

**DUVARLARDA
YOĞUŞMA DİKKATE ALINARAK
YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ**

Ali Hüsnu BADEMLİOĞLU



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DUVARLARDA YOĞUŞMA DİKKATE ALINARAK
YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ**

Ali Hüsnü BADEMLİOĞLU

Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2014

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Ali Hüsnu BADEMLİOĞLU tarafından hazırlanan “DUVARLARDA YOĞUŞMA DİKKATE ALINARAK YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI

Başkan : Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI

Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SEVİLGEN

Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman Demir

Enstitü Müdürü

../..//....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/02/2014

Ali Hüsnü BADEMLİOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DUVARLARDA YOĞUŞMA DİKKATE ALINARAK YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

ALİ HÜSNÜ BADEMLİOĞLU

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI

Bu tez çalışmasında yoğuşma dikkate alınarak bina dış duvarlarında kullanılacak ısı yalıtım kalınlığının optimizasyonu yapılmıştır. Bina yapı elemanı içerisinde yoğuşmanın başlamaması için gerekli minimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Yapı elemanında ısı ve kütle transferi hesaplamaları, farklı iç-dış ortam sıcaklığı ve bağıl nem koşulları için yapılmış ve sonuçlar grafik yardımıyla aktarılmıştır.

Genel olarak, gerekli yalıtım kalınlığı iç ortam sıcaklığı ve bağıl neminin artmasıyla artarken, dış ortam sıcaklık ve bağıl neminin artmasıyla azalmaktadır. Duvar yapı malzemesinden geçen su buharı miktarı ise iç ve dış koşulların yanı sıra kullanılan yalıtım kalınlığıyla da değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bina duvarı, yoğuşma, yalıtım kalınlığı

2014, x + 35 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF INSULATION THICKNESS CONSIDERING CONDENSATION IN WALLS

ALİ HÜSNÜ BADEMLİOĞLU

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI

In this study, condensation has been taken in to consideration to optimize for the thickness of the thermal insulation which is essential for external walls. In order not to start condensation inside the building, minimum thickness of insulation is calculated. Heat and mass transfer in building material has been calculated for internal-external temperature and relative humidity conditions and results has been shown with graphics.

When there is increased in internal temperature and relative humidity, the thickness of insulation also increased. However, when there is increased in external temperature, the thickness of insulation decrease. The amount of water vapor transfer changes not only according to internal-external conditions but also the thickness of insulation.

Key Words: Building wall, Condensation, Insulation thickness

2014, x + 35 page

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim süresince değerli görüş ve önerileriyle bana yol gösteren danışmanım Sayın Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI 'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans çalışmalarım esnasında da sabır gösteren, maddi – manevi yardımlarını esirgemeyen, bana her zaman destek olan aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Ali Hüsnu BADEMLİOĞLU

25/02/2014

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM	6
3.1. Sürekli Rejimde Tek Boyutlu Isı İletimi	6
3.2. Sürekli Rejimde Tek Boyutlu Su Buharı Difüzyonu	7
3.3. Bileşik Düzlem Duvarda Isı İletimi	7
3.4. Bileşik Düzlem Duvarda Su Buharı Difüzyonu	8
3.5. Yoğuşma Olayının Grafikselleşmesi	10
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	12
4.1. İç Ortam Bağıl Neminin Yalıtım Kalınlığına Etkisi	18
4.2. Dış Ortam Bağıl Neminin Yalıtım Kalınlığına Etkisi	20
4.3. İç Ortam Sıcaklığının Yalıtım Kalınlığına Etkisi	22
4.4. Dış Ortam Sıcaklığının Yalıtım Kalınlığına Etkisi	24
4.5. Yalıtım Malzemesi Su Buharı Difüzyon Direncinin Yalıtım Kalınlığına Etkisi	26
4.6. Sabit Ortam Koşullarında, Farklı Yalıtım Kalınlıkları için Kısmi – Doyma Basıncı ve Sıcaklık Dağılımları	28
5. SONUÇ	32

KAYNAKLAR	33
ÖZGEÇMİŞ	35

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

μ_p	Permeabilite, buhar geçirgenliği (kg/h m mmSS)
μ	Yapı malzemesinin havaya göre direnç faktörü
δ	Buhar geçirgenlik direnci (mmSS m h/kg)
δ_H	Havanın buhar geçirgenlik direnci (mmSS m h/kg)
φ	Bağıl nem (%)
φ_i	İç ortam bağıl nemi (%)
φ_d	Dış ortam bağıl nemi (%)
β	Buhar geçirgenlik katsayısı (kg/m ² h mmSS)
β_i	İç ortam buhar geçirgenlik katsayısı (kg/m ² h mmSS)
β_d	Dış ortam buhar geçirgenlik katsayısı (kg/m ² h mmSS)

Kısaltmalar

Açıklama

k	Isı iletim katsayısı (W/m °C)
q_x	Isı akısı (W/m ²)
w_x	Su buharı akısı (kg/h m ²)
D	Su buharı difüzyon katsayısı (m ² /h)
R_D	Su buharı gaz sabiti (Nm/mg K)
p	Su buharı kısmi basıncı (kPa)
p_s	Su buharı doyma basıncı (kPa)
x	Yapı malzemesi kalınlığı (m)
T	Sıcaklık (°C)
h	Isı taşınım katsayısı (W/m ² °C)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kalınlığı Δx ve alanı A olan geniş bir düzlem duvarda ısı iletimi	6
Şekil 3.2. Bileşik düzlem duvarda sıcaklık ve kısmi basınç dağılımı	7
Şekil 3.3. Duvar bileşenlerinde doymuş su buharı ve su buharı kısmi basınçlarının kesişmemesi durumu	11
Şekil 3.4. Duvar bileşenlerinde doymuş su buharı ve su buharı kısmi basınçlarının kesişmesi durumu	11
Şekil 4.1. Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığının iç ortam bağıl nemi ile değişimi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)	18
Şekil 4.2. Yalıtım kalınlığının ısı akısına etkisi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\phi_{dış}=0,70$)	19
Şekil 4.3. Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığında geçen su buharı miktarının, iç ortam bağıl nemi ile değişimi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)	20
Şekil 4.4. Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığının, dış ortam bağıl nemi ile değişimi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)	21
Şekil 4.5. Yalıtım kalınlığının ısı akısına etkisi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\phi_{iç}=0,50$)	21
Şekil 4.6. Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığında geçen su buharı miktarının dış ortam bağıl nemi ile değişimi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)	22
Şekil 4.7. Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığının, iç ortam sıcaklığı ile değişimi ($\phi_{iç}=0,50$, $\phi_{dış}=0,70$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)	23

Şekil 4.8.	Yalıtım kalınlığının ısı akısına etkisi ($\varphi_{iç}=0,50$ $\varphi_{dış}=0,70, T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$).....	23
Şekil 4.9.	Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığında geçen su buharı miktarının, iç ortam sıcaklığı ile değişimi ($\varphi_{iç}=0,50, \varphi_{dış}=0,70, T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)	24
Şekil 4.10.	Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığının, dış ortam sıcaklığı ile değişimi ($\varphi_{iç}=0,50,$ $\varphi_{dış}=0,70, T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$)	25
Şekil 4.11.	Yalıtım kalınlığının ısı akısına etkisi ($\varphi_{iç}=0,50,$ $\varphi_{dış}=0,70, T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$)	25
Şekil 4.12.	Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığında geçen su buharı miktarının, dış ortam sıcaklığı ile değişimi ($\varphi_{iç}=0,50, \varphi_{dış}=0,70, T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$)	26
Şekil 4.13.	Yalıtım malzemesi su buharı difüzyon direncinin, duvar katmanlarındaki yoğuşmaya etkisi ($x_{yal}=0,01$ m, $\varphi_{iç}=0,50,$ $\varphi_{dış}=0,70, T_{iç}=22^{\circ}\text{C}, T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)	27
Şekil 4.14.	Yalıtım malzemesi su buharı difüzyon direncinin yalıtım kalınlığına etkisi ($\varphi_{iç}=0,50, \varphi_{dış}=0,70, T_{iç}=22^{\circ}\text{C}, T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)	28
Şekil 4.15.	Sabit iç – dış ortam koşullarında 0,002 m yalıtım uygulandığında, duvar katmanlarındaki kısmi ve doyma basınçlarının dağılımı ($x_{yal}=0,002$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}, T_{dış}=-3^{\circ}\text{C},$ $\varphi_{iç}=0,5, \varphi_{dış}=0,7, \mu=100$)	29
Şekil 4.16.	Sabit iç – dış ortam koşullarında yoğuşmanın gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığında duvar katmanlarındaki kısmi ve doyma basınçlarının dağılımı ($x_{yal}=0,006$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}, T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}, \varphi_{iç}=0,5, \varphi_{dış}=0,7, \mu=100$) ...	29

- Şekil 4.17. Sabit iç – dış ortam koşullarında 0,01 m yalıtım uygulandığında, duvar katmanlarındaki kısmi ve doyma basınçlarının dağılımı
($x_{yal}=0,01$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{iç}=0,5$, $\varphi_{dış}=0,7$, $\mu=100$) ... 30
- Şekil 4.18. Sabit iç – dış ortam koşullarında 0,002 m yalıtım uygulandığında, duvar katmanlarındaki sıcaklık dağılımı
($x_{yal}=0,002$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{iç}=0,5$, $\varphi_{dış}=0,7$, $\mu=100$)... 30
- Şekil 4.19. Sabit iç – dış ortam koşullarında yoğuşmanın gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığında duvar katmanlarındaki sıcaklık dağılımı ($x_{yal}=0,006$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{iç}=0,5$, $\varphi_{dış}=0,7$, $\mu=100$) 31
- Şekil 4.20. Sabit iç – dış ortam koşullarında 0,01 m yalıtım uygulandığında, duvar katmanlarındaki sıcaklık dağılımı ($x_{yal}=0,01$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{iç}=0,5$, $\varphi_{dış}=0,7$, $\mu=100$) 31

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Dıştan yalıtımlı duvar tipi özellikleri	12
Çizelge 4.2. Yapı elemanından transfer olan toplam ısı miktarı ve yapı malzemesi yüzey sıcaklıkları	14
Çizelge 4.3. Transfer olan toplam su buharı miktarı ve yapı malzemesi yüzeyindeki havanın doyma ve kısmi basınç değerleri	16
Çizelge 4.4. Yapı elemanı katmanlarındaki doyma ve kısmi basınç değerleri farkı	17

1.GİRİŞ

Nüfus artışı, endüstrileşme ve şehirleşme gibi etkenler nedeniyle günden güne hızlı bir şekilde artmakta olan enerji tüketimi, ülkelerin en önemli sorunlarından birini oluşturmaktadır. Türkiye gibi enerji üretim ve tüketim oranları arasında büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkili bir biçimde kullanılması oldukça önemlidir.

Enerji üretiminin az olması ve aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, enerji korunumunu zorunlu hale getirmiştir. Enerji korunumu binalarda enerji tüketimi azaltılarak sağlanabilir.

Binalarda tüketilen enerjinin çoğunluğu ısı konforu sağlamak amacıyla binaların ısıtılması ve soğutulması için harcanmaktadır. Bu yüzden, kış aylarında ısı kayıplarını yaz aylarında da ısı kazançlarını azaltmak için en etkin yol bina dış kabuk elemanlarının yalıtılmasıdır. Bilindiği gibi yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kazanç ve kayıpları önemli ölçüde azalırken, yalıtım maliyeti artacaktır. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlığı belirlenmelidir. Fakat optimum yalıtım kalınlığını belirlerken yoğuşma riskinin göz önünde bulundurulması gerekir. Çünkü yoğuşma faktörü yalıtım için önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Yapı malzemelerinde ortaya çıkan yoğuşma olayı; hava ile temas eden yapı malzemesi yüzey sıcaklığının, havanın çığ noktası sıcaklığının altında olması durumunda gerçekleşir. Çoğu zaman yapı malzemelerinin yüzeyinde görülen yoğuşma kimi zaman da yapı malzemelerinin içinde kalabilir. Yapı elemanının iki yüzeyi arasında farklı sıcaklık ve bağıl nem olması durumunda yüzeylerde farklı buhar basınçları oluşur. Kış aylarında iç ortamdan dış ortama doğru ısı ve su buharı transferi gözlenir. Su buharının dış ortama gaz olarak ulaşması durumunda yapı elemanı açısından bir problem yoktur. Ancak su buharı, yapı elemanı içinden geçerken sıvı hale dönüşebilir. Bu durumda yoğuşan su, duvarlarda küf, mantar üremesi, koku veya boya bozulmalarına neden olabilir.

Yoğuşma olayının önlenmesi için yapı bileşeninin su buharı hareketine karşı direnci arttırılmalıdır. Yapı bileşeninin, su buharı ve ısı geçişine karşı direnci, yalıtım yapılarak arttırılabilir.

Bu çalışmada, dıştan yalıtımlı duvar için yoğuşma faktörü dikkate alınarak yalıtım kalınlığı optimizasyonu yapılmış ve ayrıca iç-dış ortam şartlarının ve yalıtım malzemesi su buharı difüzyon direncinin yalıtım kalınlığı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde optimum yalıtım kalınlığı hakkında birçok çalışma vardır. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Gölçü ve ark. (2006), Denizli'deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını Derece-Gün sayısını esas alarak hesaplamışlardır.

