

ESKİŞEHİR İL SINIRLARINDA, ALTI KATLI BİR BİNANIN ISI KAYBI HESABININ YOĞUŞMA TAHKİKİ İLE YAPILMASI VE KONUTLARA UYGUN RADYATÖR VE KOMBİ KAPASİTESİ BELİRLENMESİ

*Zeynep ÇELİK

Osmangazi Üniversitesi Sivrihisar Meslek Yüksekokulu, Öğretim Görevlisi Eskişehir
zcelik@ogu.edu.tr

Hamdi Selçuk ÇELİK

Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği, Doktora Öğrencisi
Eskişehir erfolgen87@gmail.com

Mehmet UÇAR

Vaillant Grup, Türk Demirdöküm Fabrikaları Ar-Ge Merkezi, Bozüyük/Bilecik
mehmet.ucar@vaillant-group.com

ÖZET

Bu çalışma kapsamında Eskişehir il sınırlarında yer alan zemin üzeri 6 katlı ve her katta 2 daire olmak üzere toplamda 14 daireden oluşan 435 m² oturum alanına sahip bir binanın ısı kaybı hesapları TS 825 standardına uygun olacak şekilde duvar içi yoğuşma tahkiki hesap ve detaylarıyla birlikte yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken binanın yönüne göre ısı kazançları ve infiltrasyon kayıpları da dahil edilmiştir. Hesaplamalar her katta yer alan daire için ayrı ayrı yapılmış yön arttırım faktörü de düşünülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda binanın TS 825'e uygun olduğu, kış mevsimi boyunca seçilen duvar iç detayında yoğuşma olayı sonucunda biriken suyun Mart ayından itibaren Aralık ayına kadar buharlaştığı, zemin ve çatı katlarda ara katlara göre yaklaşık %10 daha fazla ısı kaybı olduğu görülmüştür. Hesaplanan sonuçlara göre daire içinde yer alan her odaya uygun boyut ve tipte radyatör kapasitesi belirlenmiş ve boyutlar kombi kapasitesiyle birlikte seçilmiştir. Çalışma sonucunda her bir daire için ısı kaybı hesabının yapılmasının, ve bina yapı elemanlarının kaliteli ve yalıtkan malzemelerden seçilmesinin, optimum yaşam koşulları açısından büyük önem teşkil ettiği anlaşılmıştır.

56

Anahtar kelimeler: Isı kaybı, TS 825, Yalıtım, Radyatör, Kombi

CALCULATION OF HEAT LOSS VALUES WITH CONDENSING DEFINITION OF THE SIX –FLOORED BUILDING IN ESKİŞEHİR, PANEL RADIATOR AND BOILER CAPACITY DEFINITION FOR EACH FLATS

ABSTRACT

In this study, heat loss calculations of a building is completed, abided by TS 825 standard which is located in Eskişehir, which have ground and 6 floors equals totally 14 flats and 435 m² session area. Condensing issue that is occurred in the inlet surface of the wall section monthly, infiltration loss and heat gaining issues are considered to calculations. Calculations are done per each flats and direction factor is involved. As a result of all calculations, the building and selected wall details, insulation material are compatible with TS 825, throughout the winter time all condensing water that is collected wall inlet section, is evaporated between March and December for all year. Heat loss value of ground and roof floor is more about 10% than the intermediate floors as well. Based on the calculated values, appropriate radiator and wall hung boiler capacity is determined for each

flats. It is investigated that, in order to provide optimum life standards, heat loss calculations should be completed for each flats.

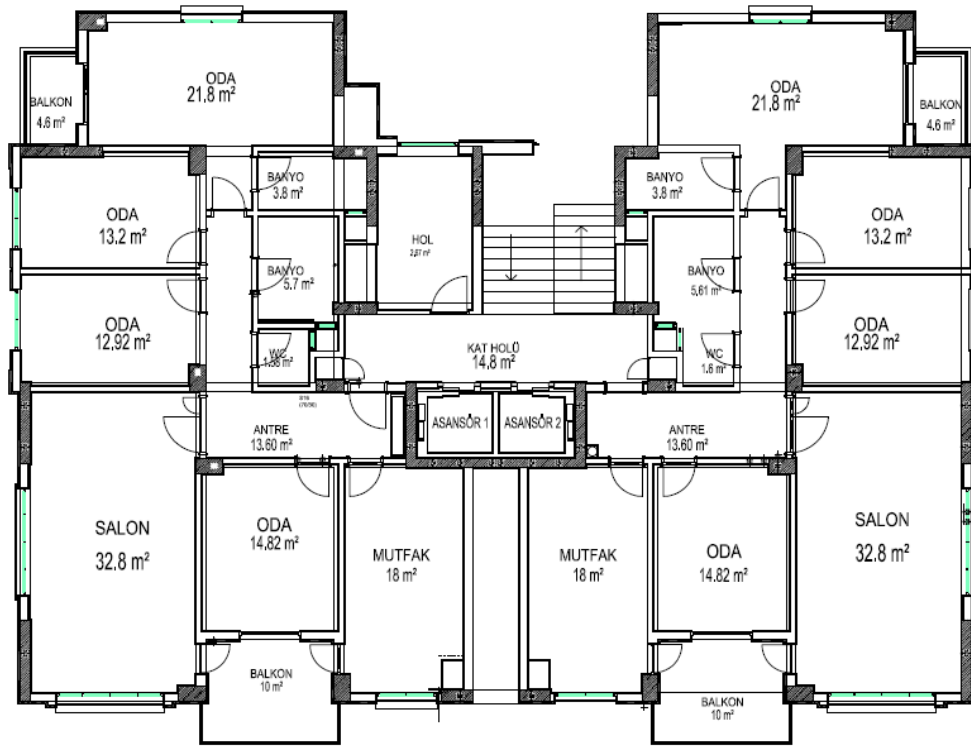
Keywords: Heat loss, TS 825, Insulation, Radiator, The boiler

1. GİRİŞ

Isı transferi, hemen hemen tüm uygulamalarda belli amaçlarla kullanılmaktadır. Fakat insanların yaşam alanında kış aylarında konutların iç ortamı ve dış ortam sıcaklık farkından kaynaklanan ısı transfer ilkeleriyle konuttan dış ortama transfer olan ısı, en aza indirgenmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle son dönemlerde yalıtım malzemeleri üzerine yaygın inovasyon çalışmaları hız kazanmaktadır. Yalıtım malzemelerine ilave olarak duvarda kullanılan tuğla malzemesi yerine gaz beton malzemeler kullanılmakta, hatta pencerelere ait camlardan iletimle olan ısı transferini minimize edebilmek için, çift camlı pencerelerde iki cam katmanı arasına yalıtım amacıyla, havaya göre daha yalıtkan olan Argon gazı eklenmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Eskişehir ilinde bulunan 14 dairelik bir binanın, tüm daireleri için ısı kaybı hesabının TS 825'e göre yapılarak, binanın uygunluğunun değerlendirilmesi ve yapılan hesaplamalar sonucunda her bir dairenin odaları için radyatör teferruatı hesabı yapılarak toplam ısı kaybı ve hat uzunluğuna göre de her bir daireye göre kombi kapasitesi belirlemektir. Bu çalışma sonucunda ısı kaybı değerinin aynı binada zemin kat, ara katlar ve çatı kat arasında, hatta yükseklik, yön faktörüne bağlı olarak nasıl değişim izleniminde olduğu yorumlanmış olacaktır. Bu çalışma sonunda aynı binada yer alan tüm daireler için ısı kaybı hesabının ayrı ayrı yapılarak uygun radyatör ve kombi seçilmesinin ilerleyen süreçte binada ısınma problemi yaşanmaması ve dairenin belli odalarında rutubet oluşmaması için büyük önem teşkil ettiği anlaşılmıştır. Bu nedenle, özellikle kullanıcıların yaşam konforu ve binaların uzun ömürlü olması açısından duvar içi yoğunlaşma ve buharlaşma tahkiki hesaplamaları yapılmalı ve grafiklerle ifade edilmelidir. Kış mevsiminde duvar içinde biriken suyun, bahar ve yaz mevsiminde duvar içinden buharlaştırılarak uzaklaştırılacağı duvar detay tasarımı yapılmalıdır. Bu nedenle binaların ömrü ve konforu için yapı elemanları seçiminin enerji verimliliği, canlılığın sürdürülebilirliği açısından büyük önem arz ettiği anlaşılmıştır.

Şekil 1'de ısı kaybı hesabı yapılacak olan dairelerin normal katlar mimari planı verilmiştir. Her katta simetrik 2 daire olmak üzere 4 oda 1 salon, 2 banyo+1 tuvalet ve 2 balkondan oluşan dairelerde oldukça geniş antre bulunmaktadır. Bina cephe olarak güney yönlüdür.



Şekil 1. Bina normal kat planı

Şekil 1’de gösterilen mimari projede tüm pencereler yeşil renkle gösterilmiştir. Genel olarak pencere alanının fazla olmasının ısı kaybını artırıcı yönde olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Fakat ısı kaybını optimize etmek için pencere alanlarının küçültülmesi konutların karanlık olmasına yol açacağından seçilen duvar donatı detayı ve uygun yalıtım ile bu durum dengelenebilir. Pencerelerden olan ısı kaybını azaltmak amacıyla çift cam arasında hava yerine daha yalıtkan özellik gösteren Argon gazı kullanılabilir, ilave olarak son dönemde yaygın olarak tercih edilen dıştan otomatik panjur sistemleri de kullanılarak özellikle geceleri ısı kaybı ilave direnç uygulamasıyla minimize edilebilir

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde ısı kaybı, binaların sürdürülebilir şekilde ısı verimliliği hususunda birçok akademik çalışma bulunmaktadır.

Yurtseven, 2006’da yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, bir binaya ait ısı kaybı hesaplarını TS 825’e uygun olacak şekilde analitik yöntemlerle yaptıktan sonra Visual C# 2005 programını kullanarak kodlama mantığıyla, tüm hesaplamaları sınıflandırarak sonucu bulmayı kolaylaştıran bir program yazmıştır. Bu programla elde edilen sonuçların analitik yöntemlerle elde edilen sonuçlarla aynı olduğunu, fakat program sayesinde hesaplamaların daha pratik bir şekilde yapıldığını ve hazır şablon olarak kullanılabileceğini ispatlamıştır [1].

