sonucunda toplam özgül ısı kaybı oranlarının değişimi görülmektedir. Buna uygun olarak Şekil 7'de ısıtma enerjisi ihtiyacının da arttığı görülmektedir.

Şekil 7'de binanın A tipi enerji kimlik belgesi durumu için yıllık $Q_{yıl} = 7.507\text{ kWh}$ enerji harcanmaktadır. Kullanım alanı başına düşen ısı kaybı $Q = Q_{yıl}/A_n = 68,56\text{ kWh/m}^2$ olmaktadır. B tipi enerji kimlik belgesi için yıllık $Q_{yıl} = 8.157\text{ kWh}$ enerji harcanmakta-

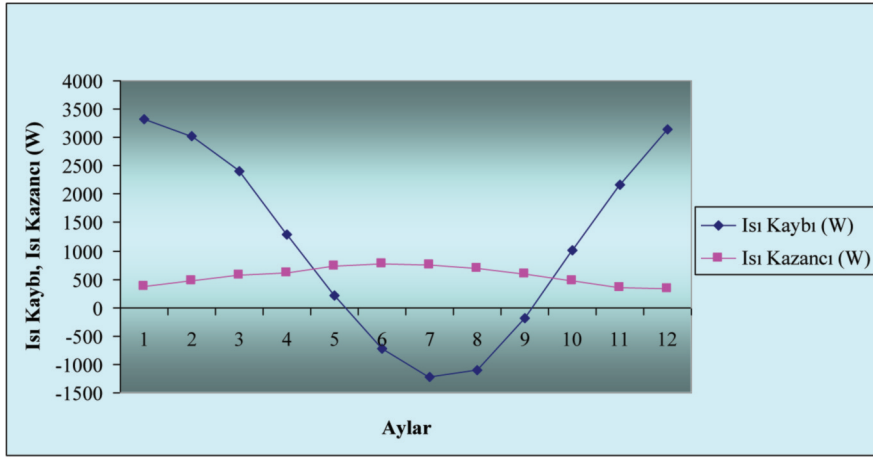
Tablo 3. Örnek Binada Uygulanan Yalıtım

Bina Enerji Kimlik Belgesi Şekli	Yapı Elemanı	Yalıtım Malzemesi	Uygulanan Yalıtım Kalınlığı (cm)
A Tipi	Duvar	Ekstrüde polistiren köpüğü 030	7
	Tavan	Cam köpüğü 045	10
	Taban	Poliüretan sert köpük 030	10
B Tipi	Duvar	Ekstrüde polistiren köpüğü 030	5
	Tavan	Cam köpüğü 045	10
	Taban	Poliüretan sert köpük 030	10
C Tipi	Duvar	Ekstrüde polistiren köpüğü 030	3
	Tavan	Cam köpüğü 045	10
	Taban	Poliüretan sert köpük 030	10

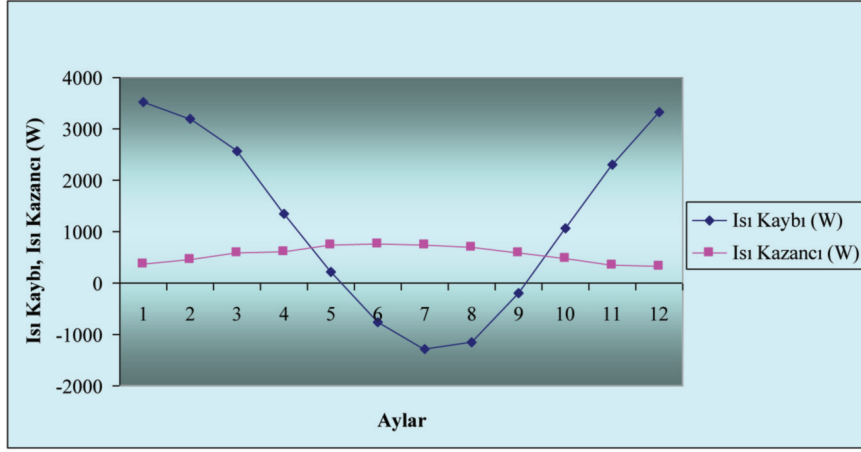
Tablo 4. Binanın A Tipi, B Tipi ve C Tipi Enerji Kimlik Belgesi İçin Hesaplanan U Değerleri