Bolattürk (2003), Isparta Bölgesindeki binaların duvar ve çatı döşemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarruflarını araştırmıştır. Bunun için yine Derece-Gün sayısı esas alınmıştır. Bolattürk (2006) başka bir çalışmasında, Türkiye'nin 4 iklim bölgesinden seçilen 16 şehir için ısıtma derece-gün fikrini kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplamıştır. Yine aynı yazarın bir diğer çalışmasında, binaların dış duvarındaki optimum yalıtım kalınlığı yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine dayandırılarak analiz edilmiştir (Bolattürk 2008).

Kaynaklı (2008), Bursa'daki binaların dış duvarları için 1992'den 2005'e kadar dış hava sıcaklık değerleri dikkate alınarak ısıtma mevsimi için derece-saat değerleri hesaplanmış ve optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir. Hasan (1999), optimum yalıtım kalınlığı için bir hesaplama yöntemi geliştirmiş ve Filistin'in Gazze Şeridi ve Batı Şeria Bölgelerinde, dört farklı duvar modeli üzerinde uygulama yapmıştır. Farklı yakıt ve yalıtım malzemelerine göre, optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır.

Çomaklı ve Yüksel (2003), Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk üç şehri için optimum yalıtım kalınlığını derece-gün sayılarını esas alarak araştırmışlardır. Aytaç ve Aksoy (2006), Elazığ ilindeki farklı yakıt türleri ve duvar modelleri için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Sisman ve ark. (2007), dört farklı derece-gün değerlerine sahip olan İzmir, Bursa, Eskişehir ve Erzurum illeri için dış duvarlar ve çatının optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir.

Özel ve Pıhtılı (2008), Adana, Erzurum, İstanbul, İzmir ve Elazığ illeri için ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığını saptamıştır. Uçar (2010), Antalya, İstanbul, Elazığ ve Erzurum illeri için dış duvarların optimum yalıtım kalınlığını belirlemiştir.

Yapılan çalışmaların bazıları ise, optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisini incelemiş ve ısıtma maliyeti ilişkisini araştırmıştır. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, Gustaffson (2000), İsveç'te yenilenmesi gereken binalarda, iyileştirme ölçütlerinin optimize edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, yalıtım uygulaması ve enerji maliyetlerinin azaltılması gibi farklı parametreleri göz önüne alarak, iyileştirmenin ekonomik boyutunu araştırmıştır.

Mohsen ve Akash (2001), binalarda farklı yalıtım malzemeleri kullanarak, ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplamış, duvar ve çatı yalıtımında genleştirilmiş polistiren kullanıldığında %76,8'e varan enerji kazancı elde etmiştir.

Aksoy ve Keleşoğlu (2007), bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma enerjisi üzerindeki etkisini görmek amacıyla, dar cepheleri kuzey-güney, uzun cepheleri doğu-batı yönünde konumlandırılmış penceresiz bir yapıdaki ısıtma enerjisi miktarı, geri dönüşüm süresi ve tasarruf oranlarını hesaplamışlar ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak %19 ile %77 arasında değişen enerji tasarrufu elde etmişlerdir.

Mohammed (1995), Katar'daki binalar için yalıtım malzemeleri, optimum yalıtım kalınlığı ve güneş radyasyonuna göre enerji hesaplamaları yapmıştır. Aksoy ve İnallı (2003), içten ve dıştan yalıtımlı duvar ile sandviç duvar uygulamalarının, ısıtma enerjisi tüketimiyle ilişkisini yön faktörünü de hesaba katarak araştırmıştır.

Genellikle yoğuşma faktörü dikkate alınmadan yapılan bu çalışmalarda derece-gün metodu esas alınarak ısı kaybının minimize edilmesi amaçlanmış ve optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır.

Literatürde, yoğuşma dikkate alınarak yapılan yalıtım kalınlığı optimizasyonu hakkında birkaç çalışma mevcuttur. Atmaca ve Kargıcı (2006), Konya ikliminde kış ayında bir yapı konstrüksiyonundaki buhar geçişini ve yoğuşma olayını incelemişlerdir. Ayrıca yoğuşma durumunda yoğuşan suyun miktarını hesaplamışlardır. Arslan ve Köse (2006), Kütahya ili için yoğuşmayı dikkate alarak yalıtım kalınlığının termoeconomik optimizasyonunu incelemişlerdir.

Heperkan ve ark. (2001), buhar difüzyonu ve yoğuşma hesaplarını kolaylaştıran, yapı malzemesi içerisinde yoğuşmanın meydana geldiği noktayı tespit eden bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Program, sekiz farklı malzemedenden oluşan bir yapı içinde ısı ve buhar geçişini hesaplamakta, sıcaklık ve buhar basıncı değişimini çizerek yoğuşma noktasını bulmaktadır.

Bu çalışmalarda yapı malzemesinin her bir katmanının bulunduğu sıcaklıktaki doyma basıncı ile su buharı kısmi basıncı kullanılarak ısı kayıplarının ve transfer olan su buharı miktarının minimize edilmesi amaçlanmış ve yalıtım kalınlığı optimize edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Sürekli Rejimde Tek Boyutlu Isı İletimi

Şekil 3.1' de görüldüğü gibi kalınlığı $\Delta x = L$ ve alanı A olan geniş bir düzlem duvarda sürekli şartlarda ısı iletimi göz önüne alınsın. Duvar boyunca sıcaklık farkı $\Delta T = T_2 - T_1$ ' dir. Deneyle göstermiştir ki Q birim zamanda transfer edilen ısı miktarı, duvar boyunca ΔT sıcaklık farkı veya ısı transferine dik A alanı iki kata çıkarıldığında iki kat artar, L duvar kalınlığı iki kata çıkarıldığında ise yarıya düşer. Böylelikle, birim zamanda transfer edilen ısı miktarı, tabaka boyunca sıcaklık farkı ve ısı transfer alanı ile doğru, tabakanın kalınlığı ile ters orantılı olduğu sonucuna varılır. Yani,

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.1)$$

olarak ifade edilir. Yukarıdaki denklem, $\Delta x \rightarrow 0$ limit durumunda,

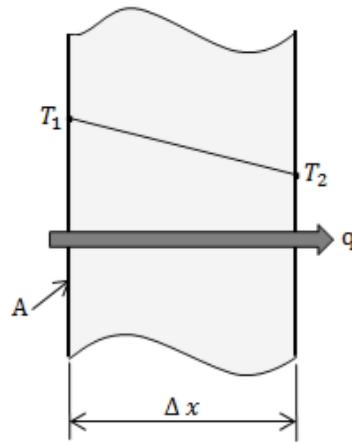
$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3.2)$$

diferansiyel şekline indirgenir ve Fourier ısı iletim kanunu olarak bilinir.

Fourier tarafından ortaya atılmış olan sürekli rejimde tek boyutlu ısı akışı için diferansiyel denklem,

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada q_x (W/m^2) x yönünde, birim zamanda, birim yüzeyden geçen ısı miktarı olup kısaca ısı akısıdır. Eşitlikteki k ($W/m^\circ C$), ısı iletim katsayısını, dT/dx sıcaklık gradyanını ifade eder.



Şekil 3.1 Kalınlığı Δx ve alanı A olan geniş bir düzlem duvarda ısı iletimi

3.2 Sürekli Rejimde Tek Boyutlu Su Buharı Difüzyonu

Isı iletimine benzer şekilde, Fick tarafından ortaya atılan sürekli rejimde tek boyutlu su buharı difüzyon diferansiyel denklemi de,

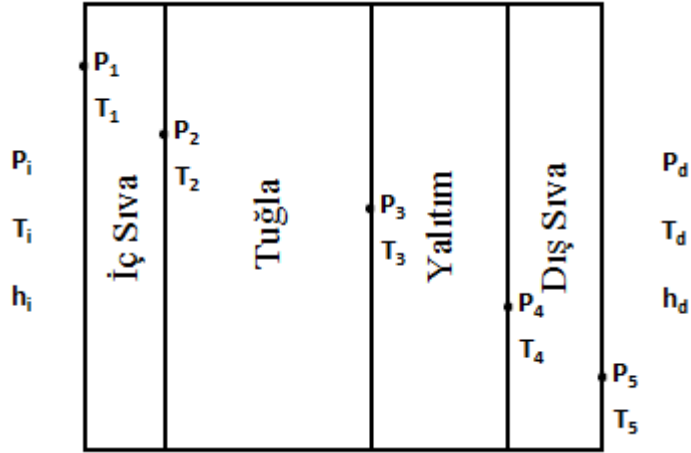
$$w_x = -\mu_p \frac{dP}{dx} \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanır (Heperkan ve ark. 2001). Burada w_x (kg/h m²), x yönünde, birim zamanda, birim yüzeyden geçen su buharı olup kısaca su buharı akısıdır. Eşitlikteki μ_p (kg/h m mmSS), yapı malzemesinin buhar geçirgenliğini, dP/dx (mmSS/m), su buharı kısmi basınç gradyanını ifade eder.

Fourier ısı iletim kanununda belirtildiği gibi ısı akısının yönü nasıl yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru ise, Fick kanununa göre su buharı akısı, yüksek su buharı kısmi basıncından düşük su buharı kısmi basıncına doğru olmaktadır.

3.3 Bileşik Düzlem Duvarda Isı İletimi

Şekil 3.2’de görülmekte olan, 4 farklı yapı malzemesinden oluşan bir dış duvarda, iç ortamdaki sıcaklık T_i , su buharının kısmi basıncı P_i , dış ortamdaki sıcaklık T_d , su buharının kısmi basıncı P_d olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.2 Bileşik düzlem duvarda sıcaklık ve kısmi basınç dağılımı

Bileşik düzlem duvarda sürekli rejimde duvarın her noktasında ısı akısı aynı, iç taraftaki ısı taşınım katsayısı h_i , dış taraftaki ısı taşınım katsayısı h_d , malzemelerin ısı iletim katsayıları k ve kalınlıkları x olduğuna göre,

$$q = h_i(T_i - T_1) \rightarrow (T_i - T_1) = \frac{q}{h_i} \quad (3.5)$$

$$q = \frac{k_1}{x_1}(T_1 - T_2) \rightarrow (T_1 - T_2) = \frac{q}{\frac{k_1}{x_1}} \quad (3.6)$$

$$q = \frac{k_2}{x_2}(T_2 - T_3) \rightarrow (T_2 - T_3) = \frac{q}{\frac{k_2}{x_2}} \quad (3.7)$$

$$q = \frac{k_3}{x_3}(T_3 - T_4) \rightarrow (T_3 - T_4) = \frac{q}{\frac{k_3}{x_3}} \quad (3.8)$$

$$q = \frac{k_4}{x_4}(T_4 - T_5) \rightarrow (T_4 - T_5) = \frac{q}{\frac{k_4}{x_4}} \quad (3.9)$$

$$q = h_d(T_5 - T_d) \rightarrow (T_5 - T_d) = \frac{q}{h_d} \quad (3.10)$$

denklemleri yazılabilir. Benzer şekilde her katman için eşitlikler yazılıp, taraf tarafa toplanırsa toplam ısı transferi (1m^2 yüzey için),

$$q_{toplam} = \frac{(T_i - T_d)}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} + \frac{1}{h_d}} \quad (3.11)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitliğin paydasının tersi toplam ısı transferi katsayısı olup;

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} + \frac{1}{h_d}} \quad (3.12)$$

olarak ifade edilir.

3.4 Bileşik Düzlem Duvarda Su Buharı Difüzyonu

Isı iletimine benzer şekilde, bileşik düzlem duvarda sürekli rejimde duvarın her noktasında su buharı akısı aynı olduğundan ve iç ortamdaki buhar geçirgenlik katsayısı β_i , dış ortamdaki buhar geçirgenlik katsayısı β_d , yapı malzemelerinin buhar geçirgenliği μ_p ve kalınlıkları x olduğuna göre;

$$w = \beta_i(P_i - P_1) \rightarrow (P_i - P_1) = \frac{w}{\beta_i} \quad (3.13)$$

$$w = \frac{\mu_{p1}}{x_1}(P_1 - P_2) \rightarrow (P_1 - P_2) = \frac{w}{\frac{\mu_{p1}}{x_1}} \quad (3.14)$$

$$w = \frac{\mu_{p2}}{x_2}(P_2 - P_3) \rightarrow (P_2 - P_3) = \frac{w}{\frac{\mu_{p2}}{x_2}} \quad (3.15)$$

$$w = \frac{\mu_{p3}}{x_3}(P_3 - P_4) \rightarrow (P_3 - P_4) = \frac{w}{\frac{\mu_{p3}}{x_3}} \quad (3.16)$$

$$w = \frac{\mu_{p4}}{x_4}(P_4 - P_5) \rightarrow (P_4 - P_5) = \frac{w}{\frac{\mu_{p4}}{x_4}} \quad (3.17)$$

$$w = \beta_d(P_5 - P_d) \rightarrow (P_5 - P_d) = \frac{w}{\beta_d} \quad (3.18)$$

denklemleri yazılabilir. Bu eşitlikler alt alta yazılıp taraf tarafa toplanırsa toplam su buharı akısı (1m^2 yüzey için),

$$w_{toplam} = \frac{(P_i - P_d)}{\frac{1}{\beta_i} + \frac{x_1}{\mu_{p1}} + \frac{x_2}{\mu_{p2}} + \frac{x_3}{\mu_{p3}} + \frac{x_4}{\mu_{p4}} + \frac{1}{\beta_d}} \quad (3.19)$$

şeklinde yazılabilir. (3.19) eşitliğinde iç ortam su buharı kısmi basıncı P_i , dış ortam su buharı kısmi basıncı P_d olup bu değerler, bağıl nem yardımı ile hesaplanabilir.

$$\varphi_i = \frac{P_i}{P_{s,i}} \quad (3.20)$$

$$\varphi_d = \frac{P_d}{P_{s,d}} \quad (3.21)$$

(3.20) eşitliğindeki φ_i iç ortam bağıl nemini, $P_{s,i}$ iç ortam sıcaklığındaki doymuş havanın su buharı basıncını ifade eder.

