

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PENCERELERDEKİ HAVA TABAKASI KALINLIĞININ VE
HAVA TABAKASI SAYISININ İL BAZINDA OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Buse ÇAÇAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa Ali Ergün
ERTÜRK

Ekim 2023

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

PENCERELERDEKİ HAVA TABAKASI KALINLIĞININ VE
HAVA TABAKASI SAYISININ İL BAZINDA OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Buse ÇAÇAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 05/10/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Nezaket PARLAK	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Yusuf ÇAY	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Mustafa Ali Ergün ERTÜRK	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Buse ÇAÇAN

05/10/2023

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim sürecimde kıymetli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, her hususta katkılarını almaktan çekinmediğim, çalışmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm evrelerinde yardımlarını esirgemeyen, özendiren, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Mustafa Ali Ergün ERTÜRK'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Son olarak, bugünlere gelmemde gerekli maddi ve manevi desteğini esirgemeyen annem Emine DİNÇ başta olmak üzere eğitim sürecim boyunca desteklerini hissettiğim aile fertlerimin her birine ayrı ayrı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1.Pencerelerin Yalıtımı.....	1
1.1.1.Katlı cam sistemi.....	1
1.2. Pencerelerden Isı Transferi.....	2
1.3. Pencerelerde Isıtma Derece Saat Yöntemi (IDS) ile Analiz	2
1.4. Tezin Amacı	3
1.4. Literatür Araştırması	3

BÖLÜM 2.

HESAPLAMA YÖNTEMİ	6
2.1. Optimum Hava Tabakası Kalınlığının Belirlenmesi.....	6
2.1.1.Düşey konumda kapalı iki cam plaka arasında ısı transferi.....	6
2.1.2.Düşey konumda kapalı iki cam plaka arasında toplam ısı transferi.....	8
2.2. Optimum Hava Tabakası Sayısının Belirlenmesi	10
2.2.1. Çok camlı pencerenin birim alan başına işletme maliyeti	10
2.2.2. Çok camlı pencerenin birim alan başına ilk yatırım maliyeti	13
2.2.3. Çok camlı pencerenin birim alan başına toplam ısıtma maliyeti	13

BÖLÜM 3.

ANALİZ	15
3.1. Optimum Hava Tabakası Kalınlığının Her İl için Analizi	15

3.1.1. Optimum Hava Tabakası Kalınlığının Toplam Isı Transferine Etkisinin Araştırılması	18
3.2. Belirlenen Optimum Hava Tabakası Kalınlığına Göre Optimum Hava Tabakası Sayısının Her İl için Analizi	47
3.2.1. Akdeniz bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi	47
3.2.2. Doğu Anadolu bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi	49
3.2.3. Ege bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi	51
3.2.4. Güneydoğu Anadolu bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi	53
3.2.5. İç Anadolu bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi	55
3.2.6. Karadeniz bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi	57
3.2.7. Marmara bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi	59
BÖLÜM 4.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR	64

KISALTMALAR

IDS : Isıtma Derece Saat Değeri

LHV : Alt Isıl Değeri

PWF : Bugünkü Değer Faktörü



SİMGELER

C_A	: Isıtma Yakıt Maliyeti
C_f	: Doğal Gaz Yakıtı Birim Maliyeti
C_P	: Pencere Yatırım Maliyeti
C_T	: Toplam Maliyet
E_A	: Isıtma Enerjisi Gereksinimi
F_{ij}	: Görünüm Faktörü
g	: Enflasyon Oranı
g	: Yerçekimi İvmesi
$h_{dış}$: Dış Havanın Isı Taşınım Katsayısı
h_{hava}	: Hava Boşluğunun Taşınım İle Isı Transfer Katsayısı
$h_{iç}$: İç Havanın Isı Taşınım Katsayısı
H	: Pencere Yüksekliği
i	: Faiz Oranı
k_{cam}	: Camın Isı Transfer Katsayısı
l_{cam}	: Cam Kalınlığı
L	: Hava Boşluğu Mesafesi
n	: Cam Sayısı
N	: Ömür Yılı
N_{opt}	: Optimum Hava Tabakası Sayısı
Pr	: Prandtl Sayısı
q_A	: Birim Alandan Gerçekleşen Isı Kaybı
Q_{opt}	: Optimum Hava Tabakası Kalınlığındaki Isı Transferi
$Q_{taşınım}$: Optimum Hava Tabakası Kalınlığının Üzerindeki Isı Transferi
r	: Gerçek Faiz Oranı
Ra	: Rayleigh Sayısı
$T_{dış}$: Dış Ortam Sıcaklığı
$T_{iç}$: İç Ortam Sıcaklığı

T_1	: Işınımın Gerçekleştiği Birinci Yüzey Sıcaklığı
T_2	: Işınımın Gerçekleştiği İkinci Yüzey Sıcaklığı
U_{iletim}	: İletimden Kaynaklanan Isı Transfer Katsayısı
$U_{ışınım}$: Işınımdan Kaynaklanan Isı Transfer Katsayısı
$U_{taşınım}$: Taşınımdan Kaynaklanan Isı Transfer Katsayısı
U_{top}	: Toplam Isı Transfer Katsayısı
x_{opt}	: Optimum Hava Tabakası Kalınlığı

Greek Sembolleri;

β	: Hacimsel Genleşme Katsayısı
ε_1	: Birinci Cam Yüzeyinin Yayıcılığı
ε_2	: İkinci Cam Yüzeyinin Yayıcılığı
ν	: Havanın Kinematik Viskozitesi
σ	: Stefan- Boltzmann Sabiti
η	: Isıtma Sisteminin Verimi

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1	: Akdeniz Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri.	15
Tablo 3.2	: Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri.	16
Tablo 3.3	: Ege Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri.	16
Tablo 3.4	: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri.	16
Tablo 3.5	: İç Anadolu Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri... ..	17
Tablo 3.6	: Karadeniz Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri... ..	17
Tablo 3.7	: Marmara Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri.....	18
Tablo 3.8	: Isparta ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.....	19
Tablo 3.9	: Antalya ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.....	21
Tablo 3.10	: Akdeniz Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.	22
Tablo 3.11	: Kars ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.	23
Tablo 3.12	: Elazığ ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.	25
Tablo 3.13	: Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.	26
Tablo 3.14	: Afyon ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.	27
Tablo 3.15	: İzmir ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.....	29
Tablo 3.16	: Ege Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.	30
Tablo 3.17	: Adıyaman ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.....	31
Tablo 3.18	: Şanlıurfa ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.....	33
Tablo 3.19	: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.	34
Tablo 3.20	: Sivas ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.....	35
Tablo 3.21	: Ankara ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.....	37
Tablo 3.22	: İç Anadolu Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.	38
Tablo 3.23	: Bayburt ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.....	39
Tablo 3.24	: Ordu ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.	41
Tablo 3.25	: Karadeniz Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.	42
Tablo 3.26	: Bilecik ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.	43
Tablo 3.27	: Sakarya ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.....	45
Tablo 3.28	: Marmara Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.	46
Tablo 3.29	: İller için optimum hava tabakası kalınlığı ile sayısı.....	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Pencereden gerçekleşen toplam ısı transferi.....	11
Şekil 3.1 : Isparta ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	20
Şekil 3.2 : Antalya ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	22
Şekil 3.3 : Kars ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	24
Şekil 3.4 : Elazığ ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	26
Şekil 3.5 : Afyon ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	28
Şekil 3.6 : İzmir ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	30
Şekil 3.7 : Adıyaman ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	32
Şekil 3.8 : Şanlıurfa ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	34
Şekil 3.9 : Sivas ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	36
Şekil 3.10 : Ankara ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	38
Şekil 3.11 : Bayburt ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	40
Şekil 3.12 : Ordu ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	42
Şekil 3.13 : Bilecik ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	44
Şekil 3.14 : Sakarya ili için optimum hava tabakası kalınlığı.....	46
Şekil 3.15 : Isparta ili için optimum hava tabakası sayısı.....	48
Şekil 3.16 : Antalya ili için optimum hava tabakası sayısı.....	49
Şekil 3.17 : Kars ili için optimum hava tabakası sayısı.....	50
Şekil 3.18 : Elazığ ili için optimum hava tabakası sayısı.....	51
Şekil 3.19 : Afyon ili için optimum hava tabakası sayısı.....	52
Şekil 3.20 : İzmir ili için optimum hava tabakası sayısı.....	53
Şekil 3.21 : Adıyaman ili için optimum hava tabakası sayısı.....	54
Şekil 3.22 : Şanlıurfa ili için optimum hava tabakası sayısı.....	55
Şekil 3.23 : Sivas ili için optimum hava tabakası sayısı.....	56
Şekil 3.24 : Ankara ili için optimum hava tabakası sayısı.....	57
Şekil 3.25 : Bayburt ili için optimum hava tabakası sayısı.....	58
Şekil 3.26 : Ordu ili için optimum hava tabakası sayısı.....	59
Şekil 3.27 : Bilecik ili için optimum hava tabakası sayısı.....	60
Şekil 3.28 : Sakarya ili için optimum hava tabakası sayısı.....	61

PENCERELERDEKİ HAVA TABAKASI KALINLIĞININ VE HAVA TABAKASI SAYISININ İL BAZINDA OPTİMİZASYONU

ÖZET

Binalardan kaybedilen ısının hemen hemen yüzde otuzunu pencereler oluşturmaktadır. Bu sebeple binalardaki enerji harcamalarının azaltılmasını amaçlayan çalışmalarda pencereler, üzerinde durulması gereken bir konudur. Pencerelerde çift cam arasında bir veya birden fazla hava boşluğu oluşturularak ısı kaybı azaltılabilmektedir. Isı kaybını azaltma yöntemlerinden bir diğeri olan hava boşluğu mesafesini arttırmak, her il için olumlu sonuç vermemektedir. Bu çalışmada 1mm hava boşluğu 40 mm'ye kadar arttırılarak pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığı ve optimum hava tabakası sayısı seksen bir il için araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre hava tabakası kalınlığının arttırılması ısı transferini iletimden, taşınımına geçirecek lehte bir durum oluşturmamıştır. Bu durumda ısı transfer değerinin azalıştan artışa geçtiği noktada iki cam plaka arasındaki uzaklık, pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığını vermektedir. Çalışmanın devamında her ilin optimum hava tabakası kalınlığı dikkate alınarak pencerelerde optimum hava tabakası sayısı hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası sayısı hesaplamalarında; ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, toplam maliyet, ömür, faiz, enflasyon oranı gibi parametreler dikkate alınarak pencerelerde optimizasyon denklemi ortaya konulmuştur. Optimizasyon sonuçlarına göre, Türkiye'nin yedi bölgesindeki seksen bir il için en düşük optimum hava tabakası kalınlığı 10,76 mm ile Kars ili için optimum hava tabakası sayısı 4; en yüksek hava tabakası kalınlığı 14,60 mm ile Antalya ili için optimum hava tabakası sayısı 2 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji tasarrufu, optimizasyon, pencere, pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığı, pencerelerde optimum hava tabakası sayısı

PROVINCIAL OPTIMIZATION OF AIR LAYER THICKNESS AND NUMBER OF AIR LAYERS IN WINDOWS

ABSTRACT

Almost thirty percent of the heat lost from buildings is made up of windows. For this reason, windows are an issue that should be emphasized in studies aimed at reducing energy expenditures in buildings. Heat loss can be reduced by creating one or more air gaps between the double glazing in the windows. Increasing the air gap distance, which is another method of reducing heat loss, does not give positive results for every province. In this study, the optimum air layer thickness and the optimum number of air layers in the windows were investigated for eighty-one provinces by increasing the 1 mm air gap up to 40 mm. According to the results of the research, increasing the thickness of the air layer did not create a favorable situation by transferring the heat transfer from conduction to transport. In this case, the distance between the two glass plates at the point where the heat transfer value decreases from decrease to increase gives the optimum air layer thickness in the windows. In the continuation of the study, the optimum number of air layers in the windows was calculated by taking into account the optimum air layer thickness of each province. In the calculations of the optimum number of air layers; Taking into account parameters such as initial investment cost, operating cost, total cost, lifetime, interest, inflation rate, the optimization equation is put forward in the windows. According to the optimization results, the lowest optimum air layer thickness for eighty-one provinces in the seven regions of Turkey was 10,76 mm, and the optimum number of air layers for Kars province was 4; With the highest air layer thickness of 14,60 mm, the optimum number of air layers for Antalya province was determined as 2.

Keywords: Energy saving, optimization, window, optimum air layer thickness in windows, optimum air layer number in windows

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji, evrensel iklim değişikliğinin tesirleri ile dünyanın benimsediği çeşitli politikalar için ileride önemli olan güç haline gelecektir. Günümüzde yüksek maliyetli enerji talebi, yaşamın ve dolayısıyla ekonomik gelişimin devamlılığını tehdit altına almaktadır. Bu sebeple, enerji sektöründe dışa bağımlı olan ve iklim değişikliğinin etkilerinden çok fazla etkilenen ülkelerde enerji verimliliği mühim politikalardan biri haline gelmiştir [1].

Sanayi sektörü bünyesinde binaların, enerji tüketim payında etkin yüzdeyi elinde bulundurduğu bilinmektedir. Bu sebeple binaların dış duvarları, döşemeleri, çatısı ve pencereleri için izolasyon uygulamaları ile ısı kayıplarını azaltmak, küresel ısınmayı önlemek adına büyük katkı sağlamaktadır.

1.1. Pencerelerin Yalıtımı

Enerji tasarrufu ve karbon emisyonu, günümüz ekonomisinde binalar için önemli kriterlerdir. Binaların önemli yapı bileşenlerinden biri olan pencereler, gerçekleşen termal kayıpların oransal olarak yüksek bölümünü oluşturmaktadır. Bu sebeple pencereler, binalarda enerji verimliliği uygulamalarında büyük bir potansiyele sahiptir [14,16].

Sıradan bir binada ısı kaybının önemli bir kısmı pencerelerden oluşmaktadır. Isı kayıplarını azaltmak için pencerelere yapılan izolasyon çalışmaları, fosil türü yakıtların kullanımını azaltan önemli yöntemlerden biridir. Bu nedenle enerji tasarrufu amacıyla iklim şartlarıda göz önüne alınarak pencereler iyi bir şekilde yalıtılmalıdır.

1.1.1. Katlı cam sistemi

Yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlikleri hakkında yapılan araştırmalara göre havanın genel yalıtım malzemelerinin çoğundan daha iyi yalıtkan olduğu kanısına varılmıştır.

Bu sebeple pencereleri hava tabakası ile yalıtım anlamıdır. Şüphesiz havayı hapsedmek için başka bir cam plakanın kullanılması gerekmektedir. Bunun sonucu geleneksel yalıtım olarak ifade edilen çift camlı pencere olarak bilinen kapalı aralıkları meydana getirmektedir [11]. Pencerelerin yalıtımı, iki cam levha arasında sızdırmaz havanın hapsedilmesiyle gerçekleşmektedir. İki cam arasına sıkıştırılan durgun hava, ısı geçişine karşı direnç oluştururken; hava tabakası kalınlığı toplam ısı transfer katsayısı üzerine etki etmektedir. Çift camlı sistemlerde oda ısısının yüzde yetmiş ışınım, yüzde otuz iletimle dışarı geçmektedir [9]. Cam sayısı arttıkça daha fazla ısı yalıtımı sağlanmaktadır.

1.2. Pencerelerden Isı Transferi

Pencerenin termal açıdan enerji verimliliğine ait değerler, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan ısı transferinin gerçekleşme yollarından konduksiyon (iletim), konveksiyon (taşınım) ve radyasyonun (ışınım) birlikte hesaplanması ile elde edilmektedir [5].

1.3. Pencerelerde Isıtma Derece Saat Yöntemi (IDS) ile Analiz

Konutlarda insanların yaşam rahatlığının ve üretim tesislerinde maddi rahatlığın uygun duruma gelmesi için ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemleri oldukça önemlidir. Derece zaman hesaplama yöntemleriyle bu sistemlerin ısıtma ve soğutma yükleri bulunabilmektedir [12]. Isıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde, binalarda enerji analizlerinde iklim verileri enerji verimliliği açısından hesaplama sonuçlarının doğruluğuna etki eden önemli değişkenlerden biridir [7,8]. Derece zaman yöntemi ısıtma, soğutma, iklimlendirme yöntemlerinin kapasite hesaplamalarında, doğalgaz taşıma ve iletim boru hatlarının boyutlandırılmasında, konutlarda ve yaşam mahallerinde ısıtma amaçlı kullanılan yakıtın; soğutma amaçlı tüketilen elektriğin aylık ve sezonluk olarak belirlenmesinde, ülke bazlı yıllık yakıt tüketiminin hesaplanmasında, her il için ömür devri maliyet analizine göre optimum izolasyon kalınlıkları hesaplamalarında kullanılmaktadır [10]. Kapalı hacimlerin ısıtma ve soğutma hedefli enerji gereksinimi derece saat yöntemiyle tahmin edilebilmektedir. Her ildeki kapalı

hacimlerin ısıtma yüklerinin tahmininde, optimum yalıtım kalınlıklarının hesaplamalarında ise Isıtma Derece Saat (IDS) yöntemi kullanılmaktadır.

1.4. Tezin Amacı

Yapılan incelemeler sonucunda pencerelerde 1 atmosfer basınç altında ideal gaz olan hava ile doldurularak elde edilen iki cam arası düşey kapalı hacimdeki hava tabakası kalınlığının artırılması iletim yoluyla olan ısı kaybının taşınım yoluyla olmasına neden olmaktadır. Bu durumda hava tabakası kalınlığının artırılmasının ısı kaybı açısından lehte bir durum olmadığı ve ısı kaybının bir noktada azalıştan artışa geçtiği görülmüştür. Bu çalışmada pencerelerde ısı kayıplarının en az olması amacıyla Türkiye'deki iller için optimum hava tabakası kalınlığı ve optimum hava tabakası sayısı yapılacak optimizasyonla ayrı ayrı ortaya konulacaktır. Böylece tüm iller için aynı olan 14-16 mm hava tabakası kalınlığı yerine her ilin iklim şartlarına göre pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığının ve optimum hava tabakası sayısının ayrıntılı olarak literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

1.5. Literatür Araştırması

Aydın (2000), çalışmasında çift bölmeli bir pencereden ısı transferini sonlu fark tekniği ile sayısal olarak analiz etmiştir. Amacı, farklı iklimler için iki bölme arasındaki optimum hava katmanı kalınlığını termal olarak belirlemektir. Çalışmasında Türkiye'nin farklı iklim koşullarını temsil eden Ankara, Antalya, Kars ve Trabzon illerini göz önünde bulundurmıştır. Çift camlı pencerelerden kaynaklanan enerji kayıplarının, hava tabakası kalınlığını optimize ederek önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir.