Sorensen, 2013 yılında yaptığı akademik çalışmada, binalara ait duvar yüzeylerinin toplam ısı transfer katsayıları U (W/m^2K) değerini ölçmeye yarayan, 2002 yılında Danimarka’da icat edilmiş U değer ölçüm cihazı uygulamalarını yaparak, bir mahalde tüm duvar yüzeylerinde ısı kayıplarının en fazla olduğu yüzeylerin tespit edilmesinde pratik olarak cihazın işlevselliğini uygulamalarla anlatmıştır. Bu cihazın test edilen duvar yüzeylerinin yenilenmesi ve yalıtım yapılmasında, yapılacak harcamaların daha verimli planlamasında aktif olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir [2].

Karakoç, yaptığı akademik çalışmada ısı kaybı hesabının yapılma yöntemlerini belirtmiş, özellikle bir mahal içinde tüm bölümler için hesaplamaların ayrı ayrı yapılması gerektiğini belirterek, ısı kaybı hesabının TS 825 standardına uygun olarak nasıl yapılacağı konusunda, örneklerle tarifleme anlatan bir çalışma yapmış, doğru hesaplama yapabilmek için dikkat edilmesi gerek hususları metin içinde vurgulamıştır [3].

Yazıcı, yaptığı akademik çalışmada Denizli ilinde konumlandırılmış bir bina için ısı kaybı hesaplarını TS 825'e uygun olacak şekilde yaparak, hesaplamalar sonucunda binanın kış mevsiminde ihtiyaç duyacağı toplam yakıt miktarını ve atmosfere gönderilecek emisyon miktarını CO2 olarak ifade etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda hesapladığı değerlerin beklediğinden büyük çıkma sebebinin Denizli bölgesinin 2. İklim bölgesinde olduğu için dış ortam sıcaklığının -6 °C kabul edilmesi kaynaklı olduğunu belirtmiştir. [4].

Aktemur 2018 yılında yaptığı akademik çalışmada, Türkiye'nin dört farklı gün bölgesinde bulunan; Şanlıurfa, Sivas, Konya ve Antalya için dört farklı yalıtım malzemesinin ısıtma ve soğutma performansına olan etkilerini değerlendirmiştir. Bu yalıtım malzemeleri, fiberglass, polystren köpük, cam yünü ve fenolik köpüktür. Dört farklı bölge için yapılan hesaplamalar sonucunda, optimum yalıtım kalınlığının 3.5 cm itibariyle başlatılması gerektiği anlaşılmış olup ısıtma ve soğutma amaçlı olarak en verimli malzemenin cam yünü olduğu görülmüştür. Yapılan yatırımın 3.28 yılda geri döndüğü ve tüm bölgelerde ve her yakıt tipi için bu malzemenin %65'ten daha fazla emisyonlarda düşmeye etken olduğu anlaşılmıştır. [5]

Dılmaç, 1999 yılında yaptığı akademik çalışma da TS 825 standardının ilk versiyonunun uygunluk değerlendirmesini yapmış, sadece iletim olan ısı kaybı ve ısı kazanç hesaplamalarının yeterli olmadığını, ısı köprüleri ve yoğunlaşma tahkiki hesaplamalarının da eklenmesi gerektiğini, hesap metodunu üç farklı bina için değerlendirmesini özet şeklinde yaparak vurgulamıştır [6].

2. Binanın TS 825 Uygunluğunun Test Edilmesi

TS 825 binalarda yapı elemanları uygunluğu ve yalıtım kurallarını içeren ısı kaybı hesaplama yöntemlerini barındıran bir standarttır. Binanın bu standarda uygunluğunun testi projelendirmede ilk aşamadır.

2.1 Bina Boyut ve Parametrelerinin Belirlenmesi

Bina yapı olarak Eskişehir ili sınırları içinde (3. derece gün bölgesi içinde) bulunmaktadır. Mimari projesi verilen bina, zemin kat + 6 kat üzerinde bulunan karkas yapı olup güney cephelidir. Her katta iki daire vardır, daire planları simetriklerdir. Autocad ortamında çizilmiş olan mimari projeden ölçü alınarak aşağıdaki parametreler hesaplama amacıyla belirlenmiştir.

Binanın oturum alanı= 435.6 m²

Yükseklik(Dıştan dışa) = 25.5 m

Çatı alanı=461 m²

Toplam pencere alanı=304.074 m²

Isıtılmayan bodrum tabanı (A_{disc})=435.6 m²

Toprak temaslı alan(A_t)=0 m²

Dış Duvar alanı (A_d),

A_d=(24.47+17.79)*25.5-304.074=583.386 m²

Tavan alanı= 820.79*22.6=461.074 m²

A_{top}=583.386+461.071+435.6+304.074=1784.131 m²

V_{brüt}=435.6*25.5=11107.8 m³

A_n=0.32*V_{brüt}=3554.5 m²

Autocad ortamında tek tek ölçüm alınarak hesaplanan tüm değerler Tablo 1'de ifade edilmiştir.

Tablo 1. Binaya ait alan hesaplamaları [7]

Binanın Oturum Alanı - m ²	435.6
Toplam Yükseklik - m	25.5
Güney Pencere Alanı (A _g) - m ²	115.61
Kuzey Pencere Alanı (A _k) - m ²	37.6
Batı Pencere Alanı (A _b) - m ²	758.5
Doğu Pencere Alanı (A _d) - m ²	75.36
Toplam Pencere Alanı - m ²	304
Isıtılmayan Bodrum Alanı (A _{disc}) - m ²	435.6
Toprak Temaslı Alan (A _t) - m ²	0
Dış Duvar Alanı (A _d) - m ²	583.86
Tavan Alanı (A _{tavan}) - m ²	461
Toplam Alan (A _{top}) - m ²	1784
Toplam hacim V _{brüt} - m ³	11107.8
An=0.32*V _{brüt} - m ²	3554.5

2.2 Bina Isı Kayıplarının Hesaplanması

Binanın dış duvar kesit bileşenleri aşağıda verilmiştir. Bu doğrultuda duvarın toplam ısı transfer iletim katsayısı hesaplanmıştır. Dış duvar taşınım katsayısı h_{dış}:0.13 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda duvara ait toplam ısı transfer katsayısı (U) hesaplanabilir. Tablo 2’de bina dış duvarlarına ait bileşenler ve kalınlıkları yazılmıştır.

60

Tablo 2. Bina dış duvar detayları

Yapı Elemanı	Kalınlık (L) - m	Isı İletim Katsayısı(μ) - W/mK	L/μ
Tuğla	0.2	0.45	0.444
Yalıtım	0.06	0.04	1.5
İç Sıva	0.03	1.4	0.0215
Dış Sıva	0.03	0.87	0.0115
File+hazır sıva	0.01	0.87	0.0344

U_{duvar}: 0.458 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Duvara ait bileşke ısı transfer katsayısı bulunduğundan sonra binanın dış duvarlardan olan ısı transferi hesaplanmıştır.

Binanın Cidar Kaybı:

Binanın cidar kaybı hesabı Denklem 1 ve Denklem 2 yardımıyla hesaplanır.

$$H_i = AU + IxU \quad (1)$$

$$AU = U_d A_d + U_p A_p + 0.8 U_t A_t + 0.5 U_t A_t + 0.5 U_{disc} A_{disc} \quad (2)$$

AU=1255.357 W/K (Cidar kaybı)

Binanın Havalandırma Kaybı:

Denklem 3’de havalandırma kaybı hesap yönetimi verilmiştir.

$$H_h = 0.33n_h V_h \quad (3)$$

$$V_h = 8885,6 \text{ m}^3$$

$$H_h = 2930 \text{ W (infiltrasyon kaybı)}$$

Not: Yukarıda işlem yapılırken pencerenin ısı iletim katsayısı (A_p)=2.6 W/m²K olarak alınmıştır. [7]

Ayrıca $n_h=1$ seçilmiştir. Bina kullanım amacı olarak normal mesken konut şeklinde kullanılacaktır. [7]

$H=2930+1255=4185 \text{ W}$ olarak binanın toplam cidar ve infiltrasyon kaybı bulunur.

2.3 Bina Isıl Kazançlarının Hesaplanması

Binanın ısı kazancıları arasında konut içinde kullanılan elektrikli cihazlar ve güneş ışınlamıyla binanın bulunduğu gün bölgesine göre kazanılan ısı göz önünde bulundurulmalıdır.

Elektrik ve Isı Veren Gereçler: Bina ticari amaçla kullanılmadığı için elektrik ve ısı veren gereçlerden kazanılan ısı miktarı 5 W/m²’dir. Denklem 4’de kullanılan alan hesabı verilmiştir.

$$A_n = 0.32V_{brüt} \quad (4)$$

$$\text{Kullanılan Alan}(A_n) = 0.32V_{brüt} = 3554.5 \text{ m}^2$$

$$5 \times 3554.5 = 17771 \text{ W kazanç olarak bulunur.}$$

Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları: Bina Eskişehir’de olduğundan 3. derece gün bölgesindedir. Tablo 3’de 3. derece gün bölgesi için bir yıl içinde tüm aylar için ışınlam şiddeti değerleri verilmiştir. [7]

Tablo 3. Eskişehir için aylara göre ışınlam şiddeti

Ay	I _{güney} (W/m ²)	I _{kuzey} (W/m ²)	I _{batı/doğu} (W/m ²)
Ocak	72	26	43
Şubat	84	37	57
Mart	87	52	77
Nisan	90	66	90
Mayıs	92	79	114
Haziran	95	83	122
Temmuz	93	81	118
Ağustos	93	73	106
Eylül	89	57	81
Ekim	82	40	59
Kasım	67	27	41
Aralık	64	22	37

Tablo 3’de verilen bilgiler doğrultusunda sadece Ocak ayı için kazanılan ısı şiddeti teorik yöntemle hesaplanmış, diğer tüm ayların hesabı excel programı yardımıyla tamamlanmıştır. Denklem 5’de hesap yöntemi verilmiştir.

$$G_{iay} = 0.8gl \quad (5)$$

Bina çok katlı cam olduğundan gl değeri 0.75 alınmıştır. [7]

Bina çok katlı bitişik nizam olduğu içinde $r_{i,ay}=0.5$ alınır.

