



Isıtılan Mekanlarda İç ve Dış Ortam Sıcaklıklarına Bağlı Mevsimsel Yoğuşma Analizi

Seasonal Condensation Analysis in Heated Spaces Based on Indoor and Outdoor Temperatures

İbrahim Uzun¹

Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 71450 Yahşihan, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 15/11/2019

Kabul / Accepted: 15/12/2019

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2020

Öz

Isı yalıtım malzemelerinin gözeneklilik, yoğunluk ve ısı iletkenlik yanında yoğuşma ile ilgili en önemli özellik buhar difüzyon direncidir. Malzemelerin birçoğu katı ve buhar difüzyonu açısından geçirimsiz malzemeler gibi görünseler de neredeyse hepsi buhar geçirgenliğine sahiptirler. Buhar geçirgenliği de malzemeden malzemeye ciddi farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farklılıklar yapı içerisinde beraber kullanıldıkları malzemelerle beraber düşünüldüğünde olumlu veya olumsuz etkilere neden olmaktadır. Yalıtım Malzemelerinin buhar difüzyon dirençleri hava içerisindeki buharın az ya da çok geçtiğini göstermektedir. Bu çalışma ile yalıtım malzemelerinden EPS, MW, GC kullanılarak Türk Standartları (TS) 825 standardı içerisinde tanımlanan şekliyle inceleme yapılmıştır. İç sıcaklıkların değişmesi halinde duvar içerisindeki basınç değişimleri gösterilmiştir. Çalışılan iç sıcaklıklar 25°C, 20°C, 15°C, 10°C ve 5°C şeklindedir. Yıllık iklim verileri dikkate alınarak Ankara ili ocak ayı hesaplamaları tablo ve grafiklerle verilmiştir. Düşük sıcaklıklarda dış ortamla denge olduğundan basınç değerlerinin yüksek ve yüksek iç ortam sıcaklıklarında ise basınç değerlerinin düşük çıktığı görülmüştür. İç ortam sıcaklığı yükseldikçe yapı bileşenleri arasında yoğuşmaların olabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

“Yoğuşma, TS 825, Buhar difüzyonu, Isı Yalıtım Malzemeleri”

Abstract

Besides the porosity, density and thermal conductivity of thermal insulation materials, the most important property related to condensation is vapor diffusion resistance. Although most of the materials appear to be impermeable to solid and vapor diffusion, almost all of them have vapor permeability. Vapor permeability can also vary considerably from material to material. These differences cause positive or negative effects when considered together with the materials they are used together in the wall. The vapor diffusion resistance of the Insulation Materials shows that the vapor in the air passes more or less. In this study, insulation materials EPS, MW, GC are used as defined in Turkish Standards (TS) 825 standard. If the internal room temperatures change, the pressure changes within the wall are shown. The internal temperatures studied are 25°C, 20°C, 15°C, 10°C and 5°C. Taking into consideration the annual climate data, January calculations for Ankara are given in tables and graphs. As the equilibrium occurs with the outdoor environment at low temperatures, it was observed that the pressure values were high and the pressure values were low at high indoor temperatures. It has been observed that condensation may occur between the building components as the indoor temperature rises.

Key Words

“Condensation, TS 825, Steam diffusion, Thermal Insulation Materials”