(3.21) eşitliğindeki φ_d dış ortam bağıl nemini, $P_{s,d}$ dış ortam sıcaklığındaki doymuş havanın su buharı basıncını ifade eder.

Elde edilen (3.19) eşitliğinde, buhar geçirgenliği μ_p (kg/h m mmSS) yerine yapı malzemesi buhar geçirgenlik direnci δ (mmSS m h/kg) kullanılır. Buhar geçirgenlik direnci,

$$\delta = \frac{1}{\mu_p} \quad (3.22)$$

şeklinde tanımlanır. Yapı malzemesi buhar geçirgenlik direncinin, havanın difüzyon direncine oranı yapı malzemesinin havaya göre direnç faktörünü belirler.

$$\mu = \frac{\delta}{\delta_{hava}} \quad (3.23)$$

Bu eşitlikte μ , yapı malzemesinin havaya göre direnç faktörünü, δ_{hava} (mmSS m h/kg), havanın difüzyon direncini ifade eder. Havanın difüzyon direnci,

$$\delta_{hava} = \frac{D}{R_D \times T} \quad (3.24)$$

şeklinde tanımlanır (Yetim 2007). Burada R_D (N m/mg K), su buharının gaz sabiti olup değeri 462×10^{-6} 'dır (Yetim 2007). T (K), deney sıcaklığı, D (m²/s) ise su buharı difüzyon katsayısı olup değeri $2,25 \times 10^{-5}$ 'dir.(Çengel 2011). Eşitlik (3.24)'deki hesaplamalarla, δ_{hava} değeri 10°C daki hava için yaklaşık olarak $1,5 \times 10^5$ mmSS m h/kg olarak alınabilir (Heperkan ve ark. 2001). Ayrıca bu değer -20 ile +30°C da su buharı difüzyon proseslerinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu yaklaşımlardan sonra (3.19) eşitliği,

$$W_{toplam} = \frac{(P_i - P_d)}{\frac{1}{\beta_i} + 1,5 \times 10^5 (x_1 \mu_1 + x_2 \mu_2 + x_3 \mu_3 + x_4 \mu_4) + \frac{1}{\beta_d}} \quad (3.25)$$

şeklinde yazılabilir.

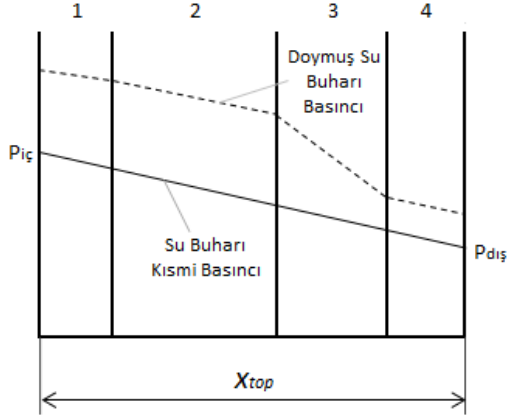
İç yüzey buhar geçirgenlik katsayısı $\beta_i = 0,00111$ kg/m² h mmSS, dış yüzey buhar geçirgenlik katsayısı $\beta_d = 0,0039$ kg/m h mmSS olarak alınmıştır (Dağsöz 1995).

3.5 Yoğuşma Olayının Grafikselleştirilmesi

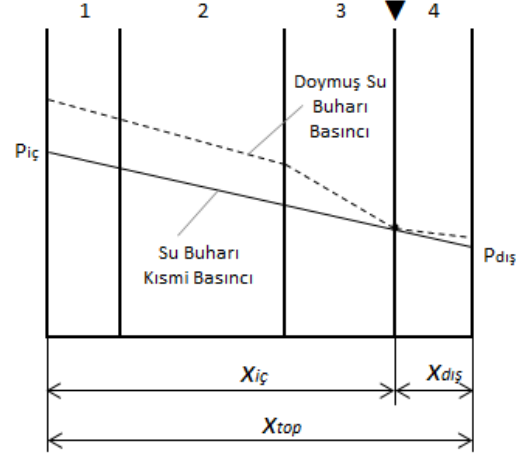
Tabaka içinde kısmi su buharı basınçları doymuş su buharı basınçları ile karşılaştırılır.

Yapı bileşenlerinde su buharı hareketlerini izlemek için çizilen grafikte yatay eksen (x-ekseni) yapı malzemesi kalınlığını (x), dikey eksen (y-ekseni) su buharı basınçlarını göstermektedir. Grafikte doyma basıncı eğrisi ile kısmi su buharı basıncı eğrilerinin kesişip kesişmediğine bakılır. Kesişme yoksa yoğuşma gözlenmez ama kesişme varsa yoğuşma gözlenir.

Şekil 3.3’de doymuş su buharı ve su buharı kısmi basınç eğrilerinin kesişmemesinden dolayı yoğuşma gözlenmemektedir. Şekil 3.4’de ise 3. ve 4. katmanlar arasında yoğuşma gözlenmektedir.



Şekil 3.3 Duvar bileşenlerinde doymuş su buharı ve su buharı kısmi basınçlarının kesişmemesi durumu



Şekil 3.4 Duvar bileşenlerinde doymuş su buharı ve su buharı kısmi basınçlarının kesişmesi durumu

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada duvar tipi olarak dıştan yalıtımlı duvar kullanılmıştır. Dıştan yalıtımlı duvar tipinin özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Dıştan yalıtımlı duvar tipi özellikleri

	<i>Kalınlık, x (m)</i>	<i>Isı İletim Katsayısı, k (W/m K)</i>	<i>Isı Taşınım Katsayısı, h (W/m² K)</i>	<i>Yapı Malz. Havaya Göre Direnç Faktörü, μ</i>	<i>Buhar Geçirgenlik Katsayısı, β (kg/m² h mmSS)</i>
İç Sıva	0,02	0,87	-----	10	-----
Tuğla	0,135	0,45	-----	6,8	-----
Yalıtım	<i>x</i>	0,034	-----	100	-----
Dış Sıva	0,03	1,4	-----	16,5	-----
İç Ortam	-----	-----	8,3	-----	0,00111
Dış Ortam	-----	-----	34	-----	0,0039

Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığının tespitine yönelik bu prosedürde öncelikle duvar tipi özellikleri girilir ve iç – dış ortam şartları belirlenir. Daha sonra, yapı elemanı katmanlarından transfer olan ısı akısı hesaplanır ve ardından yapı malzemesi ara yüzey sıcaklıkları tespit edilir (Çizelge 4.2). Çizelgede T₁, T₂, T₃, T₄ ve T₅ iç sıvadan dış sıvaya kadar duvar katmanlarının ara yüzey sıcaklıklarıdır ve daha önce verilen Şekil 3.2’den görülebilir.

Örnek olarak $x = 0,001$ m için,

Çizelge 4.1’deki duvar tipi özellikleri için, iç – dış ortam sıcaklıkları sırasıyla 22°C ve -3°C olarak belirlendiğinde, eşitlik (3.11) kullanılarak,

$$q_{top} = \frac{22 - (-3)}{\frac{1}{8,3} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,135}{0,45} + \frac{0,001}{0,034} + \frac{0,03}{1,4} + \frac{1}{34}}$$

$$q_{top} = 47,7352 \text{ W/m}^2 \text{ hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.5) kullanılarak,

$$(22 - T_1) = \frac{47,7352}{8,3}$$

$$T_1 = 16,2488^\circ\text{C hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.6) kullanılarak,

$$(16,2488 - T_2) = \frac{47,7352}{0,87/0,02}$$

$$T_2 = 15,1514^\circ\text{C hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.7) kullanılarak,

$$(15,1514 - T_3) = \frac{47,7352}{0,45/0,135}$$

$$T_3 = 0,8309^\circ\text{C hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.8) kullanılarak,

$$(0,8309 - T_4) = \frac{47,7352}{0,034/0,001}$$

$$T_4 = -0,5731^\circ\text{C hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.9) kullanılarak,

$$(-0,5731 - T_5) = \frac{47,7352}{1,4/0,03}$$

$$T_5 = -1,5960^\circ\text{C hesaplanır.}$$

Diğer yalıtım kalınlıkları için de benzer hesaplamalar yapıldığında Çizelge 4.2'deki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 4.2 Yapı elemanından transfer olan toplam ısı miktarı ve yapı malzemesi yüzey sıcaklıkları

Yalıtım Kalınlığı x (m)	Isı Akısı q (W/m ²)	Ara Yüzey Sıcaklıkları (°C)				
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
0	50,57547	15,9066	14,7439	-0,4287	-0,4287	-1,5125
0,001	47,7352	16,2488	15,1514	0,8309	-0,5731	-1,596
0,002	45,19698	16,5546	15,5156	1,9565	-0,7022	-1,6707
0,003	42,91506	16,8295	15,843	2,9684	-0,8182	-1,7378
0,004	40,85249	17,078	16,1389	3,8831	-0,923	-1,7985
0,005	38,97909	17,3037	16,4077	4,7139	-1,0183	-1,8536
0,006	37,26997	17,5096	16,6529	5,4719	-1,1052	-1,9038
0,007	35,70444	17,6983	16,8775	6,1661	-1,1848	-1,9499
0,008	34,26512	17,8717	17,084	6,8044	-1,2579	-1,9922
0,009	32,93735	18,0316	17,2745	7,3933	-1,3255	-2,0313
0,01	31,70865	18,1797	17,4507	7,9382	-1,3879	-2,0674
0,011	30,56832	18,3171	17,6143	8,4439	-1,4459	-2,1009
0,012	29,50716	18,4449	17,7666	8,9144	-1,4998	-2,1321
0,013	28,51721	18,5642	17,9086	9,3535	-1,5502	-2,1613
0,014	27,59152	18,6757	18,0414	9,764	-1,5972	-2,1885
0,015	26,72404	18,7802	18,1659	10,1487	-1,6413	-2,214
0,016	25,90945	18,8784	18,2828	10,5099	-1,6828	-2,238
0,017	25,14304	18,9707	18,3927	10,8498	-1,7217	-2,2605
0,018	24,42068	19,0577	18,4964	11,1702	-1,7584	-2,2817
0,019	23,73866	19,1399	18,5942	11,4726	-1,7931	-2,3018
0,02	23,09371	19,2176	18,6867	11,7586	-1,8259	-2,3208
0,021	22,48287	19,2912	18,7744	12,0295	-1,857	-2,3387
0,022	21,90351	19,361	18,8575	12,2864	-1,8864	-2,3558
0,023	21,35326	19,4273	18,9364	12,5305	-1,9144	-2,372
0,024	20,82998	19,4904	19,0115	12,7625	-1,941	-2,3874
0,025	20,33173	19,5504	19,083	12,9835	-1,9663	-2,402

Hesaplanan yapı malzemesi ara yüzey sıcaklıkları yardımıyla o sıcaklıktaki doyma basınçları belirlenir ve duvardan geçen su buharı miktarı eşitlik (3.25) ile hesaplanır. Daha sonra yapı malzemesi yüzeyindeki havanın su buharı kısmi basıncı hesaplanır (Çizelge 4.3). Çizelge 4.3’de verilen P_1 , P_2 , P_3 , P_4 ve P_5 duvar katmanlarındaki su buharı kısmi basınç değerleridir ve daha önce verilen Şekil 3.2’den görülebilir.