Ocak kazançları formülü Denklem 6’da verilmiştir.

$$\dot{Q}_{gOcak} = r_{i,ocak} g_{i,ocak} l_{i,ocak} A_i \quad (6)$$

$\dot{Q}_{gOcak} = 4736.3$ W olarak bulunur.

$T_i=19$ °C $T_{e,ocak}=-0,3$ °C

$$KKO_{ocak} = (\dot{Q}_{ocak} + g_{ocak})/H(T_{i,ocak} - T_{d,ocak}) \quad (7)$$

Denklem 7 kullanılarak ocak kazanç faktörü bulunur. [7]

$KKO_{(Ocak)} = (4736,3+17771)/[4185*(19+0,3)]=0,278$

$$\eta_{ocak} = 1 - e^{(1-KKO_{ocak})} = 0.972 \quad (8)$$

$0,972*(4736,3+17771)=21879,5$ W değerindedir.

$21890,5*86400*30*10^{-3}=56.74$ kJ

Hesaplamalar yapılırken tüm detaylar düşünülerek yapı detayı seçimi, bu parametrelere uygun şekilde yapılırsa, binada yaşayan canlıların her mevsim konforu sağlanmakla kalmayıp, binanın ömrü açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle yoğunlaşma tahkiki hesaplamaları her ay için yapılmalı ve binanın bulunduğu mahale göre nem dengesinin kontrol altında tutulmalıdır. Bu sayede enerjinin günden güne tükenmekte olduğu günümüzde, gelecek nesillere enerji kaynaklarının sürdürülebilir şekilde devredilmesi açısından tüm bu hesaplamalar yüksek paya sahiptir.

Tablo 4’de tüm aylar için hesaplanmış ısı kayıp ve kazanç değerleri verilmiştir. Bu tablo üzerinden binanın ve tüm yapı elemanlarının TS 825’e uygunluğunun değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 4. Toplam ısı kayıp-kazanç tablosu

Aylar	Özgül ısı kaybı $H=H_t+H_v$ [W/K]	Sıcaklık Farkı T_i-T_e [K]	Isıl Kayıp [W]	İç Isı Kazancı $\dot{Q}_i$ [W]	Güneş Enerji $\dot{Q}_s$ [W]	Toplam $\dot{Q}_t=\dot{Q}_i+\dot{Q}_s$ [W]	KKO $\mu[-]$	Kazanç Faktörü $\eta_{ay}[-]$	Q_{ay} [KW]
Ocak	4185	19.3	80770	17771	4736	22507,3	0,279	0,9759	21964
Şubat	4185	18.9	79096	17771	5895	23666,8	0,299	0,96472	22831
Mart	4185	14.9	62356	17771	7069	24840	0,398	0,91878	19669
Nisan	4185	8.9	37246	17771	7916	25687	0,69	0,76575	19669
Mayıs	4185	4.6	19251	17771	9212	26983,3	Yok	Yok	0
Haziran	4185	0.5	2092.5	17771	9722	27493,4	Yok	Yok	0
Temmuz	4185	T_e yüksek	-	17771	9450	27221,6	Yok	Yok	0
Ağustos	4185	T_e yüksek	-	17771	8819	26590,48	Yok	Yok	0
Eylül	4185	1.8	7533	17771	7375	25145,9	3,338	0,25887	6509
Ekim	4185	7.4	30969	17771	5951	23722,3	0,766	0,7289	17291
Kasım	4185	13.4	56079	17771	4473	22244,3	0,397	0,91962	20456

Aralık	4185	17.7	74074	17771	4133	21904,6	0,296	0,96628	21165
--------	------	------	-------	-------	------	---------	-------	---------	-------

Tablo 4’de verilen tüm veriler kullanıldığında binanın yıllık toplam ısı kaybı (Q_{toplam}) = 149559 kW olarak hesaplanmıştır.

Binadaki kullanım alanı başına düşen yıllık ısıtma enerjisini bulacağız. ($Q_{\text{yıl}}/A_n$) TS 825 de 3. bölge için verilmiş olan EK1 den alınan $Q=67,29 \cdot A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}}+50.16$ değeri hesaplanıp ($Q_{\text{yıl}}/A_n$) ile karşılaştırılacak. $Q_{\text{yıl}}/A_n$ verilen ifadeden küçük olduğu takdirde bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir.

$$Q=60.945 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{yıl}}/A_n = 42.07 \text{ kW hesaplanmıştır.}$$

42.07<60.945 olduğundan bu bina TS 825’e uygun şekilde projelendirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde binanın TS 825’e uygunluğu hesaplandıktan sonra binaya ait aylık olarak duvar yoğuşma detayı hesaplamaları yapılmıştır. Yılın 12 ayı için ilgili grafikler oluşturularak kışın duvar içinde yoğuşarak biriken suyun yaz aylarında buharlaştırılarak duvar detayı içinden uzaklaştırılması gerekir. Bu hesaplama yöntemi seçilen duvar detayının bölgeye uygunluğunun test edilmesi açısından önemlidir. Bu hesaplama sonrasında duvar yapısının uygunluğu anlaşıldığında yön ve yükseklik faktörleri de dikkate alınarak odalara göre ısı kaybı ve radyatör teferruatı hesabı yapılmıştır.

3.1 Yoğuşma-Buharlaştırma Hesabının Yapılması

Bina Eskişehir ilinde 3. derece gün bölgesinde yer almaktadır. Bina şehrine ve mimari dış yapısına göre nem ve ortalama sıcaklık değerlerini inceleyerek binanın buharlaşma ve yoğuşma grafikleri her ay için ayrı ayrı çizilip buharlaşma ve yoğuşma miktarlarını hesaplanmıştır. Tablo 5’de TS 825’ten alınmış Eskişehir ilinin her ay için ortalama dış sıcaklığı ve bağıl nemi verilmiştir. Bu değerler sayesinde yoğuma tahkiki hesaplamaları yapılmıştır.

Tablo 5. Eskişehir ili iç ve dış ortam sıcaklık bağıl nem bilgileri [7]

Aylar	Dış Ortam		İç Ortam	
	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık(°C)	Bağıl Nem (%)
Ocak	-0.3	79	20	65
Şubat	0.1	75	20	65
Mart	4.1	69	20	65
Nisan	10.1	66	20	65
Mayıs	14.4	64	20	65
Haziran	18.5	61	20	65
Temmuz	21.7	57	20	65
Ağustos	21.2	58	20	65
Eylül	17.2	61	20	65
Ekim	11.6	68	20	65
Kasım	5.6	74	20	65
Aralık	1.3	80	20	65

Buharlaştırma ve yoğuşma hesaplamalarında kullanılmak üzere TS 825’ten seçilen binanın duvar tabakalarını ifade eden değerler ile difüzyon dirençleri alınarak, iç ve dış taşınımın da hesaplara dahil

edilmesiyle toplam direnç kümülatif olarak hesaplanmıştır. Tablo 6’da veriler toplanmış ve toplam direnç değeri 3.082 K/W olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6. Seçilen duvar tabakalarının direnç katsayıları [7]

No	Tabaka Adı	Tabaka Kalınlığı	Su Buharı Difüzyon Direnci	Hava Tabaka Kalınlığı	Toplam (Küm.)	Isıl İletim Hesap. Değeri	Yüzeysel Isıl Direnci	Direnç Toplamı
1	Dış taşınım	-	-	-	-	-	0.04	0.04
2	8.2.2.1	0.019	50	0.95	0.95	0.13	0.146	0.186
3	10.3.3.1	0.1	20	2	2.95	0.04	2.5	2.686
4	8.2.2.1	0.019	50	0.95	3.9	0.13	0.146	2.832
5	İç taşınım	-	-	-	-	-	0.25	3.082
Toplam Isı İletim Katsayısı –U (W/mK)								0.324

Duvara ait taşınımların dahil edilerek U toplam ısı iletim katsayısı 0.324 W/mK olarak hesaplanmıştır. Binaya ait yoğuşma ve buharlaşma hesaplaması örnek olması açısından sadece Ocak ayı için yapılarak diğer aylara ait hesaplama çıktısı olan grafikler eklenip yorumlanmıştır. Yoğuşma hesapları yapılırken iç tabakalardaki sıcaklıklar enerjinin korunumu ilkesinden yararlanılarak hesaplanır. Tabakalar arası buhar basınçları yazılarak grafik tabaka kalınlığına bağlı olarak çizdirildiğinde kesişme olan bölgelerde duvar içinde m² başına yoğuşan veya buharlaşan su miktarı hesaplanır.

İlk hesaplama Ocak ayı için yapılırsa, Tablo 5’den Ocak ayına ait iç ve dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri alınmıştır.

Eskişehir’de Ocak ayında, iç ortam bağıl nemi hesaplanırken havalandırma yok kabul edilmiştir.

Dış ortam sıcaklığı:-0.3°C

Ocak ayı bağıl nemi:%79 yani 0.79

İç ortam sıcaklığı:20°C

İç ortam Bağıl Nemi:0.65

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (9)$$

Q=6,58 W, Denklem 9 kullanılarak bulunmuştur.

Tablo 6’da verilen tabaka numaralarına göre Ocak ayı için her katmanın sıcaklık değerleri enerjinin korunumu ilkesinden faydalanılarak hesaplanmıştır.

$$6,58 = (20 - T_1) / 0,25$$

$$T_1 = 18,35$$

$$(18,35 - T_2) / 0,146 = 6,58$$

$$T_2 = 17,4$$

$$6,58 = (17,4 - T_3) / 2,5$$

$$T_3 = 0,95$$

$$6,58 = (0,95 - T_4) / 0,146$$

$$T_4 = 0,01^\circ\text{C}$$

Hesaplanan sıcaklık değerlerine uygun olacak şekilde her bir katmanın buhar basıncı değerleri aşağıda Tablo 7’de verildiği gibi alınmıştır.