Binanın Enerji Kimlik Belgesi Şekli	U Isı Geçiş Sayısı Değerleri ($\text{W/m}^2\text{K}$)						
	U_{D1}	U_{D2}	U_{tav}	U_{tab}	U_p	U_{k1}	U_{k2}
A Tipi	0,286	0,376	0,400	0,270	1,1	4	3,5
B Tipi	0,354	0,501	0,400	0,270	1,1	4	3,5
C Tipi	0,463	0,753	0,400	0,270	1,1	4	3,5

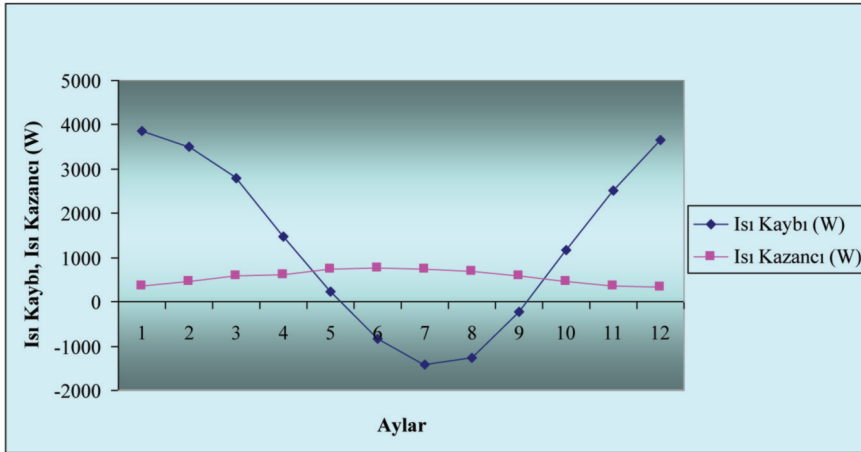
Makale



a. A tipi enerji kimlik belgesi için

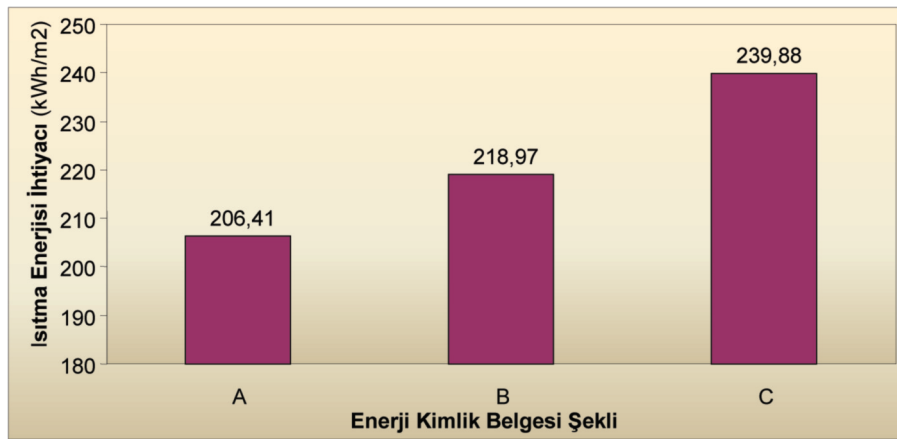


b. B tipi enerji kimlik belgesi için

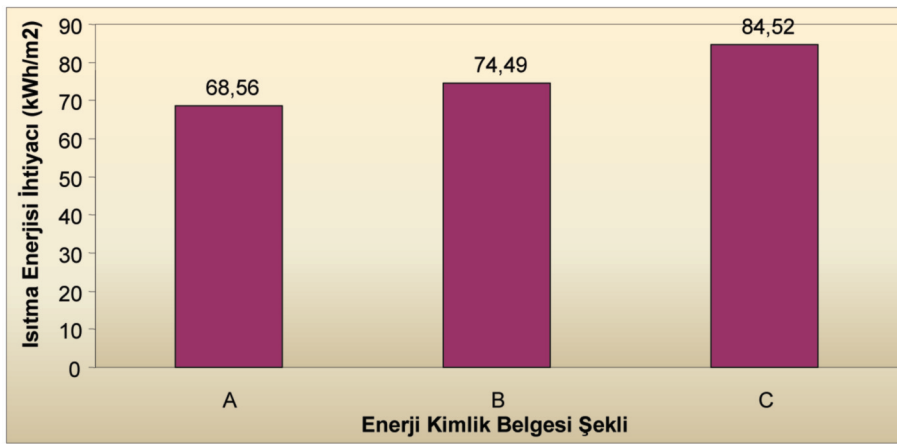


c. C tipi enerji kimlik belgesi için

Şekil 5. Örnek Binanın A, B ve C Tipi Enerji Kimlik Belgeleri İçin Aylara Göre Isı Kayıp ve Kazançları



Şekil 6. Örnek Binanın A, B ve C Tipi Enerji Kimlik Belgesi İçin Toplam Isı Kaybı



Şekil 7. Örnek Binanın A, B ve C Tipi Enerji Kimlik Belgesi İçin Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

dır. Kullanım alanı başına düşen ısı kaybı $Q = Q_{yıl}/A_n = 74,49$ kWh/m² olmaktadır. C tipi enerji kimlik belgesi için yıllık $Q_{yıl} = 9.255$ kWh enerji harcanmaktadır ve kullanım alanı başına düşen ısı kaybı $Q = Q_{yıl}/A_n = 84,52$ kWh/m² olarak hesaplanmıştır. TS 825 hesap programı ile standarda göre en büyük ısı kaybı $Q' = 90,02$ kWh/m² olarak hesaplandığından $Q < Q'$ olduğu ve yapılmış olan ısı yalıtım projesinin TS 825 standardına uygun olduğu anlaşılmıştır. Örnek binaya A, B ve C enerji kimlik belgesi için