Örnek olarak $x = 0,001$ m için,

Çizelge 4.2’de verilen ara yüzey sıcaklıkları yardımıyla o sıcaklıklardaki su buharı doyma basınçları belirlenir ve eşitlik (3.25) kullanılarak,

$$q_{top} = \frac{1,32086 - 0,34101}{\frac{1}{0,00111} + 1,5 \times 10^5(0,02 \times 10 + 0,135 \times 6,8 + 0,001 \times 100 + 0,03 \times 16,5) + \frac{1}{0,0039}} \times 10^3$$

$$q_{top} = 0,003796 \text{ g/m}^2 \text{ h hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.13) kullanılarak,

$$(1,32086 - P_{1kismi}) = \frac{0,003796 \times 10^{-3}}{0,00111}$$

$$P_{1kismi} = 1,3174 \text{ kPa hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.14) kullanılarak,

$$(1,3174 - P_{2kismi}) = \frac{0,003796 \times 10^{-3}}{1/0,02 \times 10 \times 1,5 \times 10^5}$$

$$P_{2kismi} = 1,2036 \text{ kPa hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.15) kullanılarak,

$$(1,2036 - P_{3kismi}) = \frac{0,003796 \times 10^{-3}}{1/0,135 \times 6,8 \times 1,5 \times 10^5}$$

$$P_{3kismi} = 0,6808 \text{ kPa hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.16) kullanılarak,

$$(0,6808 - P_{4kismi}) = \frac{0,003796 \times 10^{-3}}{1/0,001 \times 100 \times 1,5 \times 10^5}$$

$$P_{4kismi} = 0,6239 \text{ kPa hesaplanır.}$$

Eşitlik (3.17) kullanılarak,

$$(0,6239 - P_{5kismi}) = \frac{0,003796 \times 10^{-3}}{1/0,03 \times 16,5 \times 1,5 \times 10^5}$$

$$P_{5kismi} = 0,3420 \text{ kPa hesaplanır.}$$

Diğer yalıtım kalınlıkları için de benzer hesaplamalar yapıldığında Çizelge 4.3'deki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 4.3 Transfer olan toplam su buharı miktarı ve yapı malzemesi yüzeyindeki havanın doyma ve kısmi basınç değerleri

Yalıtım Kalınlığı x (m)	Su Buharı Miktarı w (g/m^2h)	Kısmi ve Doyma Basınçları (kPa)									
		P_1		P_2		P_3		P_4		P_5	
		P_{doyma}	$P_{kısmi}$	P_{doyma}	$P_{kısmi}$	P_{doyma}	$P_{kısmi}$	P_{doyma}	$P_{kısmi}$	P_{doyma}	$P_{kısmi}$
0	0,004031	1,8056	1,3172	1,6757	1,1963	0,5914	0,6413	0,5914	0,6413	0,5455	0,34204
0,001	0,003796	1,8455	1,3174	1,7203	1,2036	0,6486	0,6808	0,5851	0,6239	0,5421	0,34198
0,002	0,003588	1,8818	1,3176	1,7610	1,2100	0,7035	0,7160	0,5795	0,6083	0,5391	0,34193
0,003	0,003401	1,9149	1,3178	1,7983	1,2158	0,7562	0,7475	0,5745	0,5944	0,5363	0,34188
0,004	0,003233	1,9453	1,3180	1,8326	1,2210	0,8068	0,7758	0,5701	0,5819	0,5339	0,34184
0,005	0,00308	1,9733	1,3181	1,8643	1,2257	0,8552	0,8015	0,5661	0,5705	0,5317	0,34180
0,006	0,002942	1,9992	1,3182	1,8936	1,2300	0,9015	0,8249	0,5624	0,5602	0,5297	0,34176
0,007	0,002815	2,0231	1,3183	1,9208	1,2339	0,9459	0,8463	0,5591	0,5507	0,5278	0,34173
0,008	0,002699	2,0453	1,3184	1,9461	1,2375	0,9883	0,8659	0,5560	0,5421	0,5261	0,34170
0,009	0,002591	2,0660	1,3185	1,9697	1,2408	1,0290	0,8839	0,5532	0,5341	0,5246	0,34167
0,01	0,002493	2,0853	1,3186	1,9917	1,2438	1,0679	0,9006	0,5506	0,5267	0,5231	0,34165
0,011	0,002401	2,1034	1,3187	2,0124	1,2467	1,1052	0,9161	0,5482	0,5199	0,5218	0,34163
0,012	0,002316	2,1203	1,3188	2,0318	1,2493	1,1409	0,9304	0,5460	0,5136	0,5206	0,34160
0,013	0,002237	2,1362	1,3188	2,0501	1,2518	1,1751	0,9438	0,5440	0,5076	0,5194	0,34158
0,014	0,002163	2,1512	1,3189	2,0673	1,2540	1,2079	0,9563	0,5420	0,5021	0,5184	0,34156
0,015	0,002093	2,1653	1,3190	2,0835	1,2562	1,2394	0,9679	0,5402	0,4970	0,5174	0,34155
0,016	0,002028	2,1786	1,3190	2,0989	1,2582	1,2697	0,9789	0,5386	0,4921	0,5164	0,34153
0,017	0,001967	2,1912	1,3191	2,1134	1,2601	1,2987	0,9892	0,5370	0,4876	0,5155	0,34151
0,018	0,00191	2,2032	1,3191	2,1272	1,2619	1,3266	0,9989	0,5355	0,4833	0,5147	0,34150
0,019	0,001855	2,2145	1,3192	2,1402	1,2635	1,3534	1,0080	0,5341	0,4792	0,5139	0,34149
0,02	0,001804	2,2252	1,3192	2,1527	1,2651	1,3792	1,0167	0,5328	0,4754	0,5132	0,34147
0,021	0,001756	2,2355	1,3193	2,1645	1,2666	1,4041	1,0249	0,5315	0,4718	0,5125	0,34146
0,022	0,00171	2,2452	1,3193	2,1758	1,2680	1,4280	1,0326	0,5304	0,4684	0,5118	0,34145
0,023	0,001666	2,2545	1,3194	2,1865	1,2694	1,4511	1,0400	0,5292	0,4651	0,5112	0,34144
0,024	0,001625	2,2633	1,3194	2,1968	1,2707	1,4733	1,0469	0,5282	0,4621	0,5106	0,34143
0,025	0,001585	2,2718	1,3194	2,2066	1,2719	1,4948	1,0536	0,5272	0,4591	0,5100	0,34142

Son olarak yapı elemanı katmanlarındaki su buharı doyma ve kısmi basınç değerleri arasındaki fark incelenir. Eğer fark negatif ise yoğuşma gerçekleşmekte, eğer fark pozitifse yoğuşma gerçekleşmemektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 incelendiğinde uygulanan yalıtım kalınlığı 0,006m'ye ulaşana kadar 3. ve 4. katmanlarda yoğuşma gözlenmektedir. Fakat 0,006m'den itibaren yoğuşma riski gözlenmemektedir. Çünkü yalıtım kalınlığı arttıkça, yalıtım malzemesinden geçen su buharı miktarı azalmakta ve buna bağlı olarak kısmi basınç değeri, iç sıvadan yalıtım malzemesi iç yüzeyine kadar olan tüm katmanlarda artarken, yalıtım malzemesi dış yüzeyinden dış sıvaya kadar olan tüm katmanlarda azalmaktadır.

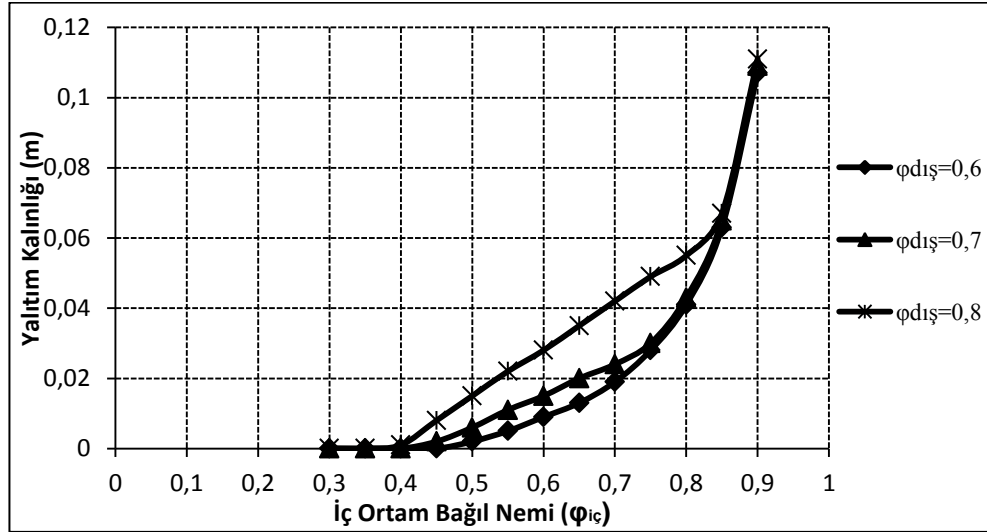
Çizelge 4.4 Yapı elemanı katmanlarındaki doyma ve kısmi basınç değerleri farkı

Yalıtım Kalınlığı x (m)	Doyma ve Kısmi Basınç Farkı (kPa)				
	P_{fark1}	P_{fark2}	P_{fark3}	P_{fark4}	P_{fark5}
0	0,4884	0,4794	-0,0499	-0,0499	0,2035
0,001	0,5280	0,5167	-0,0322	-0,0388	0,2001
0,002	0,5641	0,5510	-0,0124	-0,0288	0,1971
0,003	0,5971	0,5825	0,0088	-0,0199	0,1945
0,004	0,6274	0,6116	0,0309	-0,0118	0,1920
0,005	0,6552	0,6386	0,0536	-0,0045	0,1899
0,006	0,6810	0,6636	0,0766	0,0022	0,1879
0,007	0,7048	0,6869	0,0996	0,0083	0,1861
0,008	0,7269	0,7086	0,1225	0,0139	0,1844
0,009	0,7475	0,7289	0,1451	0,0191	0,1829
0,010	0,7667	0,7479	0,1673	0,0239	0,1815
0,011	0,7847	0,7657	0,1891	0,0283	0,1802
0,012	0,8015	0,7825	0,2105	0,0325	0,1790
0,013	0,8174	0,7983	0,2313	0,0363	0,1778
0,014	0,8323	0,8132	0,2517	0,0399	0,1768
0,015	0,8463	0,8273	0,2715	0,0433	0,1758
0,016	0,8596	0,8407	0,2908	0,0464	0,1749
0,017	0,8721	0,8533	0,3095	0,0494	0,1740
0,018	0,8840	0,8653	0,3277	0,0522	0,1732
0,019	0,8953	0,8767	0,3454	0,0549	0,1724
0,020	0,9060	0,8876	0,3626	0,0574	0,1717
0,021	0,9162	0,8979	0,3792	0,0597	0,1710
0,022	0,9259	0,9078	0,3954	0,0620	0,1704
0,023	0,9351	0,9172	0,4111	0,0641	0,1697
0,024	0,9439	0,9262	0,4264	0,0661	0,1691
0,025	0,9524	0,9348	0,4412	0,0680	0,1686

4.1 İç Ortam Bağlı Nemnin Yalıtım Kalınlığına Etkisi

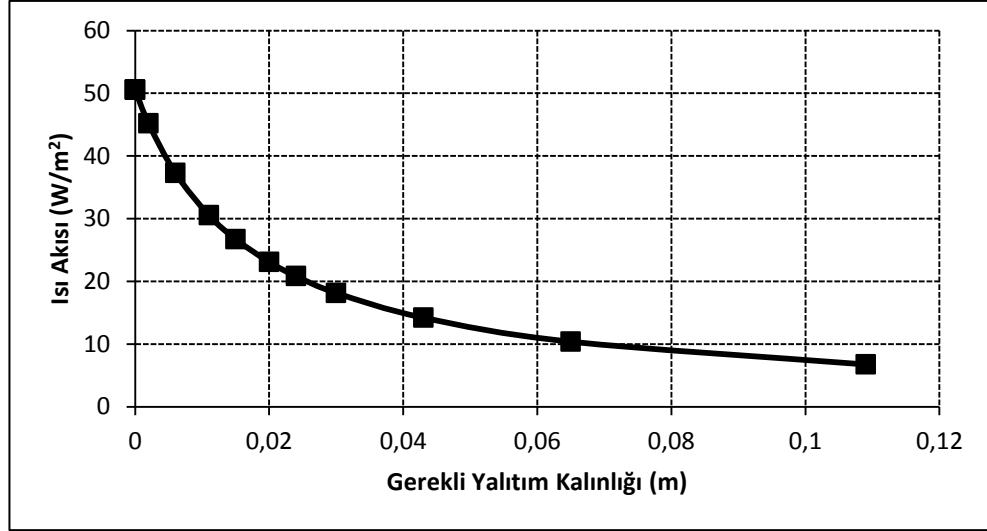
Şekil 4.1’de farklı dış ortam bağlı nemleri için, iç ortam bağlı nemnin yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığına olan etkisi incelenmiştir. Burada iç ve dış ortam sıcaklıkları sırasıyla 22°C ve -3°C alınmıştır. Düşük iç bağlı nem şartlarında (yaklaşık %30-40) duvarda yoğuşma gerçekleşmediğinden yalıtım gerekmemektedir. Fakat bağlı nem arttıkça, iç ortamdan dış ortama transfer olan su buharı miktarında artma gözlenir. Bunu önlemek için yalıtım kalınlığının artırılması gerekir. Yalıtım kalınlığındaki artış özellikle yüksek iç bağlı nem değerlerinde, havanın su alma kabiliyetindeki belirginleşen azalma nedeniyle daha fazla olmaktadır.

Ayrıca dış ortam bağlı nemi arttıkça, iç ve dış ortam arasındaki kısmi basınç farkının azalmasına karşın dış ortamdaki havanın su alma kabiliyetinin azalması nedeniyle yoğuşma riski artar. Bu nedenle dış ortam bağlı nemi arttıkça Şekil 4.1’de görüldüğü gibi gerekli yalıtım kalınlığı da artmaktadır.