Arıcı, Karabay (2010), çalışmalarında derece-gün yöntemi kullanarak ısıcamlı pencerelerin optimum hava tabakası kalınlığını belirlemişlerdir. Türkiye'nin farklı iklim kuşaklarında yer alan Ankara, Ardahan, Kocaeli ve İskenderun illeri için hesaplamalar yapmışlardır. Amaç fonksiyonunda ki ısıtma maliyetini doğalgaz, elektrik, kömür, sıvılaştırılmış petrol gazı ve yağ yakıtı için hesaplamışlardır. Optimum hava tabakası kalınlığını 18 °C, 20 °C ve 22 °C temel sıcaklıkları için elde etmişlerdir. Sonuç olarak optimum hava tabakası kalınlığının iklim bölgesi, yakıt türü ve taban sıcaklığına bağlı

olarak yaklaşık [12-15] mm arasında değiştiğini göstermişlerdir. İy optimize edilmiş camlı pencere ile enerji sarfiyatında %60 düşüş sağlanabileceğini göstermişlerdir.

Karabay, Arıcı (2012), alışmalarında Türkiye'nin farklı iklim kuşaklarında yer alan Ankara, Ardahan İskenderun, İzmir, Kocaeli, Malatya, Sinop ve Van illeri için çok bölmeli pencerelerin derece-gün yöntemi kullanılarak termoeekonomik optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Amaç fonksiyonunda ki işletme maliyetini beş farklı yakıt kaynağı için elde etmişlerdir. Sonuç olarak Türkiye'deki optimum cam sayısının iklim bölgesi ve yakıt türüne göre [2-4] arasında değiştiğini göstermişlerdir.

zrahat, nalın (2014), çalışmalarında iki camlı pencerelerde camlar arasında ki gaz tabaka kalınlığının ısı transfer değerleri üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Hesaplamaları 6'dan 30'a kadar değişik gaz tabaka kalınlık değerlerini kullanarak yapmışlardır. Hesaplamalarında, gaz katman boşluğunda ki yükselişe tabi olarak kritik noktaya kadar iki camlı pencereden gerçekleşen termal akıda azalma; kritik kalınlık değerinden sonra ise termal akıda sabit seyir gözlemlemişlerdir. Kritik kalınlık değerlerini, açık hava basıncındaki argon ve hava için 12 mm, açık hava basıncının altına düşen hava basıncındaki kuru hava (vakum) için 24 mm olarak belirlemişlerdir. Sonuçta, ısı tasarruf oranlarını hava ile %55 lik düşük bir değer, vakumlu hava ile % 63'lk faik bir değer olarak saptanmıştır.

Arıcı, Karabay ve Kan (2015), çalışmalarında ikili, üçlü ve dörtlü camlarda sıvı akışı ve termal transferi için nümerik bir araştırma yapmışlardır. Araştırmayı, değişik boşluk genişlikleri ve değişik dış hava sıcaklıkları için ışınım ile ısı transferini dahil ve hariç tutarak yapmışlardır. Sonuçlar, çok bölmeli pencerelerin boşluklarındaki sıcaklık profili ve akış yapısının birbirinden farklı olduğunu göstermiştir. Hem radyasyon kalkanı görevi gören hem de boşluktaki akışı yavaşlatarak taşınım akımlarını bastıran camların sayısı arttırılarak; pencerelerden gerçekleşen ısı kaybının önemli lde azaltılabileceğini göstermişlerdir. Çift camlı pencerenin sırasıyla l veya dörtlü camla değiştirilmesi durumunda yaklaşık %50 veya %67 oranında enerji tasarrufu sağlamışlardır. Pencerelerde oklu bölmelerin faydası, soğuk bölgelerde daha derindir sonucuna varmışlardır.

Ertürk, Pul, Daşdemir, Coşkun, Oktay, Keçebaş ve Hozatlı (2016), çalışmalarında pencerelerin dik konumda çift cam arasındaki hava boşluğu mesafesinin izolasyon

üzerindeki tesirini araştırmışlardır. Araştıma sonuçlarına göre Ege bölgesindeki her il için optimum hava boşluğu yaklaşımı ortaya koymuşlardır. Bu yaklaşımla; optimum hava boşluğunu Afyon ve Kütahya illeri için 12,2 mm, Uşak için 12,5 mm, Denizli için 13 mm, Aydın, Manisa ve Muğla illeri için 13,4 mm İzmir için 14 mm olarak hesaplamışlardır.

Ertürk, Pul, Daşdemir, Coşkun ve Oktay (2016), alışmalarında Ertürk ve diğ. tarafından literatüre kazandırılan iller için pencerelerde optimum hava katman kalınlığı yaklaşımdan yola çıkararak dik konumdaki iki cam boşluğunda 1'er milimetre kalınlığında saydam plastik cam malzeme ile oluşturulan çok katmanlı pencerelerdeki ısı kaybını araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre; iki cam içinde iki hava tabakası oluşturulduğunda %38-40 oranında, üç hava tabakası oluşturulduğunda %56-58 oranında ve dört hava tabakası oluşturulduğunda %65-67 oranında enerji tasarrufu sağlandığını bulmuşlardır.

Pul, Ertürk, Keçebaş, Uygunoğlu ve Daşdemir (2016), alışmalarında Türkiye'nin yedi bölgesinden farklı dış sıcaklıklarına sahip iller için dik yerleştirilen iki cam arasına hapsedilen hava tabakasının penceredeki izolasyona etkisini analiz etmişlerdir. Sonuçlar yardımıyla pencerelerde çalışılan iller için optimum hava katman kalınlığı yaklaşımı getirmişlerdir. Her il için tayin edilen optimum hava boşluğu mesafesi kullanarak iki hava tabakası ile oluşturulan üç camlı pencereler için ısı kaybının Afyon'da %40,18, Antalya'da %40,98, Bursa'da %40,32, Gaziantep'te %40,39, Kars'ta %40,54, Konya'da %40,55, Ordu'da % 40,10 indiğini tespit etmişlerdir.

Kon (2016), çalışmasında farklı derece-gün değerleri kullanarak optimum hava katman kalınlığı bulunan iki camlı pencerelerde tek camlı pencerelerden daha minimum yakıt sarfiyatı ile CO₂ ve SO₂ emisyonu gerçekleştiğini gözlemlemiştir. CO₂ ve SO₂ emisyonunda ki azalımı incelerken yanma denklemlerini kullanmıştır. Kullandığı yakıt türleri; kömür, doğal gaz ve yağ yakıtıdır. Hesaplamaları 1000-6000 arasındaki derece-gün değerleri için yapmıştır. Hesaplamalarda ömür devri maliyeti analizi ve gün-derece yöntemi kullanmıştır.

BÖLÜM 2. HESAPLAMA YÖNTEMİ

Bu bölümdeki optimum hava tabakası kalınlığının belirlenmesi için yapılan hesaplama iki cam plaka arası belirli bir hava boşluğu bulunan çift camlı pencereler için yapılmaktadır. Optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi için çift cam için belirlenen optimum hava tabakası kalınlık değeri kullanılarak çok camlı pencereler için hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamalar seksen bir il için tekrarlanmıştır.

2.1. Optimum Hava Tabakası Kalınlığının Belirlenmesi

Hava boşluğunun karşılıklı cam yüzey sıcaklıkları bölümler içerisinde alıntılanan kaynaklardan belirlenmiştir. İç ortam ile teması bulunan cam yüzey için sıcaklık her il için sabit 20 °C kabul edilmiştir. Dış ortam ile teması bulunan cam yüzey için her ilin iklim koşullarına göre farklı sıcaklık değerleri kabul edilmiştir. Çalışmada iç ortamdaki havadan taşınım ile, birinci cam plakadan iletim ile, iki cam plaka arasında iletim ve ışınlım birlikte veya taşınım ile ışınlım birlikte, ikinci cam plakadan iletim ile, dış ortamdaki havadan tekrardan taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Böylece iç ve dış ortam arasında birden çok yöntem ile ısı transferi gerçekleşmektedir.

2.1.1. Düşey konumda kapalı iki cam plaka arasında ısı transferi

Düşey konumda iki cam arasında, sıcak yüzeye bitişik (iç ortamdaki cam) akışkan yükselip soğuk yüzeye (dış ortamdaki cam) bitişik akışkan alçalarak, Nusselt sayısına bağlı olarak ısı transferini arttıran dönme hareketi başlatmaktadır [11]. Nusselt sayısı taşınım (konveksiyon) kaynaklı gerçekte meydana gelen ısı transferinin, taşınım olmaksızın yalnız ısı iletimiyle (kondüksiyon) meydana gelecek ısı transferine oranıdır. Nusselt sayısının 1 olması durumunda havanın hareketsiz olması iletimle, büyük olması durumunda hava hareketi başladığı için doğal taşınım ile ısı transferini

gerçekleştirmektedir. Taşınım ile ısı geçişi, salt iletimle gerçekleşen transfer miktarının Nusselt sayısı kadar katıdır [11].

Rayleigh sayısının karşılığı 1708'den küçük olduğu hallerde kaldırma kuvveti, akışkan direncini yenemediği için iletimle ısı transferi gerçekleşmektedir. Rayleigh sayısının karşılığı 1708'den çok olduğu hallerde kaldırma kuvveti akışkan direncini yenerek sistemli halde dönme biçiminde Rayleigh akışkan hareketi başlatarak doğal taşınım akımları oluşturmaktadır. 3×10^5 değerinden daha büyük Rayleigh sayıları hava boşluğunun katı halli cisim şeklinde davranış göstermeyip akışkan şeklinde tavır göstermesine sebep olmaktadır. Bu halde Benard hücreleri olarak adlandırılan hücresel yapı bozularak türbülanslı akışkan hareketi oluşmaktadır [18].

Düşey kapalı aralıkta konveksiyon sınırının tanımlanmasında bir unsur olan Rayleigh sayısı (Ra);

$$Ra = \frac{g \times \beta \times (T_{iç} - T_{dış}) \times L^3}{\nu^2} \times Pr \quad (2.1)$$

eşitlik 2.1'de gösterilen denklem ile belirlenmektedir. (2.1) eşitliğinde gösterilen g (m^2/s) kütleçekimi ivmesini, β (K^{-1}) genişleme katsayısını, $T_{iç}$ ($^{\circ}C$) iç ortam tasarımı; $T_{dış}$ ($^{\circ}C$) dış ortam tasarımı sıcaklıklarını, L (m) karakteristik uzunluğu, ν (m^2/s) kinematik viskoziteyi, Pr Prandtl sayısını ifade etmektedir.

(2.3) eşitliğinde verilen denklem ile hesaplanan film (ortalama) sıcaklığında, 1 atm basınç için havanın özellikleri tablosundan okunan Prandtl sayısı ve kinematik viskozite ile Türkiye'deki tüm iller için tek tek Rayleigh sayısı hesaplanmıştır [11].

İdeal akışkanlarda genişleme katsayısı (β);

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (2.2)$$

$$T_f = (T_{iç} + T_{dış})/2 \quad (2.3)$$

eşitlik (2.2 - 2.3)' te verilen denklemlerle belirlenmektedir.

Düşey kapalı aralık için taşınım ile gerçekleşen termal transfer sınırının tanımlanmasında kullanılan diğer unsurlardan Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$);

$$Nu = 0,42 \times Ra^{1/4} \times Pr^{0,012} \times \left(\frac{H}{L}\right)^{-0,3} \quad (2.4)$$

$$h = \frac{k \times Nu}{L} \quad (2.5)$$

eşitlik (2.4-2.5)'te verilen denklemler ile belirlenmektedir.

(2.4) eşitliğinde H (m) pencerenin yüksekliğini, L (m) iki cam plaka arasındaki uzaklığı; (2.5) eşitliğinde k (W/m. K) termal iletkenliği ifade etmektedir. (2.4) eşitliği ile pencere yüksekliği 1,2 metre kabulüyle Türkiye'deki tüm iller için tek tek Nusselt sayısı hesaplanmıştır. Nusselt sayısının 1 olması halinde kapalı aralıktaki ısı transferi salt iletme karşılık gelmektedir. Bu durumda kapalı aralıktaki hava hareketsiz kalarak, iki cam plaka içinde taşınım ile meydana gelen termal transferin önüne geçilmektedir. Nu=1 noktasından sonra taşınım ile ısı transferi gerçekleştiği için toplam ısı transfer katsayısı, dolayısıyla toplam ısı transferi değerinde artış görülmektedir. Toplam ısı transfer değerinde azalıştan artışa geçen noktada (Nu=1) elde edilen iki cam plaka arasındaki uzaklık, pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığını vermektedir.

Hava boşluğunun karşılıklı cam yüzey sıcaklıkları bölümler içerisinde alıntılanan kaynaklardan belirlenmiştir. İç ortam ile teması bulunan cam yüzey için sıcaklık her il için sabit 20 °C kabul edilmiştir. Dış ortam ile teması bulunan cam yüzey için her ilin iklim koşullarına göre farklı sıcaklık değerleri kabul edilmiştir. Çalışmada iç ortamdaki havadan taşınım ile, birinci cam plakadan iletim ile, iki cam plaka arasında iletim ve ışınlama birlikte veya taşınım ile ışınlama birlikte, ikinci cam plakadan iletim ile, dış ortamdaki havadan tekrardan taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Böylece iç ve dış ortam arasında birden çok yöntem ile ısı transferi gerçekleşmektedir.

2.1.2. Düşey konumda kapalı iki cam plaka arasında ısı transferi

Pencerelerde ısı iletim ile ışınlama veya taşınım ile ışınlama yoluyla kaybedilir. Bu çalışmada analizler belirli bir hava tabakası (cam plakalar arası hava boşluğu mesafesi) aralığında yapılmıştır. Böylece optimum hava tabakası kalınlığıyla birlikte optimum hava tabakası kalınlığının altı ve üstü için de hesaplamalar yapılmaktadır. Çift camlı bir pencerenin hava aralığındaki ısı transferinin bir kısmı ışınlama ile kalan kısmı iletimle veya herhangi bir hava hareketi var ise taşınım ile olmaktadır. Optimum hava tabakasında hava boşluğu, katı bir cisim gibi davranacağından ısı kaybı iletim artı ışınlama; optimum hava tabakası üzerinde ısı kaybı taşınım artı ışınlama yoluyla oluşmaktadır.

Optimum hava tabakası kalınlığındaki pencerelerde ısı transferi (Q_{opt} , W) eşitlik 2.6'da, iletimden kaynaklanan ısı transfer katsayısı (U_{iletim} , $W/m^2 \cdot K$) eşitlik 2.7'de, ışıınımdan kaynaklanan ısı transfer katsayısı ($U_{ışınımm}$, $W/m^2 \cdot K$) eşitlik 2.8'de, toplam ısı transfer katsayısı (U_{top} , $W/m^2 \cdot K$) eşitlik 2.9'da verilen denklemler ile belirlenmektedir [18].

$$Q_{opt} = U_{top} \times A_{pencere} \times (T_{iç} - T_{dış}) \quad (2.6)$$

$$U_{iletim} = \frac{1}{\frac{l_{hava}}{k_{hava}}} \quad (2.7)$$

$$U_{ışınımm} = \frac{1}{\left(\frac{2 \times (1 - \varepsilon_1)}{\varepsilon_1} + \frac{2 \times (1 - \varepsilon_2)}{\varepsilon_2} + \frac{1}{F_{ij}}\right)} \times \frac{\sigma \times (T_1^4 - T_2^4)}{(T_1 - T_2)} \quad (2.8)$$

$$U_{top} = \frac{1}{\frac{1}{h_{iç}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + \frac{1}{U_{iletim} + U_{ışınımm}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + \frac{1}{h_{dış}}} \quad (2.9)$$

Optimum hava tabakası kalınlığının üzerindeki pencerelerde ısı transferi ($Q_{taşınımm}$, W) eşitlik 2.10'da, taşınımdan kaynaklanan ısı transfer katsayısı ($U_{taşınımm}$, $W/m^2 \cdot K$) eşitlik 2.11'de, ışıınımdan kaynaklanan ısı transfer katsayısı ($U_{ışınımm}$, $W/m^2 \cdot K$), eşitlik 2.12'de, toplam ısı transfer katsayısı (U_{top} , $W/m^2 \cdot K$) eşitlik 2.13'de verilen denklemler ile belirlenmektedir [18].

$$Q_{taşınımm} = U_{top} \times A_{pencere} \times (T_{iç} - T_{dış}) \quad (2.10)$$

$$U_{taşınımm} = \frac{1}{\frac{l_{hava}}{k_{hava}}} \quad (2.11)$$

$$U_{ışınımm} = \frac{1}{\left(\frac{2 \times (1 - \varepsilon_1)}{\varepsilon_1} + \frac{2 \times (1 - \varepsilon_2)}{\varepsilon_2} + \frac{1}{F_{ij}}\right)} \times \frac{\sigma \times (T_1^4 - T_2^4)}{(T_1 - T_2)} \quad (2.12)$$

$$U_{top} = \frac{1}{\frac{1}{h_{iç}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + \frac{1}{U_{taşınımm} + U_{ışınımm}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + \frac{1}{h_{dış}}} \quad (2.13)$$

(2.6) ve (2.10) eşitliklerinde gösterilen $A_{pencere}$ (m^2) pencerenin cam alanını, $T_{iç}$ (K) iç ortam sıcaklığını, $T_{dış}$ (K) dış ortam sıcaklığını ifade etmektedir. (2.9) ve (2.13) eşitliklerinde gösterilen $h_{iç}$ ($W/m^2 \cdot K$) iç havanın ısı taşınım katsayısını, $h_{dış}$ ($W/m^2 \cdot K$) dış havanın ısı taşınım katsayısını, l_{cam} (m) camın kalınlığını, k_{cam} ($W/m \cdot K$) camın ısı iletim katsayısını ifade etmektedir. (2.7) eşitliğinde gösterilen k_{hava} ($W/m \cdot K$) havanın ısı iletim katsayısını, l_{hava} (m) hava boşluğu mesafesini ifade etmektedir. (2.11)

eşitliğinde gösterilen h_{hava} ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) hava taşınım katsayısını ifade etmektedir. Pencere yüksekliği 1,2 metre, pencere genişliği 0,5 metre alınarak A_{pencere} $0,6 \text{ m}^2$ belirlenmiştir.

