




Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Derece Zaman Ve Sıcaklık Analizine Göre Düzce İlinde Binalar İçin İzolasyon Malzemesinin Tasarım Metodolojisi

 Yaşar ŞEN^{a,*}

^a *Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: yasarsen@duzce.edu.tr*

DOI : 10.29130/dubited.650853

ÖZET

Yapılardaki enerji tasarrufunu sağlamak ve konfor şartlarını yerine getirmek için en uygun yöntemlerden birisi de izolasyon yapılmasıdır. Bu çalışmada binalarda izolasyon yapılması için, farklı izolasyon malzemeleri ve duvar tipleri için optimum izolasyon kalınlığı analiz edilmiştir. Bu analizlerde kullanılmak üzere gerekli saatlik sıcaklık verileri Düzce ili için 2007-2017 yılları arası Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) istasyonundan temin edilmiş ve temin edilen bu verilerde hesaplamada hataya neden olacak değerler ayıklanmıştır. Bunun nedeni MGM istasyondan elde edilen verilerde, saatlik sıcaklık verileri arasındaki değerlerin kayıtları hatalı elde edilmiştir. 15 °C ısıtma, 22 °C soğutma değerlerinde denge sıcaklıkları için derece saat ve gün hesaplamaları yapılmıştır. Bulunan derece gün değeri ile tuğla ve gaz beton duvarlar için taş yünü, EPS ve XPS izolasyon malzemeleri kullanarak, izolasyon kalınlığı hesabı yapılmış ısıtma maliyeti, tasarruf miktarı ve maliyetin kendini amorti etme süreci dikkate alınarak Düzce ili şartları için en uygun izolasyon malzemesi seçimi yapılmıştır. Sekiz farklı izolasyona sahip bina tipi için TS 825 standartlarına göre özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerji ihtiyacı hesaplanmış ve en uygun izolasyon malzemesinin 20 kg/m³ EPS olduğu tespit edilmiştir. Gaz betonlu duvarlarda 0,0185 m -0,0247 m arasında değişen optimum kalınlığa sahip izolasyon yapıldığında, %43,01 ile %48,54 oranlarında enerji tasarrufu sağlanacaktır. Aynı zamanda dış yüzeye bakan kolon-kiriş bölümleri de izole edileceğinden ve enerji tasarrufu daha da artacağından dolayı gaz beton duvar kullanılsa bile izolasyon yapılması tavsiye edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Düzce, Derece-zaman, Derece-gün, Derece-saat İklim verileri,*

Design Methodology Of Insulation Material For Buildings In Duzce Province According To Degree-Time And Temperature Analysis

ABSTRACT

One of the most suitable methods to save energy in buildings and to meet comfort conditions is insulation. In this study, the optimum insulation thickness for different insulation materials and wall types was analyzed for insulation in buildings. Hourly temperature data required for these analyzes were obtained from the General Directorate of Meteorology (MGM) station between 2007 and 2017 for Düzce and improved these data by extracted errors. Because the data is obtained from the MGM station record the values between the hourly temperature data incorrectly. Degree hour and day calculations were made for equilibrium temperatures at 15 ° C heating and 22 ° C cooling values. The most suitable insulation material was chosen for the conditions; brick and gas concrete walls combined stone wool, obtained degree day value, EPS and XPS insulation materials, cost and saving with self-amortization, of Düzce city. Specific heat loss and annual heating energy need were calculated according to TS 825 standards for the building type having eight different insulation types and found

the most suitable insulation material is 20 kg / m³ EPS. When insulation with optimum thickness varying between 0.0185 m -0.0247 m on gas concrete walls, Energy savings of 43.01% to 48.54% will be achieved. At the same time, it is recommended to insulate even if a gas concrete wall is used, since the column-beam sections facing the outer surface will be isolated and energy saving will increase even more.

Keywords: Duzce, Degree-time, Degree-day, Degree-hour Climate data

I. GİRİŞ

Konfor; fiziksel yönden insanın içinde olduğu şartlarda, minimum enerji harcayarak, maksimum memnuniyet duymasıdır [1]. Göreceli bir kavram olup ve koşullara göre memnuniyet özellikleri göstermektedirler. ISO 7730 Uluslararası Standart da göre ısı konforla ilgili olarak minimum % 80 kullanıcının memnuniyetini öngörmekte [2]. Konfor şartlarını göz önünde bulundururken dikkat etmemiz gereken bir diğer konuda enerji verimliliğidir. Binalar, enerjinin kullanımında önemli yer tutar. Dünyadaki enerjinin %40'ı binalar da tüketilmektedir. Türkiye'de bu rakam toplam enerjinin %25-30'una eşittir. Binalarda bu enerjinin %85'i ısınma maksadı ile harcanmaktadır [3]. Enerjinin kullanımı, verimliliği ve üretimi önemli bir konudur. Enerji kullanımının sonucunda açığa çıkan karbon dioksit (CO₂) İklim değişikliğine ve küresel ısınmayı oluşturmaktadır. Bundan dolayı enerji tüketimi bilinçli ve tasarruflu yapılmalıdır [4]. Enerji tasarruflu ısıtma ve soğutma sistemleri binaların duvar taban ve tavadan yalıtılması pencereden kaybedilen ısının en aza indirilmesi konularında sürekli çalışmalar yapılmakta ve gelişim gösterilmektedir. Bu çalışmalarda kullanılan en önemli etken hiç şüphesiz ki dış hava sıcaklığı olmaktadır. Isıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin performansları farklı oranlarda olsa da atmosfer havası şartlarına bağlıdır. Sistemlerin tasarım ve performans simülasyonları yapılırken, uzun bir zamanın iklim değerleri kullanılmalıdır. Elde edilen sonuçlar gelecek zamanlar için önemli yer tutar. Dolayısıyla ihtiyaç duyulan enerji analizleri ancak iklim verileri dikkate alındığında yakınsamaktadır [5-6]. En eski yöntemlerden biri olan Derece-zaman (derece- gün ve derece- saat) yöntemi binalarda enerji verimliliği analizlerinde halen kullanılmaktadır. Her ülke derece-gün bölgelerini belirleyerek farklı soğutma, ısıtma ve izolasyon uygulamalarında kullanılmaktadır [7-8]. Eğer bir binanın ısı kazançları, iç ortam sıcaklığı sabit ise ve ayrıca ısıtma ve soğutma sistemleri sezon boyunca devamlı olarak çalışıyorsa derece-gün yönteminden elde edilen değerlerle, yıllık ısıtma ve soğutma yükleri iyi bir hassasiyet ile tahmin edilebilir. Derece-gün değerleri ile hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı seçilen “denge noktası sıcaklığı” (Tden)'e bağlıdır. Denge noktası sıcaklığı binalar arasında farklılık gösterebilir. Farklılıklar tasarlanan iç ortam sıcaklığına ve binanın ısı özelliklerine bağlı olarak kullanım şekline göre belirlenebilir. Dış ortam sıcaklığı, yapılarda ısıtmaya veya soğutmaya ihtiyaç olmadığı zamanlardaki denge noktası olarak tanımlanabilir [9]. Enerji verimliliğinin önemi son yıllarda giderek arttığından bu konularda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazılarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz. Aynı yapı malzemeleri ile yapılmış ve aynı sıcaklıktaki 4 ortam oluşturulup bu ortamlar izolasyonsuz ve farklı türden izolasyon malzemeleriyle (EPS, XPS, Taş yünü) yalıtılmış halde iken ölçümler yaparak en ideal izolasyon malzemesini belirlemeye çalışılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda iç ortam duvar yüzeyi sıcaklıklarını taş yünü için 9-12 °C, XPS izolasyon malzemesi için 13-15 °C ve EPS izolasyon malzemesi için ise 15-17 °C olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara dayanarak en uygun izolasyon malzemesinin taş yünü olduğunu belirlenmiş ve izolasyon malzemelerinin enerji tasarrufundan dolayı geri ödeme sürelerini karşılaştırdığında ise taş yünü için 1,07 yıl, XPS izolasyon malzemesi için 0,73 yıl ve EPS izolasyon malzemesi için ise 0,62 yıl olarak belirtilmiştir [10]. İzmir, Eskişehir, Erzurum ve Bursa illeri seçilerek değişik derece gün bölgeleri için optimum izolasyon kalınlığı hesabı yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda değerlendirme maliyet açısından yapmış ve bu yüzden geri ödeme sürelerini baz alınmıştır. Dış duvar için yapılan hesaplamada optimum izolasyon kalınlıkları bu iller için sırasıyla 0.033, 0.061, 0.080 ve 0.047 m olarak bulunmuştur. Bu iller için geri ödeme süreleri ise