yapılmış yalıtım uygulaması sonucunda TS 825 programı ile maliyetler ve geri ödeme süreleri bulunmuştur. Sonuçlar topluca Tablo 5'de verilmiştir.

Yıllık tasarruflar, elektrik enerjisi birim maliyeti 0,362 TL/kWh alınarak bulunmuştur.

A tipi için; 19.614 kWh x $0,362$ TL/kWh = 7.100 TL

B tipi için; 18.961 kWh x $0,362$ TL/kWh = 6.864 TL

C tipi için; 17.867 kWh x $0,362$ TL/kWh = 6.468 TL

Tablo 5. A, B ve C Enerji Kimlik Belgesi Bina için Tasarruf Edilen Enerjiler ve TL Olarak Yıllık Tasarruflar

Bina Enerji Kimlik Belgesi Şekli	Tasarruf Edilen Enerji Miktarı (kWh)	Yıllık Tasarruf (TL)
A	19.614	7.100
B	18.961	6.864
C	17.867	6.468

Makale

Şekil 8’de yalıtım kalınlığı arttıkça tasarruf değerlerinin de arttığı görülmektedir.

Üç tip enerji kimlik belgesi için yalıtım şeklinde de binada kullanılan pencere sistemleri $U_p = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan iki kaplamalı üçlü cam alınmıştır. Geri ödeme süresi grafiklerinin çizimi için gerekli olan yalıtımsız durumdaki pencerelerin U- değerleri yalıtımlı duruma eşdeğer olarak $U_p = 2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ kaplamasız üçlü

cam alınmıştır. Bu durumda, program ile hesaplanmış olan geri ödeme süresi grafikleri Şekil 9’da görülmektedir. Grafiklerdeki mavi çizgi yatırım maliyeti, kırmızı çizgi tasarruf edilen yakıt miktarının bedelini ifade etmektedir ve yalıtım şekilleri için elde edilen maliyet sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