Tablo 7. Ocak ayı katmanlara göre buhar basınçları [7]

Sıcaklık (°C)	Buhar Basıncı (Pa)
0.3	596
0.01	612
0.95	546
17.4	1987
18.35	2110
20	2337

$$2337 \cdot 0.65 = 1519$$

$$596 \cdot 0.79 = 471$$

$$\text{Grafikteki kesişme noktası: } (1819 - 471) / 3,9 \cdot 0,95 = 726 \text{ Pa}$$

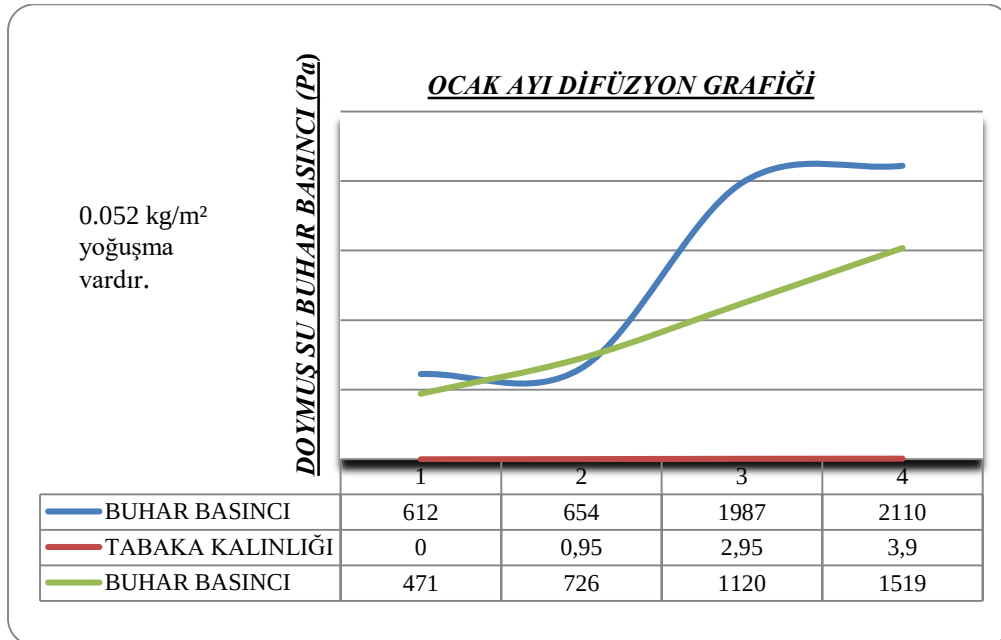
Kesişme olduğundan yoğunlaşma vardır.

Yoğuşan su miktarı (g) Denklem 10’da verilen eşitlik sayesinde hesaplanır. [7]

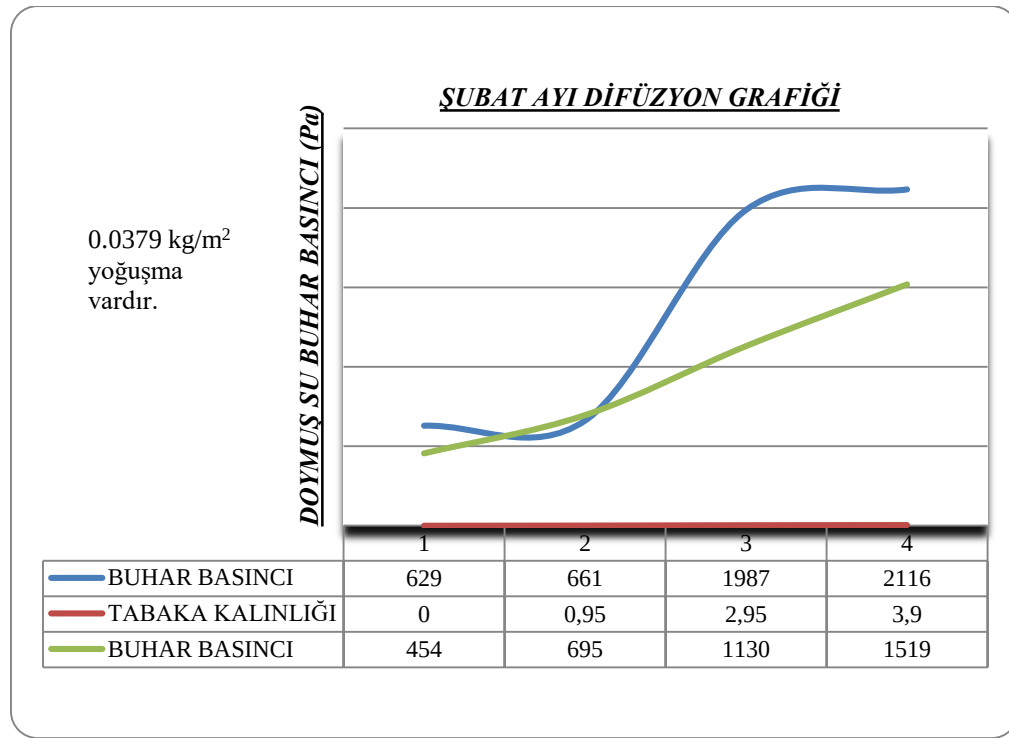
$$g = \left[\frac{P_i - P_{sw}}{S_t - S_{d,sw}} \right] - \left[\frac{P_{sw} - P_d}{S_{d,sw}} \right] \quad (10)$$

$$g = 0.052 \text{ kg/m}^2 \text{ yoğuşma miktarı hesaplanmıştır.}$$

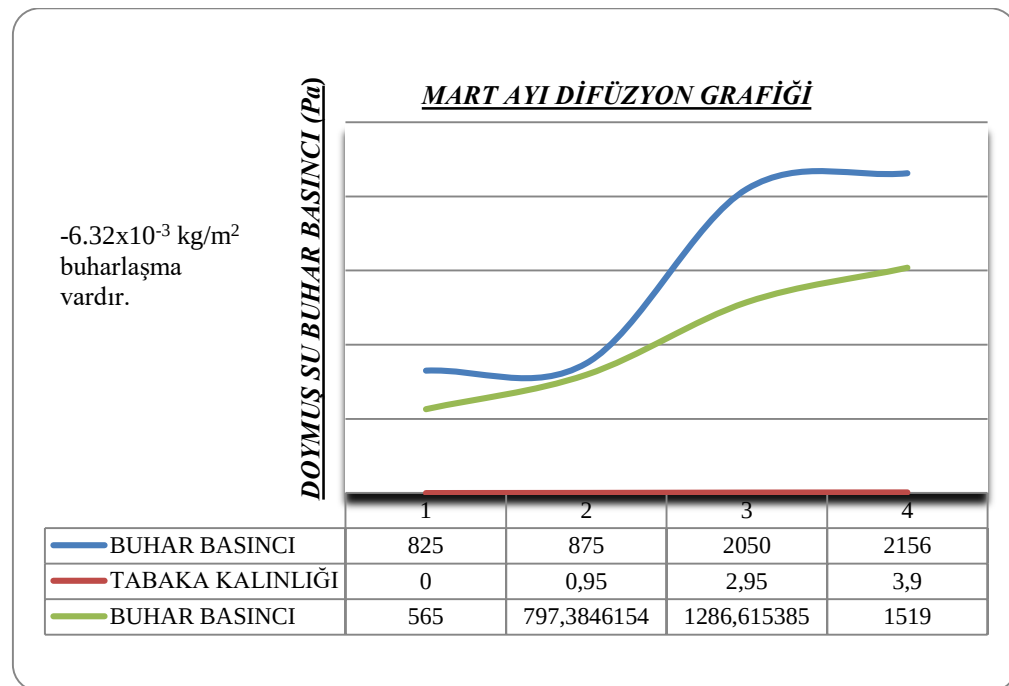
Ocak ve Şubat aylarına ait grafikler Şekil 2 ve Şekil 3’de verilmiştir. Buhar basınçlarında kesişme olduğu için duvar içinde yoğuşma vardır. Diğer aylar içinde tüm grafikler sırasıyla verilmiştir.