sırasıyla 2.82, 2.28, 1.89 ve 1,54 yıl olarak hesap edilmiştir [11]. Değişik derece gün bölgelerini temsil eden Mersin, Bursa, Ankara ve Sivas şehirleri baz alınarak değişik izolasyon materyalleri, değişik yakıt ve değişik duvar türleri için optimum izolasyon kalınlığının belirlenmiş ve her farklı seçenek için emisyon değerleri hesaplanmıştır. Derece gün bölgesi olarak birinci bölgeyi temsil eden Mersin şehri için yakıt olarak doğalgaz, kömür, fuel-oil, elektrik kullanılması durumunda optimum izolasyon kalınlıklarını sırasıyla 0,03-0,07, 0,04-0,1, 0,05-0,12, 0,8-0,15 m olarak, ikinci derece gün bölgesinde bulunan Bursa ili için yakıt olarak doğalgaz, kömür, fuel-oil, elektrik kullanılması durumunda optimum izolasyon kalınlıklarını sırasıyla 0,04-0,08, 0,05-0,13, 0,07-0,16, 0,9-0,19 m olarak, üçüncü derece gün bölgesinde bulunan Ankara ili için yakıt olarak doğalgaz, kömür, fuel-oil, elektrik kullanılması durumunda optimum izolasyon kalınlıklarını sırasıyla 0,07-0,12, 0,09-0,17, 0,11-0,23, 0,13-0,25 m olarak, dördüncü derece gün bölgesini temsil eden Sivas şehri için yakıt olarak elektrik, kömür, fuel-oil, kullanılması durumunda optimum izolasyon kalınlıklarını sırasıyla 0,06-0,13, 0,09-0,18, 0,10-0,20, m olarak hesaplanmıştır [12]. TS 825'e göre İstanbul, Muğla, Rize ve Diyarbakır şehirleri için referans alınan yapının ısıtma ve soğutma durumlarındaki enerji ihtiyacını hesaplamış ve yoğunlaşma durumlarını değerlendirerek analiz edilmiştir. Buna göre m² başına ısıtma enerji ihtiyaçları, İstanbul için 143 kWh/m², Diyarbakır için 193 kWh/m², Rize için 127 kWh/m² ve Muğla için 150 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Yine m² başına soğutma enerji ihtiyaçları ise, İstanbul için 105 kWh/m², Diyarbakır için 173 kWh/m², Rize için 100 kWh/m², Muğla için 115 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yapılara izolasyon iyileştirmesi yapılması durumunda ısıtma ihtiyacının iller için sırasıyla 35, 56, 33, 57 kWh'e düştüğü gözlemlenmiştir. İzolasyon iyileştirmesi yapılan yapının izolasyonsuz hale göre %70-73 arasında ısıtma enerji tasarrufu sağlandığını belirleyip, binanın toplam enerji tüketimini ise aynı iller için sırasıyla 230, 279, 223, 249 kWh olarak hesaplamıştır [13]. Ankara'da 80.000 m²'lik bölümünde ısıtma ihtiyacı olan bir alışveriş merkezinin ısıtma sistemi üzerinde yaklaşık 3 yıl süren deney ve verilerinden faydalanarak enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda, ısıtma sistemi için yapılan enerji analizinde; en düşük verimin eşanjörde, en yüksek verimin kazanda, ekserji analizinde ise bunun tersi bir durum görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde; bu tür çok amaçlı yapılarda enerji performansının değerlendirilmesinde, ekserji analizinin, enerji analizine göre daha gerçekçi olduğu ve kazanda yapılacak iyileştirmenin sistem performansının arttıracığı belirlenmiştir [14]. Derece saat yönteminde, öncelikle belirli bir denge noktasına göre derece saat değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun içinde bir yıl içerisinde toplam 8760 saatlik ölçüm değerlerinin olması gerekir. Denge noktası sıcaklığı, bir binada ısıtmaya veya soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı durumdaki dış ortam sıcaklığıdır. Genelde literatürdeki mühendislik hesaplamalarda, izolasyonsuz bir bina için derece saat değerleri ısıtmada 18 °C, soğutmada ise 22 °C denge sıcaklığı için hesaplanır. Isıtma derece saat (HDD) ve soğutma derece saat (CDD) değerleri aşağıdaki denklem (1) ve denklem (2) ile belirlenir [15]. Binalarda izolasyon kalınlığının artması ısı kaybı azaltması ile birlikte birim alanı ısıtmak için gereken enerji ihtiyacı azalır ve toplam maliyet düşer. Fakat izolasyon kalınlığının gereğinden fazla artırılması izolasyon maliyetini artırır. Bunun sonucunda yüksek izolasyon maliyeti sebebi ile belli bir noktadan sonra toplam maliyet artmaya başlar. Toplam maliyetin minimum olduğu bu nokta optimum izolasyon kalınlığı değeri olarak ifade edilmektedir [24].

Bu çalışmada Düzce ili için ısıtma soğutma derece zaman hesaplamaları yapılmış, Düzce ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) istasyonundan alınan sıcaklık verilerine dayanarak çıkartılan grafik ve tablolar yorumlanmıştır. Elde edilen derece gün verilerine göre optimum izolasyon kalınlığı hesabı yapılarak 8 farklı bina tipi için uygulamadaki enerji sarfiyatı hesaplanarak karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

II. MATERYAL ve METOT

Literatürde derece zaman yöntemiyle ilgili olarak üç farklı statik yöntem, derece saat yöntemi, derece gün ve bin yöntemi kullanılmaktadır. Binanın dinamik davranışına göre yapılan hesaplamalarda kullanılan dinamik yöntemlerdir Bu çalışmada Düzce ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) istasyonundan 11 yıllık dış hava sıcaklığı verileri temin edilerek ısıtma ve soğutma derece gün

değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar için gerekli olan verilerden, doğru sonuç elde edebilmek için hatalı ve eksik olanları, yani saatlik çok bariz sıcaklık farkı olan veriler, bir saat önceki ve bir saat sonraki değerlerin ortalaması dikkate alınarak hatalı veri değerleri düzeltilmiş, Excel Programına yüklenmiştir. Isıtma ve soğutma için farklı referans sıcaklıkları için tablolar ve grafikler oluşturulmuştur. Elde edilen ısıtma ve soğutma derece gün değerleri, tablo ve grafiklerdeki değerler karşılaştırmalı şekilde analiz edilerek değerlendirilmiştir. Sekiz farklı izolasyona sahip bina tipi için TS 825 standartlarına göre özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerji ihtiyacı hesaplanarak karşılaştırmalı olarak yorumlanmış ve tavsiyelerde bulunulmuştur. Düzce ili, fazla sert olmayan nemli Karadeniz iklimine sahiptir. Ayrıca Akdeniz ve karasal iklimleri arası geçiş özelliği de göstermektedir. Sıcaklık olarak yıllık ortalama 13,0 °C, yıllık yağışların toplam ortalaması 823,7 kg/m², nispi nem ortalaması %75'dir [10]. Metroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) alınan verilere göre, Düzce ili için Tablo 1'deki değerlere bakıldığında ortalama olarak aylık sıcaklık 22,6 °C ile temmuz ayında en düşük aylık ortalama sıcaklık ise 3,8 °C ile ocak ayında gerçekleşmiştir. Yıl boyunca sıcaklık ortalaması ise 13,3 °C olmuştur [16].

Tablo 1. Düzce ili için uzun yıllar aylık sıcaklık ortalaması [11]

AYLAR	ORTALAMA SICAKLIK (°C)
OCAK	3,8
ŞUBAT	5,8
MART	7,8
NİSAN	12,3
MAYIS	16,7
HAZİRAN	20,6
TEMMUZ	22,6
AĞUSTOS	22,4
EYLÜL	18,8
EKİM	14,3
KASIM	9,6
ARALIK	5,8
YILLIK ORTALAMA SICAKLIK DEĞER	13,33

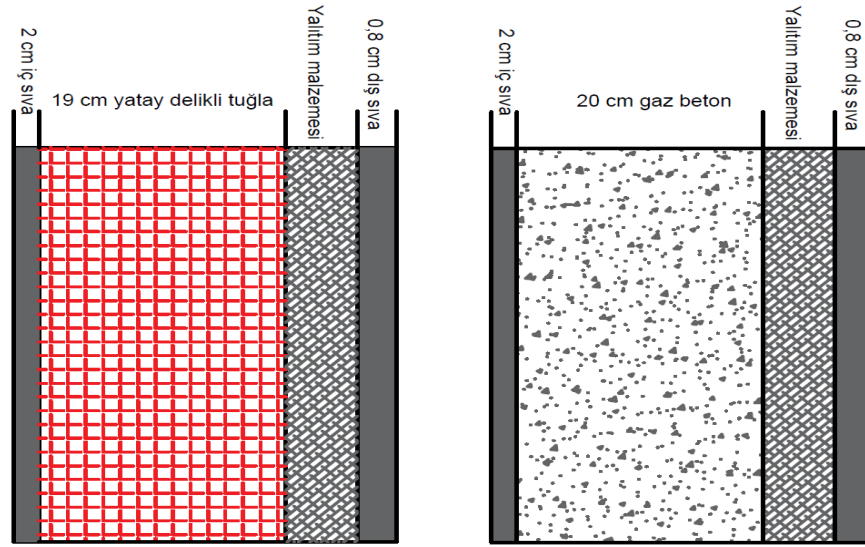
Bir bölgede, ısıtma derece gün (Heating Degree Days- HDD), sayısı ile soğutma derece gün sayısı (Cooling Degree Days- CDD)'nin bulunması, ısıtma ve soğutma sistemi maliyetinin ve kapasitesinin belirlenmesi açısından önemli bir yer tutmaktadır. Ortak bir kullanım oluşturmak ve bu değerlerin birbiriyle mukayese edilmesi için, Denklem (1) ve Denklem (2)'nin kullanılması Eurostat (Avrupa Birliği İstatistik Ofisi) önerilmektedir [18].

$$\begin{aligned} HDD &= (18\text{ °C} - T_m) \times d & T_m \leq 15\text{ °C (ısıtma eşiği)} \\ HDD &= 0 \text{ ise} & T_m > 15\text{ °C} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} CCD &= (T_m - 22\text{ °C}) \times d & T_m \leq 22\text{ °C (soğutma eşiği)} \\ CDD &= 0 \text{ ise} & T_m > 22\text{ °C} \end{aligned} \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2) de (T_m) günlük ortalama sıcaklık, (d) gün sayısı. Hesaplama günlük bazda yapılır. Daha sonra aylık ve yıllık gün derece toplamları bulunur. Soğutma Gün Dereceleri (CDD): Belirli bir zamanda (gün, ay, yıl) dış ortam sıcaklığını hesaba katarak sıcaklığın şiddetini açıklar. Resmi olarak belirlenmiş bir eşik sıcaklık olmamakla birlikte inşaat sektörü enerji yönetim

pratiklerinde eşik sıcaklık 22°C olarak alınır. Buna Isıtma ya da soğutma gün dereceleri toplamının bilinmesi, binaların ısıtılması ya da soğutulması için gerekli olan enerji gereksiniminin hesaplanması açısından önemlidir. Günlük ortalama sıcaklık 15°C'nin üzerinde ise ısıtma gereksizdir. Isıtma maliyeti yıllık HDD ile doğrudan orantılıdır. Bunun için 1 yıl içindeki yakıt maliyeti Yıllık HDD toplamına bölünerek 1 HDD için ısıtma fiyatı çıkartılır [18]. Isıtma, soğutma değerleri dönemdeki toplam gün sayısı, ısıtma ya da soğutma gerektirmeyen günler, bu sayılara dâhil edilmemektedir [17]. Yapılan çalışmada ısıtma için dış hava sıcaklığının 15 °C'den küçük ve eşit olduğu sıcaklıkları, soğutma derece saat için ise 22 °C'den büyük ve eşit olduğu sıcaklıkları referans alındı. Isıtma derece zaman hesabı yaptığımız aylar Ocak-Şubat-Mart-Nisan-Ekim-Kasım-Aralık soğutma derece zaman hesabı yaptığımız aylar ise Mayıs-Haziran-Temmuz-Ağustos ve Eylül aylarıdır. Farklı izolasyon malzemeleri için optimum izolasyon kalınlığı ve ısıtma enerji ihtiyacı hesabı yapılırken Düzce şartları için iki farklı duvar tipi seçilmiştir. Bu duvar tipleri Şekil 1'de görüldüğü gibi tuğla ve gaz beton duvarlardır.