Terminoloji

GC	Gaz beton
d	Malzeme kalınlığı, m
EPS	Expanded Polistiren Köpük
k	Isıl iletkenliği, W/(mK)
MW	Mineral yün
q''_x	(x) doğrultusundaki ısı akısı, W/m ²
T	Sıcaklık, K
T_i	İç Sıcaklık, K
T_{iy}	İç Yüzey Sıcaklığı, K
T_d	Dış Sıcaklık, K
T_{dy}	Dış Yüzey Sıcaklığı, K
x	Koordinat doğrultusu, m
P	Basınç, Pa
P_i	İç basınç, Pa
P_s	Su buharı doyma basıncı, Pa
$P_{s,i}$	İç taraf su buharı doyma basıncı, Pa
$P_{s,d}$	Dış taraf su buharı doyma basıncı, Pa
P_d	Dış basınç, Pa
q	Geçen Isı Miktarı, W
Sd	Eşdeğer hava tabakası kalınlığı, m
w''_x	Su buharı akısı, kg/(h.m ²)
β_i	Yüzey su buharı geçirgenliği, kg/(Pa. h.m ²)
δ	Su buharı geçirgenlik direnci, (Pa. h.m ²)/kg
μ	Su buharı difüzyon direnç faktörü(malzemenin su buharı geçirgenliğinin durgun havanıninkine oranı)
μ_p	Su buharı geçirgenliği, kg/(m.h.Pa)

1. Giriş

Isı yalıtım malzemelerinin yoğunluk, gözeneklilik ve ısı iletkenlik gibi fiziksel ve ısı özelliklerinden birisi de buhar difüzyon direncidir. Bu malzemelerin duvar içerisinde yanlış kullanılması, yeterince kalın kullanılmaması ve uygun özelliklerde seçilmemesi buhar difüzyonu açısından önemlidir. Hatta duvarın içerisinde konumlandırılması bile ısı geçirgenlik gibi malzeme iklim ilişkileri açısından değerlendirilmesi gereken bir durumdur. Malzemelerin katılığı buhar geçişi açısından olumsuz gibi görünseler de tamamı buhar geçirgenliğine sahiptirler. Ancak bu geçirgenlik büyüklükleri ısı iletkenlik gibi ciddi farklılıklar gösterebilirler. Isıl iletkenlik duvar içerisinde sıcaklık değişimlerine neden olarak ısı geçirgenliğine etki ettikleri gibi su buharı geçirgenlikleri de duvar içerisinde veya yüzeylerde yoğunlaşmaya neden olabilmektedirler. Yapı içerisinde genelde iç ortamdan dış ortama doğru buhar geçişi söz konusudur. Bu geçiş malzemelere, iç ve dış sıcaklıklara bağlı olarak buhar geçişidir. Normal şartlarda standartlara uygun yalıtım hesaplaması gerçekleştirildiğinde ve uygulandığında yoğunlaşma işleminin gerçekleşmemesi beklenmektedir. Ancak buhar difüzyon direnç faktörü ve bu faktöre bağlı olarak hesaplanan eşdeğer hava tabakası kalınlıkları duvar içerisinde veya yüzeylerinde yoğunlaşmaya neden olabilmektedir. Buhar difüzyon direncinin(Sd) çok olması yoğunlaşma ihtimalini de oldukça artırmaktadır. Buhar difüzyon direnci yüksek malzemelere bazı membranlar örnek olarak verilebilirler. Özellikle su geçirimsiz malzemeler olarak kullanılan gösterilebilir. Su buharı difüzyon direnci yüksek malzemeler duvar içerisinde özellikle de dış duvarlarda kullanılmamalıdır.

Konu ile ilgili çalışmalardan, Edirne ili bölgesinde geçerli iklim koşullarında betonarme duvar bileşenleri için, dış ortam şartlarının periyodik olarak değiştiği, iç ortamın sabit kabul edildiği durumlar için bir bilgisayar yazılımı kullanılarak yoğunlaşma hesabı yapılmıştır [Umaroğulları F., vd., 2011]. Farklı bölge illerinden olan Elazığ, Adana, İstanbul ve Kars ilindeki binaların dış duvarlarında oluşan yoğunlaşma ve buhar difüzyonu sekiz(8) farklı duvar yapısı için TS 825 standardına göre analiz edilmiş olup Glaser grafik yöntemi ile MATLAB'da GUI ara yüzünü kullanarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır[Özel M. vd, 2018]. Betonarme çatı döşemelerinde meydana gelen yoğunlaşma ve buharlaşma miktarları ile ilgili uygulamalar yayımlı yapay yapay sinir ağı kullanılarak çözülmüştür [Keleşoğlu Ö., vd., 2006]. Yoğunlaşma riskinin yüksek olduğu ve yoğunlaşmayı önlemek için g yalıtım kalınlığının artırılması şubat ayı için belirlenerek ısı ve kütle transferi hesaplamaları, farklı iç ortam sıcaklıkları ve bağıl nem koşulları için yapılmıştır[Bademoğlu A. H., vd., 2018].