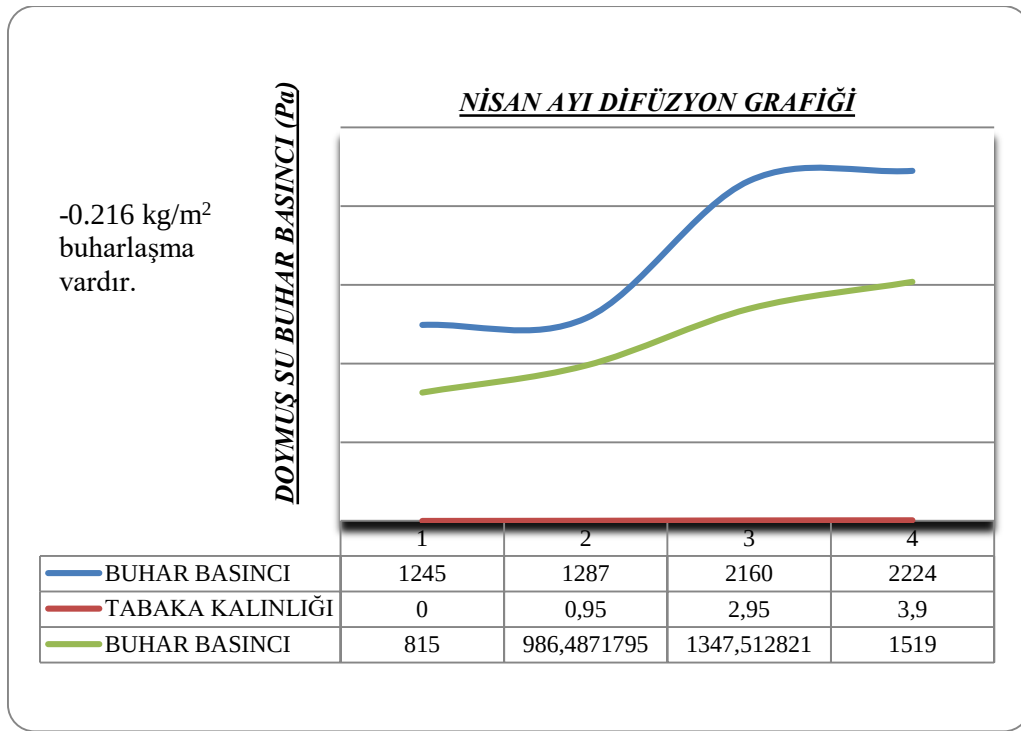
Şekil 2. Ocak ayı difüzyon grafiği



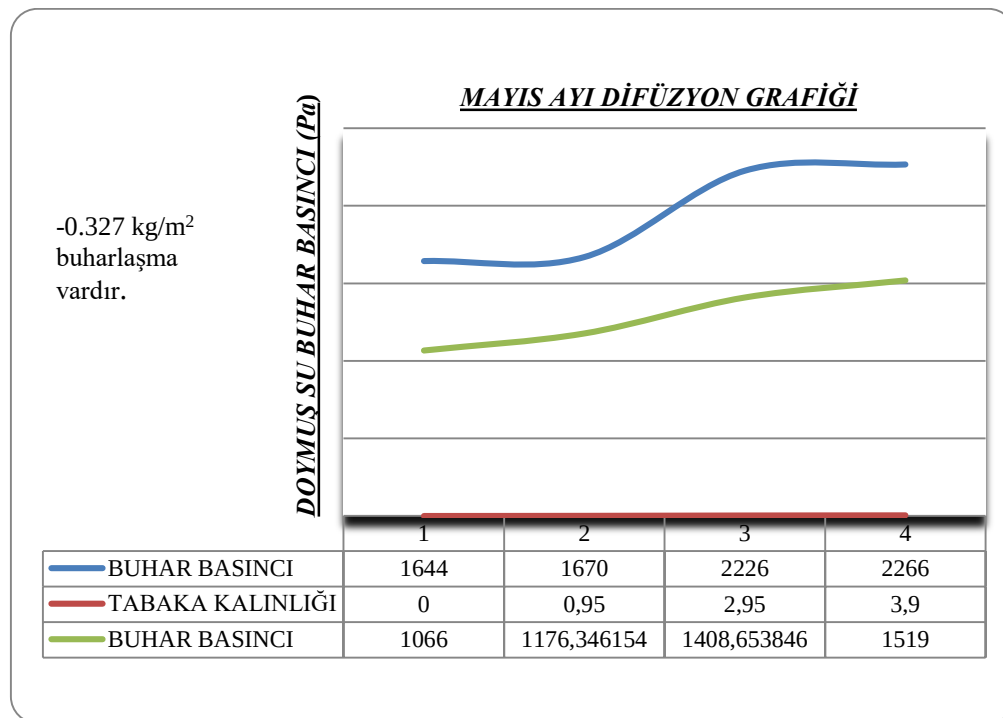
Şekil 3. Şubat ayı difüzyon grafiği



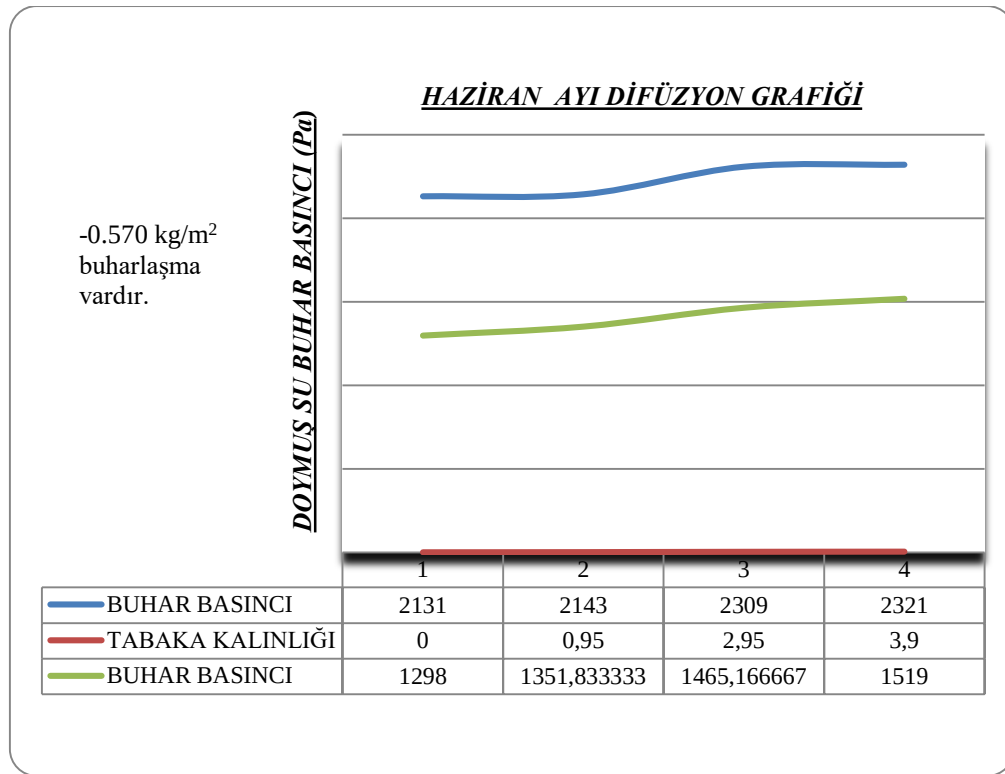
Şekil 4. Mart ayı difüzyon grafiği



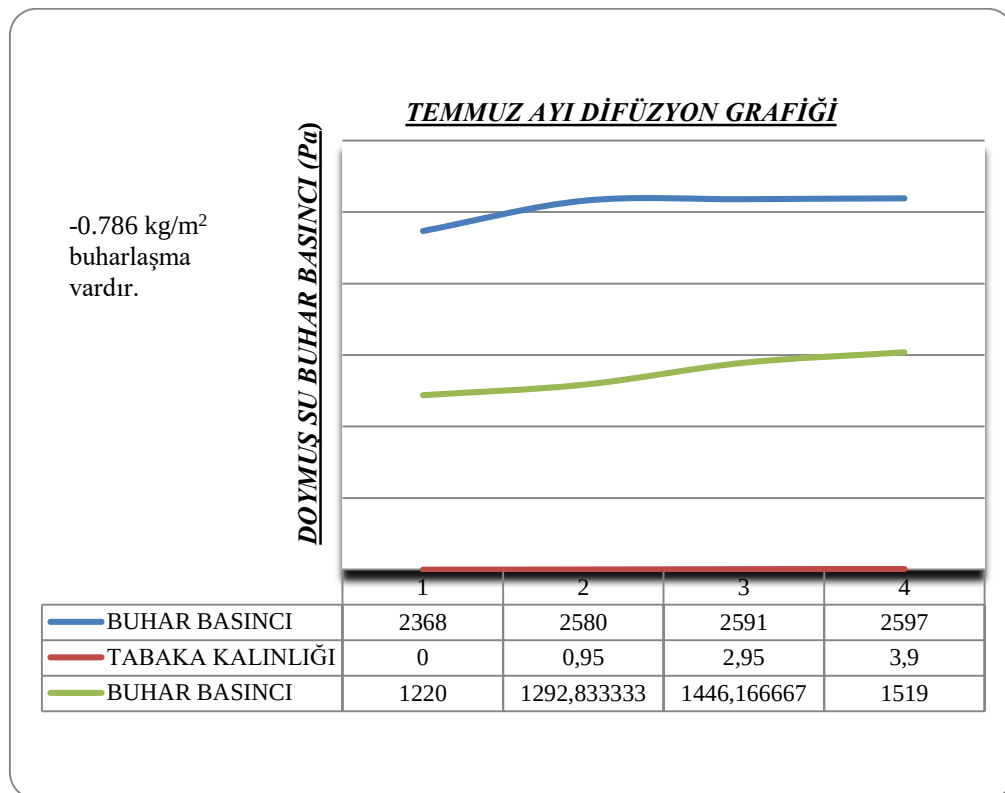
Şekil 5. Nisan ayı difüzyon grafiği



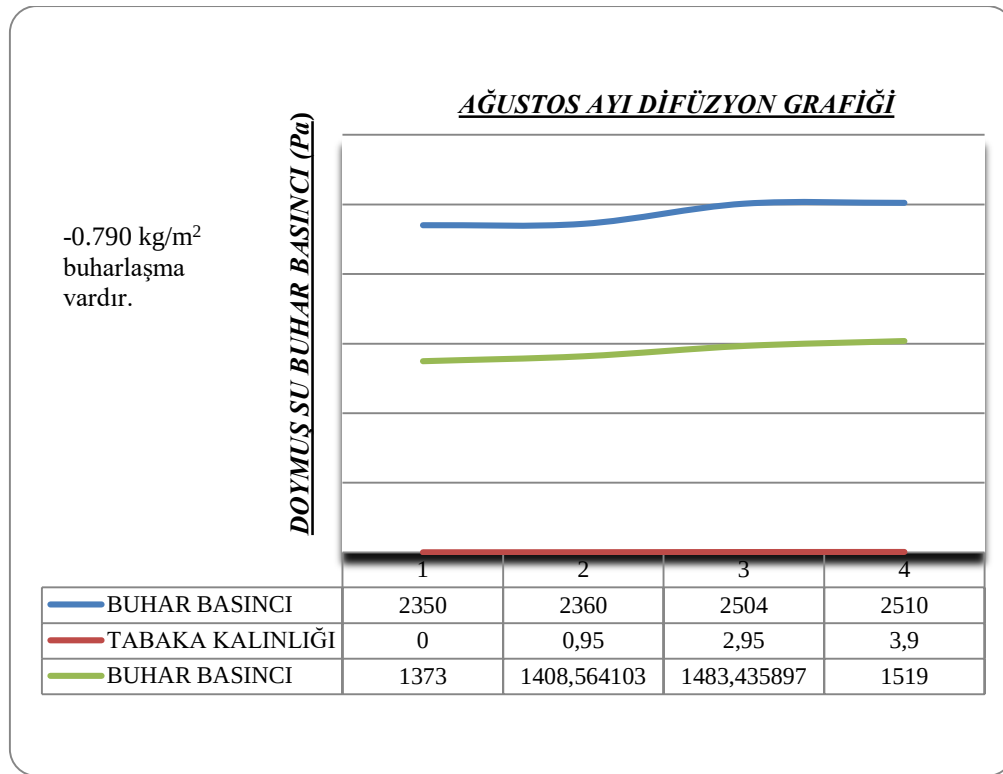
Şekil 6. Mayıs ayı difüzyon grafiği



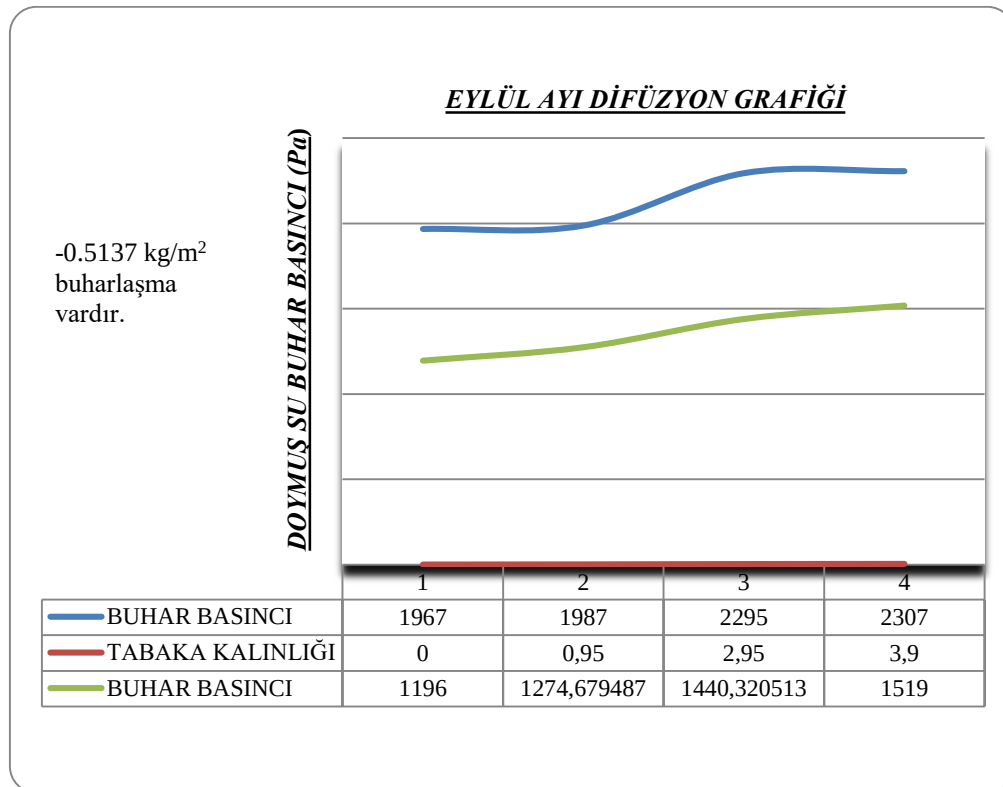
Şekil 7. Haziran ayı difüzyon grafiği



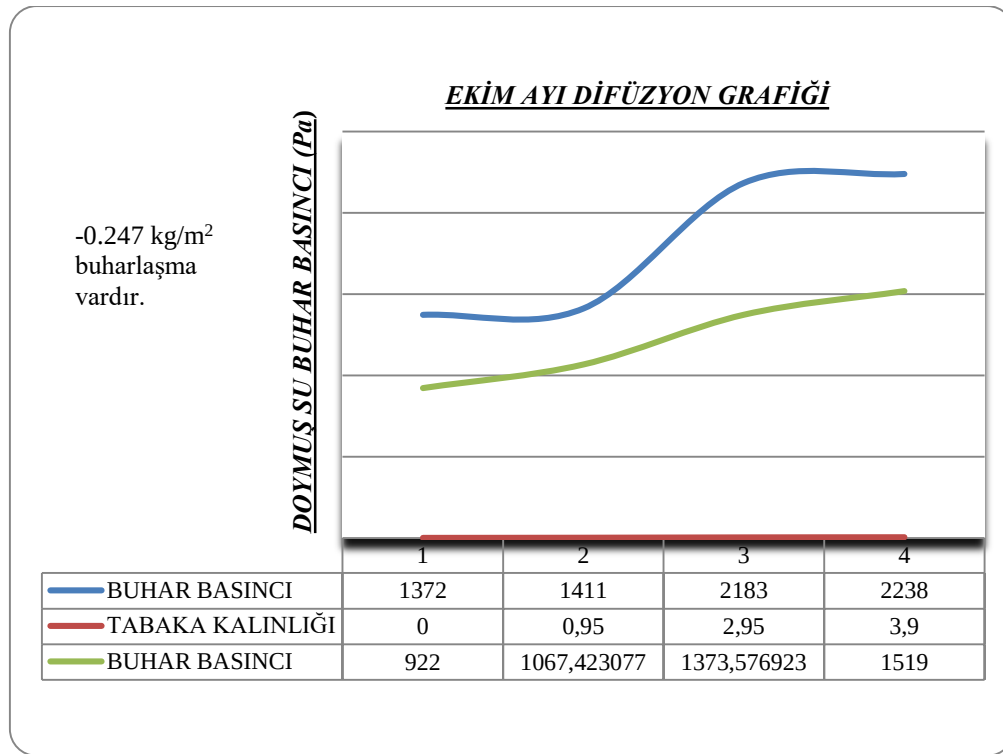
Şekil 8. Temmuz ayı difüzyon grafiği



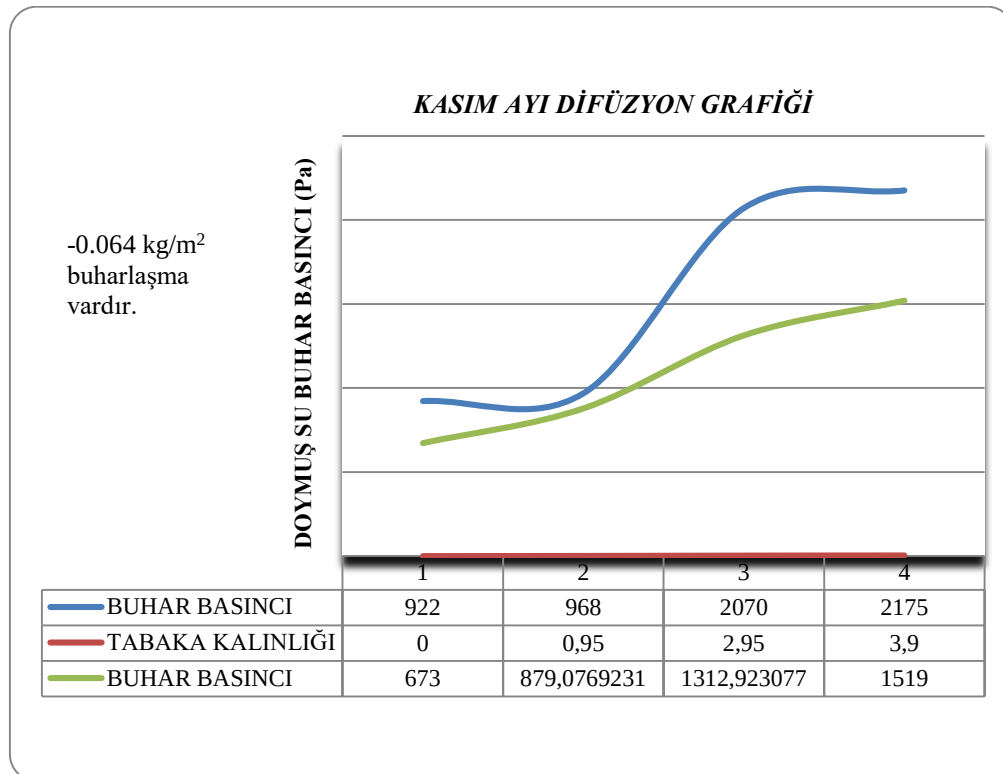