Şekil 1. Hesaplamalarda kullanılan tuğla ve gaz beton duvar

Dış havanın sıcaklığı iç hava sıcaklığından düşük olduğu zaman ısı kayıpları oluşmaktadır. Aynı şekilde dış havanın sıcaklığı iç hava sıcaklığından fazla olduğu hallerde ise ısı kazancı meydana gelmektedir.

İç ve dış ortam arasında meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \times (T_b - T_0) \quad (W/m^2) \quad (3)$$

Formülü ile hesaplanır. Bu formülde U; toplam ısı transfer katsayısını, T_b iç sıcaklığı T_0 günlük ortalama dış sıcaklığı vermektedir [18].

Bu formüldeki toplam ısı transfer katsayısının "U" izolasyonlu bir duvar için eşitlik (4)'teki gibi hesaplanır.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_0}} \quad (W/m^2 K) \quad (4)$$

Eşitlik (4)'teki " h_i " iç hava ısı transfer katsayısını, " h_0 " dış hava ısı transfer katsayısını, " R_w " duvarın toplam ısı direncini, " R_{ins} " ise izolasyon malzemesinin termal direncini göstermektedir.

Eşitlik (4)'te kullanılan " R_{ins} " izolasyon malzemesinin termal direnci eşitlik (5)'teki gibi hesaplanır.

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

Bu eşitlikteki “x” izolasyon malzemesinin kalınlığını “k” ise izolasyon malzemesinin ısı iletkenlik katsayısını göstermektedir [22].

Birim alandan kaybedilen ısı kaybı ise derece gün değerini de kullanarak Eşitlik (6)’daki gibi hesaplanır.

$$q_A = 86400 \times HDD \times U \quad (J/m^2 \text{ yıl}) \quad (6)$$

Bu eşitlikte “HDD” derece gün değerini temsil etmektedir. Yıllık enerji gereksinimi de birim alandan kaybedilen ısının sistemin ısıtma verimine “η” bölünmesi ile elde edilmektedir [19].

$$E_A = \frac{86400 \times HDD \times U}{\eta} \quad (J/m^2 \text{ yıl}) \quad (7)$$

Yapının ısıtılması için gerekli olan yakıtın yıllık maliyeti Eşitlik (8)’de verilmiştir. Buna göre yıllık ısıtma maliyeti, yıllık ısıtma enerji gereksiniminin yakıtın m³ olarak birim maliyeti ile çarpılıp yakıtın alt ısı 1 değerine bölünmesi ile bulunmaktadır [19].

$$C_A = \frac{86400 \times HDD \times U \times C_f}{\eta \times LHV} \quad (TL/m^2 \text{ yıl}) \quad (8)$$

Bu eşitlikte “C_f” yakıtın maliyetini LHV ise yakıtın alt ısı 1 değerini göstermektedir.

Yapıların ısıtma maliyetlerinin toplam değeri belli zaman aralıklarını kapsadığından dolayı günümüz değer faktörü (PWF) değerini bu maliyeti etkileyen faktörlerdendir. Günümüz değer faktörü hesaplanırken enflasyon oranı (r), faiz oranı (i) ve indirim hızı (g) hesaba katılmaktadır. Eşitlik (9), (10) ve (11)’de günümüz değer faktörünün hesaplanma yöntemi gösterilmektedir [19].

Eğer i > g ise;

$$r = \frac{i-g}{i+g} \quad (9)$$

Eğer i < g ise;

$$r = \frac{g-i}{1+i} \quad (10)$$

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} \quad (11)$$

Eğer i değeri g değerine eşit ise, Eşitlik 11’deki ifade aşağıdaki eşitliğe dönüşür.

$$PWF = \frac{1}{1+i} \quad (12)$$

Bu çalışmadaki enflasyon oranı ve faiz oranı değerleri sırasıyla %17,75 ve %24 olarak [23]’e göre alınmıştır. Eşitlikteki “N” değeri izolasyon malzemesinin kullanım ömrünü vermektedir.

İzolasyon malzemesinin metrekaresinin işçilik dâhil maliyeti ise eşitlik (12)’de verilmiştir.

$$C_{ins} = C_1 \times \chi \quad (TL/m^2) \quad (13)$$

Verilen eşitlikte C_1 ; izolasyon malzemesinin fiyatını $\text{₺}/\text{m}^3$ olarak ifade etmektedir. X ise izolasyon malzemesinin kalınlığını “m” cinsinden ifade etmektedir. İzolasyon malzemesinin maliyetinin eklenmesiyle yıllık ısıtma maliyeti eşitlik (13)’teki halini almaktadır [19].

$$C_t = \frac{86400xHDDxC_f xPWFxU}{\eta xLHV} + C_1 xX \quad (TL/m^2 \text{ yıl}) \quad (14)$$

Optimum izolasyon kalınlığı ise yıllık ısıtma maliyetinin izolasyon kalınlığına göre türevi alınarak sıfıra eşitlenmesiyle elde edilmektedir. Eşitlik (14)’de optimum izolasyon kalınlığı ile ilgili formül verilmiştir [20].

$$X_{opt} = \left(\frac{86400xHDDxC_f xPWFxk}{C_1 x\eta xLHV} \right)^{1/2} - kxR_{tw} \quad (m) \quad (15)$$

İzolasyon yapıldığından dolayı enerjiden yapılan tasarruf miktarı, izolasyon malzemesinin ömrü de dikkate alınarak eşitlik (15)’de verilmiştir [21].

$$ES = C_{to} - Ct_{ins} \quad (TL) \quad (16)$$

Eşitlikteki “ C_{to} ” binanın izolasyonsuz haldeki toplam ısıtma maliyetini, “ Ct_{ins} ” ise binanın izolasyonlu haldeki toplama ısıtma maliyetini ifade etmektedir [21].

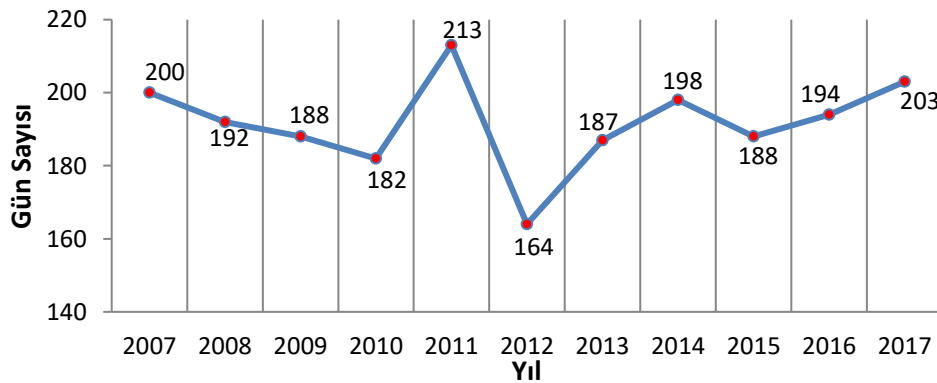
Yapılan izolasyon maliyetinin geri ödeme süresi eşitlik (16)’deki gibi hesaplanmaktadır [20].

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{C_{ins} x X_{opt} + C_{ad}}{ES/LT} \quad (yıl) \quad (17)$$

III. VERİLERİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRME

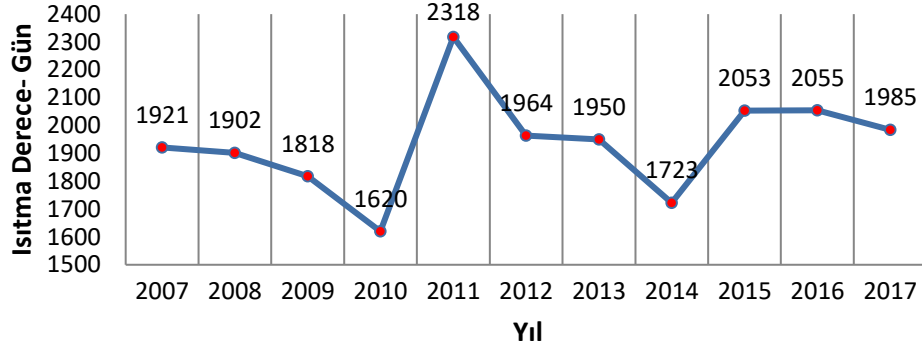
A. ISITMA DERECE ZAMAN HESAPLAMALARI İÇİN ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

Düzce ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) istasyonundan 11 yılın meteorolojik veri seti kullanılmış olup ve elde edilen sıcaklık verilerine göre ortalama sıcaklığı 15°C ’nin altında kalan gün sayıları hesaplanarak Şekil 2’de gösterildiği gibi verilmiştir. 15°C ’nin altında kalan yani ısıtma ihtiyacı olan gün sayısı en az 164 gün ile 2012 yılında en fazla 213 gün ile 2011 yılında gerçekleşmiştir. Ortalama ısıtma ihtiyacı bulunan gün sayısı ise 192 gündür.