(2.8) ve (2.13) eşitliklerinde gösterilen σ ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^4$) Stefan-Boltzmann sabiti olup, $5,670 \times 10^{-8}$ değerindedir.

(2.8) ve (2.13) eşitliklerinde gösterilen Fij görünüm faktörünü, ε_1 ve ε_2 sırasıyla cam yüzeylerinin yayıcılığını ifade etmektedir. Sıradan bir cam yüzeyinin yayıcılık değeri 0,84' tür.

(2.8) ve (2.13) eşitliklerinde gösterilen T_1 ve T_2 ışınımın gerçekleştiği ve birbirine paralel iki yüzeyin sıcaklıklarını ifade etmektedir.

2.2. Optimum Hava Tabakası Sayısının Belirlenmesi

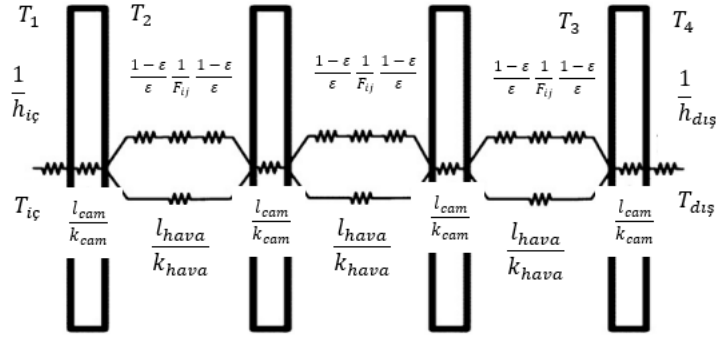
Optimum hava tabakası sayısı belirlenirken, çok camlı pencereler için işletme maliyeti (Isı transferinden kaynaklanan enerji maliyeti) ile ilk maliyet (Camdan kaynaklanan yatırım maliyeti) toplanarak pencerenin toplam ısıtma maliyeti denklemi çıkarılmaktadır. Çıkarılan denklemler ile hesaplama yapılırken çift cam için belirlenen optimum hava tabakası kalınlığı, çok camlı pencerelerde her bir cam plaka arası mesafe olarak kabul edilmiştir. Cam sayısının arttırılmasıyla ısı transferinden kaynaklanan enerji maliyeti azalırken, camlardan kaynaklanan yatırım maliyeti artmaktadır. Maliyette değerinde azalıştan artışa geçen noktada optimum hava tabakası sayısı belirlenmiştir.

2.2.1. Çok camlı pencerenin birim alan başına işletme maliyeti

Çok katmanlı (cam) pencere için toplam ısı geçiş katsayısı (U_{top} , $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) eşitlik 2.14'de verilen denklem ile belirlenmektedir [18].

$$U_{\text{top}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{iç}}} + \frac{l_{\text{cam}}}{k_{\text{cam}}} + \frac{1}{U_{\text{iletim}}} + \frac{l_{\text{cam}}}{k_{\text{cam}}} + \frac{1}{h_{\text{dış}}}} \quad (2.14)$$

(2.14) eşitliğindeki pencerelerde taşınım, iletim ve ışınmadan kaynaklanan toplam ısı geçişi Şekil. 2.1'de görsellenmiştir.



Şekil 2.1: Pencereden gerçekleşen toplam ısı transferi.

(2.14) eşitliğinde gösterilen iletim ve ışıınımdan kaynaklanan ısı geçiş katsayıları (U_{iletim} ve $U_{\text{ışıınım}}$, W/m^2K) eşitlik 2.15'te ve eşitlik 2.16' da verilen denklemler ile belirlenmektedir [18].

$$U_{\text{iletim}} = \frac{1}{\frac{l_{\text{hava}}}{k_{\text{hava}}} + (n-2) \times \left(\frac{l_{\text{cam}}}{k_{\text{cam}}} + \frac{l_{\text{hava}}}{k_{\text{hava}}} \right)} \quad (2.15)$$

$$U_{\text{ışıınım}} = \frac{1}{\left(\frac{2 \times (1-\varepsilon)}{\varepsilon} + (2 \times (n-2) \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon}) + \frac{n-1}{F_{ij}} \right)} \times \frac{\sigma \times (T_1^4 - T_2^4)}{(T_1 - T_2)} \quad (2.16)$$

(2.15) ve (2.16) eşitliğinde gösterilen n penceredeki cam sayısını, F_{ij} ise görünüm faktörünü ifade etmektedir. Görünüm faktörü 1 alınmıştır. Bu çalışmada da her iki camın yayıcılık değeri 0,84 alınmıştır. ε_1 ve ε_2 aynı değer kabul edildiği için eşitliğinde 2.16'da verilen denklemde ε simgesiyle gösterilmiştir.

Çok katmanlı pencere için birim alandan gerçekleşen ısı kaybı (q_A , kWh/m^2) eşitlik 2.17'de verilen denklem ile belirlenmektedir [18].

$$q_A = U_{\text{top}} \times IDS \times \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (2.17)$$

(2.17) eşitliğinde gösterilen IDS Isıtma Derece Saat'ini ifade etmektedir. İl bazlı IDS değerleri 79 il için birbirinden farklı on bir tane iç ortam referans sıcaklığına göre Ertürk'ün doktora tez çalışmasıyla ortaya konulmuştur. Bu çalışmada ki hesaplamalarda her il için farklı IDS değerleri kullanılmıştır [12,17].

Çok katmanlı pencere için birim alan başına yıllık ısıtma enerjisi gereksinimi (E_A , kWh/m^2 -yıl) eşitlik 2.18'de verilen denklem ile belirlenmektedir [18].

$$E_A = \frac{U_{\text{top}}}{\eta} \times IDS \times \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (2.18)$$

(2.18.) eşitliğinde gösterilen η ısıtma sisteminin verimini ifade etmektedir. Değeri doğalgaz için 0,93 olarak belirlenmiştir.

Çok katmanlı pencere için birim alan başına yıllık ısıtma yakıt maliyeti (C_A , TL/m² yıl) eşitlik 2.19’de verilen denklem ile belirlenmektedir [18].

$$C_A = \frac{U_{top} \times IDS \times C_f}{\eta \times LHV} \quad (2.19)$$

(2.19) eşitliğinde gösterilen C_f doğalgaz yakıtın m³ başına birim maliyetini (TL/m³) vermektedir. Değeri BOTAŞ’ın resmi internet sayfasında yayınlanan ‘Doğal Gaz Toptan Satış Fiyat Tarifesi’ bülteninden elde edilen verilere göre m³ başına 9,484094 TL olarak belirlenmiştir. LHV yakıtın alt ısıl değerini (kWh/m³) vermektedir. Değeri doğalgaz yakıtı için 9,5913 kWh/m³ olarak belirlenmiştir.

Bugünkü Değer Faktörü (PWF) eşitlik 2.20’ de verilen denklem ile belirlenmektedir [18].

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} \quad (2.20)$$

(2.20) eşitliğinde verilen N ömür yılını ifade etmektedir. N,10 yıl alınmıştır. r gerçek faiz oranını ifade etmektedir. Gerçek faiz oranı yıllık faiz oranı (i), yıllık enflasyon oranı (g) değerinden küçük olduğu için eşitlik (2.21)’de verilen denklem ile belirlenmektedir [18].

$$r = \frac{g-i}{1+i} \quad (2.21)$$

Merkez Bankası bilgilerine göre; Nisan ayı yıllık yüzde enflasyon oranı (g) 43,68 olarak belirlenmiştir. 25 Mayıs 2023 tarihli faiz oranlarına ilişkin basın duyurusu ile yıllık faiz oranı (i) 8,5 düzeyinde sabit tutulmuştur [20].

Belirlenen yıllık faiz ve enflasyon oranlarına göre bugünkü değer faktörü (PWF) 0,27 olarak hesaplanmıştır.

Çok camlı pencereler için işletme maliyeti birim alan başına yıllık ısıtma yakıt maliyeti ile bugünkü değer faktörünün (PWF) çarpılmasıyla bulunmaktadır [18].

2.2.2. Çok camlı pencerenin birim alan başına ilk yatırım maliyeti

Bu çalışmada Türkiye pazarındaki üreticilerin pazarlama anketinden elde edilen fiyatlar baz alınarak çok camlı pencere yatırım maliyeti elde edilmiştir. Cam sayısına göre pencere yatırım maliyeti (C_P , (TL/m²)) eşitlik (2.22)'de verilen denklem ile belirlenmektedir [18].

$$C_P = (19,25 \times n) + 49 \quad (2.22)$$

(2.22) eşitliğinde ki n cam sayısını ifade etmektedir. Çoklu bölmelerden (camlardan) ve çerçevelemeden oluşan maliyetin eşitlik (2.22)'de gösterildiği gibi bölme sayısı ile doğrusal olarak arttığı varsayılmıştır. Denklemin korelasyon katsayısı (R^2) 0.89 olarak belirlenmiştir [18].

2.2.3. Çok camlı pencerenin birim alan başına toplam ısıtma maliyeti

Çok camlı pencerenin toplam maliyeti (C_T , (TL/m²)) eşitlik (2.23)' de verilen denklem ile belirlenmektedir.

$$C_T = C_A \times PWF + C_P \quad (2.23)$$

(2.23) eşitliğinde gösterilen denklemde ki bütün faktörler yerine yazıldığında (2.24) gösterilen eşitlik oluşmaktadır. Burada $h_{iç}=7$ W/ m.K, $h_{dış}=20$ W/m.K, $l_{cam}=0,04$ m, $k_{cam}= 0,78$ W/m².K, tüm iller için değişken değerlere sahip oldukları için $l_{hava}=C_1$, $k_{hava}=C_2$, $IDS=C_3$ katsayısı şeklinde belirlenmiştir.

$$C_T = \frac{\left(\frac{\frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,04}{0,78} + \frac{1}{\frac{1}{(0,05128 + \frac{C_1}{C_2}) \times n} + \frac{C_1}{C_2} + 0,1026} + \frac{1}{(1,38095 \times n) - 1,38095}} + \frac{0,04}{0,78} + \frac{1}{20} \right) \times C_3 \times 9,484094}{0,93 \times 9,59} \times 0,27 + (19,25 \times n + 49) \quad (2.24)$$

(2.24) eşitliği düzenlendiğinde yıllık ısıtma maliyeti denklemi (2.25) eşitliğinde gösterildiği gibi elde edilmektedir.

$$C_T = \frac{249,2529 \times n^3 + \left(444,5779 + \left(29,2716 \times \frac{C_1}{C_2} \right) \right) \times n^2 + \left(\left(13,4441 \times \frac{C_1 \times C_3}{C_2} \right) - \left(331,7641 \times \frac{C_1}{C_2} \right) + \left(4,2247 \times C_3 \right) - 1139,1784 \right) \times n - \left(\frac{\left(13,4441 \times \frac{C_1 \times C_3}{C_2} \right) + \left(844,4905 \times \frac{C_1}{C_2} \right) + \left(4,9145 \times C_3 \right) + 1859,0649}{12,2529 \times n^2 - \left(9,8641 - \left(1,5206 \times \frac{C_1}{C_2} \right) \right) \times n - \left(\left(17,2345 \times \frac{C_1}{C_2} \right) + 37,9401 \right)} \right) \quad (2.25)$$

Çıkarılan yıllık ısıtma maliyeti denkleminin cam sayısına (n) göre iki kere türevi alınarak sifıra eşitlenmesiyle optimum hava tabakası (N_{opt}) elde edilmektedir. (2.25)

eşitliğinde ki denklemin cam sayısına (n) göre iki kere türevi alınarak $\frac{\partial^2(C_T)}{\partial n^2}$ şeklinde optimum hava tabakası sayısı denklemi elde edilmektedir. (2.25) eşitliğinde gösterilen yıllık ısıtma maliyeti denkleminde birden fazla bilinmeyen katsayı olduğu için iki kere türev alarak elde edilecek optimum hava tabakası sayısı denklemi her il için bilinmeyen katsayı değerlerini yerine koyarak ayrı ayrı ilerleyen bölümde bulunmuştur.



BÖLÜM 3. ANALİZ

Bu çalışmada Akdeniz, Doğu Anadolu, Ege, Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Karadeniz ve Marmara Bölgesindeki seksen bir il için pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığı ve optimum hava tabakası sayısı yaklaşımı getirilmiştir.

3.1. Optimum Hava Tabakası Kalınlığının Her İl İçin Analizi

Analiz için iç hava tasarım sıcaklıkları sabit 20 °C, dış hava tasarım sıcaklıkları kış sıcaklık değerleri [21,26] alınarak film sıcaklık (ortalama sıcaklık) değerleri hesaplanmıştır. Kapalı aralıktaki atmosfer basıncı 1 atm'dir. Film sıcaklık değerlerine göre havanın 1 atm basınçta özellikleri tablosundan her il için ayrı ayrı havanın termofiziksel özellikleri okunmuştur.

Tablo 3.1'de Akdeniz Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1: Akdeniz Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri [11].

İl	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/K)	Kinematik Viskozite (m ² /s)	Isıl İletkenlik (W/m. K)	Prandl Sayısı (-)
Adana	20	0	0,003533569	0,00001426	0,024390	0,73360
Antalya	20	3	0,003514938	0,000014392	0,024501	0,73321
Burdur	20	-9	0,003590664	0,000013864	0,024048	0,73486
Hatay	20	0	0,003533569	0,00001426	0,024390	0,73360
Isparta	20	-9	0,003590664	0,000013864	0,024048	0,73486
Mersin	20	3	0,003514938	0,000014392	0,024501	0,73321
Osmaniye	20	-3	0,003552398	0,000014128	0,024276	0,73402
Kahramanmaraş	20	-9	0,003590664	0,000013864	0,024048	0,73486
Kilis	20	-6	0,003571429	0,000013996	0,024162	0,73444

Tablo 3.2'de Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.2: Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri [11].

İl	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/K)	Kinematik Viskozite (m ² /s)	Isıl İletkenlik (W/m. K)	Prandl Sayısı (-)
Ağrı	20	-24	0,0000132080	0,003690037	0,023488	0,736700
Ardahan	20	-21	0,0000133370	0,003669725	0,023602	0,736325
Bingöl	20	-18	0,0000134680	0,003649635	0,023714	0,735960
Bitlis	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Elazığ	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Erzincan	20	-18	0,0000134680	0,003649635	0,023714	0,735960
Erzurum	20	-21	0,0000133370	0,003669725	0,023602	0,736325
Hakkari	20	-24	0,0000132080	0,003690037	0,023488	0,736700
Iğdır	20	-18	0,0000134680	0,003649635	0,023714	0,735960
Kars	20	-27	0,0000129672	0,003710575	0,023374	0,737075
Malatya	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Muş	20	-18	0,0000134680	0,003649635	0,023714	0,735960
Tunceli	20	-18	0,0000134680	0,003649635	0,023714	0,735960
Van	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600

Tablo 3.3'te Ege Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.3: Ege Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri [11].

İl	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/K)	Kinematik Viskozite (m ² /s)	Isıl İletkenlik (W/m. K)	Prandl Sayısı (-)
Afyon	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Aydın	20	-3	0,0035523980	0,000014128	0,024276	0,734020
Denizli	20	-6	0,0035714290	0,000013996	0,024162	0,734440
İzmir	20	0	0,0000142600	0,003533569	0,024390	0,733600
Kütahya	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Manisa	20	-3	0,0035523980	0,000014128	0,024276	0,734020
Muğla	20	-3	0,0035523980	0,000014128	0,024276	0,734020
Uşak	20	-9	0,0035906640	0,000013864	0,024048	0,734860

Tablo 3.4'te Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.4: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri [11].

İl	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/K)	Kinematik Viskozite (m ² /s)	Isıl İletkenlik (W/m. K)	Prandl Sayısı (-)
Adıyaman	20	-9	0,003590664	0,000013807	0,024496	0,718550
Batman	20	-9	0,003590664	0,000013807	0,024496	0,718550
Diyarbakır	20	-9	0,003590664	0,000013807	0,024496	0,718550
Gaziantep	20	-9	0,003590664	0,000013807	0,024496	0,718550
Kilis	20	-6	0,003571429	0,000013996	0,024162	0,734440
Mardin	20	-6	0,003571429	0,000013996	0,024162	0,734440
Siirt	20	-9	0,003590664	0,000013807	0,024496	0,718550
Şanlıurfa	20	-6	0,003571429	0,000013996	0,024162	0,734440
Şırnak	20	-6	0,003571429	0,000013996	0,024162	0,734440

Tablo 3.5'te İç Anadolu Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.5: İç Anadolu Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri [11].

İl	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/K)	Kinematik Viskozite (m ² /s)	Isıl İletkenlik (W/m. K)	Prandl Sayısı (-)
Aksaray	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Ankara	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Çankırı	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Eskişehir	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Karaman	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Kayseri	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Kırıkkale	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Kırşehir	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Konya	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Nevşehir	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Niğde	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Sivas	20	-18	0,0000134680	0,003649635	0,023714	0,735960
Yozgat	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600

Tablo 3.6'da Karadeniz Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.6: Karadeniz Bölgesi'ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri [11].