Bu çalışmada uygulamada aile yaşam koşullarına bağlı olarak iç ortam sıcaklıkları değişebilmektedir. BU değişim yüksek sıcaklıklar şeklinde görülebileceği gibi düşük sıcaklıklar olarak da ortaya çıkabilmektedir. Literatürde yalıtım kalınlıkları, malzeme çeşitliliğine göre oldukça fazla çalışma olmasına karşın iç sıcaklığa bağlı durumun incelendiği durum ile karşılaşmamıştır. Bu durumun yoğunlaşmaya etkisi incelenmiştir. İç sıcaklıkların 25°C ile 5°C arasında olmasına göre duvar bileşenleri arasında, iç ve dış duvar yüzeylerinde kısmi basınç değişimleri elde edilmiştir.

2. Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü (μ)

Su buharı difüzyonu sonucu oluşan yoğuşma, yapı malzemelerine ve yapı malzemelerinde meydana gelen ısı geçişine olumsuz yönde etki eder. Yapı malzemelerinde özellikle soğuk mevsimlerde ortaya çıkan yüzeylerdeki yoğuşma veya terlemeler yapı malzemelerinin fiziksel ve ısıl özelliklerini değiştirirler. Hatta kompozit malzeme içinde yoğuşan su buharı malzemenin absorbe edebileceği doyma neminden fazla ise serbest kalır ve malzeme içinde hareket eder. Bunun sonucu olarak da bu yoğuşmalar malzemesinin yapısını bozacağı gibi malzemenin toplam ısı transferi katsayısını yükseltir, ısı kayıplarını da artırır [Türkiye Enerji Raporu, 2009]. Duvar içerisinde duvar bileşenleri arasındaki yoğuşma yalıtımın iyi olmadığı durumlarda ortam sıcaklığı çok düşüğünde donmalara ve malzeme deformasyonlarının oluşmasına neden olabilmektedir.

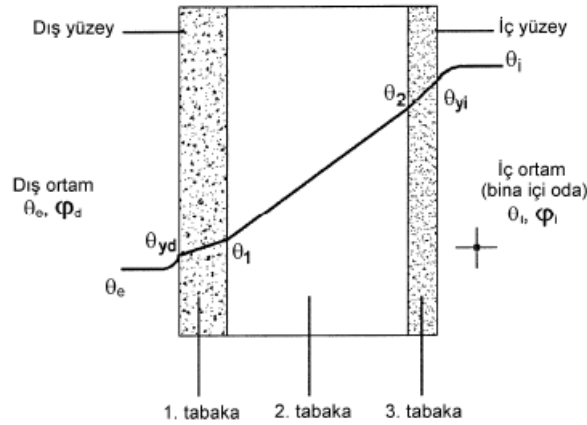
Bilindiği gibi mekanların iç ve dış ortamlarında su buharı doymun hale gelinceye kadar buharlaşmayı sürdürür. Ancak bu durum doyma noktası olarak bilinen değere kadar devam eder. Doyma basıncı ve sıcaklığı arasında belirli bir karşılıklık söz konusudur. Bu değerler aşıldığında bir başka değişle doyma değerinin üzerine çıkıldığında basınç ve sıcaklık artma eğilimindedir.