Şekil 2. Yıllara göre ortalama sıcaklığı 15°C ’nin altında kalan günleri gösteren grafik

Aynı zamanda 11 yılın meteorolojik veri kullanılarak yapılan hesaplamalarda 15 °C denge sıcaklığı için ısıtma derece gün değerleri Şekil 3'te gösterildiği gibi verilmiştir. En fazla ısıtma derece gün değeri 2318 ile 2011 yılında, en az ısıtma derece gün değeri ise 1620 ile 2010 yılında gerçekleşmiştir. Ayrıca ortalama yıllık 1938 ısıtma derece gün değeri elde edilmiştir.



Şekil 3. 15°C için ısıtma derece gün değerleri.

Derece gün hesabından sonra mukayese için derece saat hesabı yapılmıştır. Aylık ve yıllık üç farklı denge sıcaklığı saati Şekil 4'te verilmiştir. Bu hesaplama yapılırken meteorolojik veri setinin 11 yıllık verileri aylık olarak ele alınmıştır. Buna göre 5 °C altı sıcaklıklar 448 ile 13 saat aralığında, ortalaması da 122 saat. 10 °C altı sıcaklıklar 639 ile 121 saat aralığında, ortalaması da 249 saat. 15 °C altı sıcaklıklar 714 ile 407 saat aralığında, ortalaması 348 saat 15 °C üstü sıcaklıklarda ise 337 ile 30 saat aralığında, ortalama 77 saat olarak elde edilmiştir.

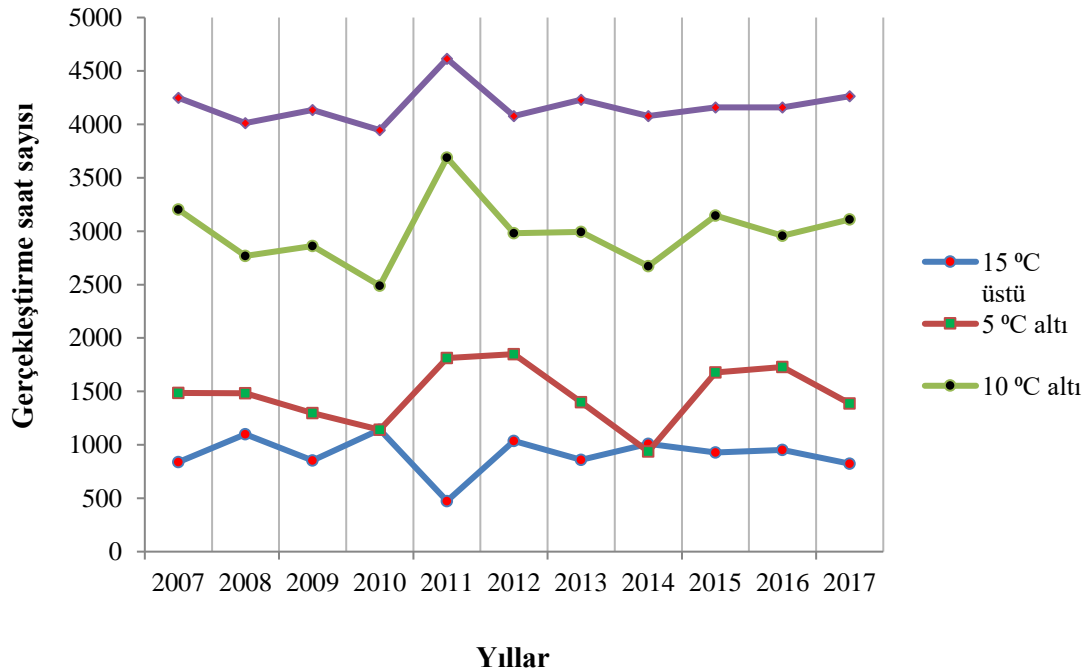
AYLAR	REFERANS SICALIKLAR	YILLAR										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
OCAK	5 °C altı sıcaklık	413	598	417	346	393	537	363	293	524	530	506
	10 °C altı sıcaklık	609	714	600	594	700	683	571	584	648	640	685
	15 °C altı sıcaklık	703	740	692	682	740	739	707	715	708	695	737
	15 °C ve üstü sıcaklık	41	4	52	62	4	5	37	29	36	49	7
ŞUBAT	5 °C altı sıcaklık	257	448	286	154	329	532	171	216	308	169	325
	10 °C altı sıcaklık	529	618	494	382	591	663	464	485	507	407	535
	15 °C altı sıcaklık	628	665	640	573	649	692	590	603	594	608	620
	15 °C ve üstü sıcaklık	44	31	32	99	23	4	82	69	78	88	52
MART	5 °C altı sıcaklık	128	45	248	144	292	411	156	116	155	117	128
	10 °C altı sıcaklık	504	364	547	510	503	608	369	448	535	442	484
	15 °C altı sıcaklık	647	566	651	677	649	677	559	611	681	587	626
	15 °C ve üstü sıcaklık	97	178	93	67	95	67	185	133	63	157	118
NİSAN	5 °C altı sıcaklık	91	1	28	21	30	22	1	25	155	19	62
	10 °C altı sıcaklık	372	118	301	215	420	155	242	180	384	152	340
	15 °C altı sıcaklık	592	382	555	516	631	388	487	463	555	424	521
	15 °C ve üstü sıcaklık	128	338	165	204	89	332	233	257	165	296	199
EKİM	5 °C altı sıcaklık	0	0	0	10	48	0	43	15	7	13	3
	10 °C altı sıcaklık	125	59	28	121	250	29	298	62	67	116	177
	15 °C altı sıcaklık	339	402	290	449	537	284	547	348	308	478	499
	15 °C ve üstü sıcaklık	405	342	454	295	207	460	197	396	436	266	245
KASIM	5 °C altı sıcaklık	148	52	123	34	350	45	72	72	62	217	94
	10 °C altı sıcaklık	423	308	387	178	643	256	319	411	294	463	397
	15 °C altı sıcaklık	634	577	636	436	718	603	596	640	570	623	625
	15 °C ve üstü sıcaklık	86	143	84	284	2	117	124	80	150	97	95
ARALIK	5 °C altı sıcaklık	448	338	195	234	370	302	592	200	467	662	268
	10 °C altı sıcaklık	642	586	504	490	581	588	731	503	711	737	491
	15 °C altı sıcaklık	707	680	672	613	690	694	744	699	744	744	636
	15 °C ve üstü sıcaklık	37	64	72	131	54	50	0	45	0	0	108

Şekil 4. Aylık ve yıllık üç farklı denge sıcaklığı için görülme saatleri

Şekil 4'te verilen yıllık farklı denge sıcaklıkları için gerçekleştirme saat sayısı değerleri bulunup, Tablo 2' de verilmiş ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Buna göre, yıllık 5 °C altı sıcaklıkların maksimum saati 1849'dur, ortalaması ise 1454'tür. 10 °C altı sıcaklıkların için yıllık bu değer maksimum 3688 saattir, ortalaması ise 2989'dur. 15 °C altı sıcaklıkların saati ise maksimum 4614'tür, ortalaması da 4176'dır. Yıllık 15 °C üstü sıcaklıkların saat değerleri maksimum 1142'dir, ortalama ise 920 olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Yıllık denge sıcaklığı için gerçekleştirme saat sayıları.

YILLAR	15 °C üstü Yıllık Gerçekleştirme saat sayısı	5 °C altı Yıllık Gerçekleştirme saat sayısı	10 °C altı Yıllık Gerçekleştirme saat sayısı	15 °C altı Yıllık Gerçekleştirme saat sayısı
2007	838	1485	3204	4250
2008	1100	1482	2767	4012
2009	852	1297	2861	4136
2010	1142	1142	2490	3946
2011	474	1812	3688	4614
2012	1035	1849	2982	4077
2013	858	1398	2994	4230
2014	1009	937	2673	4079
2015	928	1678	3146	4160
2016	953	1727	2957	4159
2017	824	1386	3109	4264