İl	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/K)	Kinematik Viskozite (m ² /s)	Isıl İletkenlik (W/m. K)	Prandl Sayısı (-)
Amasya	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Artvin	20	-9	0,0035906640	0,000013807	0,024496	0,718550
Bartın	20	-9	0,0035906640	0,000013807	0,024496	0,718550
Bayburt	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Bolu	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Çorum	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Düzce	20	-9	0,0035906640	0,000013807	0,024496	0,718550
Giresun	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Gümüşhane	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Karabük	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Kastamonu	20	-12	0,0000137320	0,003610108	0,023936	0,735240
Ordu	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Rize	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Samsun	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Sinop	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Tokat	20	-15	0,0000136000	0,003629764	0,024015	0,735600
Trabzon	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Zonguldak	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910

Tablo 3.7’de Marmara Bölgesi’ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.7: Marmara Bölgesi’ndeki iller için havanın termofiziksel özellikleri [11].

İl	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/K)	Kinematik Viskozite (m ² /s)	Isıl İletkenlik (W/m. K)	Prandl Sayısı (-)
Balıkesir	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Bilecik	20	-9	0,0035906640	0,000013807	0,024496	0,718550
Bursa	20	-6	0,0035714290	0,000013996	0,024162	0,734440
Çanakkale	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Edirne	20	-9	0,0035906640	0,000013807	0,024496	0,718550
İstanbul	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Kırklareli	20	-9	0,0035906640	0,000013807	0,024496	0,718550
Kocaeli	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Sakarya	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910
Tekirdağ	20	-6	0,0035714290	0,000013996	0,024162	0,734440
Yalova	20	-3	0,0035523980	0,000014073	0,024726	0,717910

Pencere alanı 0,6 m² ve cam kalınlığı 4 mm alınarak, belirlenen genleşme katsayısı, kinematik viskozite, ısı iletkenlik ve prandtl sayısı değerleri ile farklı hava tabakası kalınlıkları için eşitlik (1.1-1.5) arası verilen denklemler hesaplanmıştır. Yukarıda ki hesaplama yönteminde bahsedildiği gibi Nusselt sayısının 1 olduğu noktada optimum hava tabakası kalınlığı belirlenmiştir.

3.1.1. Optimum hava tabakası kalınlığının toplam ısı transferine etkisinin araştırılması

Türkiye’deki yedi bölge ve tüm illeri için iki cam katman içindeki hava boşluğu mesafesini 1 mm’den başlayıp 40 mm’ye kadar tutarak, hava tabakası kalınlığının pencerelerdeki yalıtıma etkisinin analizi yapılmıştır. Her bölgeden en düşük ve en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip iki il için analiz sonuçları örnek olarak verilmiştir.

Aşağıdaki Tablo 3.8’de Akdeniz Bölgesi’nden en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Isparta ili için analiz sonuçları verilmiştir.

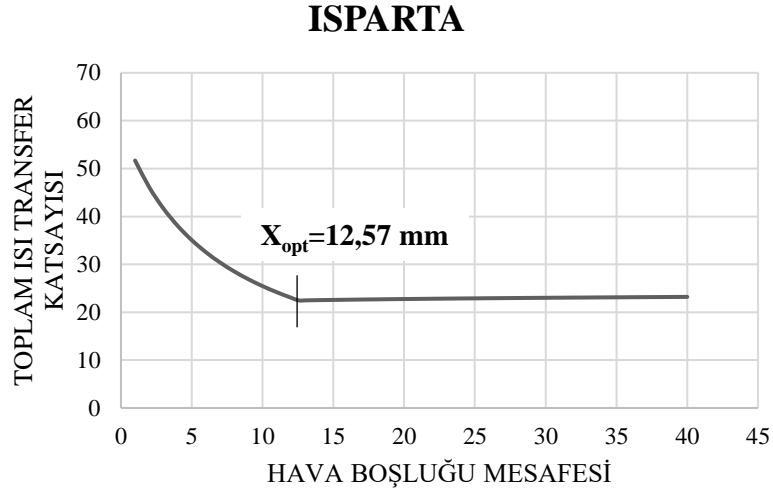
Tablo 3.8: Isparta ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,018171	52,51617
2	2,788590	48,52146
3	2,631369	45,78581
4	2,516955	43,79501
5	2,429960	42,28130
6	2,361582	41,09153
7	2,306423	40,13177
8	2,260988	39,34119
9	2,222913	38,67869
10	2,190545	38,11548
11	2,162689	37,63078
12	2,138463	37,20926
12,566509	2,126090	36,99397
13	2,126528	37,00159
14	2,127511	37,01869
15	2,128428	37,03464
16	2,129287	37,04960
17	2,130096	37,06367
18	2,130859	37,07695
19	2,131583	37,08954
20	2,132270	37,10151
21	2,132925	37,11290
22	2,133551	37,12378
23	2,134149	37,13419
24	2,134722	37,14417
25	2,135273	37,15375
26	2,135803	37,16296
27	2,136313	37,17184
28	2,136805	37,18041
29	2,137280	37,18868
30	2,137740	37,19668
31	2,138185	37,20442
32	2,138617	37,21193
33	2,139035	37,21921
34	2,139441	37,22628
35	2,139836	37,23315
36	2,140220	37,23983
37	2,140594	37,24634
38	2,140958	37,25267
39	2,141313	37,25885
40	2,141659	37,26487

Tablo 3.8’de gösterildiği gibi; Isparta ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m²K), $Q=52,52$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 12,57 mm’ye göre $U=2,13$ (W/m²K), $Q=36,99$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,14$ (W/m²K), $Q=37,27$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.1’de Isparta ilinde 12,57 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 12,57 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Isparta ili için 12,57 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.1 : Isparta ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 12,57 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 12,57 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınımına dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 3.9'da Akdeniz Bölgesi'nden en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Antalya ili için analiz sonuçları verilmiştir.

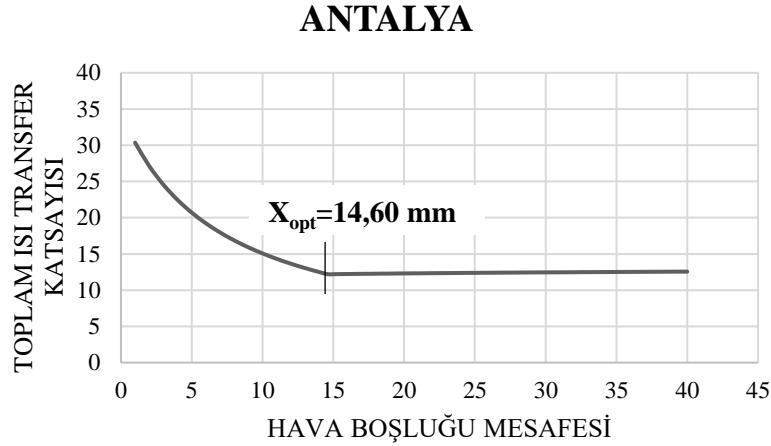
Tablo 3.9: Antalya ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,023414479	30,83882769
2	2,795539196	28,51449980
3	2,638779676	26,91555269
4	2,524338566	25,74825337
5	2,437117558	24,85859909
6	2,368437301	24,15806047
7	2,312953908	23,59212986
8	2,267197128	23,12541071
9	2,228815375	22,73391683
10	2,196158579	22,40081751
11	2,168034751	22,11395446
12	2,143561335	21,86432562
13	2,122070923	21,64512342
14	2,103049457	21,45110446
14,602666	2,092605913	21,34458031
15	2,092814232	21,34670516
16	2,093604686	21,35476780
17	2,094348647	21,36235620
18	2,095051352	21,36952379
19	2,095717197	21,37631541
20	2,096349910	21,38276909
21	2,096952676	21,38891730
22	2,097528241	21,39478805
23	2,098078986	21,40040566
24	2,098606993	21,40579133
25	2,099114092	21,41096374
26	2,099601897	21,41593935
27	2,100071845	21,42073281
28	2,100525213	21,42535717
29	2,100963148	21,42982411
30	2,101386681	21,43414415
31	2,101796743	21,43832678
32	2,102194175	21,44238059
33	2,102579744	21,44631339
34	2,102954148	21,45013230
35	2,103318022	21,45384383
36	2,103671953	21,45745392
37	2,104016477	21,46096807
38	2,104352088	21,46439129
39	2,104679241	21,46772826
40	2,104998360	21,47098327

Tablo 3.9’da gösterildiği gibi; Antalya ili 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m²K), $Q=30,84$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 14,60 mm’ye göre $U=2,09$ (W/m²K), $Q_{opt}=21,34$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,10$ (W/m²K), $Q_{opt}=21,47$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.2’de Antalya ilinde 14,60 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 14,60 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Antalya ili için 14,60 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.2 : Antalya ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 14,60 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 14,60 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşımaya dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Tablo 3.10'da ki tabloda metnin uzamaması adına Akdeniz Bölgesi'ndeki her bir il için pencerelerin optimum noktadaki hava tabakası kalınlıkları ve toplam ısı transferleri için analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 3.10: Akdeniz Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabakası kalınlığı ve toplam ısı transferi.

İl	Optimum Hava Tabakası Kalınlığı X_{opt} (mm)	Toplam Isı Transferi Q_{opt} (W)
Afyon	13,97	14,69
Antalya	14,60	12,20
Burdur	12,57	22,46
Hatay	13,97	14,69
Isparta	12,57	22,46
Mersin	14,60	12,20
Osmaniye	13,44	17,23
Kahramanmaraş	12,57	22,46
Kilis	12,98	19,82

Aşağıdaki Tablo 3.11'de Doğu Anadolu Bölgesi'nden en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Kars ili için analiz sonuçları verilmiştir.

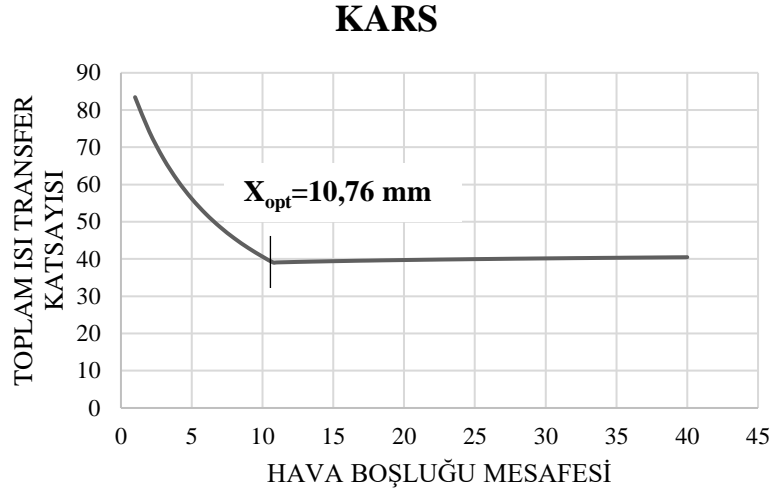
Tablo 3.11: Kars ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,010080839	84,88427967
2	2,777941395	78,33794733
3	2,620065360	73,88584316
4	2,505730614	70,66160332
5	2,419107386	68,21882827
6	2,351209890	66,30411889
7	2,296558379	64,76294628
8	2,251621151	63,49571645
9	2,214019544	62,43535113
10	2,182092886	61,53501939
10,758035	2,160928313	60,93817842
11	2,161232265	60,94674987
12	2,162470478	60,98166747
13	2,163612066	61,01386025
14	2,164671182	61,04372733
15	2,165659071	61,0715858
16	2,166584815	61,09769179
17	2,167455858	61,12225521
18	2,168278376	61,14545022
19	2,169057552	61,16742296
20	2,169797776	61,18829728
21	2,170502801	61,20817900
22	2,171175862	61,22715932
23	2,171819765	61,24531737
24	2,172436959	61,26272225
25	2,173029599	61,27943469
26	2,173599585	61,29550830
27	2,174148606	61,31099069
28	2,174678167	61,32592431
29	2,175189617	61,34034720
30	2,175684168	61,35429353
31	2,176162913	61,36779415
32	2,176626845	61,38087702
33	2,177076862	61,39356750
34	2,177513785	61,40588873
35	2,177938363	61,41786184
36	2,178351283	61,42950619
37	2,178753176	61,44083957
38	2,179144622	61,45187834
39	2,179526157	61,46263762
40	2,179898276	61,47313138

Tablo 3.11’de gösterildiği gibi; Kars ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,01$ (W/m²K), $Q=84,88$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 10,76 mm’ye göre $U=2,16$ (W/m²K), $Q_{opt}=60,94$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,18$ (W/m²K), $Q=61,47$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.3’te Kars ilinde 10,76 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 10,76 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Kars ili için 10,76 mm optimum hava tabakası kalınlığı (x_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.3 : Kars ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 10,76 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 10,76 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınımına dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 3.12'de Doğu Anadolu Bölgesi'nden en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Elazığ ili için analiz sonuçları verilmiştir.

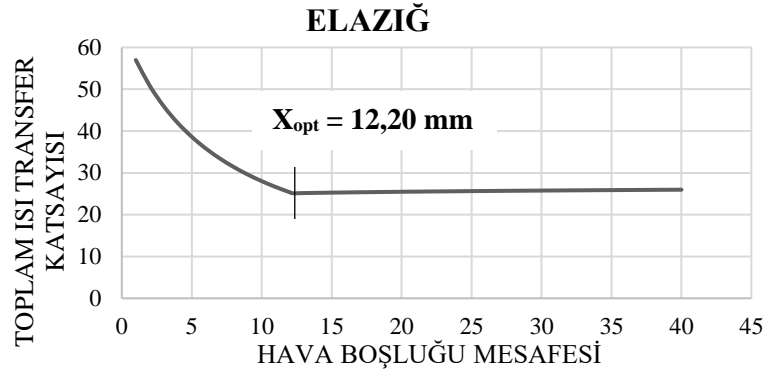
Tablo 3.12: Elazığ ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,016850614	57,92353179
2	2,786846288	53,50744873
3	2,629513494	50,48665908
4	2,515109329	48,29009911
5	2,428173248	46,62092636
6	2,359873042	45,30956240
7	2,304796534	44,25209345
8	2,259442294	43,38129205
9	2,221444802	42,65174020
10	2,189148372	42,03164874
11	2,161359478	41,49810197
12	2,137196017	41,03416353
12,202477	2,132682239	40,94749898
13	2,133525243	40,96368466
14	2,134522908	40,98283983
15	2,135453605	41,00070921
16	2,136325865	41,01745661
17	2,137146682	41,03321629
18	2,137921858	41,04809968
19	2,138656265	41,06220028
20	2,139354028	41,07559733
21	2,140018675	41,08835856
22	2,140653246	41,10054233
23	2,141260379	41,11219928
24	2,141842378	41,12337366
25	2,142401267	41,13410432
26	2,142938833	41,14442560
27	2,143456666	41,15436798
28	2,143956179	41,16395864
29	2,144438642	41,17322194
30	2,144905195	41,18217975
31	2,145356867	41,19085185
32	2,145794589	41,19925612
33	2,146219209	41,20740882
34	2,146631499	41,21532477
35	2,147032162	41,22301750
36	2,147421845	41,23049942
37	2,147801142	41,23778192
38	2,148170598	41,24487549
39	2,148530719	41,25178981
40	2,148881970	41,25853383

Tablo 3.12’de gösterildiği gibi; Elazığ ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m²K), $Q=57,92$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 12,20 mm’ye göre $U=2,13$ (W/m²K), $Q_{opt}=40,95$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,15$ (W/m²K), $Q=41,26$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.4’te Elâzığ ilinde 12,20 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 12,20 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Elâzığ ili için 12,20 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.4 : Elazığ ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 12,20 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 12,20 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınım dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır. Tablo 3.13'te ki tabloda metnin uzamaması Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki her bir il için pencerelerin optimum noktadaki hava tabakası kalınlıkları ve toplam ısı transferleri için analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 3.13: Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabakası kalınlığı ve toplam ısı transferi.

İl	Optimum Hava Tabakası Kalınlığı X_{opt} (mm)	Toplam Isı Transferi Q_{opt} (W)
Ağrı	11,04	36,15
Ardahan	11,29	33,35
Bingöl	11,57	30,58
Bitlis	11,87	27,96
Elazığ	12,20	25,13
Erzincan	11,57	30,58
Erzurum	11,29	33,35
Hakkari	11,04	36,15
İğdır	11,57	30,58
Kars	10,76	39,07
Malatya	12,20	25,13
Muş, Tunceli	11,57	30,58
Van	11,87	27,96

Aşağıdaki Tablo 3.14'te Ege Bölgesi'nden en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Afyon ili için analiz sonuçları verilmiştir.