Ortamdaki veya oda içi ve dış ortamda solunan havalarda su buharı her zaman vardır. Hatta ısı geçişi nasıl ki sıcaklık farkı olduğunda kaçınılmazdır. Su buharı geçişi veya buhar oluşumu da doyma noktasına kadar hep devam eden bir süreçtir. Bunun göstergesi ise bağıl nem olarak tanımlanan ve doyma basıncı ile ortamdaki kısmi basıncın oranlarıdır. Bağıl nem değeri arttıkça ortamdaki buharlaşma olayı zayıflamaktadır. Bu değerlerin veya oranın %100 değerine ulaşması demek daha fazla buharlaşma kabiliyetinin kalmadığı anlamını taşımaktadır. Mekânlarda bu şartların oluşması ve su buharının dışarıya geçişinin sınırlandırılması düşük sıcaklıklı bir duvar bileşenine temas ettiğinde yoğuşarak istenmeyen durum oluşur. Isı transferi nasıl ki sıcaklık farkıyla gerçekleşiyorsa aynı şekilde buhar geçişinin olması da ortamlar arasındaki basınç farklarından kaynaklanmaktadır. Eşitlik (1) ısı akısı verdiği gibi eşitlik (2) de su buharı akısını vermektedir.

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (I)$$

$$w''_x = -\mu_p \frac{dP}{dx} \quad (II)$$

Isı geçişindeki temel yasalardan olan Fourier ısı iletimi yasasında ısı geçişinin yönü sıcaklığı yüksek olan ortamdaki düşük olan ortama doğru olduğu gibi Fick yasasına göre de su buharı geçişinin yönü de kısmi basıncın yüksek olduğu ortamdaki düşük olduğu ortama doğrudur [Bademoğlu vd., 2018].



Şekil 1. Isı geçişi ve buhar geçişi benzerlikleri [TS 825, 2013]

Nasıl ki ısı geçişinde geçişi etkileyen etkin parametre ısıl direnç terimi olup duvarda kullanılan her bir bileşen bir ısıl direnç kaynağıdır. Bütün duvar bileşenlerinin dirençleri toplamı da toplam ısıl direnci vermektedir. Benzer durumda duvar içerisinde duvarı oluşturan bileşenlerin kalınlıklarına bağlı olarak buhar difüzyon dirençleri ve toplamda da toplam buhar difüzyon dirençleri söz konusudur. Eşitlik (3) ve eşitlik (4) bu benzerliği göstermektedir [Böke, 2015].

$$q''_x = \frac{(T_i - T_d)}{R_t} = \frac{(T_i - T_d)}{\frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{h_d}} \quad (III)$$

$$w''_x = \frac{(P_i - P_d)}{\delta_t} = \frac{(P_i - P_d)}{\frac{1}{\beta_i} + \frac{d_1}{\mu_1} + \frac{d_2}{\mu_2} + \frac{d_3}{\mu_3} + \frac{1}{\beta_d}} \quad (IV)$$

Eşitlik (3) gösterilen ısı direnç(R_t) bileşen kalınlığı(d) ile ısı iletkenlik(λ) oranı ise buhar geçirgenlik direnci(φ_i) aynı benzer şekilde bileşen kalınlığı(d) ile bileşen buhar geçirgenliğinin(μ_p) bir oranları toplamıdır. Isı geçişinde nasıl ki ortam sıcaklıkları belirlenerek hesaplamalar gerçekleştiriliyorsa yine benzer şekilde ortam sıcaklıklarına bağlı kısmi doyma basınç değerlerinden hareketle duvar ara yüzeylerindeki kısmi basınç değerleri hesaplanarak değerlendirilmeler yapılmaktadır.