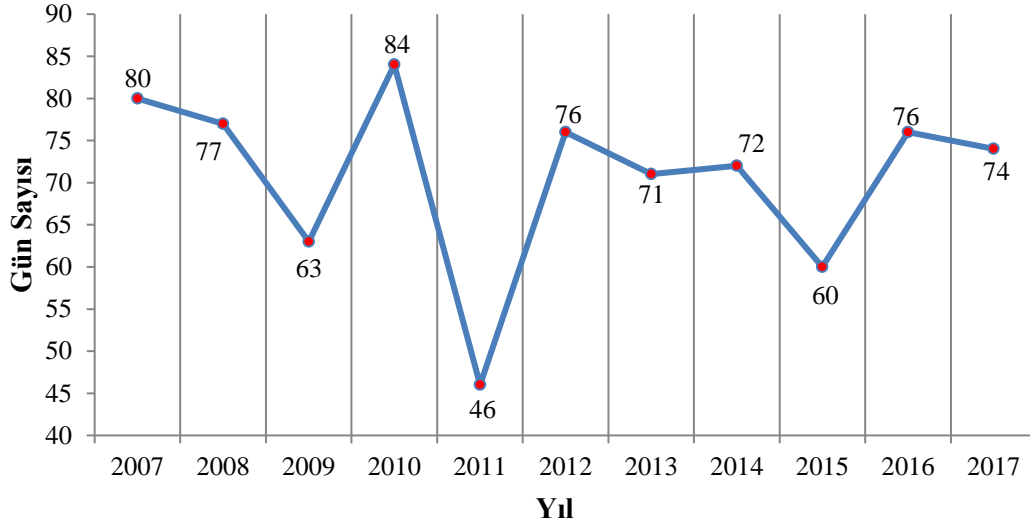


Şekil 5. Yıllık farklı denge sıcaklıkları saat değerleri

B. SOĞUTMA DERECE ZAMAN HESAPLAMALARI İÇİN ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

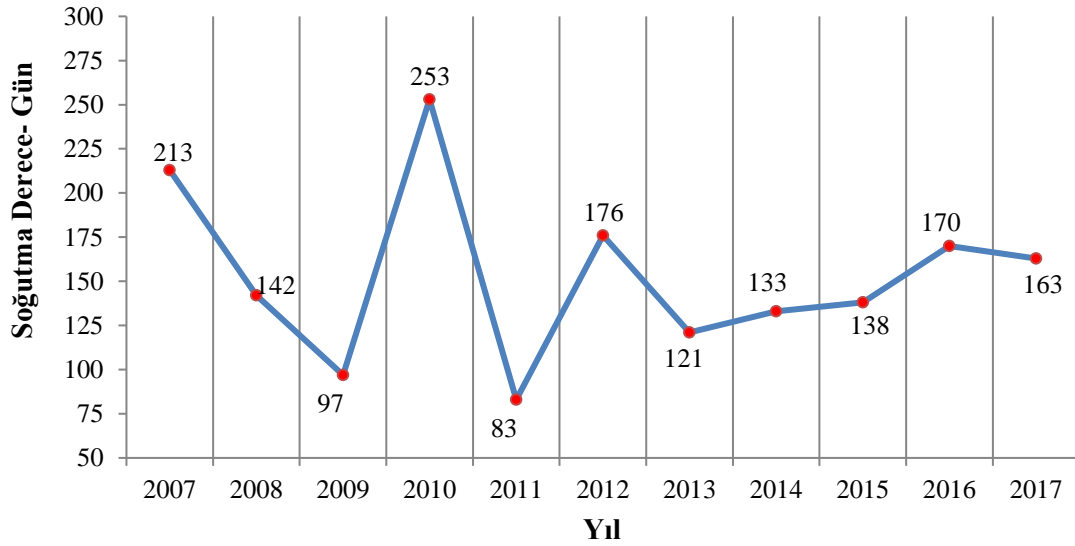
Düzce ili için meteorolojik veri setinden elde edilen 11 yıllık sıcaklık verilerine göre ortalama sıcaklığı 22 °C'nin üstünde kalan gün sayıları hesaplanarak Şekil 6'da gösterildiği gibi verilmiştir. 22 °C'nin

üstünde kalan yani soğutma ihtiyacı olan gün sayısı en az 46 gün ile 2011 yılında en fazla 84 gün ile 2010 yılında gerçekleşmiştir. Ortalama soğutma ihtiyacı bulunan gün sayısı ise 71 gündür.



Şekil 6. Yıllara göre ortalama sıcaklığı 22°C'nin üstünde kalan günleri gösteren grafik

Yine 11 yılın meteorolojik veri kullanılarak yapılan hesaplamalarda 22 °C denge sıcaklığı için soğutma derece gün değerleri hesaplanarak Şekil 7'de gösterildiği gibi verilmiştir. En fazla soğutma derece gün değeri 253 ile 2010 yılında en az soğutma derece gün değeri ise 83 ile 2011 yılında gerçekleşmiştir. Ayrıca ortalama yıllık 154 soğutma derece gün değeri elde edilmiştir.



Şekil 7. 22°C için soğutma derece gün değerleri

Derece gün hesabından sonra mukayese için derece saat hesabı yapılmıştır. Yıllık farklı denge sıcaklıkları saat değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Meteorolojik veri setinin 11 yıllık aylara ait verilerine baktığımızda; aylık 22 °C üstü sıcaklıklar için 451 ile 146 saat değerleri arasında ve ortalaması 311 saat, 27 °C üstü sıcaklıklarda ise 191 ile 39 saat aralığında ortalama 118 saat, 32 °C üstü sıcaklıklarda 29 ile 3 saat aralığında değişmiş ve ortalama 17 saat değeri elde edilmiştir.

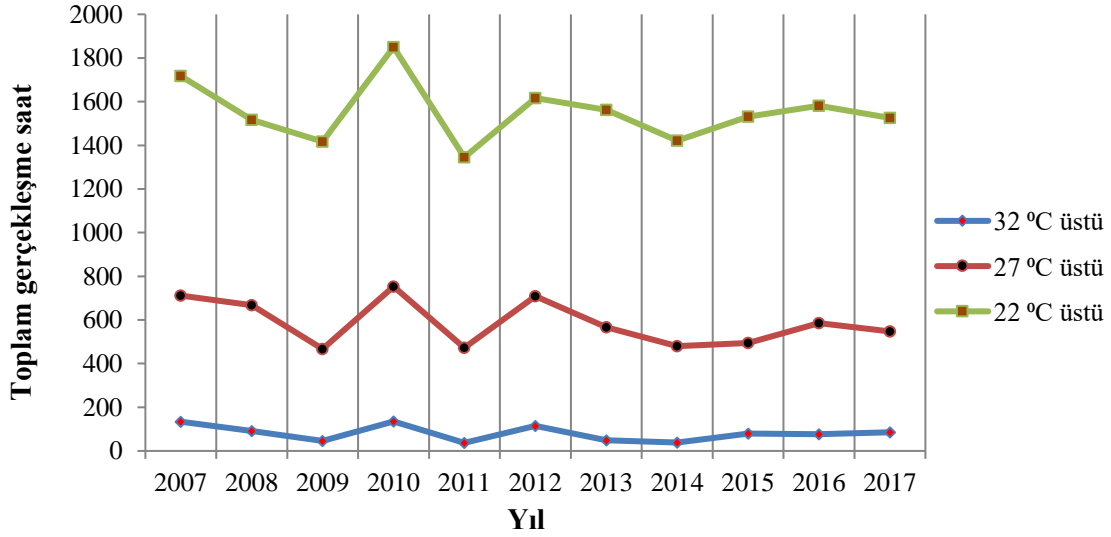
AYLAR	REFERANS SICAKLIKLAR	YILLAR										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
MAYIS	22 °C üstü sıcaklık	191	136	138	201	102	126	243	137	149	102	80
	27 °C üstü sıcaklık	56	36	34	63	15	19	81	30	44	33	11
	32 °C üstü sıcaklık	5	4	3	0	0	0	14	0	0	0	2
HAZİRAN	22 °C üstü sıcaklık	346	319	336	290	229	338	338	238	181	350	294
	27 °C üstü sıcaklık	155	129	143	91	46	172	111	76	12	151	108
	32 °C üstü sıcaklık	37	10	21	9	6	20	10	5	0	25	12
TEMMUZ	22 °C üstü sıcaklık	460	397	424	525	460	506	383	420	394	424	446
	27 °C üstü sıcaklık	213	195	158	220	228	249	142	166	137	160	162
	32 °C üstü sıcaklık	49	22	14	23	30	48	6	14	32	14	37
AĞUSTOS	22 °C üstü sıcaklık	469	477	355	610	339	391	426	438	493	501	462
	27 °C üstü sıcaklık	211	235	108	321	112	184	197	170	203	186	164
	32 °C üstü sıcaklık	33	46	5	103	0	40	16	19	14	30	11
EYLÜL	22 °C üstü sıcaklık	252	188	164	224	215	255	172	188	315	204	244
	27 °C üstü sıcaklık	76	73	24	58	71	85	36	38	99	56	102
	32 °C üstü sıcaklık	10	10	3	0	1	7	3	0	34	7	24

Şekil 8. Aylık ve yıllık üç farklı denge sıcaklığı için görülme saatleri

Şekil 8’de verilen yıllık farklı denge sıcaklıkları için toplam gerçekleştirme saat sayısı değerleri bulunup Tablo 3’de verilmiş ve Şekil 9’da gösterilmiştir. Yıllık farklı denge sıcaklıkları için toplam gerçekleşme saatleri, meteorolojik veri setinin 11 yıllık aylara ait verilere bakıldığında Şekil 7’de verildiği gibi, aylık 22 °C üstü sıcaklıklar için 1850 saat maksimum değer ve ortalaması da 1554 saat. 27 °C üstü sıcaklıkların saati maksimum 753’tür, ortalaması 118 saat. 32 °C üstü sıcaklıklar da ise 135 saat maksimum değer ile ortalama 81 saat değeri elde edilmiştir.

Tablo 3. Yıllık üç farklı denge sıcaklığı için toplam gerçekleşme saat sayıları

YILLAR	32°C üstü	27°C üstü	22°C üstü
2007	134	711	1718
2008	92	668	1517
2009	46	467	1417
2010	135	753	1850
2011	37	472	1345
2012	115	709	1616
2013	49	567	1562
2014	38	480	1421
2015	80	495	1532
2016	76	586	1581
2017	86	547	1526



Şekil 9. Yıllık farklı denge sıcaklıkları için toplam gerçekleştirme saatleri.

C. İZOLASYON MALZEMELERİ İÇİN KALINLIK, ISI TASARRUFU VE MALİYETİN KENDİNİ AMORTİ ETME SÜRECİ HESABI ANALİZİ

Düzce ilinde farklı duvar yapıları ve sekiz farklı izolasyon malzemelerinin kullanıldığı, duvar malzemesi, iç ve dış sıva ile ilgili veriler Tablo 4'te verilmiştir.