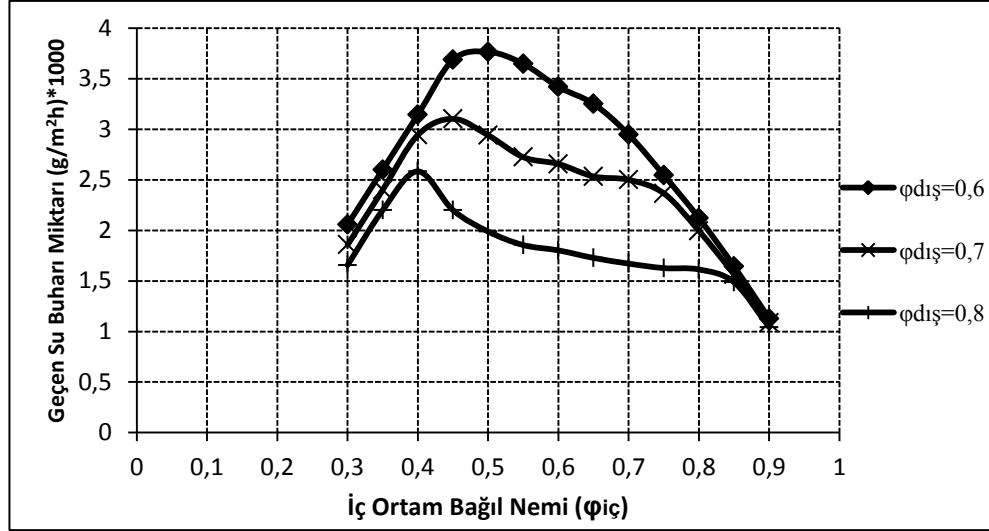
Şekil 4.1 Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığının iç ortam bağlı nemi ile değişimi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)

Aynı şartlar için duvardan olan ısı geçişinin değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’de iç-dış ortam sıcaklıkları ve dış ortam bağlı nemi sabit tutulmuştur. İç ortam bağlı nemnin artması sonucu yoğuşmanın gerçekleşmemesi için yalıtım kalınlığı arttığından iç ortamdan dış ortama geçen ısı miktarı Şekil 4.2’de görüldüğü gibi azalmaktadır.



Şekil 4.2 Yalıtım kalınlığının ısı akısına etkisi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\phi_{dış}=0,70$)

Şekil 4.1 ve 4.2'deki aynı şartlar için iç ve dış ortam sıcaklıkları sabit tutularak, farklı dış ortam bağıl nemleri için iç ortam bağıl neminin, duvardan geçen su buharı miktarına olan etkisi Şekil 4.3'de incelenmiştir. İç ortam bağıl nemi belli bir değere ulaşıncaya kadar yoğuşma gerçekleşmediği için yalıtıma gerek duyulmaz. Bu durumda bağıl nem arttıkça duvardan geçen su buharı miktarı artmaktadır. Fakat belli bir değerden (yaklaşık %40-50) sonra yoğuşma gerçekleştiği için yapılan yalıtım nedeniyle geçen su buharı miktarında azalma görülür. Ayrıca dış ortam bağıl nemi arttıkça, yoğuşma riski nedeniyle gerekli yalıtım kalınlığı da artmaktadır. Bu sebeple dış ortam bağıl neminin artmasıyla, iç ortamdaki dış ortama transfer olan su buharı miktarı azalır.

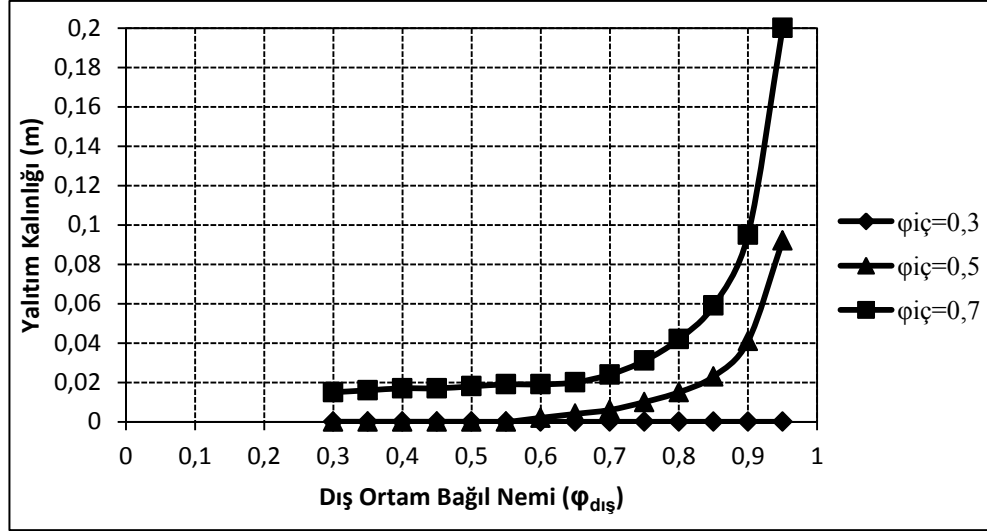


Şekil 4.3 Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığında geçen su buharı miktarının, iç ortam bağıl nemi ile değişimi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)

4.2 Dış Ortam Bağıl Neminin Yalıtım Kalınlığına Etkisi

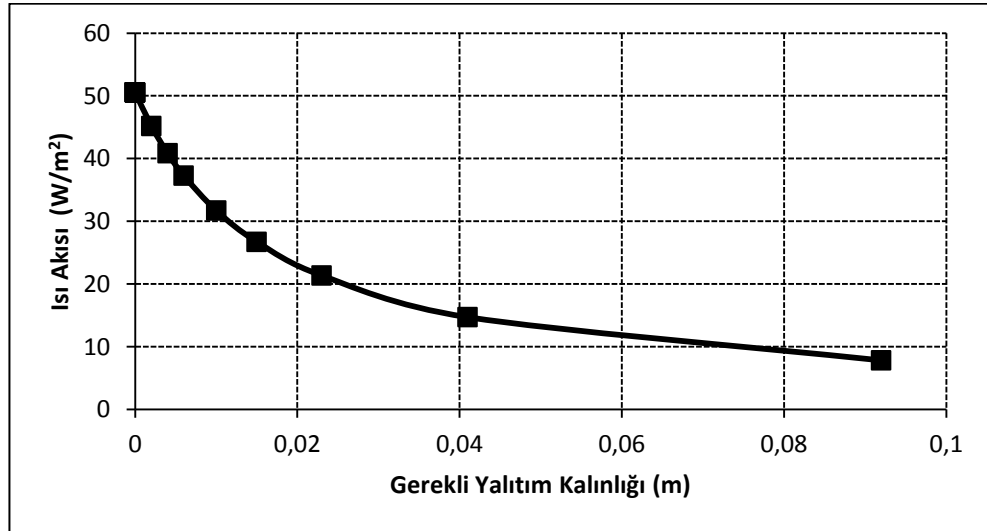
Dış ortam bağıl neminin yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisi Şekil 4.4’de görülmektedir. Dış ortam bağıl nemi arttıkça dış ortamın su buharı kısmi basıncı artar ve geçen su buharı miktarı azalır. Bu durum yoğuşma riskini azaltıcı bir etkiye sahiptir. Ancak dış ortam bağıl neminin artmasıyla birlikte dış ortam havasının su buharı alma kabiliyeti azalır ve bu durum duvar katmanlarında meydana gelen yoğuşma riskini arttırır. Bu nedenle dış ortam bağıl neminin artması sonucu gerekli yalıtım kalınlığı Şekil 4.4’de görüldüğü gibi artmaktadır.

Ayrıca iç ortam bağıl nemi arttıkça, iç ortamdan dışarıya transfer olan su buharı miktarı daha fazla olacağı için yoğuşmayı engellemek adına yalıtım kalınlığı arttırılır. Fakat düşük iç ortam bağıl nem değerlerinde (örneğin $\phi_{iç}=0,30$), transfer olan su buharı miktarı daha az olup bu durum yoğuşma riski yaratmamakta ve yalıtıma gerek duyulmamaktadır.



Şekil 4.4 Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığının, dış ortam bağıl nemi ile değişimi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)

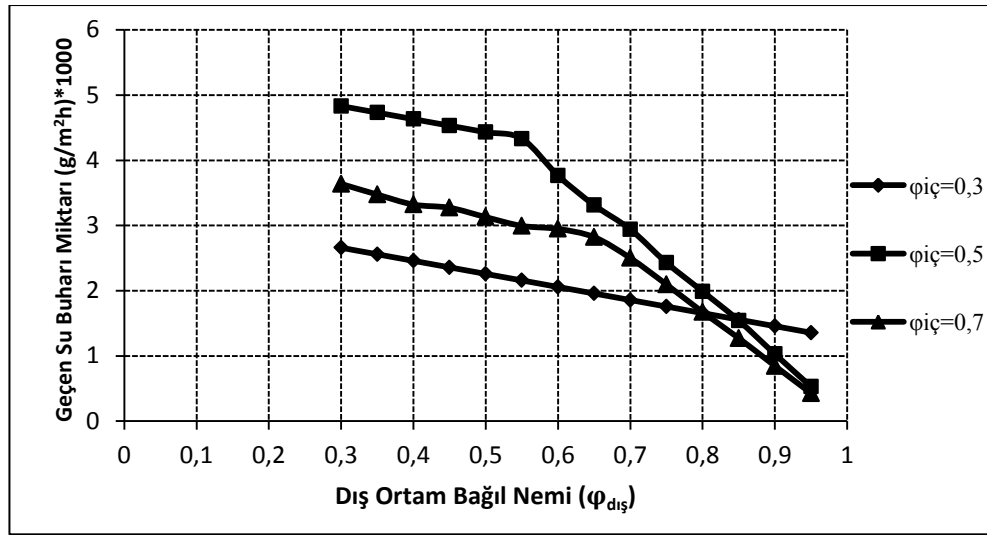
Aynı şartlar için duvardan olan ısı geçişinin değişimi Şekil 4.5’ de verilmiştir. Şekil 4.5’de iç – dış ortam sıcaklıkları ve iç ortam bağıl nemi sabit tutulmuştur. Dış ortam bağıl neminin artmasıyla, yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli yalıtım kalınlığı da arttığı için iç ortamdaki dış ortama geçen ısı akısı Şekil 4.5’de görüldüğü gibi azalmaktadır.



Şekil 4.5 Yalıtım kalınlığının ısı akısına etkisi ($T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\phi_{iç}=0,50$)

Şekil 4.4 ve 4.5’deki aynı şartlar için iç ve dış ortam sıcaklıkları sabit tutularak, farklı iç ortam bağıl nemleri için dış ortam bağıl neminin, duvardan geçen su buharı miktarına olan etkisi Şekil 4.6’da incelenmiştir. Düşük iç ortam bağıl nem değerlerinde

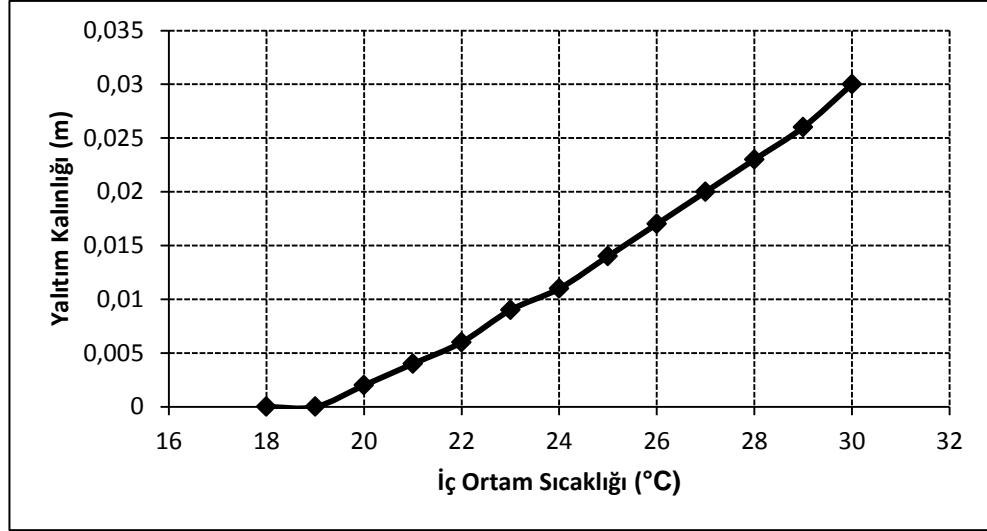
(örneğin $\varphi_{iç}= 0,3$) yoğuşma riski olmadığı için yalıtıma gerek duyulmaz. Bu durumda dış ortam bağıl nemi arttıkça dış ortamdaki havanın kısmi basıncı artar ve içeriden dışarıya transfer olan su buharı miktarı azalır. Daha yüksek iç ortam bağıl nem değerlerinde ise (örneğin $\varphi_{iç}= 0,5$) dış ortam bağıl nemi belirli bir değere ulaşana kadar yoğuşma riski olmadığı için yalıtıma gerek duyulmaz. Fakat belirli bir değerden sonra (yaklaşık %55) yoğuşma gerçekleştiği için yapılan yalıtım etkisiyle transfer olan su buharı miktarındaki azalma daha da belirginleşir. Ayrıca yüksek iç ortam bağıl nemlerinde (örneğin $\varphi_{iç}= 0,7$), yoğuşma riski daha fazla olduğu için düşük dış ortam bağıl nemlerinden itibaren yalıtım uygulanır. Bu sebeple, Şekil 4.6’da görüldüğü gibi $\varphi_{iç}= 0,7$ değerinde geçen su buharı miktarı $\varphi_{iç}= 0,5$ değerine göre daha azdır.