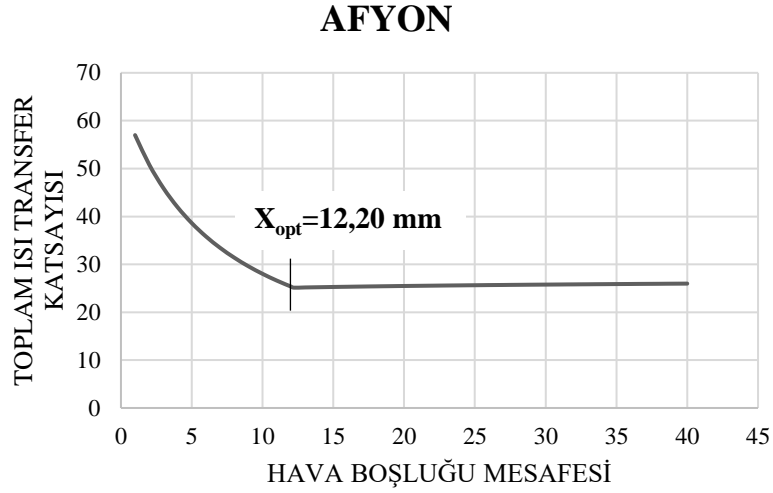
Tablo 3.14: Afyon ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,016850614	57,92353179
2	2,786846288	53,50744873
3	2,629513494	50,48665908
4	2,515109329	48,29009911
5	2,428173248	46,62092636
6	2,359873042	45,30956240
7	2,304796534	44,25209345
8	2,259442294	43,38129205
9	2,221444802	42,65174020
10	2,189148372	42,03164874
11	2,161359478	41,49810197
12	2,137196017	41,03416353
12,202477	2,132682239	40,94749898
13	2,133525243	40,96368466
14	2,134522908	40,98283983
15	2,135453605	41,00070921
16	2,136325865	41,01745661
17	2,137146682	41,03321629
18	2,137921858	41,04809968
19	2,138656265	41,06220028
20	2,139354028	41,07559733
21	2,140018675	41,08835856
22	2,140653246	41,10054233
23	2,141260379	41,11219928
24	2,141842378	41,12337366
25	2,142401267	41,13410432
26	2,142938833	41,14442560
27	2,143456666	41,15436798
28	2,143956179	41,16395864
29	2,144438642	41,17322194
30	2,144905195	41,18217975
31	2,145356867	41,19085185
32	2,145794589	41,19925612
33	2,146219209	41,20740882
34	2,146631499	41,21532477
35	2,147032162	41,22301750
36	2,147421845	41,23049942
37	2,147801142	41,23778192
38	2,148170598	41,24487549
39	2,148530719	41,25178981
40	2,148881970	41,25853383

Tablo 3.14'te gösterildiği gibi; Afyon ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m²K), $Q=57,93$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 12,20 mm'ye göre $U=2,13$ (W/m²K), $Q_{opt}=40,95$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,15$ (W/m²K), $Q=41,23$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.5'te Afyon ilinde 12,20 mm'ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 12,20 mm'den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Afyon ili için 12,20 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.5 : Afyon ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 12,20 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 12,20 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınımına dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 3.15'te Ege Bölgesi'nden en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip İzmir ili için analiz sonuçları verilmiştir.

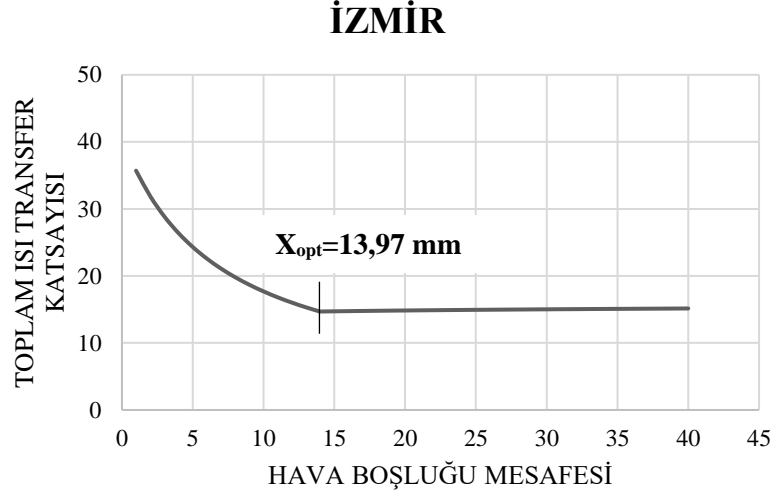
Tablo 3.15: İzmir ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,022143481	36,26572177
2	2,793851387	33,52621664
3	2,636977225	31,64372670
4	2,522540879	30,27049054
5	2,435373581	29,22448297
6	2,366766079	28,40119295
7	2,311361048	27,73633257
8	2,265682058	27,18818470
9	2,227374731	26,72849677
10	2,194787848	26,33745417
11	2,166729080	26,00074896
12	2,142315935	25,70779122
13	2,120881250	25,45057500
13,973936	2,102378000	25,22853600
14	2,102400383	25,22880460
15	2,103265801	25,23918961
16	2,104076990	25,24892388
17	2,104840435	25,25808522
18	2,105561515	25,26673818
19	2,106244747	25,27493697
20	2,106893959	25,28272751
21	2,107512423	25,29014907
22	2,108102957	25,29723549
23	2,108668010	25,30401612
24	2,109209719	25,31051663
25	2,109729962	25,31675954
26	2,110230399	25,32276478
27	2,110712502	25,32855002
28	2,111177586	25,33413103
29	2,111626828	25,33952193
30	2,112061285	25,34473542
31	2,112481914	25,34978297
32	2,112889580	25,35467496
33	2,113285069	25,35942083
34	2,113669096	25,36402916
35	2,114042318	25,36850781
36	2,114405333	25,37286399
37	2,114758692	25,37710431
38	2,115102904	25,38123485
39	2,115438436	25,38526124
40	2,115765722	25,38918866

Tablo 3.15'te gösterildiği gibi; İzmir ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m²K), $Q=36,27$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 13,97 mm'ye göre $U=2,10$ (W/m²K), $Q_{opt}=25,23$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,12$ (W/m²K), $Q=25,39$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.6'te İzmir ilinde 13,97 mm'ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 13,97 mm'den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. İzmir ili için 13,97 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.6 : İzmir ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 13,97 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 13,97 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınım dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Tablo 3.16'da ki tabloda metnin uzamaması Ege Bölgesi'ndeki her bir il için pencerelerin optimum noktadaki hava tabakası kalınlıkları ve toplam ısı transferleri için analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 3.16: Ege Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.

İl	Optimum Hava Tabakası Kalınlığı X_{opt} (mm)	Toplam Isı Transferi Q_{opt} (W)
Afyon	12,20	25,13
Aydın	13,44	17,23
Denizli	12,98	19,82
İzmir	13,98	14,69
Kütahya	12,20	25,13
Manisa	13,44	17,23
Muğla	13,44	17,23
Uşak	12,57	22,46

Aşağıdaki Tablo 3.17'de Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Adıyaman ili için analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.17: Adıyaman ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

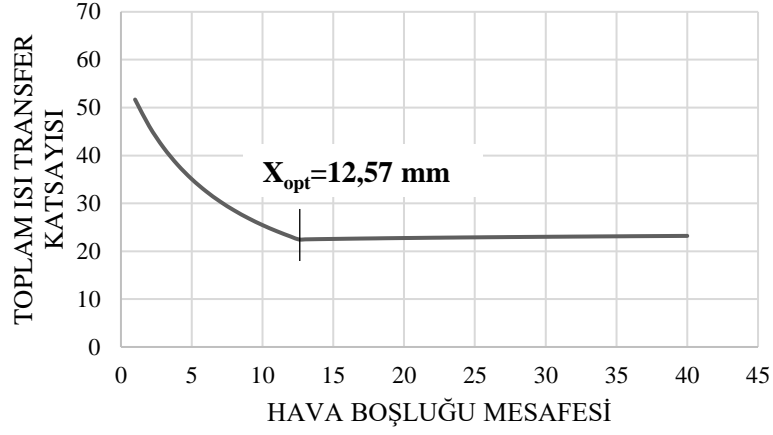
Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m. K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,018170640	52,51616913
2	2,788589800	48,52146251
3	2,631368572	45,78581316
4	2,516954538	43,79500895
5	2,429959668	42,28129823
6	2,361582184	41,09153000
7	2,306423421	40,13176753
8	2,260988075	39,34119250
9	2,222913330	38,67869194
10	2,190544568	38,11547549
11	2,162688531	37,63078044
12	2,138462997	37,20925614
12,566509	2,126090111	36,99396793
13	2,126528232	37,00159124
14	2,127511002	37,01869143
15	2,128427831	37,03464426
16	2,129287120	37,04959589
17	2,130095753	37,06366610
18	2,130859443	37,07695430
19	2,131582985	37,08954393
20	2,132270441	37,10150567
21	2,132925285	37,11289997
22	2,133550511	37,12377889
23	2,134148714	37,13418762
24	2,134722164	37,14416565
25	2,135272853	37,15374765
26	2,135802543	37,16296425
27	2,136312797	37,17184266
28	2,136805008	37,18040713
29	2,137280425	37,18867939
30	2,137740172	37,19667898
31	2,138185261	37,20442354
32	2,138616610	37,21192902
33	2,139035054	37,21920994
34	2,139441351	37,22627951
35	2,139836197	37,23314983
36	2,140220228	37,23983196
37	2,140594027	37,24633607
38	2,140958133	37,25267152
39	2,141313043	37,25884695
40	2,141659216	37,26487035

Tablo 3.17’de gösterildiği gibi; Adıyaman ili 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m^2K), $Q=52,52$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 12,57 mm’ye göre $U=2,13$ (W/m^2K), $Q=36,99$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,14$ (W/m^2K), $Q=37,26$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.7’de Adıyaman ilinde 12,57 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 12,57 mm’den sonraki hava tabakası

kalınlığında artışa geçtiği görülmektedir. Isparta ili için 12,57 mm optimum hava tabakası kalınlığı (x_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.

ADİYAMAN



şekil 3.7 : Adiyaman ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 12,57 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 12,57 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınımına dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 3.18'de Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip şanlıurfa ili için analiz sonuçları verilmiştir.

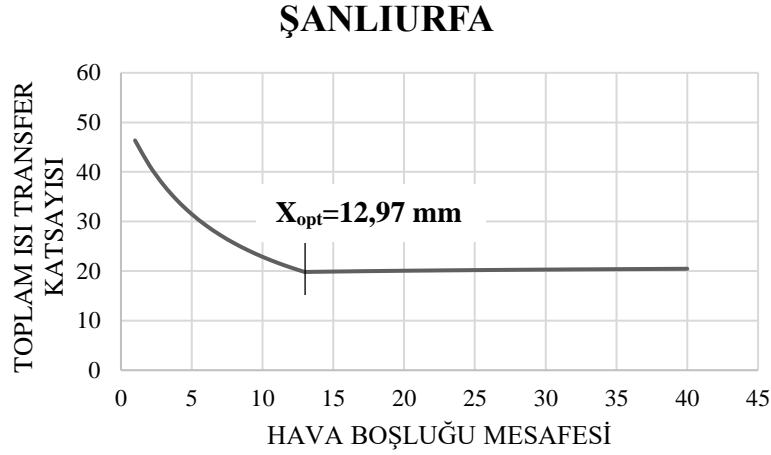
Tablo 3.18: Şanlıurfa ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m. K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,019504551	47,10427100
2	2,790354038	43,52952300
3	2,633247445	41,07866015
4	2,518824675	39,29366493
5	2,431771152	37,93562997
6	2,363316004	36,86772966
7	2,308074335	36,00595963
8	2,262557104	35,29589082
9	2,224404280	34,70070676
10	2,191962352	34,19461270
11	2,164038355	33,75899834
12	2,139749961	33,38009940
12,974744	2,118936868	33,05541514
13	2,118961194	33,05579462
14	2,119927596	33,07087050
15	2,120829188	33,08493533
16	2,121674222	33,09811787
17	2,122469465	33,11052365
18	2,123220530	33,12224026
19	2,123932129	33,13334121
20	2,124608256	33,14388879
21	2,125252323	33,15393624
22	2,125867273	33,16352947
23	2,126455659	33,17270827
24	2,127019708	33,18150745
25	2,127561382	33,18995755
26	2,128082409	33,19808558
27	2,128584328	33,20591551
28	2,129068507	33,21346871
29	2,129536175	33,22076433
30	2,129988435	33,22781959
31	2,130426284	33,23465003
32	2,130850623	33,24126971
33	2,131262272	33,24769144
34	2,131661978	33,25392686
35	2,132050424	33,25998662
36	2,132428235	33,26588047
37	2,132795986	33,27161738
38	2,133154205	33,27720560
39	2,133503381	33,28265274
40	2,133843965	33,28796585

Tablo 3.18’de gösterildiği gibi; Şanlıurfa ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m^2K), $Q=47,10$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 12,97 mm’ye göre $U=2,12$ (W/m^2K), $Q = 33,06$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,13$ (W/m^2K), $Q=33,29$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.8’de Şanlıurfa ilinde 12,97 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 12,97 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Şanlıurfa ili için 12,97 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.8 : Şanlıurfa ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 12,97 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 12,97 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınımına dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Tablo 3.19'da ki tabloda metnin uzamaması adına örnek seçilen Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki her bir il için pencerelerin optimum hava tabakası kalınlıkları ve toplam ısı transferleri için analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 3.19: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabakası kalınlığı ve toplam ısı transferi.

İl	Optimum Hava Tabakası Kalınlığı X_{opt} (mm)	Toplam Isı Transferi Q_{opt} (W)
Adıyaman	12,57	22,46
Batman	12,57	22,46
Diyarbakır	12,57	22,46
Gaziantep	12,57	22,46
Kilis, Mardin	12,98	19,82
Siirt	12,57	22,46
Şanlıurfa	12,98	19,82
Şırnak	12,98	19,82

Aşağıdaki Tablo 3.20'de İç Anadolu Bölgesi'nden en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Sivas ili için analiz sonuçları verilmiştir.

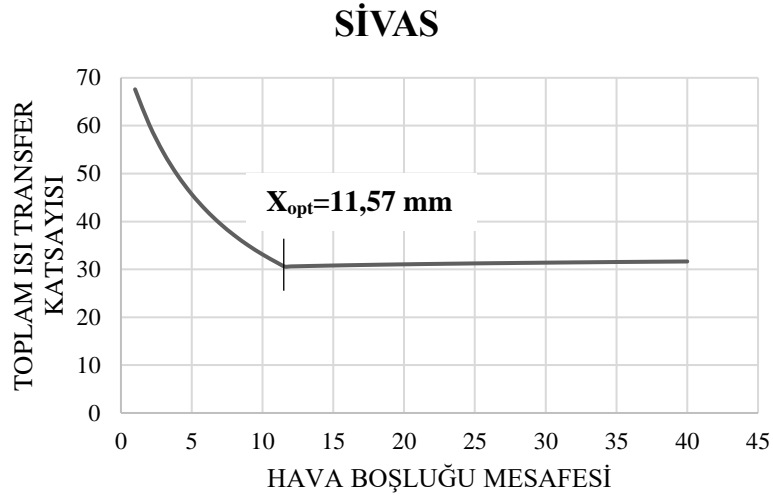
Tablo 3.20: Sivas ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m. K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,014205855	68,72389350
2	2,783360096	63,46061018
3	2,625809338	59,86845291
4	2,511428578	57,26057157
5	2,424612482	55,28116459
6	2,356468349	53,72747836
7	2,301557262	52,47550556
8	2,256365737	51,44513880
9	2,218522973	50,58232379
10	2,186371242	49,84926432
11	2,158716544	49,21873721
11,572398	2,144560741	48,89598489
12	2,145047030	48,90707229
13	2,146150638	48,93223454
14	2,147174604	48,95558097
15	2,148129782	48,97735903
16	2,149024939	48,9977686
17	2,149867259	49,01697352
18	2,150662707	49,03510972
19	2,151416285	49,05229129
20	2,152132232	49,06861490
21	2,152814174	49,08416316
22	2,153465232	49,09900728
23	2,154088116	49,11320904
24	2,154685193	49,12682239
25	2,155258541	49,13989475
26	2,155809999	49,15246797
27	2,156341195	49,16457926
28	2,156853585	49,17626174
29	2,157348471	49,18754513
30	2,157827023	49,19845612
31	2,158290298	49,20901881
32	2,158739255	49,21925501
33	2,159174761	49,22918456
34	2,159597610	49,23882552
35	2,160008526	49,24819439
36	2,160408171	49,25730631
37	2,160797156	49,26617516
38	2,161176041	49,27481373
39	2,161545344	49,28323383
40	2,161905543	49,29144638

Tablo 3.20’de gösterildiği gibi; Sivas ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,01$ (W/m^2K), $Q=68,72$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 11,57 mm’ye göre $U=2,15$ (W/m^2K), $Q=48,89$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,17$ (W/m^2K), $Q=49,29$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.9’da Sivas ilinde 11,57 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 11,57 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Sivas ili için 11,57 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.9 : Sivas ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 11,57 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 11,57 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınımına dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 3.21'de İç Anadolu Bölgesi'nden en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Ankara ili için analiz sonuçları verilmiştir.

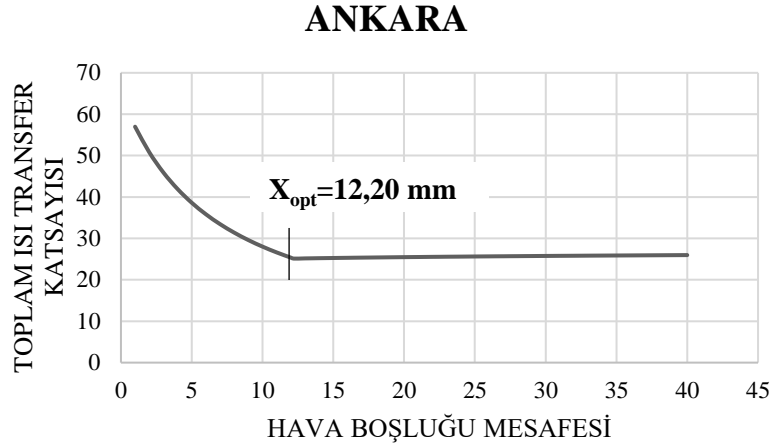
Tablo 3.21: Ankara ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,016850614	57,92353179
2	2,786846288	53,50744873
3	2,629513494	50,48665908
4	2,515109329	48,29009911
5	2,428173248	46,62092636
6	2,359873042	45,30956240
7	2,304796534	44,25209345
8	2,259442294	43,38129205
9	2,221444802	42,6517402*
10	2,189148372	42,03164874
11	2,161359478	41,49810197
12	2,137196017	41,03416353
12,202477	2,132682239	40,94749898
13	2,133525243	40,96368466
14	2,134522908	40,98283983
15	2,135453605	41,00070921
16	2,136325865	41,01745661
17	2,137146682	41,03321629
18	2,137921858	41,04809968
19	2,138656265	41,06220028
20	2,139354028	41,07559733
21	2,140018675	41,08835856
22	2,140653246	41,10054233
23	2,141260379	41,11219928
24	2,141842378	41,12337366
25	2,142401267	41,13410432
26	2,142938833	41,14442560
27	2,143456666	41,15436798
28	2,143956179	41,16395864
29	2,144438642	41,17322194
30	2,144905195	41,18217975
31	2,145356867	41,19085185
32	2,145794589	41,19925612
33	2,146219209	41,20740882
34	2,146631499	41,21532477
35	2,147032162	41,22301750
36	2,147421845	41,23049942
37	2,147801142	41,23778192
38	2,148170598	41,24487549
39	2,148530719	41,25178981
40	2,148881970	41,25853383

Tablo 3.21’de gösterildiği gibi; Ankara ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m²K), $Q=57,92$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 12,20 mm’ye göre $U=2,13$ (W/m²K), $Q_{opt}=40,95$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,15$ (W/m²K), $Q=41,26$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.10’da Ankara ilinde 12,20 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 12,20 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Ankara ili için 12,20 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.10 : Ankara ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 12,20 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 12,20 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınma dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Tablo 3.22'de ki tabloda metnin uzamaması adına örnek seçilen İç Anadolu Bölgesi'ndeki her bir il için pencerelerin optimum hava tabakası kalınlıkları ve toplam ısı transferleri için analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 3.22: İç Anadolu Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.