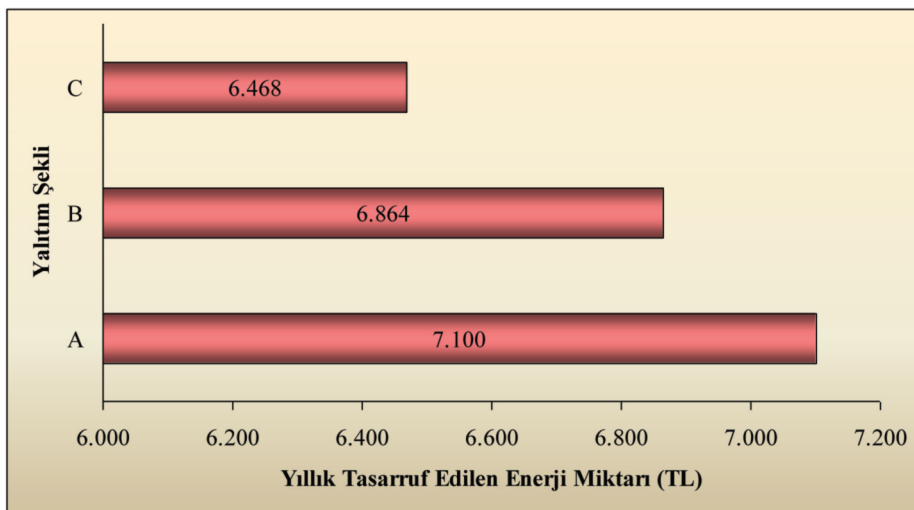
Grafiklerin sonucu olarak Tablo 7’de yıllara göre dağılım bilgileri verilmektedir. Yalıtım durumu A tipi

Tablo 6. Yalıtım Şekilleri İçin Elde Edilen Maliyet Sonuçları

Bina Enerji Kimlik Belgesi Şekli	Yalıtımlı Durumdaki Net Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Tasarruf Edilen Yakıt Miktarı (kg/m^3)	Tasarruf Edilen Yakıt Miktarının Bedeli (TL)	Yalıtım Maliyeti (TL)
A	7.513	2404,929	2.188	6.577
B	8.166	2324,862	2.116	5.461
C	9.260	2190,724	1.994	4.534

Tablo 7. Yıllara Göre Dağılım

A			B			C		
Yatırım	Tasarruf	Yıl	Yatırım	Tasarruf	Yıl	Yatırım	Tasarruf	Yıl
6.577	2.188	0	5.461	2.116	0	4.534	1.994	0
6.844	4.465	1	5.683	4.318	1	4.718	4.069	1
7.122	6.834	2	5.913	6.609	2	4.910	6.228	2
7.411	9.300	3	6.154	8.994	3	5.109	8.475	3
7.712	11.865	4	6.403	11.475	4	5.316	10.813	4
8.025	14.535	5	6.663	14.057	5	5.532	13.246	5
8.351	17.313	6	6.994	16.743	6	5.757	15.778	6
8.690	20.204	7	7.215	19.539	7	5.991	18.413	7
9.043	23.212	8	7.508	22.448	8	6.234	21.154	8
9.410	26.343	9	7.813	25.476	9	6.487	24.007	9