Şekil 4.6 Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığında geçen su buharı miktarının dış ortam bağıl nemi ile değişimi ($T_{iç}=22^{\circ}C$, $T_{dış}=-3^{\circ}C$)

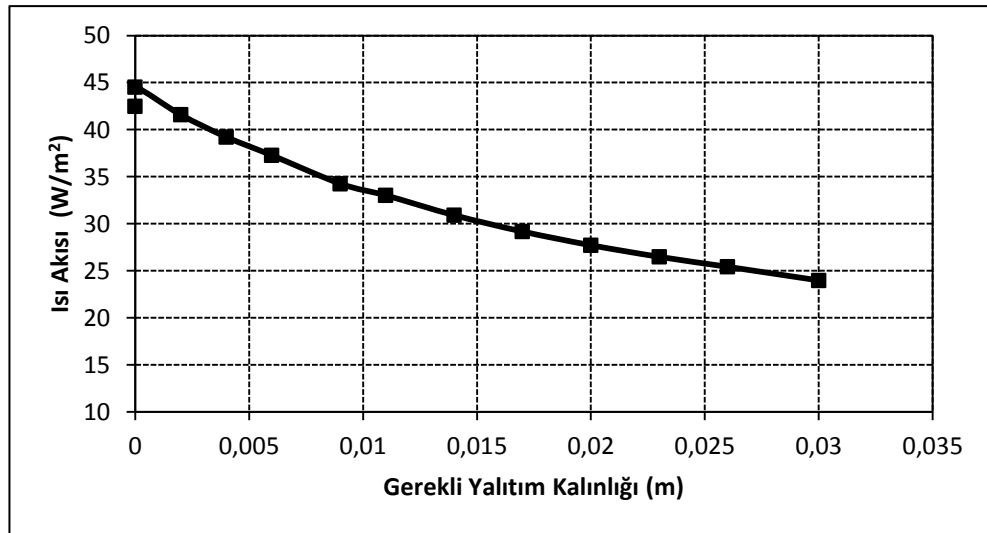
4.3 İç Ortam Sıcaklığının Yalıtım Kalınlığına Etkisi

Şekil 4.7’de iç ortam sıcaklığının yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığına etkisi incelenmiştir. Burada iç ve dış ortam bağıl nemleri sırasıyla 0,5 ve 0,7 alınmış, dış ortam sıcaklığı $-3^{\circ}C$ olarak belirlenmiştir. İç ortam sıcaklığı belirli bir değere (yaklaşık $19^{\circ}C$) ulaşana kadar duvarda yoğuşma riski olmadığı için yalıtım gerekmemektedir. Fakat iç ortam sıcaklığı arttıkça, dış ortam ile arasındaki sıcaklık farkı büyür ve neticesinde iç ortamdaki dış ortama transfer olan ısı akısı ve su buharı miktarında artma gözlenir. Bu durum duvar katmanlarında yoğuşma riskinin artmasına neden olur. Bunu önlemek için yalıtım kalınlığının artırılması gerekir.



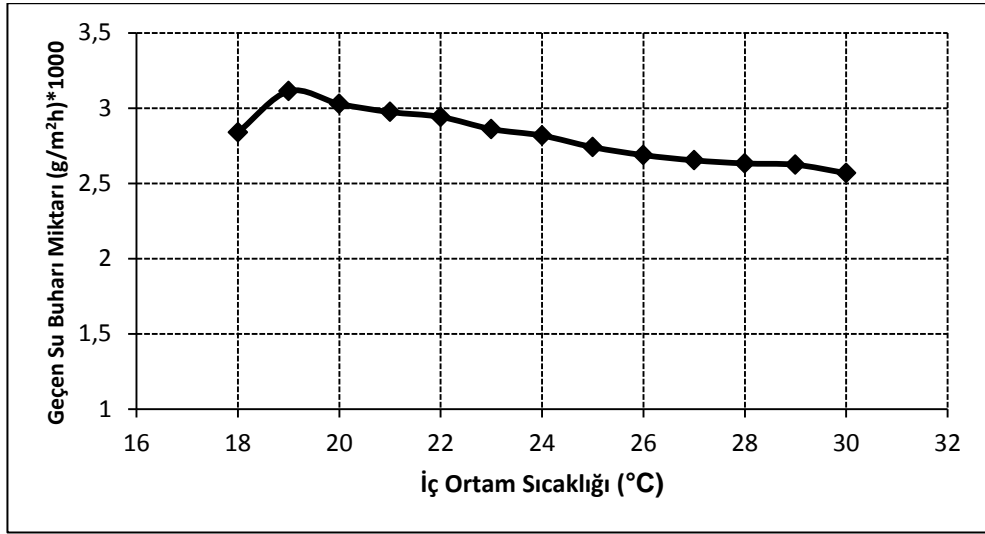
Şekil 4.7 Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığının, iç ortam sıcaklığı ile değişimi ($\varphi_{iç}=0,50$, $\varphi_{dış}=0,70$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)

Aynı şartlar için duvardan olan ısı geçişinin değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.8’de iç – dış ortam bağıl nemleri ve dış ortam sıcaklığı sabit tutulmuştur. İç ortam sıcaklığı belirli bir değere ulaşana kadar (yaklaşık 19°C) yalıtıma gerek duyulmadığı için sıcaklık farkının artması nedeniyle transfer olan ısı akısı da artmaktadır. Fakat belirli bir sıcaklıktan sonra yoğuşma riski nedeniyle uygulanan yalıtım kalınlığı artar. Bu nedenle, iç ortamdan dış ortama transfer olan ısı akısı Şekil 4.8’de görüldüğü gibi azalmaktadır.



Şekil 4.8 Yalıtım kalınlığının ısı akısına etkisi ($\varphi_{iç}=0,50$, $\varphi_{dış}=0,70$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)

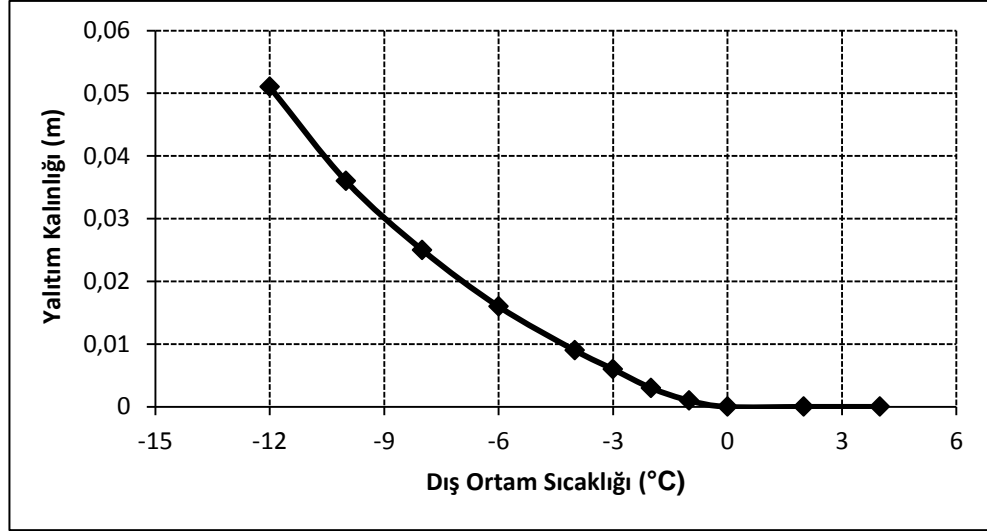
Şekil 4.7 ve 4.8'deki aynı şartlar için iç – dış ortam bağıl nemleri ve dış ortam sıcaklığı sabit tutularak iç ortam sıcaklığının, duvardan geçen su buharı miktarına olan etkisi Şekil 4.9'da incelenmiştir. İç ortam sıcaklığı, belirli bir değere ulaşana kadar yoğuşma gerçekleşmediği için yalıtıma gerek duyulmaz. Bu durumda sıcaklık arttıkça duvardan geçen su buharı miktarı artmaktadır. Fakat belirli bir değerden (yaklaşık 19°C) sonra yoğuşma gerçekleştiği için yapılan yalıtım nedeniyle geçen su buharı miktarı azalmaktadır.



Şekil 4.9 Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığında geçen su buharı miktarının iç ortam sıcaklığı ile değişimi ($\phi_{iç}=0,50$, $\phi_{dış}=0,70$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)

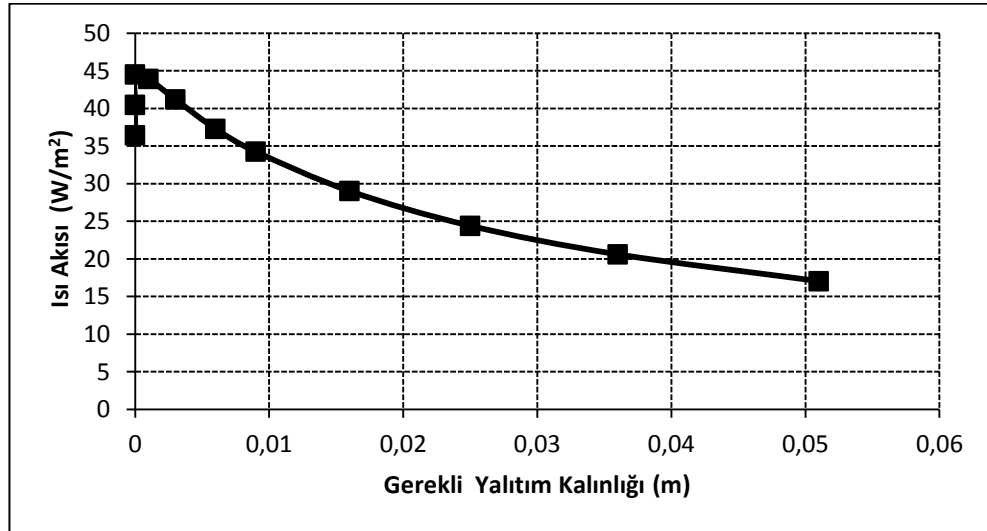
4.4 Dış Ortam Sıcaklığının Yalıtım Kalınlığına Etkisi

Şekil 4.10'da dış ortam sıcaklığının yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığına etkisi incelenmiştir. Burada iç – dış ortam bağıl nemleri sırasıyla 0,5 ve 0,7 alınmış, iç ortam sıcaklığı 22°C olarak belirlenmiştir. Dış ortam sıcaklığı arttıkça, iç ortam ile arasındaki sıcaklık farkı azalır ve neticesinde iç ortamdan dış ortama transfer olan ısı akısı ve su buharı miktarında azalma görülür. Bu durumda yoğuşma riski azaldığı için gerekli yalıtım kalınlığı da azalır. Dış ortam sıcaklığı belirli bir değere (yaklaşık 0°C) ulaştıktan sonra yoğuşma gerçekleşmediği için yalıtım yapılmasına gerek duyulmaz.



Şekil 4.10 Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığının dış ortam sıcaklığı ile değişimi ($\varphi_{iç}=0,50$, $\varphi_{dış}=0,70$, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$)

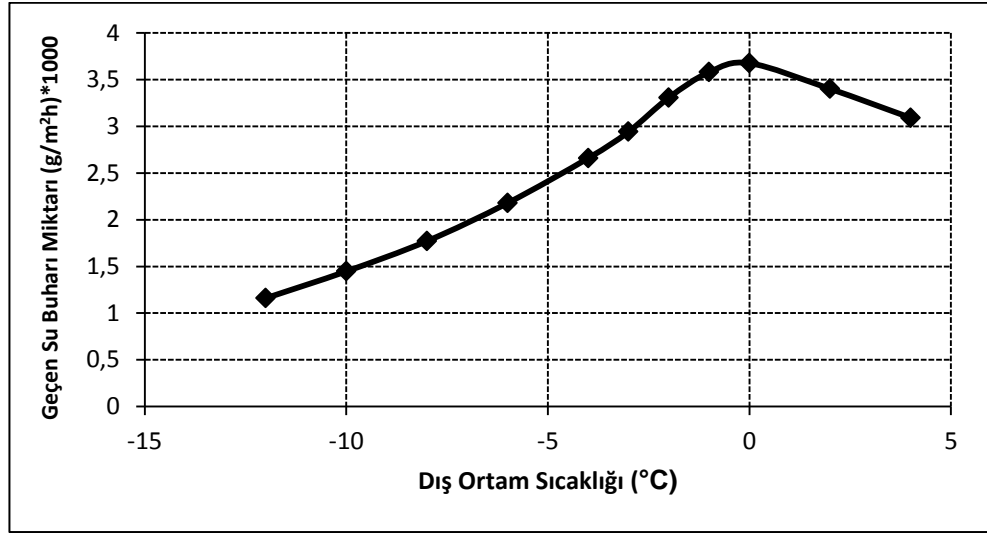
Aynı şartlar için duvardan olan ısı geçişinin değişimi Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.11’de iç- dış ortam bağıl nemleri ve iç ortam sıcaklığı sabit tutulmuştur. Yalıtım kalınlığı azaldıkça duvardan geçen ısı miktarı artmaktadır. Yalıtıma gerek olmayan durumlarda ise, dış ortam sıcaklığı arttıkça, iç ortam ile arasındaki sıcaklık farkı azalır ve iç ortamdaki dış ortama transfer olan ısı miktarında azalma görülür.