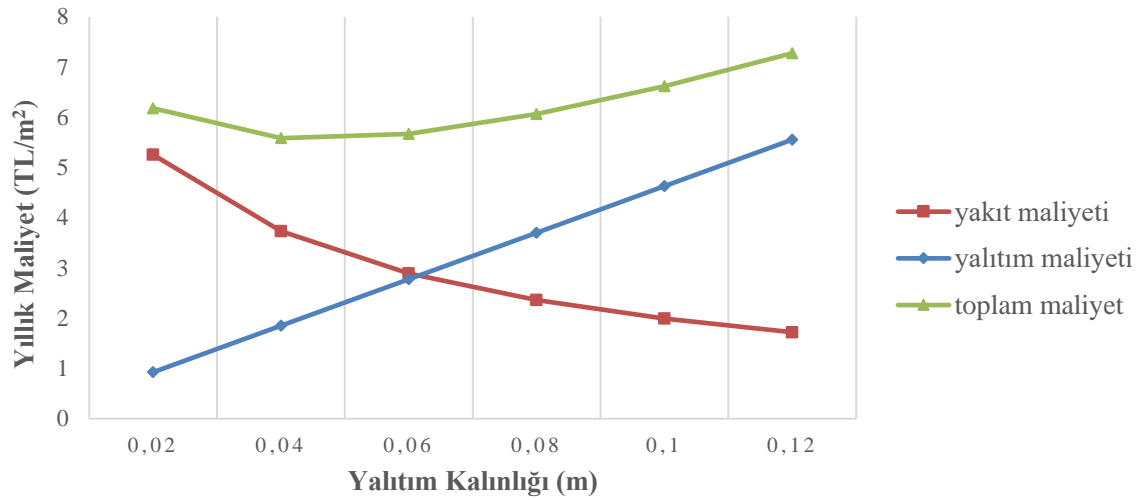
Tablo 4. Düzce ili sekiz farklı izolasyonlu bina tipi için yapı malzemesi bilgileri

Bina Tipi	İzolasyon Malzemesi			Duvar Malzemesi		Sıva	
	Tip (kg/m^3)	İzolasyon Kalınlığı (m)	İletim kat sayısı (k) (W/mK)	Duvar Tipi	Kalınlık (m)	İç Sıva Kalınlığı (m)	Dış Sıva Kalınlığı (m)
1	Taş Yünü 50	0,04	0,04	Yatay Delikli Tuğla	0,19	0,02	0,008
2	EPS 16	0,04	0,039	Yatay Delikli Tuğla	0,19	0,02	0,008
3	EPS 20	0,04	0,035	Yatay Delikli Tuğla	0,19	0,02	0,008
4	XPS 24	0,04	0,032	Yatay Delikli Tuğla	0,19	0,02	0,008
5	Taş Yünü 50	İzolasyon yok		Gaz Beton	0.2	0,02	0,008
6	EPS 16	İzolasyon yok		Gaz Beton	0.2	0,02	0,008
7	EPS 20	İzolasyon yok		Gaz Beton	0.2	0,02	0,008
8	XPS 24	İzolasyon yok		Gaz Beton	0.2	0,02	0,008

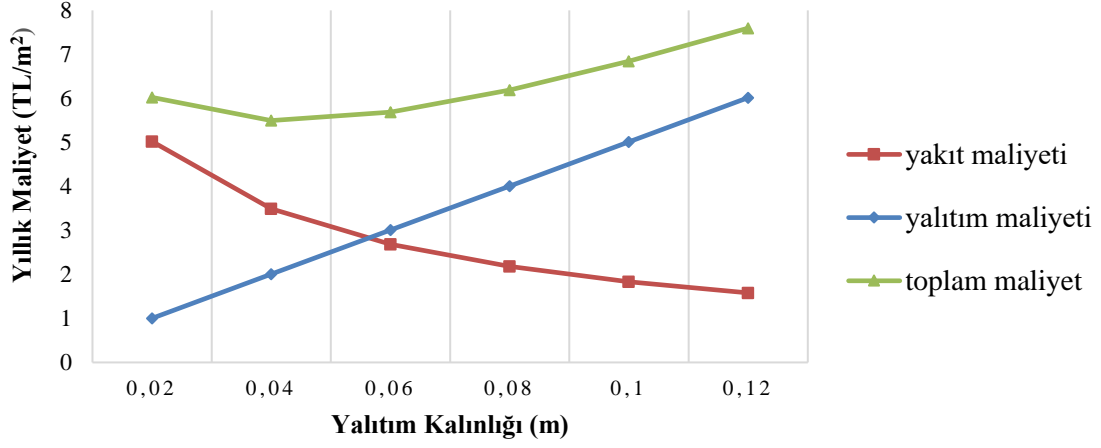
Yapılan çalışmada tuğla ve gaz beton olmak üzere Tablo 4'te verildiği gibi iki tip duvar ve farklı izolasyon malzemesi kullanılmıştır. Bu bina tipleri seçilirken, daha önce Düzce ilinde ve bölgesinde yapılan bina izolasyon tipleri temel alınmıştır. Binalar yapılırken izolasyon kalınlığı hesabı yapılmadığı için standart olarak 4 cm izolasyon malzemesi kullanılmış. Binaların birçoğunda Neopor, (EPS), taş yünü ya da XPS izolasyon malzemelerinin de kullanıldığı görülmektedir. Çalışmada bu bina tipleri için yıllık ısıtma maliyeti, izolasyon maliyeti, geri ödeme süresi ve enerji tasarruf yüzdesi dikkate alınarak izolasyon kalınlığı belirlenmiştir. Hesaplama ile ilgili formüllerin Excel programına işlenmesi ve sekiz farklı izolasyona sahip bina için verilerin yazılması ile yapılan hesaplamalar Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Sekiz farklı izolasyona sahip bina tipi için yapılan hesaplamaların sonuçları.

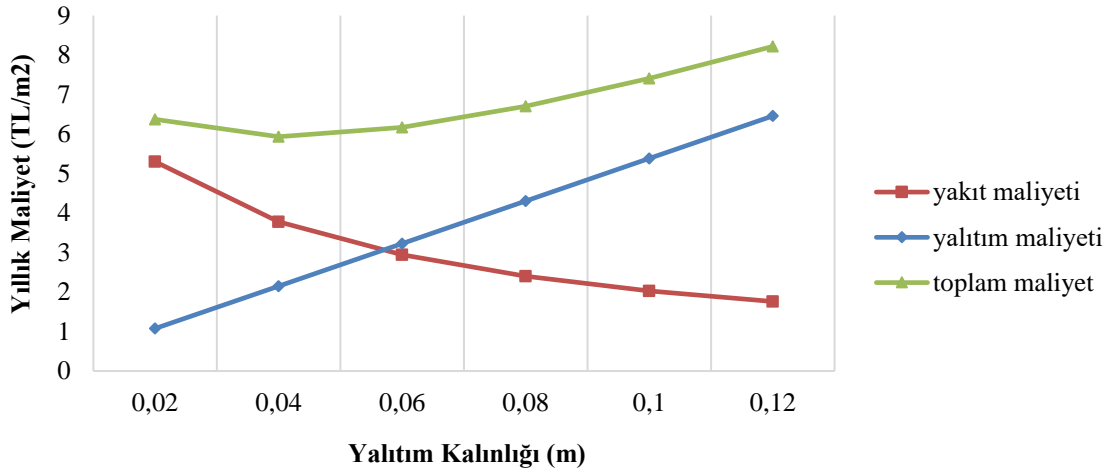
Bina Tipi	İzolasyon Malzemesi (kg/m^3)	Ortalama HDD ($^{\circ}C/Gün$)	Yıllık Isıtma Maliyeti (TL/m^2)	Tasarruf Miktarı (%)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	İzolasyon Kalınlığı (m)	İzolasyon Maliyeti (TL/m^2)	Düşük izolasyon kalınlığından ötürü enerji kaybı (%)
1 no'lu	Taş Yünü 50	1938	3,63	68,73	4,34	0,0429	34,637	1,3
2 no'lu	EPS 16	1938	3,326	71,35	4,045	0,0483	33,52	3,45
3 no'lu	EPS 20	1938	3,28	71,74	3,99	0,0443	33,31	1,84
4 no'lu	XPS 24	1938	3,354	71,11	4,067	0,0392	33,587	yok
5 no'lu	Taş Yünü	1938	3,635	43,01	5,444	0,0185	14,937	43,01
6 no'lu	EPS 16	1938	3,326	47,85	5,593	0,0247	17,072	47,85
7 no'lu	EPS 20	1938	3,28	48,54	5,586	0,023	17,296	48,54
8 no'lu	XPS 24	1938	3,351	47,45	5,59	0,0197	16,922	47,45



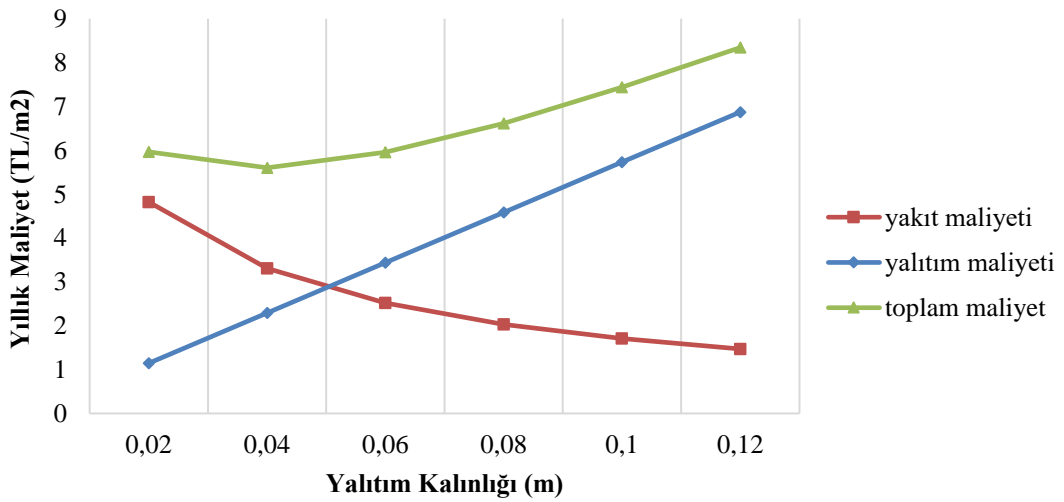
Şekil 10. Tuğla Duvar $16kg/m^3$ EPS için izolasyon kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki