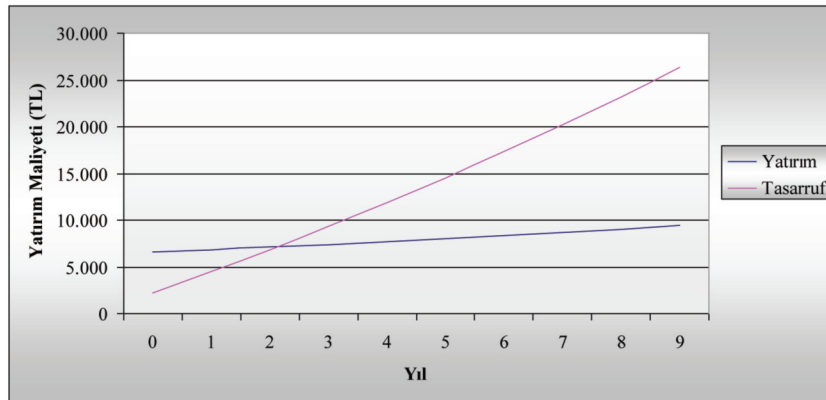


Şekil 8. A, B ve C Enerji Kimlik Belgeleri İçin Yıllık Tasarruf Değerleri

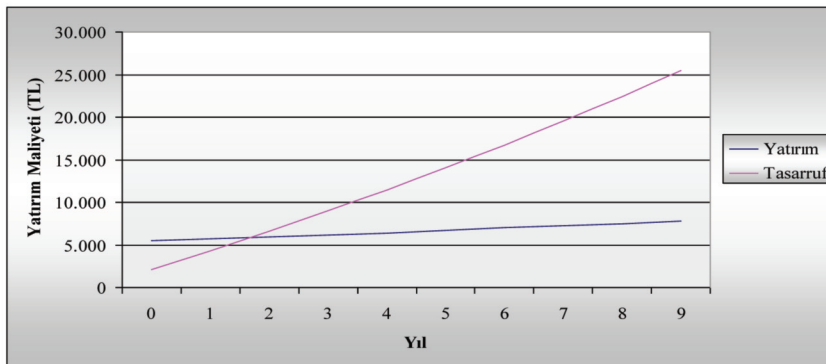
enerji kimlik belgeli bina için yapılan ilk yatırım maliyetini 3 yıl içerisinde, B tipi enerji kimlik belgeli bina için 2 yıl ve C tipi enerji kimlik belgeli bina için 1 yıl içerisinde geri ödeyeceği sonucuna ulaşmıştır.

SONUÇ

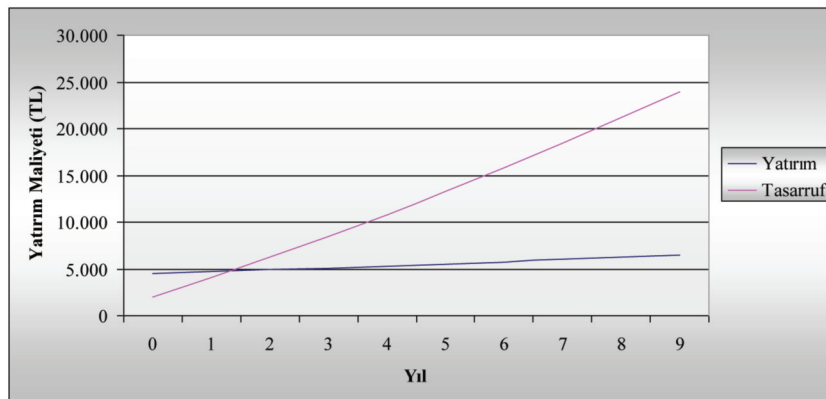
Bulunan sonuçlar, yapı elemanında kullanılan malzemelere bağlı U- değerleri azaldıkça yalıtımın arttığını göstermektedir.



a. A tipi



b. B tipi



c. C tipi

Şekil 9. Yalıtım Şekilleri İçin Geri Ödeme Süresi Grafikleri

Makale

Üç tip enerji kimlik belgesi için yalıtım şeklinde yapı bileşenlerinden duvar elemanında kullanılan yalıtım kalınlıkları A tipi için 7 cm, B tipi için 5 cm ve C tipi için 3 cm alınmıştır. Bu durum bilindiği gibi yalıtım kalınlığı arttıkça, ısı geçiş sayısının düştüğü ve dolayısıyla ısı yalıtımının arttığı sonucuna götürmüştür.

TS 825 standardı ile hesaplanan üç tip yalıtım şeklinde A tipi enerji kimlik belgeli yalıtımlı bina için birim alan başına tüketilecek yakıt miktarı 8,01 kg iken, B tipi enerji kimlik belgeli yalıtım yapılmış binada birim alan başına 8,7 kg ve C tipi enerji kimlik belgeli yalıtım yapılmış binada ise 9,88 kg olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, yapılan yalıtım kalınlığı arttıkça yakıt miktarının düştüğünü ve bunun sonucu olarak yakıt maliyetinin de azaldığını göstermektedir.

Tüm incelemelerden elde edilen sonuçlar; binalarda enerjinin verimli kullanılmasının son derece önemli olduğunu göstermektedir.