İl	Optimum Hava Tabakası Kalınlığı X_{opt} (mm)	Toplam Isı Transferi Q_{opt} (W)
Aksaray	11,87	27,96
Ankara	12,20	25,13
Çankırı	11,87	27,96
Eskişehir	12,20	25,13
Karaman	12,20	25,13
Kayseri	11,87	27,96
Kırıkkale	12,20	25,13
Kırşehir	12,20	25,13
Konya	12,20	25,13
Nevşehir	11,87	27,96
Niğde	11,87	27,96
Sivas	11,57	30,58
Yozgat	11,87	27,96

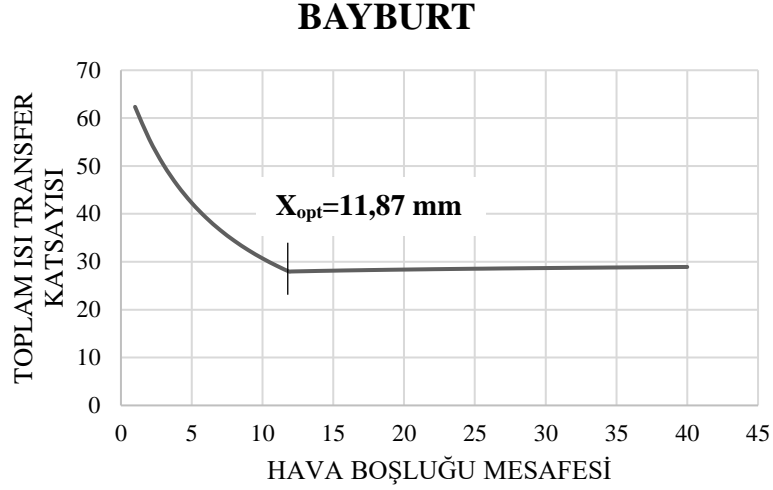
Aşağıdaki Tablo 3.23’de Karadeniz Bölgesi’nden en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Bayburt ili için analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.23: Bayburt ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,017782688	63,37343646
2	2,788077144	58,54962001
3	2,630822934	55,24728161
4	2,516411674	52,84464515
5	2,429434006	51,01811412
6	2,361079190	49,58266299
7	2,305944580	48,42483617
8	2,260533063	47,47119432
9	2,222481024	46,67210151
10	2,190133528	45,99280408
11	2,162297235	45,40824193
11,873336	2,140980142	44,96058298
12	2,141119347	44,96350630
13	2,142214182	44,98649782
14	2,143230028	45,00783058
15	2,144177647	45,02773059
16	2,145065735	45,04638044
17	2,145901418	45,06392977
18	2,146690608	45,08050277
19	2,147438268	45,09620363
20	2,148148603	45,11112066
21	2,148825207	45,12532934
22	2,149471176	45,13889470
23	2,150089199	45,15187318
24	2,150681623	45,16431408
25	2,151250509	45,17626069
26	2,151797680	45,18775128
27	2,152324753	45,19881981
28	2,152833169	45,20949656
29	2,153324222	45,21980866
30	2,153799072	45,22978050
31	2,154258767	45,23943411
32	2,154704257	45,24878941
33	2,155136405	45,25786451
34	2,155555996	45,26667593
35	2,155963749	45,27523873
36	2,156360321	45,28356675
37	2,156746317	45,29167266
38	2,157122294	45,29956817
39	2,157488764	45,30726405
40	2,157846203	45,31477027

Tablo 3.23’de gösterildiği gibi; Bayburt ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m²K), $Q=62,37$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 11,87 mm’ye göre $U=2,14$ (W/m²K), $Q_{opt}=44,96$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,16$ (W/m²K), $Q=28,92$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.11’de Bayburt ilinde 11,87 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 11,87 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa geçtiği görülmektedir. Bayburt ili için 11,87 mm optimum hava tabakası kalınlığı (x_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.11 : Bayburt ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 11,87 mm’ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 11,87 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınımına dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 3.24’te Karadeniz Bölgesi’nden en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Ordu ili için analiz sonuçları verilmiştir.

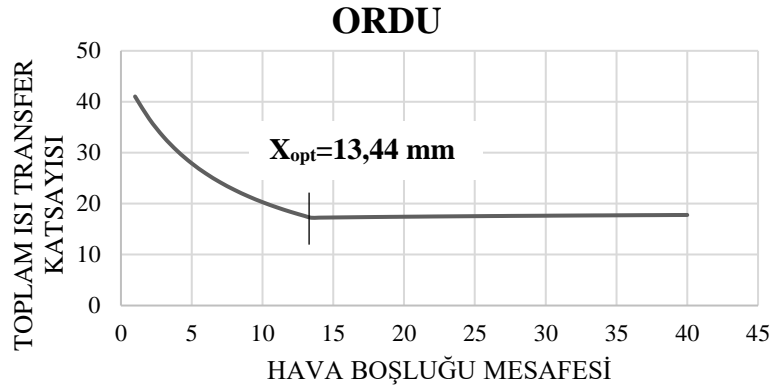
Tablo 3.24: Ordu ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² . K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,020828797	41,68743739
2	2,792107870	38,53108861
3	2,635116973	36,36461423
4	2,520686771	34,78547744
5	2,433575776	33,58334571
6	2,365043959	32,63760663
7	2,309720203	31,87413880
8	2,264121759	31,24488027
9	2,225891408	30,71730143
10	2,193376775	30,26859949
11	2,165385202	29,88231579
12	2,141034271	29,54627294
13	2,119657088	29,25126781
13,437508	2,111103967	29,13323475
14	2,111619658	29,14035127
15	2,112504269	29,15255891
16	2,113333417	29,16400116
17	2,114113735	29,17476954
18	2,114850727	29,18494004
19	2,115549014	29,19457639
20	2,116212510	29,20373263
21	2,116844562	29,21245496
22	2,117448055	29,22078316
23	2,118025492	29,22875179
24	2,118579059	29,23639102
25	2,119110678	29,24372735
26	2,119622045	29,25078421
27	2,120114666	29,25758240
28	2,120589887	29,26414044
29	2,121048911	29,27047497
30	2,121492820	29,27660091
31	2,121922590	29,28253175
32	2,122339108	29,28827969
33	2,122743177	29,29385584
34	2,123135529	29,29927030
35	2,123516834	29,30453230
36	2,123887705	29,30965033
37	2,124248706	29,31463214
38	2,124600355	29,31948490
39	2,124943132	29,32421522
40	2,125277479	29,32882921

Tablo 3.24'te gösterildiği gibi; Ordu ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m²K), $Q=41,67$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 13,44 mm'ye göre $U=2,11$ (W/m²K), $Q_{opt}=29,13$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,13$ (W/m²K), $Q=29,33$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.12'de Ordu ilinde 13,44 mm'ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 13,44 mm'den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Ordu ili için 13,44 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.12 : Ordu ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 13,44 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 13,44 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınım dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Tablo 3.25'te ki tabloda metnin uzamaması adına örnek seçilen Karadeniz Bölgesi'ndeki her bir il için pencerelerin optimum hava tabakası kalınlıkları ve toplam ısı transferleri için analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 3.25: Karadeniz Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabası kalınlığı ve toplam ısı transferi.

İl	Optimum Hava Tabakası Kalınlığı X_{opt} (mm)	Toplam Isı Transferi Q_{opt} (W)
Aksaray	12,20	25,13
Amasya, Artvin	12,57	22,46
Bartın	12,20	25,13
Bayburt, Bolu, Çorum	11,87	27,96
Düzce	12,57	22,46
Giresun	13,44	17,23
Gümüşhane	12,20	25,13
Karabük, Kastamonu	12,20	25,13
Ordu, Rize, Samsun	13,44	17,23
Sinop	13,44	17,23
Tokat	11,87	27,96
Trabzon, Zonguldak	13,44	17,23

Aşağıdaki Tablo 3.26'da Marmara Bölgesi'nden en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Bilecik ili için analiz sonuçları verilmiştir.

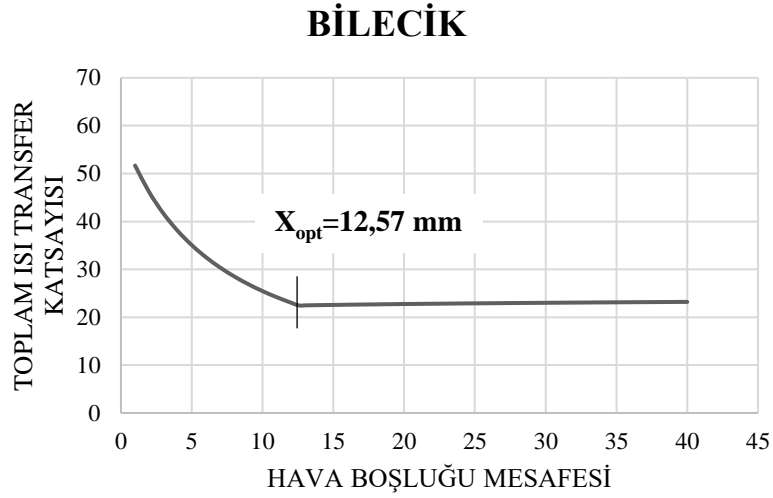
Tablo 3.26: Bilecik ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m. K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,018170640	52,51616913
2	2,788589800	48,52146251
3	2,631368572	45,78581316
4	2,516954538	43,79500895
5	2,429959668	42,28129823
6	2,361582184	41,09153000
7	2,306423421	40,13176753
8	2,260988075	39,34119250
9	2,222913330	38,67869194
10	2,190544568	38,11547549
11	2,162688531	37,63078044
12	2,138462997	37,20925614
12,566509	2,126090111	36,99396793
13	2,126528232	37,00159124
14	2,127511002	37,01869143
15	2,128427831	37,03464426
16	2,129287120	37,04959589
17	2,130095753	37,06366610
18	2,130859443	37,07695430
19	2,131582985	37,08954393
20	2,132270441	37,10150567
21	2,132925285	37,11289997
22	2,133550511	37,12377889
23	2,134148714	37,13418762
24	2,134722164	37,14416565
25	2,135272853	37,15374765
26	2,135802543	37,16296425
27	2,136312797	37,17184266
28	2,136805008	37,18040713
29	2,137280425	37,18867939
30	2,137740172	37,19667898
31	2,138185261	37,20442354
32	2,138616610	37,21192902
33	2,139035054	37,21920994
34	2,139441351	37,22627951
35	2,139836197	37,23314983
36	2,140220228	37,23983196
37	2,140594027	37,24633607
38	2,140958133	37,25267152
39	2,141313043	37,25884695
40	2,141659216	37,26487035

Tablo 3.26’da gösterildiği gibi; Bilecik ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m^2K), $Q=52,52$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 12,57 mm’ye göre $U=2,13$ (W/m^2K), $Q=36,99$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,15$ (W/m^2K), $Q=37,26$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.13’te Bilecik ilinde 12,57 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 12,57 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Bilecik ili için 12,57 mm optimum hava tabakası kalınlığı (X_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.13 : Bilecik ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 12,57 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 12,57 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınımaya dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır. Aşağıdaki Tablo 3.27'da Marmara Bölgesi'nden Sakarya ili için analiz sonuçları verilmiştir.

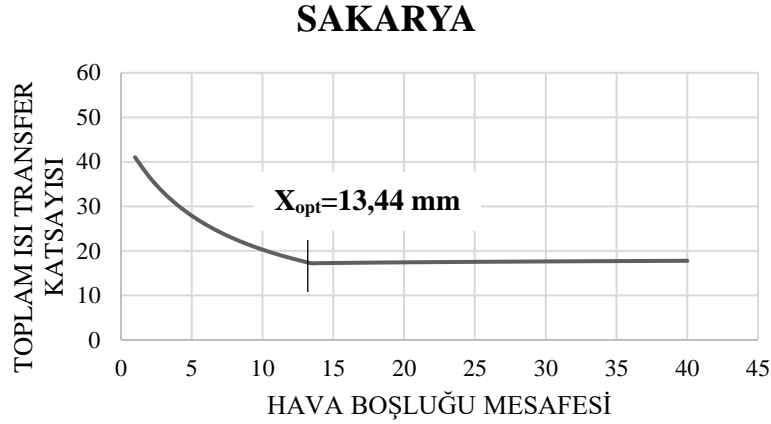
Tablo 3.27: Sakarya ili için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi.

Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m. K)	Toplam Isı Transferi (W)
1	3,020828797	41,68743739
2	2,792107870	38,53108861
3	2,635116973	36,36461423
4	2,520686771	34,78547744
5	2,433575776	33,58334571
6	2,365043959	32,63760663
7	2,309720203	31,87413880
8	2,264121759	31,24488027
9	2,225891408	30,71730143
10	2,193376775	30,26859949
11	2,165385202	29,88231579
12	2,141034271	29,54627294
13	2,119657088	29,25126781
13,437508	2,111103967	29,13323475
14	2,111619658	29,14035127
15	2,112504269	29,15255891
16	2,113333417	29,16400116
17	2,114113735	29,17476954
18	2,114850727	29,18494004
19	2,115549014	29,19457639
20	2,116212510	29,20373263
21	2,116844562	29,21245496
22	2,117448055	29,22078316
23	2,118025492	29,22875179
24	2,118579059	29,23639102
25	2,119110678	29,24372735
26	2,119622045	29,25078421
27	2,120114666	29,25758240
28	2,120589887	29,26414044
29	2,121048911	29,27047497
30	2,121492820	29,27660091
31	2,121922590	29,28253175
32	2,122339108	29,28827969
33	2,122743177	29,29385584
34	2,123135529	29,29927030
35	2,123516834	29,30453230
36	2,123887705	29,30965033
37	2,124248706	29,31463214
38	2,124600355	29,31948490
39	2,124943132	29,32421522
40	2,125277479	29,32882921

Tablo 3.27’de gösterildiği gibi; Sakarya ili için 1 mm hava boşluğunda $U=3,02$ (W/m^2K), $Q=41,69$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 13,44 mm’ye göre $U=2,11$ (W/m^2K), $Q_{opt}=29,13$ W hesaplanmıştır. 40 mm hava boşluğu için $U=2,13$ (W/m^2K), $Q=29,33$ W hesaplanmıştır.

Şekil 3.14’te Sakarya ilinde 13,44 mm’ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için toplam ısı transfer katsayısının azaldığı, 13,44 mm’den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa

geçtiği görülmektedir. Sakarya ili için 13,44 mm optimum hava tabakası kalınlığı (x_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır.



Şekil 3.14 : Sakarya ili için optimum hava tabakası kalınlığı.

Hava boşluğu mesafesi 13,44 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 13,44 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınım dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam termal transfer katsayısını, haliyle termal transferini artırarak negatif etki yaratmaktadır.

Tablo 3.28'de ki tabloda metnin uzamaması adına örnek seçilen Marmara Bölgesi'ndeki her bir il için pencerelerin optimum hava tabakası kalınlıkları ve toplam ısı transferleri için analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 3.28: Marmara Bölgesi'ndeki illere göre optimum hava tabakası kalınlığı ve toplam ısı transferi.

İl	Optimum Hava Tabakası Kalınlığı X_{opt} (mm)	Toplam Isı Transferi Q_{opt} (W)
Balıkesir	13,44	17,23
Bilecik	12,57	22,46
Bursa	12,98	19,82
Çanakkale	13,44	17,23
Edirne	12,57	22,46
İstanbul	13,44	17,23
Kırklareli	12,57	22,46
Kocaeli, Sakarya	13,44	17,23
Tekirdağ	12,98	19,82
Yalova	13,44	17,23

3.2. Belirlenen Optimum Hava Tabakası Kalınlığına Göre Optimum Hava Tabakası Sayısının Her İl İçin Analizi

(2.25.) eşitliğinde ki denklemin cam sayısına (n) göre iki kere türevi alınarak her il için özel $\frac{\partial^2(C_T)}{\partial n^2}$ şeklinde optimum hava tabakası sayısı denkleminin (N_{opt}) elde edilmesi amaçlanmıştır. Fakat türevi alınacak denklem komplike olduğu için elde edilecek optimum hava tabakası sayısı denklemi doğru sonuç vermeyecektir. Bu sebeple iller için belirlenen optimum hava tabakası kalınlığına göre optimum hava tabakası sayısının analizi maliyet faktörü göz önünde bulundurularak termoeconomik optimizasyon ile yapılmıştır.