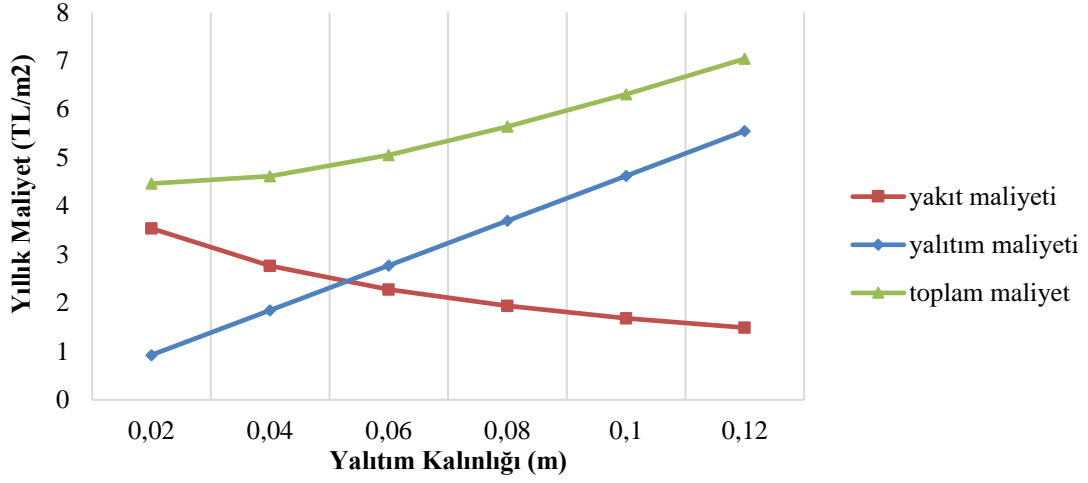
Şekil 11. Tuğla Duvar 20 kg/m³ EPS için izolasyon kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki



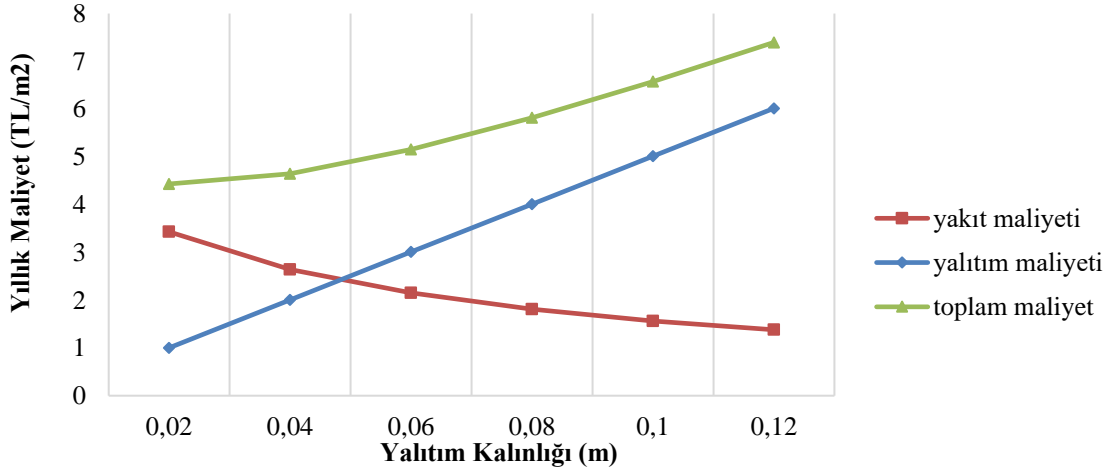
Şekil 12. Tuğla duvar 50 kg/m³ taş yünü için izolasyon kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki



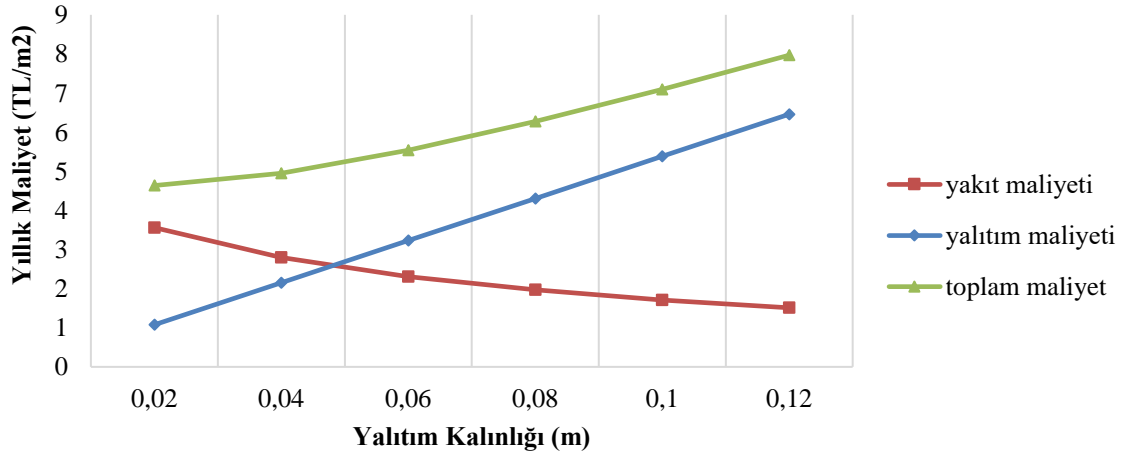
Şekil 13. Tuğla Duvar 24 kg/m³ XPS için izolasyon kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki



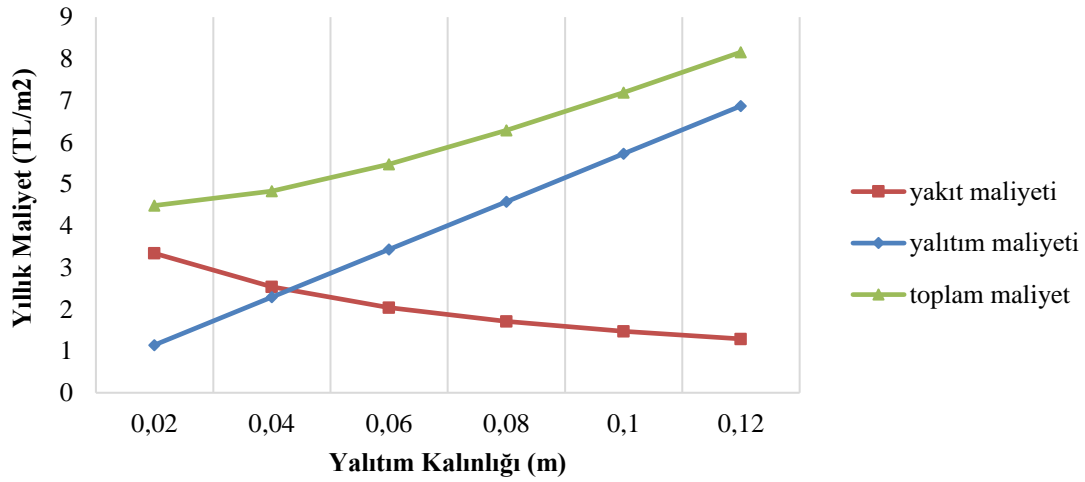
Şekil 14. Gaz Beton Duvar 16 kg/m³ EPS için izolasyon kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki



Şekil 15. Gaz Beton Duvar 20 kg/m³ EPS için izolasyon kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki



Şekil 16. Gaz Beton Duvar 50 kg/m³ taş yünü için izolasyon kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki



Şekil 17. Gaz Beton Duvar 24 kg/m³ XPS için izolasyon kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki

Grafikler incelendiğinde, izolasyon kalınlığı ile birlikte izolasyon maliyeti yükselmekte ancak yakıt maliyeti düşmektedir. Toplam maliyet önce düşmekte daha sonra yükselmektedir. Bu da izolasyon kalınlığı artışı ile yakıt maliyetindeki düşüşün sürekli aynı oranda devam etmediğini göstermektedir. Toplam maliyetin en az olduğu nokta, izolasyon kalınlığının bulunduğu noktadır. Bu noktadan itibaren, izolasyona sarf edilen para yakıttan tasarruf edilen maliyet miktarını karşılamadığı için, izolasyon malzemesinin kalınlığının bu noktadan itibaren artması zarar olacaktır. Dıştan izolasyonlu duvar tiplerinde, yapı malzemesi olarak tuğla kullanımıyla gerçekleşen yıllık kazanç, yapı malzemesi olarak gaz beton kullanılan duvar tipine göre daha fazla çıkmıştır. Bu durumun oluşmasındaki neden, gaz beton malzemesinin ısı iletkenlik değerinin tuğlaya göre daha düşük olmasıdır. Gaz beton duvardan gerçekleşen ısı kaybı, tuğla duvara göre düşük olduğundan izolasyona olan ihtiyaç azalmaktadır. Tuğla duvarda ise, daha yüksek ısı kaybı olduğundan dolayı izolasyon kalınlığı artacak, bununla beraber toplam maliyet ve tasarruf oranı da artacaktır. Sekiz bina tipinden elde edilen sonuçlar ve yapılan değerlendirmeye göre, tuğla duvar ve 4 cm izolasyon malzemesi kullanılan bina tiplerinde düşük izolasyon kalınlığından ötürü enerji kaybı yüzde 1,3 ile yüzde 3,45 oranlarında olduğu için, izolasyon kalınlıklarının yüksek değerlerine yükseltilmesi tavsiye edilmemektedir. Ancak, gaz beton duvar ve izolasyonsuz bina tiplerinde bina için gerekli hesaplamalar yapılarak elde edilen izolasyon değerleri ile binanın izole edildiğinde, yüzde 43,01 ile yüzde 48,54 oranlarında enerji tasarrufu edileceğinden, ayrıca duvarlar ile birlikte binanın dış yüzeye bakan kolon-kiriş bölümleri de izole edilmiş olduğundan enerji tasarrufu daha da artacaktır. Gaz beton duvar ile inşa edilmiş olan 5, 6, 7 ve 8 no'lu bina tiplerinde izolasyon yapılması tavsiye edilmektedir.