$$\varphi_i = \frac{(P_i)}{P_{d,i}} \quad (V)$$

$$\varphi_d = \frac{(P_i)}{P_{d,d}} \quad (VI)$$

Bu çalışmada EPS- genişletilmiş Polistren köpük, MW-Mineral Yün, GC-Gaz Beton malzemeler örnek olarak kullanılmıştır. Bu malzemelerde Tuğla 19 cm, EPS için 5cm ve 8cm, MW için 5 cm ve GC için 20cm kalınlıklarında alınarak duvar ısı direnç, su buharı geçirgenlik dirençlerine karşılık gelen eşdeğer hava tabakası kalınlıkları(S_d) hesaplanmıştır. Bunlar hesaplanırken beş farklı durum değerlendirmeye alınmıştır. Duvarın her iki tarafında sıva bulunmak şartıyla, sadece tuğla(Yalın), sadece GC, tuğla-EPS-5 cm(EPS-5), tuğla EPS-8 cm(EPS-8) ve tuğla-MW-5cm(MW-5) kullanılmıştır. Tablo 1.de bazı malzemelerin su buharı difüzyon direnç faktörleri verilmektedir[TS 825,2013].

3. Su Buharı Yoğuşması

Duvarın iki yüzü arasında kalan kompozit yapıda her bir bileşen kendi başına ısı direnç gibi buhar difüzyonuna direnç teşkil eder. Duvarın bir tarafında iç ortam, diğer tarafında dış ortam ve bu ortamların belirlenen sıcaklık değerleri söz konusudur. Bu sıcaklıklara karşılık gelen iç ortam bağıl nem(%65) ve dış ortam bağıl nem(%76) değerleri bulunmaktadır. İç ve dış ortam arasında sıcaklıklar farklı olduğundan nem değerleri de değişik olmaktadır. Bu nem farkından dolayı su buharı kütle geçişi nem değerinin yüksek olduğu bölgeden düşük olduğu bölgeye doğru gerçekleşmektedir. Bu geçiş ortamların kısmi buhar basınç farklarından kaynaklanmaktadır. Seçilen iç ve dış ortam sıcaklıklarına bağlı olarak içerden dışarıya doğru doğrusal değiştiği düşünülen bir kısmi basınç değeri değişimi eğrisi bulunmaktadır. Seçilen malzeme ve bu malzemelerin ısı iletkenlik ve su buharı difüzyon direnç faktörlerine bağlı olarak bileşen yüzeylerinde sıcaklıklar hesaplanır. Bu sıcaklıklara bağlı olarak belirlenen kısmi buhar basınçları bulunarak her bir bileşen üzerinde hesaplanan kısmi buhar basınç eğrileri çizilir. Yeni çizilen eğrilerin standart Pi-Pd eğrisinin üzerinde kalması beklenir. Eğer hesaplama sonucu elde edilen verilerden çizilen kısmi buhar basıncı çizgileri Pi-Pd eğrisi ile çakışma göstermesi durumunda yoğuşmalar meydana gelebilir sonucuna varılır. Mevsimsel olarak kötü yalıtım ve buhar geçirgenliği söz konusu olduğunda duvar bileşenleri arasında veya yüzeylerinde 0°C'nin altında sıcaklıklar söz konusu olduğunda donma bile meydana gelebilir.

Duvar bileşenleri arasında meydana gelebilecek yoğuşma malzemelerin bozulmasına, donatılı kısımların paslanmasına ve işlev ve dayanımlarının değişmesine neden olacaktır. Bu durum deprem riskleri açısından olduğu gibi ısı hesapların sapmasına da önemli derecede etki edebilmektedir. İstenmeyen durumların olmaması için TS 825 standardında tanımlandığı gibi ısı geçişi hesabına benzer şekilde buhar geçişi hesaplamaları da yapılmak durumundadır. Böylece hem yaşam konforu sağlanmış hem malzemelerin ömürleri uzatılmış ayrıca da enerji tasarrufu elde edilmiş olacaktır.