Şekil 4.11 Yalıtım kalınlığının ısı akısına etkisi ($\varphi_{iç}=0,50$, $\varphi_{dış}=0,70$, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$)

Şekil 4.10 ve 4.11’deki aynı şartlar için iç – dış ortam bağıl nemleri ve iç ortam sıcaklığı sabit tutularak dış ortam sıcaklığının, duvardan geçen su buharına etkisi

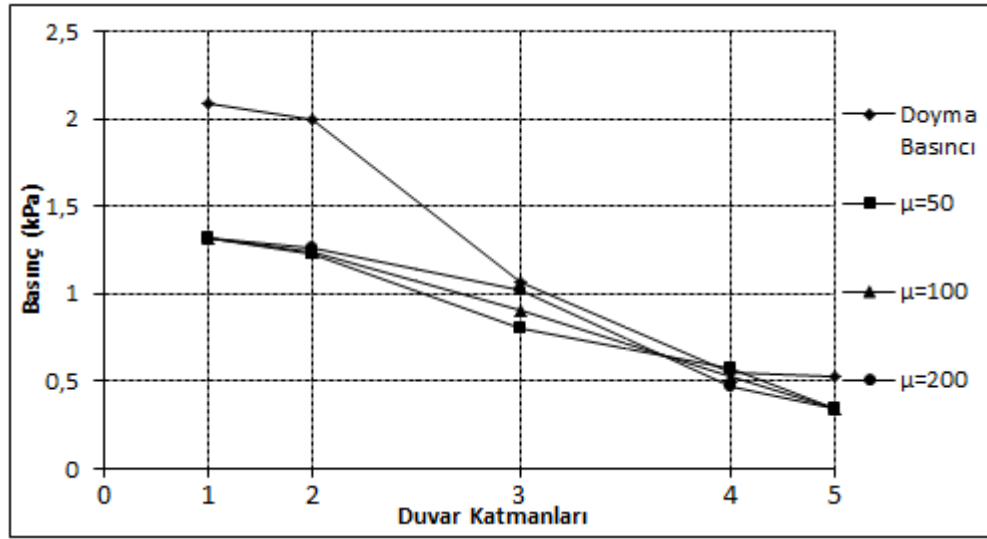
Şekil 4.12’de incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı belirli bir değere ulaşıncaya kadar yoğuşma riski azalmaya devam ettiği için yalıtım kalınlığı da azalmaktadır. Bu durumda iç ortamdan dış ortama transfer olan su buharı miktarı artar. Fakat belirli bir değere ulaştıktan sonra (yaklaşık 0°C) yalıtımın etkisi kalmadığı için sıcaklık arttıkça dış ortamın kısmi basıncı artar ve neticesinde geçen su buharı miktarı azalır.



Şekil 4.12 Yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli olan minimum yalıtım kalınlığında Geçen su buharı miktarının dış ortam sıcaklığı ile değişimi ($\phi_{iç}=0,50$, $\phi_{dış}=0,70$, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$)

4.5 Yalıtım Malzemesi Su Buharı Difüzyon Direncinin Yalıtım Kalınlığına Etkisi

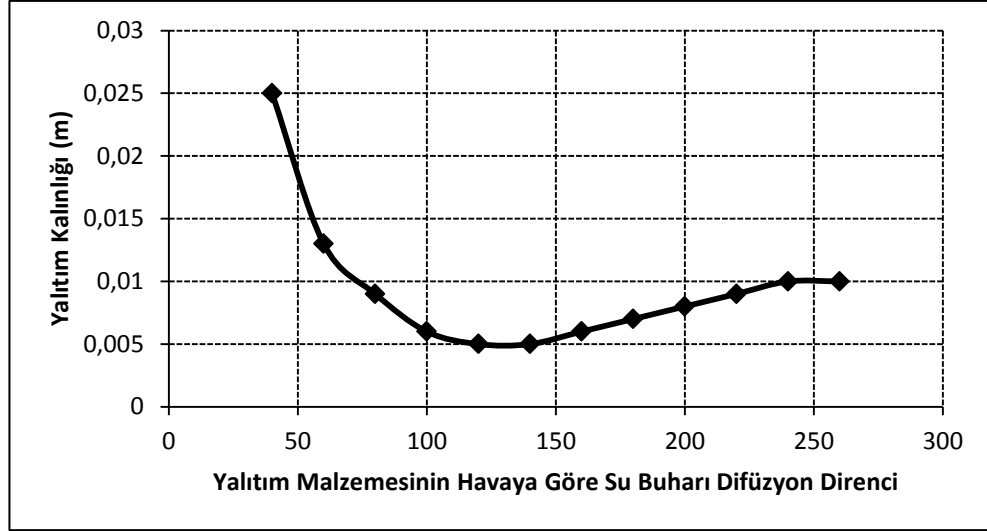
Şekil 4.13’de yalıtım kalınlığı 0,01 m için, iç – dış ortam koşulları sabit tutularak su buharı difüzyon direncinin, duvar katmanlarında görülen yoğuşmaya olan etkisi incelenmiştir. Yalıtım malzemesi su buharı difüzyon direnci arttıkça, yalıtım malzemesinden geçen su buharı miktarı azalmakta ve yalıtım malzemesinin dış yüzeyindeki su buharı kısmi basıncı düşmektedir. Bu nedenle dış yüzeyde yoğuşma riski de azalmaktadır. Fakat yalıtım malzemesi su buharı difüzyon direnci arttıkça, yalıtım malzemesinden geçemeyen su buharı, yalıtım malzemesinin iç yüzeyindeki su buharı kısmi basıncının artmasına neden olmakta ve burada yoğuşma riski artmaktadır.



Şekil 4.13 Yalıtım malzemesi su buharı difüzyon direncinin, duvar katmanlarındaki yoğuşmaya etkisi ($x_{yal}=0,01$ m, $\varphi_{iç}=0,50$, $\varphi_{dış}=0,70$, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)

Şekil 4.14’de iç – dış ortam koşulları sabit tutularak su buharı difüzyon direncinin, yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığına etkisi incelenmiştir. Yalıtım malzemesinin su buharı difüzyon direnci arttırıldığında yalıtım malzemesinden geçen su buharı miktarı azalır. Bu durumda yalıtım malzemesinin dış yüzeyindeki su buharı kısmi basıncı düşerken, iç yüzeyindeki su buharı kısmi basıncı artar. Yani yalıtım malzemesinin dış yüzeyindeki yoğuşma riski azalırken, iç yüzeyindeki yoğuşma riski artmaktadır. Bu nedenle yalıtım malzemesinin su buharı difüzyon direnci arttırıldığında, belirli bir değere kadar (yaklaşık $\mu=130$) gerekli minimum yalıtım kalınlığı önce azalır ve daha sonra yalıtım kalınlığı tekrar artar.

Yalıtım malzemesi su buharı difüzyon direnci düşük olduğunda, yalıtım malzemesinden geçen fazla su buharı miktarı nedeniyle yalıtım malzemesi dış yüzeyinde yoğuşma riski artar. Bununla birlikte yalıtım malzemesinin difüzyon direnci yüksek olduğunda ise, yalıtım malzemesinden daha az miktarda su buharı geçer ve yalıtım malzemesi iç yüzeyinde yoğuşma riski artar.

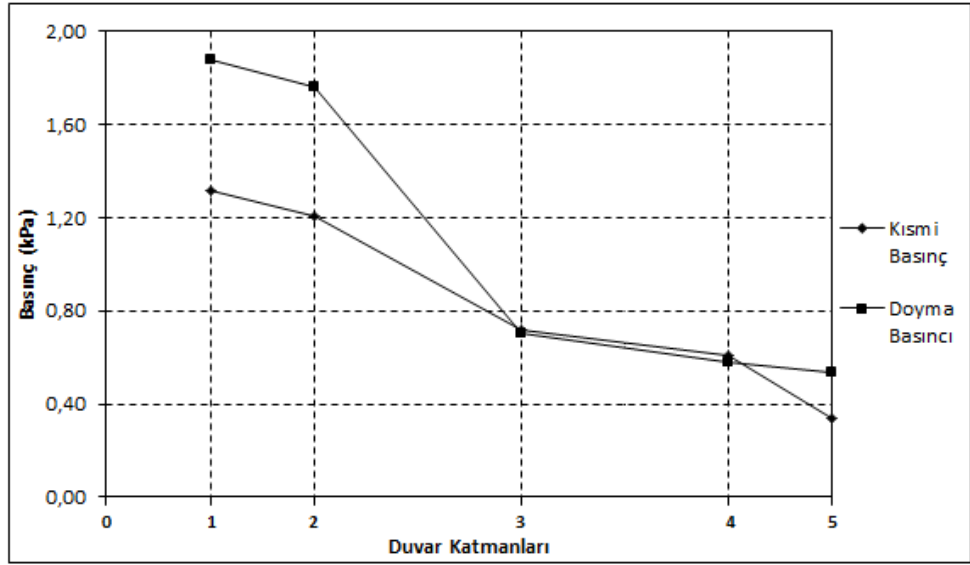


Şekil 4.14 Yalıtım malzemesinin havaya göre su buharı difüzyon direncinin yalıtım kalınlığına etkisi ($\phi_{iç}=0,50$, $\phi_{dış}=0,70$, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$)

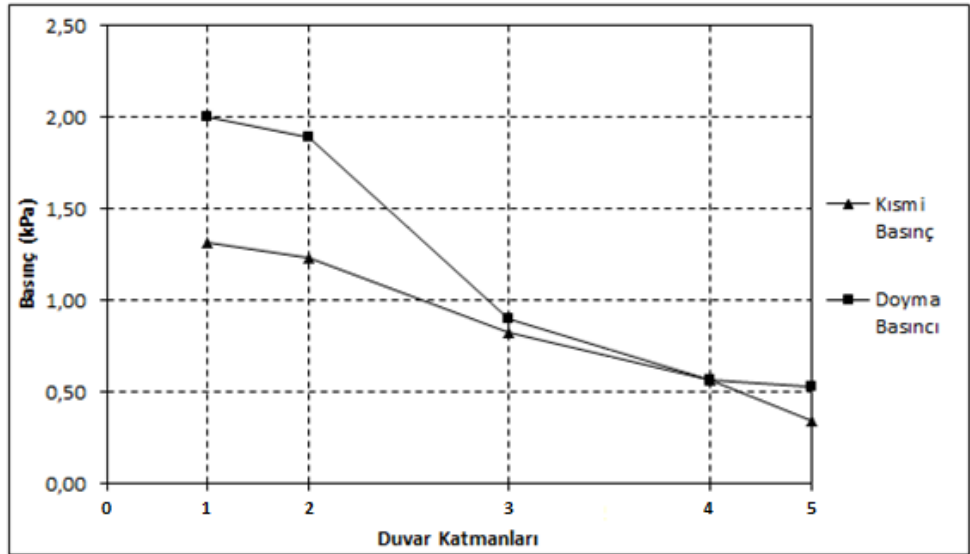
4.6 Sabit Ortam Koşullarında, Farklı Yalıtım Kalınlıkları için Kısmi – Doyma Basıncı ve Sıcaklık Dağılımları

Sırasıyla iç – dış ortam sıcaklıkları 22°C ve -3°C , iç – dış ortam bağıl nemleri ise 0,5 ve 0,7 olarak alındığında, yapı malzemesinin havaya göre direnç faktörü (μ) 100 iken, yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığı 0,006 m olarak hesaplanmıştır.

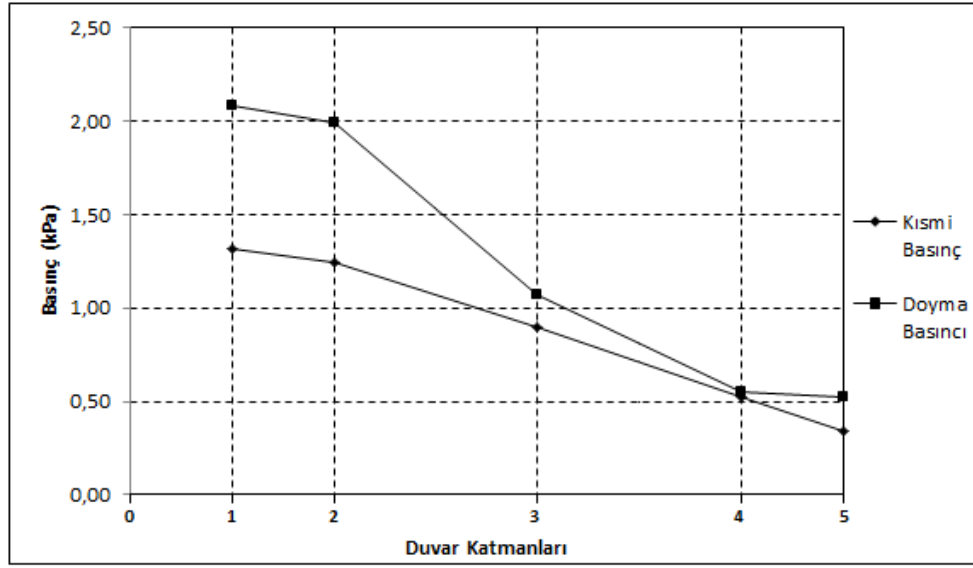
Şekil 4.15’de yalıtım kalınlığı 0,002 m için, Şekil 4.16’da yalıtım kalınlığı 0,006 m için ve Şekil 4.17’de yalıtım kalınlığı 0,01 m için duvar katmanlarındaki kısmi ve doyma basınç dağılımları verilmiştir. Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17’de yoğuşma olayı grafiksel olarak incelendiğinde, daha düşük bir yalıtım kalınlığı değerinden (örneğin 0,002 m), yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığı değerine (0,006 m) kadar kısmi ve doyma basıncı eğrilerinin kesiştiği gözlenmekte ve yoğuşma gerçekleşmektedir. Minimum yalıtım kalınlığı değerinden itibaren ise (örneğin 0,01 m) kısmi ve doyma basıncı eğrilerinin kesişmediği gözlenmekte ve yoğuşma gerçekleşmemektedir.