3.2.1. Akdeniz bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi

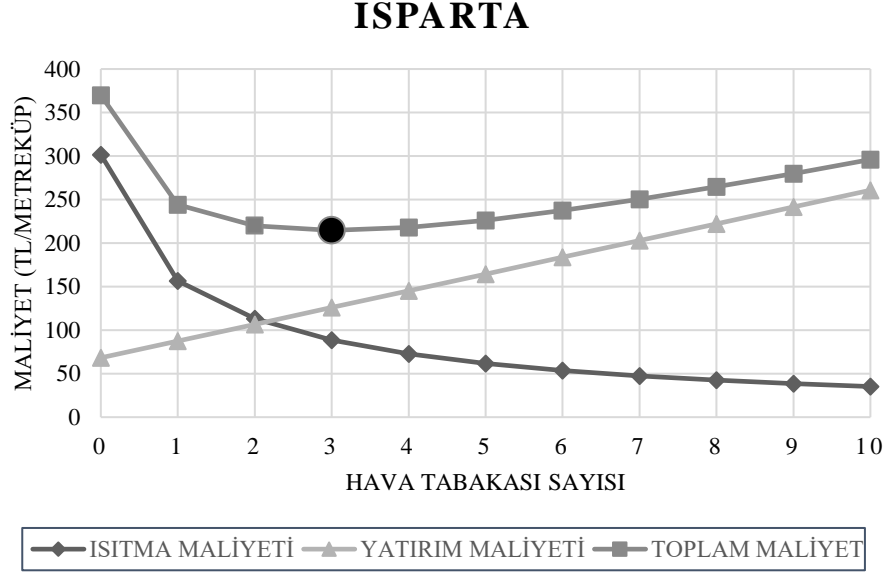
Akdeniz Bölgesindeki en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Isparta ili için optimum hava tabakası sayısı denkleminin belirlenmesinde kullanılan (2.25) eşitliğinde verilen birim alan başına toplam maliyet denkleminde; C1 optimum hava boşluğu mesafesini (m) , C2 havanın iletim katsayısını (W/m^2K), C3 ısıtma derece-saat değerini ifade etmektedir. $C1=0,012567$, $C2=0,024048$, $C3=69263$ alınarak denklem düzenlendiğinde birim alan başına toplam maliyet denklemi eşitlik 3.1'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

$$C_T = \frac{249,2529 \times n^3 + 459,8746 \times n^2 + 777918,06 \times n - 829308,6076}{12,2529 \times n^2 - 9,0695 \times n - 46,9447} \quad (3.1)$$

(3.1) eşitliğinde verilen denklemin kısmi türevi alındığında cam sayısına bağlı (n) optimum hava tabakası sayısı (N_{opt}) denklemi elde edilmektedir. Fakat yukarıda bahsedildiği gibi türevi alınacak denklem komplike olduğu için elde edilecek optimum hava tabakası sayısı denklemi doğru sonuç vermeyecektir. Bu sebeple tüm iller için hava tabakası sayısı, toplam maliyet denkleminde elde edilen değerlerde azalıştan artışa geçen noktanın belirlenmesi ile bulunmuştur.

Akdeniz Bölgesindeki en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Isparta ili için $20^\circ C$ iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 69263 alınmıştır.

Isparta ilinde kullanılacak pencerenin 12,57 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



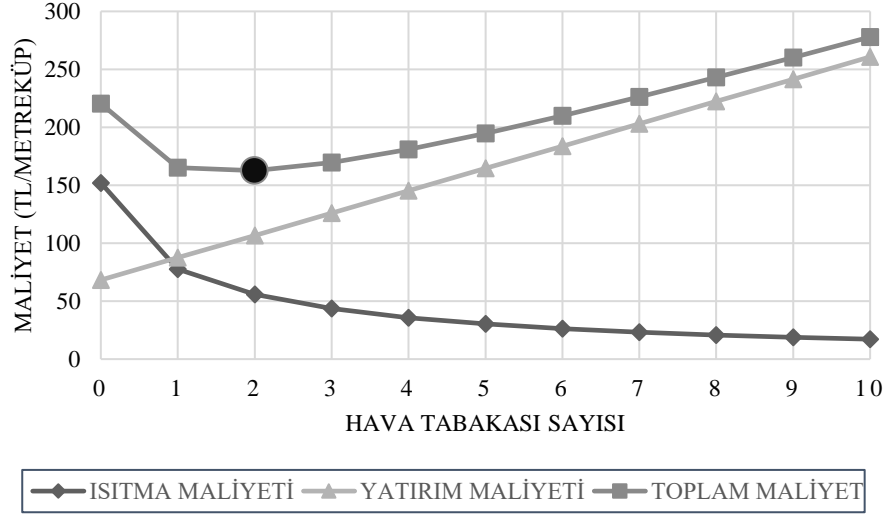
Şekil 3.15 : Isparta ili için optimum hava tabakası sayısı.

Şekil 3.15'te gösterildiği gibi Isparta ilinde 12,57 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Isparta ili için maliyet açısından dört camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

Akdeniz Bölgesindeki en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Antalya ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 34909 alınmıştır.

Antalya ilinde kullanılacak pencerenin 14,60 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.16'da verilmiştir.

ANTALYA



Şekil 3.16 : Antalya ili için optimum hava tabakası sayısı.

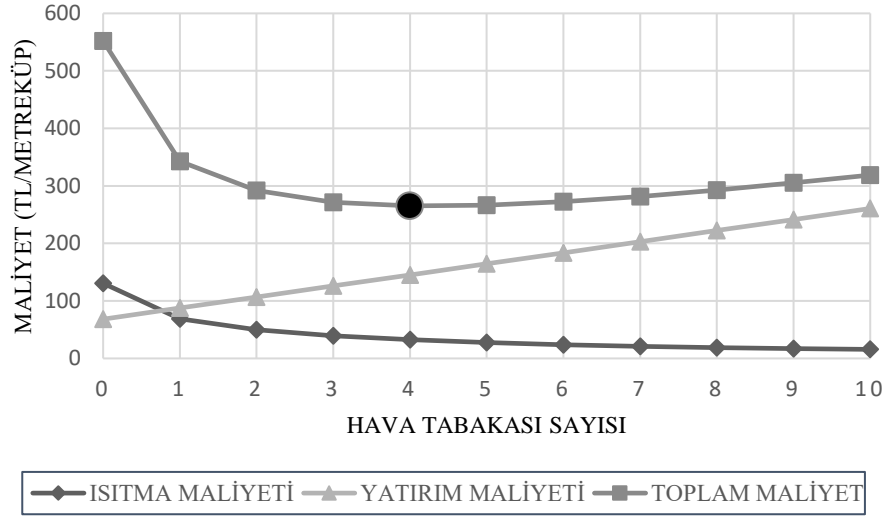
Şekil 3.16’da gösterildiği gibi Antalya ilinde 14,60 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Antalya ili için maliyet açısından üç camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

3.2.2. Doğu Anadolu bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi

Doğu Anadolu Bölgesindeki en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Kars ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 111074 alınmıştır.

Kars ilinde kullanılacak pencerenin 10,76 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.17’de verilmiştir.

KARS



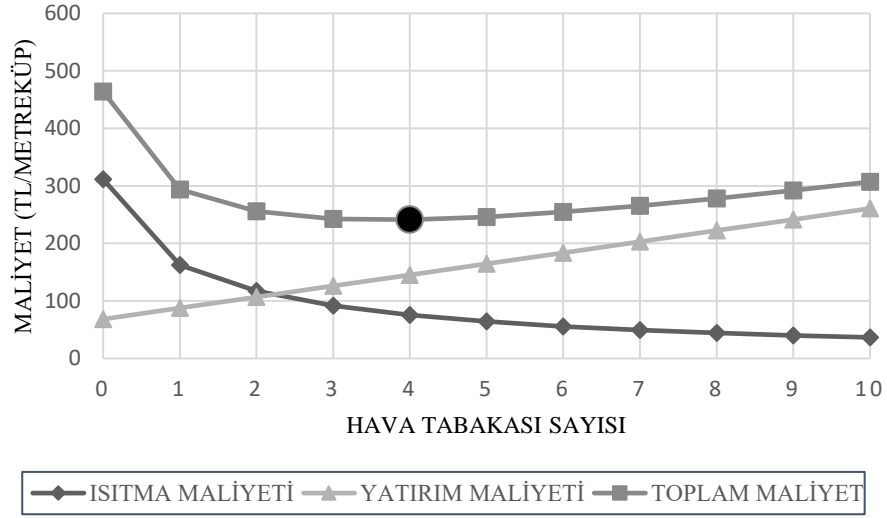
Şekil 3.17 : Kars ili için optimum hava tabakası sayısı.

Şekil 3.17’de gösterildiği gibi Kars ilinde 10,76 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Kars ili için maliyet açısından beş camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

Doğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Elazığ ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 71515 alınmıştır.

Elazığ ilinde kullanılacak pencerenin 12,20 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.18’de verilmiştir.

ELAZIĞ



Şekil 3.18 : Elazığ ili için optimum hava tabakası sayısı.

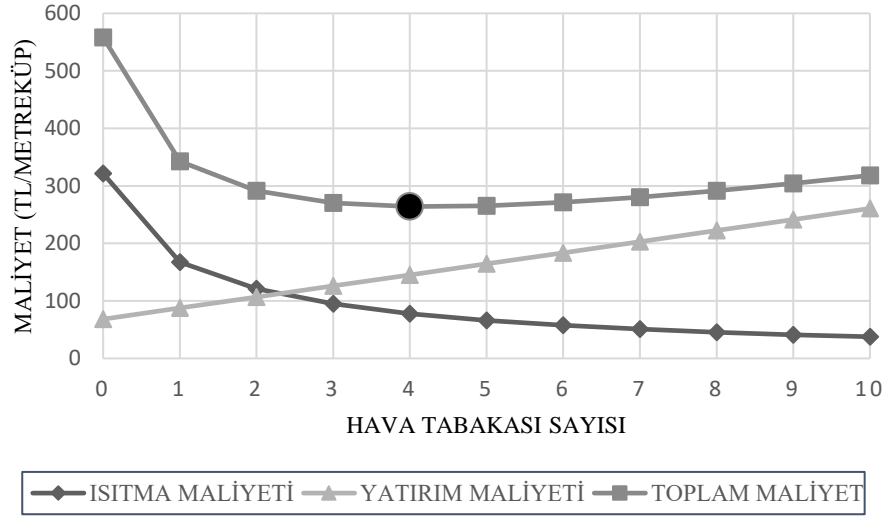
Şekil 3.18’de gösterildiği gibi Kars ilinde 12,20 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Elazığ ili için maliyet açısından beş camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

3.2.3. Ege bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi

Ege Bölgesindeki en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Afyon ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 73811 alınmıştır.

Afyon ilinde kullanılacak pencerenin 12,20 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.19’da verilmiştir.

AFYON



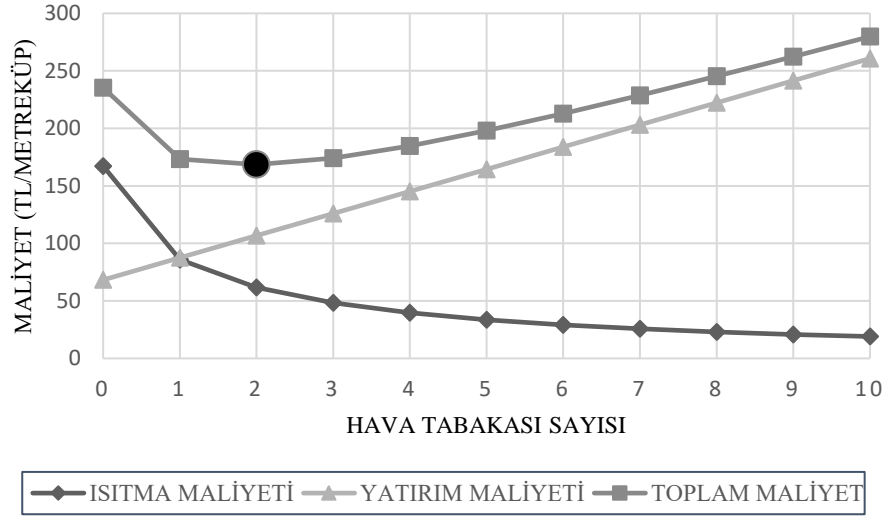
Şekil 3.19 : Afyon ili için optimum hava tabakası sayısı.

Şekil 3.19’da gösterildiği gibi Afyon ilinde 12,20 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Afyon ili için maliyet açısından beş camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

Ege Bölgesindeki en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip İzmir ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 38389 alınmıştır.

İzmir ilinde kullanılacak pencerenin 13,97 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.20’de verilmiştir.

İZMİR



Şekil 3.20 : İzmir ili için optimum hava tabakası sayısı.

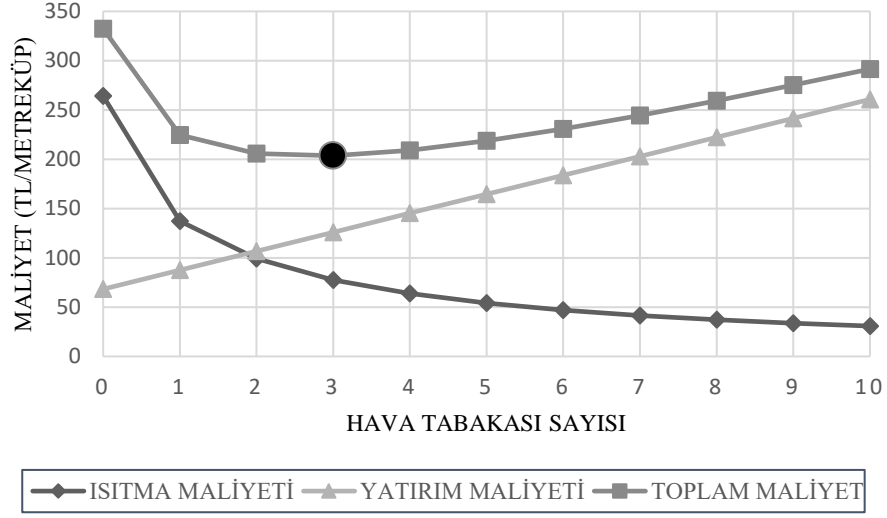
Şekil 3.20’de gösterildiği gibi İzmir ilinde 13,97 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla İzmir ili için maliyet açısından üç camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

3.2.4. Güneydoğu Anadolu bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Adıyaman ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 60656 alınmıştır.

Adıyaman ilinde kullanılacak pencerenin 12,57 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.21’de verilmiştir.

ADİYAMAN



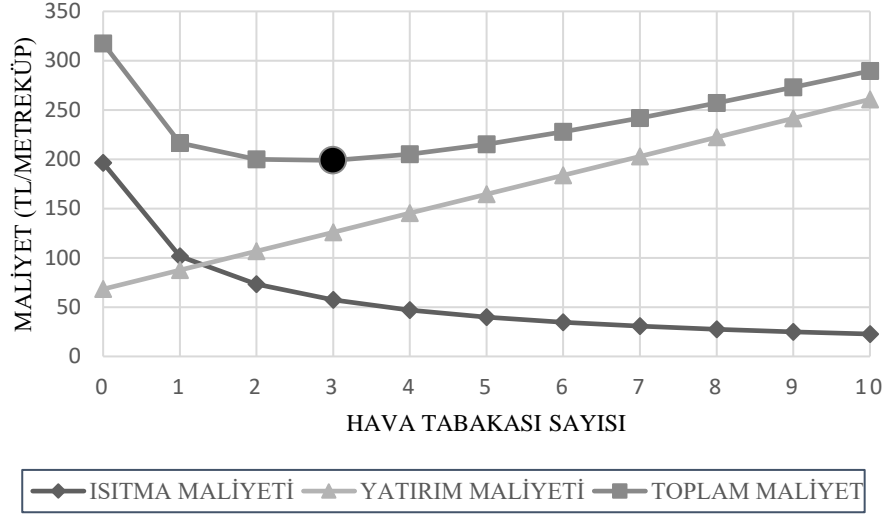
Şekil 3.21 : Adiyaman ili için optimum hava tabakası sayısı.

Şekil 3.21’de gösterildiği gibi Adiyaman ilinde 12,57 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Adiyaman ili için maliyet açısından dört camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Şanlıurfa ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 45065 alınmıştır.

Adiyaman ilinde kullanılacak pencerenin 12,98 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.22’de verilmiştir.

ŞANLIURFA



Şekil 3.22 : Şanlıurfa ili için optimum hava tabakası sayısı.

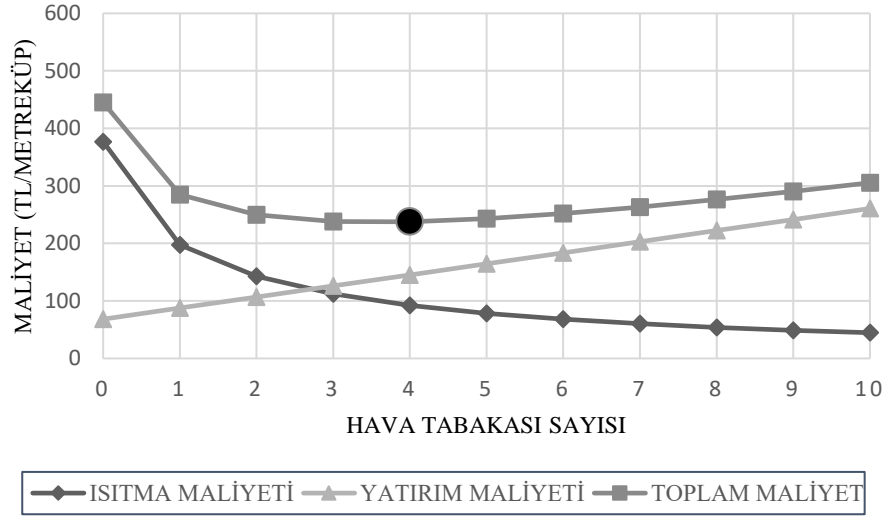
Şekil 3.22’de gösterildiği gibi Şanlıurfa ilinde 12,98 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Şanlıurfa ili için maliyet açısından dört camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

3.2.5. İç Anadolu bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi

İç Anadolu Bölgesindeki en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Sivas ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 86531 alınmıştır.