Şekil 9. Ağustos ayı difüzyon grafiği



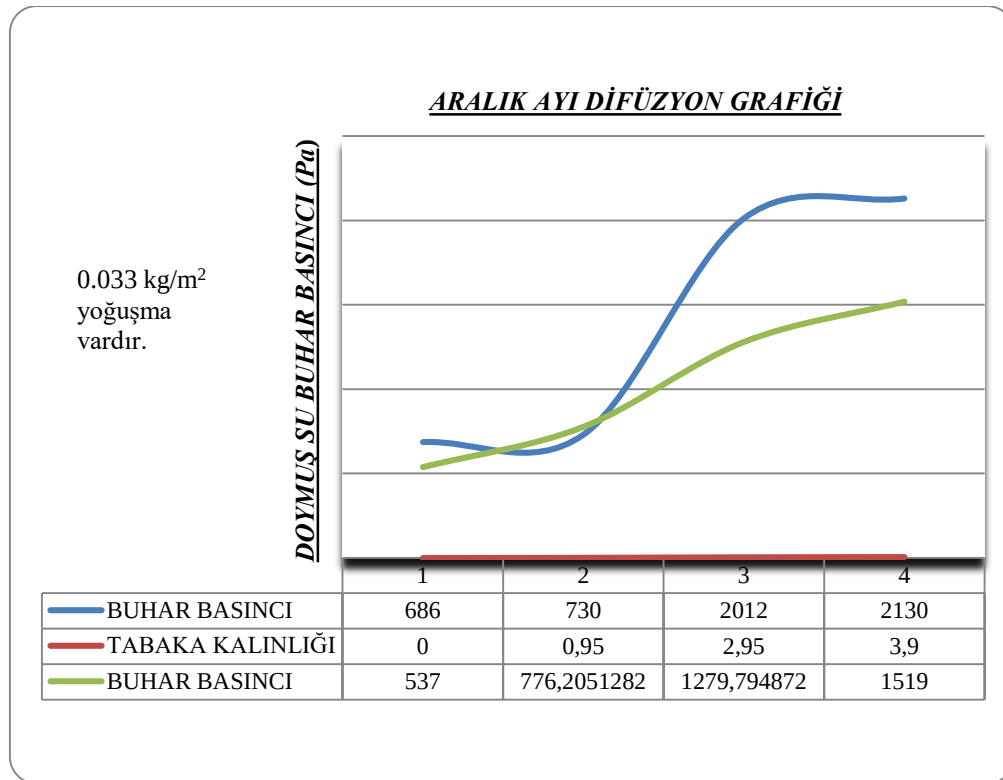
Şekil 10. Eylül ayı difüzyon grafiği



Şekil 11. Ekim ayı difüzyon grafiği



Şekil 12. Kasım ayı difüzyon grafiği



Şekil 13. Aralık ayı difüzyon grafiği

Yoğuşma ve Buharlaştırma tahkiki hesapları tamamlandıktan sonra binada toplam yoğuşan su miktarı hesaplanarak Eskişehir’de 3. derece gün bölgesinde bulunan bu bina yoğuşma-buharlaştırma açısından TS 825’e göre incelenerek yorum yapılmıştır. Yoğuşma bölgeleri Şekil 2-13’de verildiği gibi iki buhar basıncının kesişim noktasıdır.