Şekil 4.15 Sabit iç – dış ortam koşullarında 0,002 m yalıtım uygulandığında, duvar katmanlarındaki kısmi ve doyma basınçlarının dağılımı ($x_{yal}=0,002$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{iç}=0,5$, $\varphi_{dış}=0,7$, $\mu=100$)

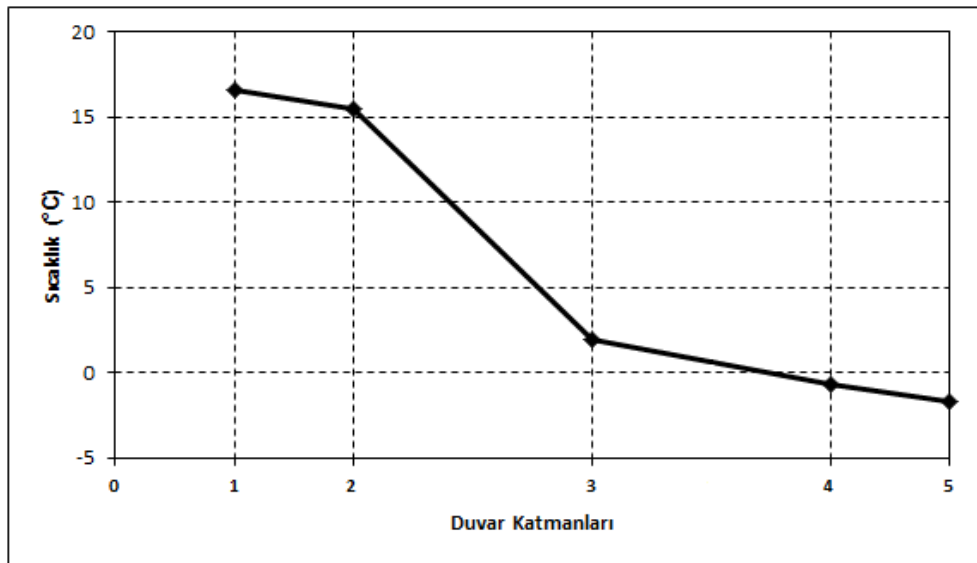


Şekil 4.16 Sabit iç – dış ortam koşullarında yoğuşmanın gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığında duvar katmanlarındaki kısmi ve doyma basınçlarının dağılımı ($x_{yal}=0,006$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{iç}=0,5$, $\varphi_{dış}=0,7$, $\mu=100$)

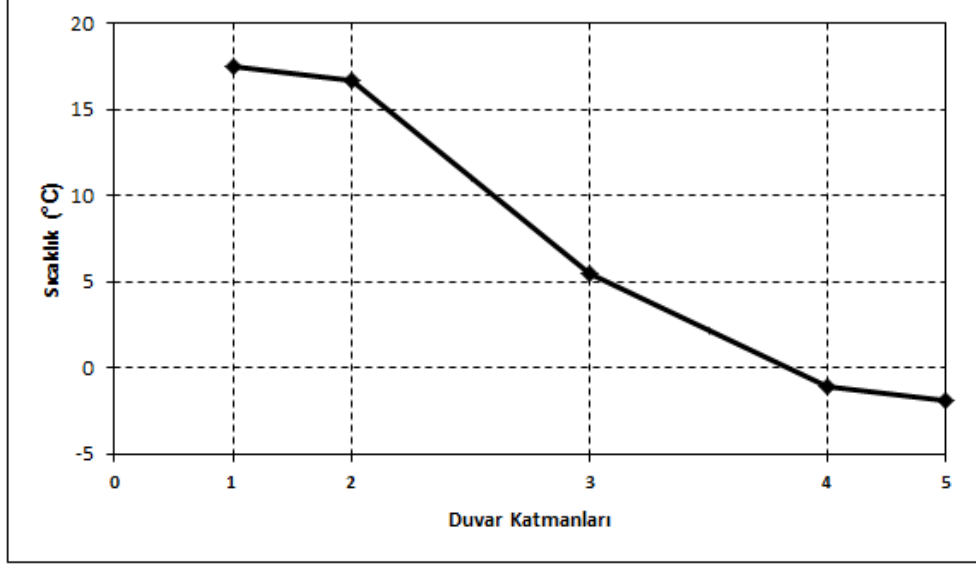


Şekil 4.17 Sabit iç – dış ortam koşullarında 0,01 m yalıtım uygulandığında, duvar katmanlarındaki kısmi ve doyma basınçlarının dağılımı ($x_{yal}=0,01$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\phi_{iç}=0,5$, $\phi_{dış}=0,7$, $\mu=100$)

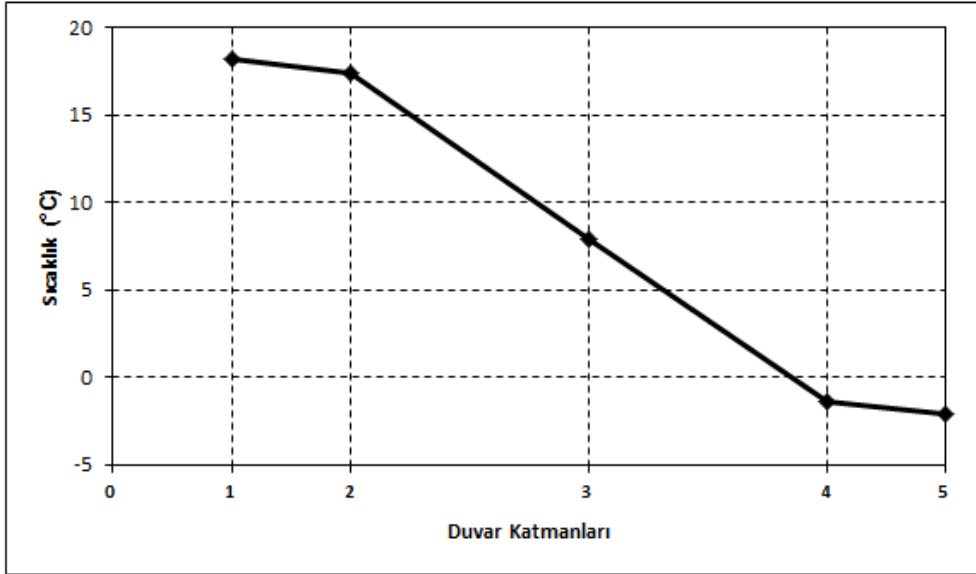
Şekil 4.18’de yalıtım kalınlığı 0,002 m için, Şekil 4.19’da yalıtım kalınlığı 0,006 m için ve Şekil 4.20’de yalıtım kalınlığı 0,01 m için duvar katmanlarındaki sıcaklık dağılımı verilmiştir. Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20’de sıcaklık dağılımları incelendiğinde, yalıtım kalınlığı arttıkça iç ortamdan yalıtım malzemesi iç yüzeyine kadar olan katmanlarda sıcaklığın arttığı görülmektedir. Bununla birlikte yalıtım malzemesi dış yüzeyinden dış ortama kadar olan katmanlarda ise yalıtım kalınlığının artmasıyla sıcaklık azalmaktadır.



Şekil 4.18 Sabit iç – dış ortam koşullarında 0,002 m yalıtım uygulandığında, duvar katmanlarındaki sıcaklık dağılımı ($x_{yal}=0,002$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\phi_{iç}=0,5$, $\phi_{dış}=0,7$)



Şekil 4.19 Sabit iç – dış ortam koşullarında yoğuşmanın gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığında duvar katmanlarındaki sıcaklık dağılımı ($x_{yal}=0,006$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{iç}=0,5$, $\varphi_{dış}=0,7$, $\mu=100$)



Şekil 4.20 Sabit iç – dış ortam koşullarında 0,01 m yalıtım uygulandığında, duvar katmanlarındaki sıcaklık dağılımı ($x_{yal}=0,01$ m, $T_{iç}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-3^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{iç}=0,5$, $\varphi_{dış}=0,7$, $\mu=100$)

5. SONUÇ

Yapılarda ısı kaybını azaltmak için yalıtım uygulamalarında su buharı hareketleri de göz önüne alınmalıdır. İç – dış ortam koşulları ve yalıtım malzemesi yoğuşma riskini belirleyen faktörlerdir.

Uygulanacak yalıtım malzemesinin su buharı difüzyon direnci yoğuşma açısından oldukça önemlidir. Difüzyon direncinin çok düşük olduğu değerlerde yalıtım malzemesinin dış yüzeyinde, çok yüksek olduğu değerlerde ise yalıtım malzemesinin iç yüzeyinde yoğuşma riski artmaktadır. Bu sebeple yaptığımız hesaplamalar doğrultusunda yoğuşma riskinin minimum olduğu 100 – 150 arası difüzyon direnci değerlerine sahip bir yalıtım malzemesinin kullanılması önerilir.

İç ve dış ortam arasındaki bağıl nem farkı arttıkça yoğuşma riski önemli ölçüde artmaktadır. Yoğuşma riskini önlemek için iç ortam bağıl nemi azaltılabilir. Aynı şekilde iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı arttıkça içeriden dışarıya doğru olan ısı ve su buharı kaybı artmakla birlikte yoğuşma riskinde de artma gözlenmektedir. Bu sebeple sıcaklık farkının çok yüksek olması yoğuşma açısından istenmeyen bir durumdur.

Yalıtım uygulaması esnasında bu hususlara dikkat edilmesi yoğuşma açısından oldukça önemli ve faydalıdır.

KAYNAKLAR

- Gölcü, M., Dombaycı, Ö.A., Abalı, S. 2006.** Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4): 639-644.
- Bolattürk, A. 2003.** Binalarda optimum yalıtım kalınlıklarının hesabı ve enerji tasarrufundaki rolü. 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 03-05 Eylül 2003, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Bolattürk, A. 2006.** Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26(11-12): 1301-1309.
- Bolattürk, A. 2008.** Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and Environment*, 43(6): 1055-1064.
- Kaynaklı, Ö. 2008.** A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. *Renewable Energy*, 33(6): 1164-1172.
- Hasan, A. 1999.** Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. *Applied Energy*, 63(2): 115-124.
- Çomaklı, K., Yüksel, B. 2003.** Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. *Applied Thermal Engineering*, 23(4): 473-479.
- Aytaç, A., Aksoy, U.T. 2006.** Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4): 753-758.
- Sisman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H. 2007.** Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roofs (ceiling) for Turkey's different degree-day regions. *Energy Policy*, 35(10): 5151-5155.
- Özel, M., Pıhtılı, K. 2008.** Determination of optimum insulation thickness by using heating and cooling degree-day values. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3): 191-197.
- Uçar, A. 2010.** Thermo-economic analysis method for optimization of insulation thickness for the four different climatic regions of Turkey. *Energy*, 35(4): 1854-1864.
- Gustafsson, S. 2000.** Optimisation of insulation measures on existing buildings. *Energy and Buildings*, 33(1): 499-55.
- Mohsen, M.S., Akash, B.A. 2001.** Some prospects of energy savings in buildings. *Energy Conversion and Management*, 42(11): 1307-1315.
- Aksoy, U.T., Keleşoğlu, Ö. 2007.** Bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma maliyeti üzerindeki etkileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1): 103-109.

Al-Khawaja, M. 1995. Thermal resistance of building materials. *B.S Graduation Project*, Birzeit University, Palestine.

Aksoy, T., İnalı, M. 2003. Bina kabuğundaki yalıtım uygulamalarının ısıtma enerjisine etkisinin sayısal analizi. *TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 76: 34-39.

Atmaca, Ş.U., Kargıcı, S. 2006. Konya’da kış aylarında yapı malzemelerinde oluşan buhar geçişinin örneklerle incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 47(553): 55-62.

Heperkan, H.A., Bircan, M.M., Sevindir, M.K. 2001. Yapı malzemelerinde buhar difüzyonu ve yoğuşma. V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 03-06 Ekim 2001, Efes Convention Centre, İzmir.

Arslan, O., Köse, R. 2006. Thermoeconomic optimization of insulation thickness Considering Condensed vapor in buildings. *Energy and Buildings*, 38(12): 1400-1408.

Çengel, Y.A 2011. Isı ve kütle transferi. Güven Kitapevi, İzmir, 867 s.

Yetim, İ.Y. 2007. Yapı elemanlarının özgül ısılarının ve su buharı difüzyon direnç katsayılarının belirlenmesi. *Bitirme Projesi*, DEU, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İzmir.

Dağsöz, A.K. 1995. Türkiye’de derece-gün sayıları, ulusal enerji tasarruf politikası, yapılarda ısı yalıtımı. İzocam Yayınları, İstanbul, 270.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali Hüsnu BADEMLİOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 22.08.1988

Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi (2002 – 2005)

Lisans : Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü (2006 – 2011)

Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü
(2007 – 2011)

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine
Mühendisliği Bölümü (2012 – *devam ediyor*)

İletişim (e-posta) : husnubademlioglu@gmail.com