Sivas ilinde kullanılacak pencerenin 11,57 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.23’te verilmiştir.

SİVAS



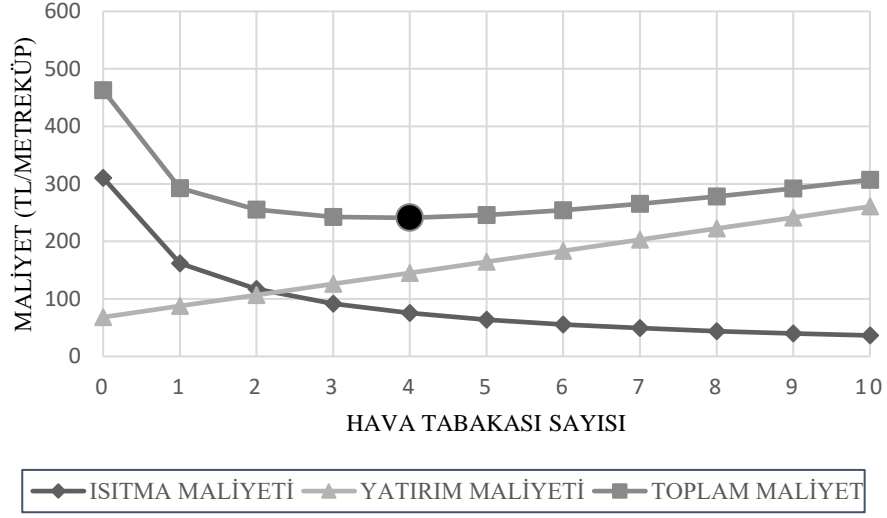
Şekil 3.23 : Sivas ili için optimum hava tabakası sayısı.

Şekil 3.23'te gösterildiği gibi Sivas ilinde 11,57 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Sivas ili için maliyet açısından beş camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

İç Anadolu Bölgesindeki en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Ankara ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 71310 alınmıştır.

Ankara ilinde kullanılacak pencerenin 12,20 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.24'te verilmiştir.

ANKARA



Şekil 3.24 : Ankara ili için optimum hava tabakası sayısı.

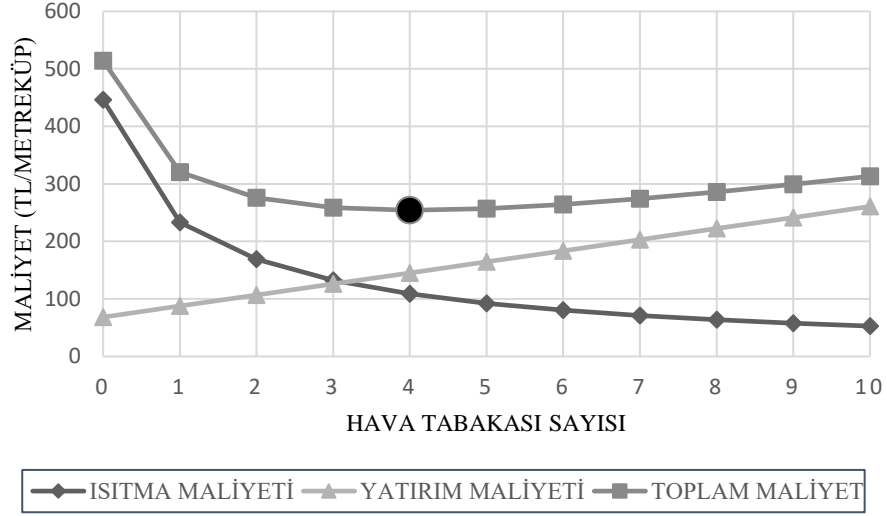
Şekil 3.24’te gösterildiği gibi Ankara ilinde 12,20 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Ankara ili için maliyet açısından beş camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

3.2.6. Karadeniz bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi

Karadeniz Bölgesindeki en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Bayburt ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 102401 alınmıştır.

Bayburt ilinde kullanılacak pencerenin 11,87 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.25’te verilmiştir.

BAYBURT



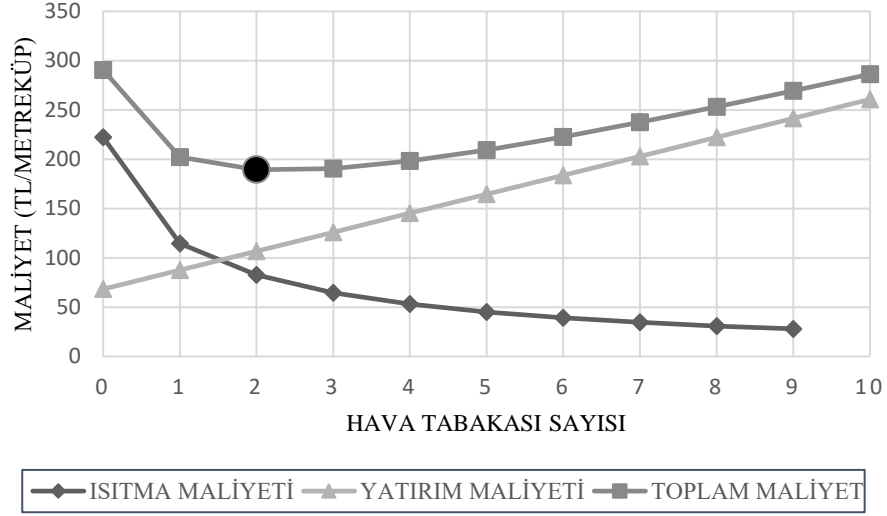
Şekil 3.25 : Bayburt ili için optimum hava tabakası sayısı.

Şekil 3.25'te gösterildiği gibi Bayburt ilinde 11,87 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Ankara ili için maliyet açısından beş camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

Karadeniz Bölgesindeki en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Ordu ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 51032 alınmıştır.

Ordu ilinde kullanılacak pencerenin 13,44 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.26'te verilmiştir.

ORDU



Şekil 3.26 : Ordu ili için optimum hava tabakası sayısı.

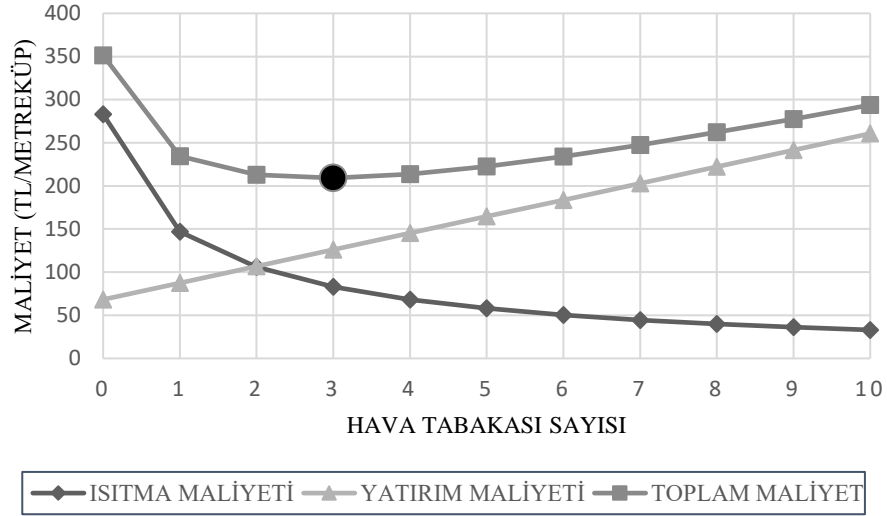
Şekil 3.26’da gösterildiği gibi Ordu ilinde 13,44 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Ordu ili için maliyet açısından üç camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

3.2.7. Marmara bölgesindeki iller için optimum hava tabakası sayısının belirlenmesi

Marmara Bölgesindeki en düşük optimum hava tabakası kalınlığına sahip Bilecik ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 64965 alınmıştır.

Bilecik ilinde kullanılacak pencerenin 12,57 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.27’de verilmiştir.

BİLECİK



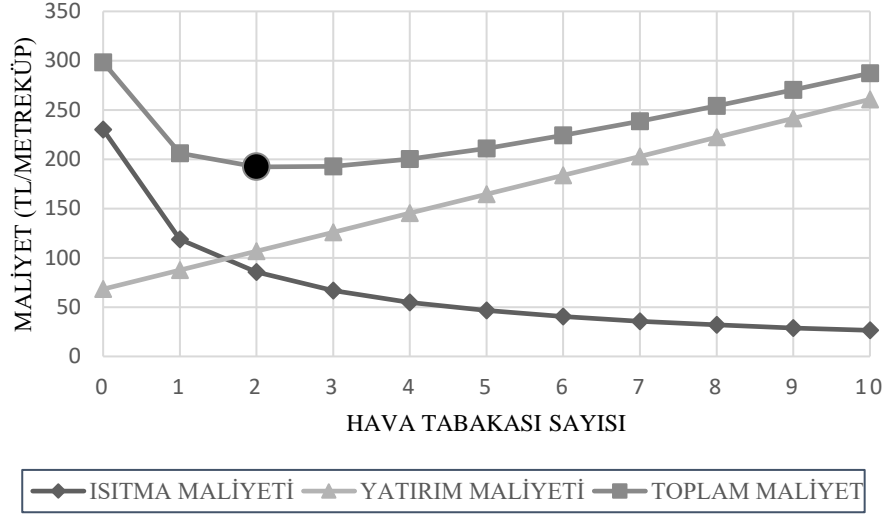
Şekil 3.27 : Bilecik ili için optimum hava tabakası sayısı.

Şekil 3.27’de gösterildiği gibi Bilecik ilinde 12,57 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Bilecik ili için maliyet açısından dört camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

Marmara Bölgesindeki en yüksek optimum hava tabakası kalınlığına sahip Sakarya ili için 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma derece-saat değeri (IDS) 52825 alınmıştır.

Sakarya ilinde kullanılacak pencerenin 13,44 mm optimum hava tabakası kalınlığı için işletme maliyeti, ilk yatırım maliyeti ve toplam maliyetin hava tabakası sayısına göre değişim grafiği Şekil 3.28’de verilmiştir.

SAKARYA



Şekil 3.28 : Sakarya ili için optimum hava tabakası sayısı.

Şekil 3.28’de gösterildiği gibi Sakarya ilinde 13,44 mm optimum hava tabakası kalınlığına sahip pencereler için optimum hava tabakası sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Sakarya ili için maliyet açısından üç camlı pencerelerin üretimi uygun görülmüştür.

BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pencerelerde ki toplam ısı transfer katsayı değeri büyük olduğu için dış duvarlardan ısı kaybı en fazla pencerelerden gerçekleşmektedir. Bu sebeple pencerelerde ısı transfer hızını en aza indirecek yolların geliştirilmesi ve illerin optimum hava tabakası kalınlığının belirlenmesi ısı kayıpları ve maliyetleri açısından önem taşımaktadır.

Isı kayıplarını azaltacak yollardan biri hava boşluğunda ki ışınlama gerçekleşen ısı transferini en aza düşürmek, diğeri hava boşluğunda ki iletimle gerçekleşen ısı transferini en aza düşürmektir. Bu çalışmada iletim ile gerçekleşen ısı transferini minimuma indirmek hedeflenmiştir. Bu pencerelerde iki cam katmanı arasındaki hava boşluğu mesafesinin artırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak bu artış sınırsız olarak yapılmamaktadır. Aralığı kritik değerin üstüne çıkartmak, kapalı aralıktaki hava boşluğunda taşınım akımlarını başlatarak ısı transfer katsayısını arttırarak amaca aykırı durum oluşturmaktadır. Üstelik boşluğu arttırmak, gerekli çerçeve kalınlığını ve pencere fiyatını da arttırarak elde edilen faydayı yok etmektedir.

Tüm bu sebeplerle Türkiye'nin yedi bölgesindeki seksen bir ile has optimum hava tabakası kalınlığı ve optimum hava tabaka sayısı yaklaşımı getirilmiştir.

Aşağıdaki Tablo 3.29'da çalışma boyunca örnek gösterilen illere ait optimum hava tabakası kalınlığı ve kalınlıklara karşılık optimum hava tabakası sayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 3.29: İller için optimum hava tabakası kalınlığı ile sayısı.

İl	Optimum Hava Tabakası Kalınlığı (mm)	Optimum Hava Tabakası Sayısı
Isparta	12,57	3
Antalya	14,60	2
Kars	10,76	4
Elâzığ	12,20	4
Afyon	12,20	4
İzmir	13,97	2
Adıyaman	12,57	3
Şanlıurfa	12,97	3
Sivas	11,57	4
Ankara	12,20	4
Bayburt	11,87	4
Ordu	13,44	2
Bilecik	12,57	3
Sakarya	13,44	2

Böylece her ilin iklim şartlarındaki değişikliklerinden kaynaklanan farklı optimum hava tabakası kalınlık değerleriyle, optimum hava tabaka sayısı hesaplanarak daha önce üzerinde çalışılmamış, orijinal bir tez konusu oluşturulmuştur.

KAYNAKLAR

- Anonim (t.y.), Erişim Tarihi: 15 Mart 2015, http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/fa34c3c2eb9b729_ek.pdf
- Arıcı, M. & Karabay, H. (2010). Determination of Optimum Thickness of Double-Glazed Windows for The Climatic Regions of Turkey, *Energy and Buildings*, 42, 1773–1778.
- Arıcı, M. & Karabay, H. & Kan, M. (2015). Flow And Heat Transfer in Double, Triple And Quadruple Pane Windows, *Energy and Buildings*, 86, 394–402.
- Aydın, O. (2000). Determination of Optimum Air-Layer Thickness in Double-Pane Windows, *Energy and Buildings*, 32, 303–308.
- Ayçam, İ. & Utkuğ, G.S. (1999, 4 Kasım). Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerinin Isıl Performanslarının İncelenmesi ve Enerji Etkin Pencere Seçimi, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, (pp. 61–73). İzmir, Türkiye.
- Botaş. (2023), *Doğal Gaz*. <http://www.botas.gov.tr/Sayfa/dogal-gaz/213>.
- Bulut, H. & Büyükalaca O.& Yılmaz T. & Aktacir M. A. (2002). GAP Bölgesi İçin Detaylı İklim Verileri, *GAP IV. Mühendislik Kongresi*, Harran Üniversitesi, 183–191. Şanlıurfa, Türkiye.
- Büyükalaca O. & Bulut H. & Yılmaz T. (2001), Analysis of Variable-Base Heating and Cooling Degree-days for Turkey, *Applied Energy*, 69(4), 269–283.
- Candan, N. (2007), *Isı Yalıtım Sistemleri ve Özelliklerinin Karşılaştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Coşkun C. & Oktay Z. & Ertürk M. (2009), Konutların Isıtma Sezonunda Seçilen İç Ortama Sıcaklık Parametresinin Enerji-Maliyet-Çevre Açısından Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama Örneği, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 529–538, İzmir.
- Çengel Y. (2003). *Heat Transfer: A Practical Approach* (2.bs.), McGraw-Hill Yayıncılık.
- Ertürk, M. (2012). *Isıtma ve Soğutma Derece Saat Hesaplamalarında Farklı Bir Yöntemin Araştırılması ve Geliştirilmesi*, (Doktora Tezi), Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği, Balıkesir.

- Ertürk M. & Pul H. & Keçebaş A. & Uygunoğlu T. & Daşdemir A. (2015, Nisan). İl Bazında Çift ve Üç Camlı Pencere İçin Optimum Hava Tabakası Kalınlığı Analizi, *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (pp. 2953–2965). İzmir, Türkiye, 8–11.
- Gago, E. J. & Muneer, T. & Knez, M. & Koster, H. (2015). Natural Light Controls and Guides in Buildings. Energy Saving for Electrical Lighting, *Reduction of Cooling Load, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *41*, 1–13.
- Incropera F., P. (2013). *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri* (4. Bs.), Literatür Yayıncılık.
- Jelle, B. P. & Hynd, A. & Gustavsen, A. & Arasteh, D. & Goudey, H. ve diğ. (2012). Fenestration of Today and Tomorrow: A State-of-the-Art Review and Future Opportunities, *Published in Solar Energy Materials & Solar Cells*, *96*, 1–28.
- Kahraman, E. & Ertürk, M. & Keçebaş, A. & Çay, Y. (2023, 26-29 Nisan). Karadeniz Bölgesindeki 114 İlçenin Isıtma Derece Saat Değeri Hesapları İçin Yeni Bir Yöntemin Araştırılması, *15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı* (pp. 394 – 414), İzmir, Türkiye.
- Karabay, H. & Arıcı, M. (2012). Multiple Pane Window Applications İn Various Climatic Regions of Turkey, *Energy and Buildings*, *45*, 67–71.
- Kon, O. (2016). Optimum Hava Tabakasına Sahip Çift Camlı Pencere İçin Yakıt Tüketimi ve Emisyon Açısından Değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, Sayı 2.
- Merkez Bankası. (2023), 2023-32 Faiz Oranlarına İlişkin Basın Duyurusu <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tr/tcmb+tr/main+menu/duyurular/bas/2023/duy2023-32>.
- Özkoç, N. (1999). *Uygulamalı Soğutma Tekniği*, (Yayın No:115), TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayıncılık.
- Özrahat, E. & Ünal, S. (2014). Çift Camlı Pencerede Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *30*(3), 184–192.
- Söylemez, M.S. (2009). Thermoconomical optimization of number of panes for windows, *Journal of Energy Engineering*, ASCE *135*, 21–24.
- TS 825, (2008), *Binalarda ısı yalıtımı yönetmeliğine ilişkin kanun*, T.C. Resmî Gazete, No: 27019.
- Yakut, A.K. & Selbaş, R. & Yakut, M.Z. (2022). *Mühendislikte Isı Transferi*, (Yayın No: 008), Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Yayınları.
- Yılmaz, T. & Bulut, H. (2001). Türkiye İçin Yeni Dış Ortam Sıcaklık Değerleri, *Teskon Bildiriler Kitabı*, (pp.293-311). İzmir, Türkiye.