Binada sadece Aralık, Ocak ve Şubat aylarında yoğuşan su miktarları toplanır. Bir yılda toplam yoğuşan su miktarı: 0.1229kg/m² olarak Denklem 10 kullanılarak hesaplanmıştır.

Yapı elemanında biriken su, Mart ayından itibaren buharlaşmaya başlamakta ve Nisan ayından sonra sistemde su kalmamaktadır. Bu sonuçtan yapılan çıkarımlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1-) Yüzey sıcaklıkları $\theta_{yi} > 17^\circ\text{C}$ olduğundan bina duvarlarında küf oluşma riski yoktur. Duvarlar bu açıdan oldukça güvenlidir.

2-) Aralık, Ocak, Şubat aylarında toplam 0,1229kg/m² yoğuşma gerçekleşmiştir. Ancak hesaplanan su miktarı TS 825’e göre sınır değer olan 1 kg/m²’den daha küçük olduğundan kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır.

3-) Duvar katmanları arasında yoğuşan suyun tamamının yaz aylarında buharlaşması beklenmektedir. Nisan ayı sonunda tüm su buharlaşmaktadır. Bu durum duvar katmanlarının çok uygun seçildiğinin göstergesidir.

Yoğuşma tahkiki yapılan yapı bileşenlerinin TS 825 standardında verilen bütün kriterleri sağladığı doğrulanmış olup, duvar ve katman yapılarının bu standarda uygun olduğu anlaşılmıştır.

3.2 Binadaki Tüm Dairelerin Isı Kaybının Hesaplanması

Isı kaybı hesaplamaları için TS 825’e uygun olacak şekilde daire içinde bulunan tüm mahallerin sıcaklıkları ve daire içinde kullanılan yapı elemanlarının ısı iletim katsayıları seçilmiştir. Dış duvar için ısı iletim katsayısı seçilen duvar detayına uygun olacak şekilde hesaplanmıştır. Isı kaybı

hesaplamaları için tüm odaların sıcaklıkları Tablo 8’de, daire içinde yer alan yapı elemanlarının ısı iletim katsayıları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 8. Mahallerin oda içi sıcaklığı [7]

Mahal	Sıcaklık (°C)
Çalışma Odası	20
Merdiven boşluğu	10
Banyo	24
Yatak Odası	20
Salon	20
Mutfak	20
Antre	15

Tablo 9. Yapı elemanlarının ısı iletim katsayısı değerleri[7]

Yapı Elemanı	Isı İletim Katsayısı-U(W/mK)
Çift Camlı Pencere	2.80
Tavan	0.30
Dış Duvar	0.458
İç Kapı	2.0
Döşeme	0.42
İç Duvar	1.89

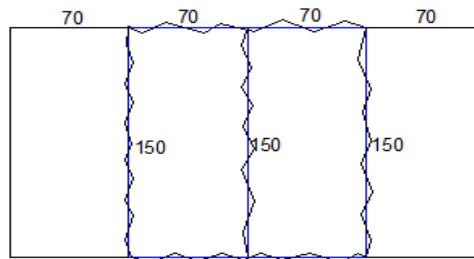
Bina odalarının yönlerine göre, hesaplanan ısı kaybı değerine yön arttırımı da dikkate alınarak eklenmelidir. Tablo 10’da yönler göre belirlenen TS 825’e uygun yön arttırım değerleri verilmiştir.

72

Tablo 10. Yönler göre arttırım miktarları [7]

Yön	G	GB	B	KB	K	KD	D
Arttırım Miktarı (Zh)	-5	-5	0	5	5	5	0

Bina yapı olarak Eskişehir ilinde olmakta ve güney cepheye sahiptir.. Binada statik yapı olarak zemin kat üstüne çıkarken arsadan daha fazla yararlanmak için yapılan kat çıkması yoktur. Bu nedenle binada zemin kat ve 1-2-3-4-5-6. katların planı ve m²’si aynıdır. Üst katlarda sadece yükseklik zam farkı koyularak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken kullanılan pencerelerden olan ısı kaybı fuga hesabına bağlı olarak yapılmıştır. Şekil 14’te tüm dairelerde kullanılan çift camlı pencerenin fuga detayı verilmiştir.



Şekil 14. Pencere fuga detayı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tüm parametreler belirlenerek yapılan ısı kaybı hesaplamaları sonucunda daireler içinde yer alan tüm odalar için radyatör seçimi yapılmış ve doğu yönünde yer alan daireler için değerler tablo 11,12 ve 13’de verilmiştir. Aynı şekilde batı yönünde yer alan daireler içinde her bir mahal için yapılan hesaplamalar sonucunda radyatör seçimi yapılarak Tablo 14,15 ve 16’da ifade edilmiştir.

Tablo 11. Zemin kat doğu yönlü daire ısı kaybı değerleri ve radyatör seçimi

No	Mahal Adı		Hacmi	Hesap Edilen Isı Kaybı	Birim Verimi	Yüzey	Isı gücü	Zemin kat doğu yönlü daire
		°C	m ³	Watt	Watt/m ²	m ²	Watt	Seçilen Radyatör
DZ01	MUTFAK	20	44	1319	74,65	17,67	1441,0	1x600mm 21 PKP
DZ02	SALON	20	82	2570,93	78,45	32,77	2686,0	2x600mm 21 PKP
DZ03	ODA1	20	32	1067	82,84	12,88	1198,0	1x500mm 21 PKP
DZ04	ODA 2	20	33	747,48	56,67	13,19	843,0	1x400mm 21 PKP
DZ05	ODA 3	20	54	1579,04	72,53	21,77	1665,0	2x400mm 21 PKP
DZ06	ODA 4	20	37	940,794	63,7	14,77	942,0	1x400mm 21 PKP
DZ07	ANTRE	15	40	697,23	43,58	16	725,0	1x300mm 21 PKP
DZ08	BANYO	24	30	652,85	54,4	12	653,0	1x300mm 21 PKP

Tablo 12. Ara katlar doğu yönlü dairelerin ısı kaybı değerleri ve radyatör seçimi

No	Mahal Adı		Hacmi	Hesap Edilen Isı Kaybı	Birim Verimi	Yüzey	Isı gücü	1,2,3,4,5 ara katlar doğu yönlü daireler
		°C	m ³	Watt	Watt/m ²	m ²	Watt	Seçilen Radyatör
DA01	MUTFAK	20	44	1213	68.68	17,67	1257	1x600mm 21 PKP
DA02	SALON	20	82	2369	72.29	32,77	2334	2x500mm 21 PKP
DA03	ODA1	20	32	978	75.98	12,88	1098	1x500mm 21 PKP
DA04	ODA 2	20	33	710.87	53.89	13,19	739	1x300mm 21 PKP
DA05	ODA 3	20	54	1450.8	66.6	21,77	1608	2x300mm 21 PKP
DA06	ODA 4	20	37	852.1	57.6	14,77	914	1x400mm 21 PKP
DA07	ANTRE	15	40	558.12	34.8	16	571	1x300mm 21 PKP
DA08	BANYO	24	30	533.48	44.45	12	571	1x300mm 21 PKP

Tablo 13. Çatı kat doğu yönlü daire ısı kaybı değerleri ve radyatör seçimi

No	Mahal Adı		Hacmi	Hesap Edilen Isı Kaybı	Birim Verimi	Yüzey	Isı gücü	6. çatı kat doğu yönlü daire
		°C	m ³	Watt	Watt/m ²	m ²	Watt	Seçilen Radyatör
DÇ01	MUTFAK	20	44	1234	69.87	17,67	1257	1x600mm 21 PKP
DÇ02	SALON	20	82	2611	79.68	32,77	2680	2x500mm 21 PKP
DÇ03	ODA1	20	32	1098.2	85.26	12,88	1198	1x500mm 21 PKP
DÇ04	ODA 2	20	33	751.91	57.06	13,19	843	1x300mm 21 PKP
DÇ05	ODA 3	20	54	1586.2	72.8	21,77	1665	2x300mm 21 PKP
DÇ06	ODA 4	20	37	975.6	66.01	14,77	1098	1x400mm 21 PKP
DÇ07	ANTRE	15	40	705	44.06	16	725	1x300mm 21 PKP
DÇ08	BANYO	24	30	635	52.9	12	653	1x300mm 21 PKP

Tablo 14. Zemin kat batı yönlü daire ısı kaybı değerleri ve radyatör seçimi

No	Mahal Adı		Hacmi	Hesap Edilen Isı Kaybı	Birim Verimi	Yüzey	Isı gücü	Zemin kat batı yönlü daire
		⁰ C	m ³	Watt	Watt/m ²	m ²	Watt	Seçilen Radyatör
BZ01	MUTFAK	20	44	1246.0	70.517	17,67	1441.0	1x600mm 21 PKP
BZ02	SALON	20	82	2570.9	78,454	32,77	2686.0	2x600mm 21 PKP
BZ03	ODA1	20	32	1087.0	84.394	12,88	1198.0	1x500mm 21 PKP
BZ04	ODA 2	20	33	772.6	58.575	13,19	843.0	1x400mm 21 PKP
BZ05	ODA 3	20	54	1679.3	77.144	21,77	1680.0	2x400mm 21 PKP
BZ06	ODA 4	20	37	970.45	65.703	14,77	1024	1x500mm 21 PKP
BZ07	ANTRE	15	40	725.21	45.326	16	820.0	1x400mm 21 PKP
BZ08	BANYO	24	30	546.87	45.573	12	707.0	1x400mm 21 PKP