IV. SONUÇ

Düzce ilinde yapılan binaları incelediğimizde, tuğla ve gaz beton olmak üzere iki tip duvara rastlanmaktadır. 8 bina tipinden elde edilen sonuçlar ve yapılan değerlendirmeye göre, tuğla duvar ve 4 cm izolasyon malzemesi kullanılan bina tiplerinde düşük izolasyon kalınlığından ötürü enerji kaybı yüzde 1,3 ve yüzde 3,45 oranlarında olduğu için izolasyon kalınlıklarının optimum izolasyon değerlerine yükseltilmesi tavsiye edilmemektedir. Tuğla duvar üzerine farklı izolasyon malzemeleri kullanılmış ancak tüm izolasyon malzemelerinin kalınlığı 4 cm tercih edilmiştir. Binaların birçoğunda Neopor dediğimiz şişirilebilen ve genişletilebilen polistiren (EPS) granüller şeklindeki siyah boncuk yapıtlı izolasyon malzemesi kullanılmakla birlikte, bazı bina tiplerinde taş yünü ya da XPS izolasyon malzemelerinin de kullanıldığı görülmektedir. Gaz beton duvar yapısına sahip binalarda ise, izolasyon malzemesi kullanılmamıştır. Bu çalışmada, Düzce şehri için ısı yükü ve enerji tahminlerinde kullanılan hesaplamalarda, derece-zaman (derece-gün ve derece-saat) verileri hazırlanmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak saatlik sıcaklık verileri (2007-2017 yılları arası), MGM Düzce Meteoroloji Müdürlüğü istasyonundan temin edilmiştir. Elde edilen veriler Excel ortamına aktarılmış, ortalama sıcaklık

değerleri dikkate alınarak ısıtma 15 °C, soğutma ise 22 °C'lik denge sıcaklıkları için derece zaman hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca, 11 yıl ve her yıl için 8760 saatlik sıcaklık verilerinden tablo ve grafikler elde edilmiş, elde edilen tablo grafik değerleri analiz edilerek yorumlanmıştır. Elde edilen bazı sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Yıllık 22 °C üstü sıcaklıkların saati maksimum 1850'dir; ortalama 1554'tür
Yıllık 15 °C denge sıcaklığında, ısıtma ihtiyacının ortalama 192 gün olduğu belirlenmiştir.
Yıllık ısıtma derece-gün değeri, ortalama 1938'dir.
Yıllık 15 °C denge sıcaklığında, ısıtma derece-saat değeri ortalama 4176'dır.
Yıllık 22 °C denge sıcaklığında, soğutma ihtiyacının ortalama 71 gün olduğu belirlenmiştir.
Yıllık soğutma derece-gün değeri, ortalama 154'tür.
Yıllık 22 °C denge sıcaklığında, soğutma derece-saat değeri ortalama 1554'tür.

Yapılan hesaplamalara göre tuğla ve gaz beton duvarı kaplayan izolasyon malzemelerinin optimum kalınlık değerleri; 50 kg/m³taş yünü için tuğla duvar 0,0429 m, gaz beton duvar 0,0185 m, 16 kg/m³ EPS için tuğla duvar 0,0483 m, gaz beton duvar 0,0247 m, 20 kg/m³ EPS için tuğla duvar 0,0443 m, gaz beton duvar 0,023m, 24 kg/m³ XPS için tuğla duvar 0,0392 m gaz beton duvar 0,0197 m olarak bulunmuştur.

Ayrıca farklı izolasyon malzemelerinin yıllık ısıtma maliyeti, izolasyondan elde edilen tasarruf miktarı, maliyetin kendini amorti etme süreci, birbirleriyle karşılaştırıldığında taş yünü; yatırım maliyeti, yıllık ısıtma maliyeti ve maliyetin kendini amorti etme süreci bakımından en yüksek izolasyon malzemesidir. XPS izolasyon malzemesinin, ısı iletim katsayısı yüksek olmasına rağmen yatırım maliyeti yüksek olduğu için, maliyetin kendini amorti etme süreci yine yüksek kalmaktadır. 16 kg/m³ EPS, yıllık ısıtma maliyeti en düşük olan malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır, ancak ısı iletim katsayısı XPS ve 20 kg/m³ EPS'ye göre yüksek olduğu için, maliyetin kendini amorti etme sürecini arttırmaktadır. 20 kg/m³ EPS'nin yıllık ısıtma maliyeti 16 kg/m³ EPS'ye göre biraz artmasına rağmen, tasarruf miktarının yüksek olması ve maliyetin kendini amorti etme süreci en düşük olan izolasyon malzemesi olduğu için, Düzce ilinde yapılacak binalara en uygun izolasyon malzemesinin, 20 kg/m³ EPS olduğu tespit edilmiştir.

Gaz beton duvarın ısı iletim katsayısının tuğlaya göre daha düşük olması, optimum izolasyon kalınlıklarının da düşmesine sebep olmuştur. Ancak gaz beton duvar için 0.0185 m – 0,0247 m arasında değişen optimum izolasyon kalınlıklarının bulunması gaz beton duvarın binanın izolasyonu için tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Gaz beton duvar ve izolasyonsuz bina tiplerinde optimum izolasyon değerleri ile izolasyon yapıldığında %43,01 ile %48,54 oranlarında enerji tasarrufu edileceğinden ayrıca duvarlar ile birlikte binanın dış yüzeye bakan kolon-kiriş bölümleri de izole edileceğinden ve enerji tasarrufu daha da artacağından dolayı gaz beton duvar kullanılsa bile izolasyon yapılması tavsiye edilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] F. Ş. Sezer, "Türkiye'de Isı İzolasyonunun Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı İzolasyon Sistemleri," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 10, s. 2, ss. 79-85, 2005.
- [2] N. Yüksel, "Günümüz Kamu Kurumlarında Yapısal Konfor Koşullarının Tespit Edilmesine Yönelik Bir Çalışma," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 10, s. 2, ss. 21-31, 2005.
- [3] Ş. Puşat, N. Tunç, İ. Ekmekçi, Y. Yetişken, "Karabük İçin Derece Zaman Hesaplamaları," *3rd International Symposium On Innovative Technologies in Engineering and Science Universidad Politecnica de Valencia Spain*, ss. 898-905, 3-5 June 2015.

- [4] H. Hens, G. Verbeeck, B. Verdonck, "Impact of Energy Efficiency Measures on the CO₂ Emissions in the Residential Sector, A Large Scale Analysis," *Energy and Buildings*, c. 33, ss. 275-281, 2001.
- [5] H. Bulut, O. Büyükalaca, T. Yılmaz, M. A. Aktacir, "GAP Bölgesi İçin Detaylı İklim Verileri," *Harran Üniversitesi GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı*, ss. 183-191, Şanlıurfa, 2002.
- [6] K. Papakostas, N. Kyriakis, "Heating and Cooling Degree-Hours for Athens and Thessaloniki, Greece," *Renewable Energy*, c. 30, ss. 1873-1880, 2005.
- [7] JW. Lstiburek, "Hygrothermal Climate Regions, Interior Climate Classes and Durability," *Proceedings of the Eighth Conference on Building Science and Technology*, Toronto, Canada, ss. 319-29, 2001.
- [8] N. Sahal, "Proposed Approach for Defining Climate Regions for Turkey Based on Annual Driving Rain Index and Heating Degree-Days for Building Envelope Design," *Building and Environment*, c. 41, ss. 520-526, 2006.
- [9] O. Büyükalaca, H. Bulut, T. Yılmaz, "Türkiye'nin Bazı İlleri İçin Derece Gün Değerleri," *ULIBTK'99-023 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Sakarya*, 8-10 Eylül 1999.
- [10] M. Kocagül, *Isı İzolasyonunda İdeal İzolasyon Malzemesi Kullanılmasının Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2013.
- [11] N. Şişman, E. Kahya, N. Aras ve H. Aras, "Determination of Optimum Insulation Thicknesses of the External Walls and Roof (ceiling) for Turkey's Different Degree-Day Regions," *Energy Policy*, c. 35, s. 10, ss. 5151-5155, 2007.
- [12] H. Moran, *Farklı Derece Gün Bölgelerine Göre Optimum İzolasyon Kalınlığının Yatırım-Tasarruf Yöntemine Göre Hesaplanması ve Çevresel Etki Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2018.
- [13] B. Tanrıverdi, *TS 825 2. Derece Gün Bölgesinde Yer Alan İllerin, Isıtma ve Soğutma Derece Gün Bölgelerine Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enerji Enstitüsü*, 2015.
- [14] A. Ergün - T. Menlik - M. G. Özkaya, "Energy and Exergy Analyses of the Heating System in a Multipurpose Building," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c.1, s.1, ss. 195-218, 2015.
- [15] O. Büyükalaca ve H. Bulut, "Detailed Weather Data for the Provinces Covered by the Southeastern Anatolia Project(GAP) of Turkey," *Applied Energy*, s. 77, ss. 187-204, 2003.
- [16] Düzce İl Kültür Ve Turizm Müdürlüğü Düzce İklimi Ve Bitki Örtüsü. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://duzcekultur.gov.tr/TR-211369/iklimi-ve-bitki-ortusu.html> Erişim Tarihi: 12.12.2018
- [17] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=DUZCE>
- [18] S. Şensoy, R. Sağır, M. Eken, Y. Ulupınar, "Türkiye Uzun Yıllar Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri," *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara, 2007.
- [19] B. B. Ekici, A. Gülten ve U. T. Aksoy, "A Study on the Optimum Insulation Thicknesses of Various Types of External Walls With Respect to Different Materials, Fuels and Climate Zones in Turkey," *Applied Energy*, s. 92, ss. 211-217, 2012.

- [20] Ö. Kaynaklı, “Optimum Thermal Insulation Thicknesses and Payback Periods for Building Walls in Turkey,” *Journal of Thermal Science and Technology*, c. 33, ss. 45-55, 2013.
- [21] A. Yıldız, G. Gürlek, M. Erkek ve N. Özbalta, “Economic and Environmental Analyses of Thermal Insulation Thickness in Buildings,” *Isı ve Bilim Tekniği*, c. 28, s. 2, ss. 25-34, 2008.
- [22] A. Bolattürk, “Optimum Insulation Thicknesses for Building Walls with to,” *Energy and Buildings*, c. 43, ss. 1055-1064, 2008.
- [23] Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, “Tüketici Fiyatları,” [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri/Tuketici+Fiyatları>
- [24] A.E. Gürel, Z. Cingiz, “Farklı Dış Duvar Yapıları İçin Optimum Isı İzolasyon Kalınlığı Tespitinin Ekonomik Analizi,” *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, c. 15, s.1, ss. 75-81, 2011.