Ayrıca binalarda enerji verimliliğini arttırmak için ısı yalıtım tasarımlarıyla alınabilecek ve binalarda yaşayanların alabilecekleri bir takım önlemler mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Eski yapılar, ısı yalıtımlı olarak yeniden tasarlanmalı ve ısıtma tesisatları yenilenmelidir.
- Binaların, kalorifer tesisatları standart ve yönetmeliklere uygun yalıtılmalıdır.
- Evlerin havalandırılmaları kısa süreli olmalı ve güneşten kazanım sağlanabilmesi için kışın gündüz saatlerinde güney cephesindeki pencereler panjur, perde vb. ile kapatılmamalı, kuzeye bakan pencereler için bu tip önlemler alınmalıdır. Isı yalıtımlı pencereler kullanılmalıdır.
- Bina hacimlerinde yaşayanların sağlığı açısından oda sıcaklığının 19-20 °C'nin üzerine çıkmaması gerekmektedir. Oda sıcaklığını sürekli sabit değerde tutan termostatik vana veya oda termostatu ile bu durum sağlanabilir.
- Dış hava ile temas eden duvarların içine konumlandırılan radyatörlerde, iç ortamdan dış ortama ışınlama ısı geçişi olmasını önlemek için radyatör-

lerin arkalarına ışınlama ısıyı içeri yansıtma amacıyla alüminyum folyo kaplı levhalar konulmalıdır.

SEMBOLLER

- A_d : Dış hava ile temas eden tabanın alanı, m^2
 A_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı, m^2
 A_D : Dış duvarın alanı, m^2
 A_i : i yönünde toplam pencere alanı, m^2
 A_n : Bina kullanım alanı, m^2
 A_p : Pencere alanı, m^2
 A_{tab} : Taban alanı, m^2
 A_{tav} : Tavan alanı, m^2
 B : Isı köprüsü oluşturan yapı elemanının genişliği, m
 c : Havanın özgül ısı, J/kgK
 d : Tabaka kalınlığı, m
 $g_{i,ay}$: i yönünde saydam yapı elemanlarının güneş enerjisi geçirme faktörü
 ρ : Havanın birim hacim kütlesi, kg/m^3
 H : Binanın özgül ısı kaybı, W/K
 I : Isı köprüsünün uzunluğu, m
 $I_{i,ay}$: i yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınlama şiddeti, W/m^2
 η_{ay} : Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü
 n_h : Hava değişim sayısı, h^{-1}
 p_{dn} : Dış ortamın kısmi buhar basıncı, Pa
 $p_{iç}$: İç ortamın kısmi buhar basıncı, Pa
 Q_{ay} : Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı, J
 $Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, J
 $r_{i,ay}$: i yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü
 $R_{iç}$: İç yüzeyin yüzeysel ısı iletim sayısı, m^2K/W
 $R_{dış}$: Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim sayısı, m^2K/W
 t : Zaman, s
 $T_{d,ay}$: Aylık ortalama dış ortam sıcaklığı, K
 T_i : Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı, K
 U_d : Dış hava ile temas eden tabanın ısı geçiş sayısı, W/m^2K
 U_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısı geçiş sayısı, W/m^2K
 U_D : Dış duvarın ısı geçiş sayısı, W/m^2K
 U_I : Isı köprüsünün doğrusal ısı geçişi, W/KU

p : Pencerenin ısı geçiş sayısı, W/m²K
 U_{tab} : Tabanın ısı geçiş sayısı, W/m²K
 U_{tav} : Tavanın ısı geçiş sayısı, W/m²K
 U_{TB} : Isı köprüsü oluşturan yapı elemanının ısı geçişi, W/m²K
 $V_{\text{brüt}}$: Binanın brüt hacmi, m³
 V_{h} : Havalandırılan hacim, m³
 V' : Hacimsel hava değişim debisi, m³/h
 λ_{h} : Isı iletim kabiliyeti hesap değeri, W/mK
 ξ : Isı köprüsünden oluşan yanıl ısı kayıpları, W/mK
 ϕ_i : İç ortamın bağıl nemi, %
 ϕ_d : Dış ortamın bağıl nemi, %

$\phi_{\text{g,ay}}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları, W
 ϕ_i : Aylık ortalama iç kazançlar, W

KAYNAKLAR

- [1] Enerji Verimliliği Kanunu, Resmi Gazete, 2 Mayıs 2007, Sayı 26510
- [2] “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”, 05 Aralık 2008 tarihli, 27075 Sayılı Resmi Gazete
- [3] Engin, S., “Binaların Isıtılmasında Enerji Verimliliğinin Termodinamik Değerlendirmesi” Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 6 Ağustos 2012.