Tablo 15. Ara kat batı yönlü dairelerin ısı kaybı değerleri ve radyatör seçimi

No	Mahal Adı		Hacmi	Hesap Edilen Isı Kaybı	Birim Verimi	Yüzey	Isı gücü	1,2,3,4,5 ara katlar batı yönlü daireler
		⁰ C	m ³	Watt	Watt/m ²	m ²	Watt	Seçilen Radyatör
BA01	MUTFAK	20	44	1233.1	69.78	17,67	1257.0	1x600mm 21 PKP
BA02	SALON	20	82	2369.0	72.29	32,77	2686.0	2x600mm 21 PKP
BA03	ODA1	20	32	994.18	77.18	12,88	1024.0	1x500mm 21 PKP
BA04	ODA 2	20	33	689.62	52.28	13,19	739.0	1x300mm 21 PKP
BA05	ODA 3	20	54	1538.4	70.65	21,77	1680.0	2x400mm 21 PKP
BA06	ODA 4	20	37	877.48	59.41	14,77	914.0	1x400mm 21 PKP
BA07	ANTRE	15	40	575.955	35.81	16	626.0	1x300mm 21 PKP
BA08	BANYO	24	30	578.11	48.17	12	626.0	1x300mm 21 PKP

Tablo 16. Çatı kat batı yönlü daire ısı kaybı değerleri ve radyatör seçimi

No	Mahal Adı		Hacmi	Hesap Edilen Isı Kaybı	Birim Verimi	Yüzey	Isı gücü	6. çatı kat batı yönlü daire
		⁰ C	m ³	Watt	Watt/m ²	m ²	Watt	Seçilen Radyatör
BÇ01	MUTFAK	20	44	1348.3	76.3	17,67	1441	1x600mm 21 PKP
BÇ02	SALON	20	82	2582.2	78.8	32,77	2686	2x600mm 21 PKP
BÇ03	ODA1	20	32	1092.2	84.8	12,88	1198	1x500mm 21 PKP
BÇ04	ODA 2	20	33	777.25	58.9	13,19	843	1x400mm 21 PKP
BÇ05	ODA 3	20	54	1687.35	77.5	21,77	1844	2x400mm 21 PKP
BÇ06	ODA 4	20	37	975.6	66.06	14,77	1024	1x500mm 21 PKP
BÇ07	ANTRE	15	40	733	45.8	16	739	1x300mm 21 PKP
BÇ08	BANYO	24	30	661.5	55.1	12	739	1x400mm 21 PKP

Daireler ve batı ve doğu yönlü olmak üzere, zemin kat, ara katlar ve çatı katı olmak üzere sınıflandırılmıştır. Zemin ve çatı katların ısı kayıp değerleri, ara katlara göre daha yüksek hesaplandığı için radyatör seçiminde bu husus dikkate alınmıştır. Tüm daireler için yapılan ısı kaybı hesaplamaları sonucuna bağlı olarak toplam ısı kaybı değeri ve tesisat durumu gözönünde bulundurulmuş ve yeterli kombi kapasitesi belirlenmiştir. Radyatör kapasitelerine uygun olacak şekilde modeller Demirdöküm firmasının 21 PKP modelleri içinden seçilmiştir [8].

4.1 Kombi Kapasitesinin Hesaplanması

Eskişehir ili şartlarında yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek ısı kaybı değeri çatı kat dairelerde ve yaklaşık olarak 11.0 kW hesaplanmıştır. Seçimi yapılacak kombi verimi ve tesisat kaybı, radyatör verimi değerleri düşünüldüğünde ısı kaybı değerine yaklaşık %20 daha arttırım uygulandığında dairenin toplam ısı kaybı yaklaşık 13.0 kW olarak hesaplanmıştır. Bu durumda 24 kW gücünde yoğunlaşmalı bir kombi bu dairenin bulunduğu şartlarda ısı ihtiyacını karşılayacak ve en optimum düzeyde çalışacaktır. Dairenin mimari projesi üzerinden inceleme yapıldığında tesisat üzerinde kritik hat basınç kayıpları değerlendirildiğinde 24 kW bir kombinin sahip olduğu 5.0 metre basma yüksekliğine sahip olan bir pompanın ihtiyaçları karşılayacak şekilde yeterli olacağı anlaşılmıştır.

5.0 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan hesaplamalar sonucunda, 14 daireli 6 katlı Eskişehir ilinde yer alan bir binanın tüm etkenler düşünülerek ısı kayıpları hesaplanmış ve bu doğrultuda radyatör seçimi yapılarak kombi kapasitesi belirlenmiştir. Belirlenmiş özelliklere sahip bina içinde ara katlarda yer alan dairelerin ısı kaybı değerlerinin zemin ve çatı katlarına göre %10 daha az olduğu anlaşılmıştır. Dairelerin dış duvar detayları ve katmanları belirlenirken, buharlaşma ve yoğunlaşma tahkiki hesabı yapılarak denge kurulmuş, sadece Aralık, Ocak, Şubat aylarında iç duvarlarda su birikmesi olacağı hesaplanmış ve sonraki aylarda sistemde sürekli denge durumuna kadar buharlaşma olduğu hesaplanmıştır. Bu sayede net olarak yaklaşık 180 metrekarelik daireler için TS 825'e uygun olacak şekilde projelendirme yapılmıştır. Bu boyutta daireler için genellikle daha büyük kombi kapasitesi seçilmesi gerektiği pratikte düşünülürken 24 kW'lık bir kombi kapasitesinin, seçilen yapı ve yalıtım elemanlarına göre yeterli olduğu anlaşılmıştır. Bu durum binalarda kaliteli ve ısı yalıtkanlığı yüksek yapı bileşenleri kullanımının gereksiz radyatör ve kombi yatırım maliyetini önleyeceğinin göstergesidir. Ayrıca bu sayede doğaya salınan emisyon miktarı ciddi anlamda azaltılmaktadır. Belirtilen tüm avanjalar, sadece kış ayları için düşünülmemeli, yaz ayları da göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek yalıtkanlık özelliği ve nem dengesine sahip yapı elemanlarıyla azalan ısı kazançları sayesinde yaz mevsiminde gereksiz klima çalıştırılmasının önüne geçilmiş olacaktır. Sürdürülebilir olarak kaliteli, yenilenebilir ve ısı yalıtkanlığı yüksek malzeme kullanımı, günden güne artan ve tükenmekte olan enerji kaynakları düşünüldüğünde, canlıların yaşamı için daha ucuz maliyetli ve çevreci çözümler sunmayı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Yurtseven B., "Bilgisayar Yardımı İle Binalardan Enerji Kayıp ve Kazançlarının Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2006, İstanbul.
- [2] Sorensen L., "Heat Transmission Coefficient Measurements in Buildings Utilizing a Heat Loss Measuring Device" Sustainability Journal, 2013 (5), (3601-3614).
- [3] Karakoç H., "Isı Kaybı Hesabı", Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi Sayı 19i İstanbul
- [4] Yazıcı H., "Denizli İlinde Bulunan Bir Binanın TS 825 Hesap Yöntemine Göre Yıllık Isı İhtiyacının, Yakıt Maliyetinin ve Emisyon Miktarının Belirlenmesi" Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Bilimler Dergisi, 2011 (1), s1-10.

- [5] Aktemur C., "Determination of optimum insulation thicknesses, cooling degree-days for different climate regions of Turkey", *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 5(1), s.29-43, 2018.
- [6] Dilmaç Ş., "Yeni TS 825'de Önerilen Hesap Metodunun Değerlendirilmesi", IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi" 2. Panel, 1999, İzmir.
- [7] TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, 2009.
- [8] İnternet, <https://www.demirdokum.com.tr/urunler/demirdokum-radyator-14592.html>
- [9] Aytaç U.T. Aksoy, Enerji Tasarrufu İç ve Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti ilişkisi, *J. Gazi Univ. Fac. Eng. Archit.*, vol. 21, pp. 753–758, 2006.
- [10] Yurtseven B., "Bilgisayar Yardımı İle Binalardan Enerji Kayıp ve Kazançlarının Hesabı" İTÜ Yüksek Lisans Tezi, 2006, İstanbul.
- [11] D. B. Özkan & C. Onan, "Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey", *Applied Energy*, vol. 88, pp. 1331-1342, 2011.
- [12] Kurekci N.A., "Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers", *Energy and Buildings*, vol. 118, pp. 197-213, 2016.
- [13] O. Kaynakli, "A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications", *Renew. Sustainable Energy Rev*, vol. 16, pp. 415–425, 2012.
- [14] Soysal S., "Konut binalarında tasarım parametreleri ile enerji tüketim ilişkisi" Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 38-39 (2008).
- [15] Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Esasları, Makine Mühendisleri Odası, Yayın no: 2001/259, Ankara, 2001
- [16] Gökçen, G., Yaman, M.C., Akın, S., Aytaş, B., Poyraz, M., Kala, M.E., Toksoy, M. vd., "Konutlarda enerji performansı standart değerlendirme metodu (Kep-sdm) için geliştirilen enerji sertifikalandırma yazılımı", 9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 411-422, İstanbul, (2008).
- [17] Kaynakli O., "A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications", *Renew. Sustainable Energy Rev*, vol. 16, pp. 415–425, 2012.
- [18] Daouas N., Hassen Z., Aissia B., "Analytical period solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia", *Appl Thermal Eng*, vol. 30, pp. 319–326, 2010.
- [19] Uçar and F. Balo, "Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls", *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 88-94, 2010
- [20] M. Ozel, "Cost analysis for optimum thicknesses and environmental impacts of different insulation materials", *Energy and Buildings*, 49, 552-559, 2012.
- [21] N. Daouas, A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads, *Applied Energy*, vol. 88, pp. 156-164, 2011.
- [22] M. S. Mohsen, & B. A. Akash, "Some prospects of energy savings in buildings", *Energy Conversion and Management*, vol. 42, pp. 1307-1315, 2001.