Tablo 1. Bazı Yapı Malzemelerinin Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörleri

Yapı malzemesi	Su buharı difüzyon direnç faktörü (t)
EPS	40/100
Mineral yünler	1
Kireç Harcı, Çimento Harcı	15/35
Dökme Asfalt Kaplama	50000
Mermer/Granit	10000
Normal Donatılı	80/130
Normal Beton Donatısız	70/120
Gaz beton yapı levhaları	5 / 10
Tuğla duvarlar	5/10

4. Yoğuşma Analizi

Homojen malzemelerde yalıtım ve yoğuşma hesaplamalarında ısı iletkenlik(λ) ve su buharı difüzyon direnç faktörü(φ) kullanılırken kompozit malzeme ve karma duvarlarda ısı direnç(R) ve eşdeğer hava tabakası kalınlığı(S_d) kullanılmaktadır. Eşdeğer hava tabakası kalınlıkları bulunduğu duvar bir bakıma hava olan bir ortam şeklinde tasarlanmıştır. Her bir bileşen eşdeğer hava tabakası kalınlığına karşılık gelen bir değere sahip olmaktadır. Yoğuşma analizinde bilindiği üzere dış ve iç hava sıcaklığı ile İç ve dış ortam bağıl nemi esas alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. İç ortam bağıl nem değeri(φ_i) mekanik havalandırma yapılan mekanlarda %55 ve doğal havalandırma ile havalandırılan ortamlarda %65 olarak alınmaktadır[TS 825,2013].

Yoğuşma analizinde iç ve dış ortam yüzey sıcaklıkları bilindiği üzere Newton'un Soğuma yasası ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplamada iç ve dış ortam ısı taşınım katsayıları ve buna bağlı olarak taşınım dirençleri bilinmektedir. Bir başka deyişle TS 825 ile tanımlanmış bulunmaktadır. Duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları sırasıyla eşitlik(VII) ve eşitlik (VIII) ile verilmiştir.

$$T_{iy} = T_i - R_i \cdot q \quad (\text{VII})$$

$$T_{dy} = T_d + R_d \cdot q \quad (\text{VIII})$$

Yoğuşma analizinde iklim bölgelerine göre aylık ortalama sıcaklıklar üzerinden ve bu sıcaklıklara karşılık gelen dış ortam bağıl nemleri esas alınarak yoğuşma hesaplamaları yapılmaktadır. Diğer taraftan dış ortamı iç ortamdaki ayırarak duvarın iç ortam sıcaklığı ve bağıl nem değeri de diğer taraftaki yoğuşmaya esas değeri oluşturmaktadır. Bu çalışmada ele alınan iklim bölgesi 3. Bölge ve bu bölgede yer alan Ankara ili hesaplanmıştır. Hesaplamalar beş(5) farklı duvar bileşeni için yapılmıştır. Duvar bileşenleri ile bileşenlerin boyutsal ve ısıl özellikleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Duvar Bileşen Malzemelerinin Özellikleri

No	MalzemeAdı	Isıliletkenlik , λ , W/(mK)	SuBuharıDifüzyonDirençFaktörü, μ ,	Yoğunluk, ρ , kg/m ³
1	Kireç Çimento Harçlı Sıva	1,00	25,00	1800
2	Tuğla TS EN 771-4	0,50	7,5	1200
3	EPS035 TS EN 13163	0,35	35	16
4	MW040 TS EN 13162	0,40	1	150
5	GC TS EN 771-4	0,18	7,50	550

Tablo 3. Yoğuşma Hesabı Yapılan Duvar bileşenleri ve Kalınlıkları

No	Duvar Bileşenleri Kalınlıkları, m					
	İç Sıva	Tuğla	EPS	MW	GC	Dış Sıva
1	0,003	0,19	-	-	-	0,003
1	0,003	0,19	0,05	-	-	0,003
2	0,003	0,19	0,08	-	-	0,003
3	0,003	0,19	-	0,08	-	0,003
4	0,003	-	-	-	0,20	0,003
5	0,003	0,19	-	-	-	0,003

Genelde yoğuşma analizi önceki bölümlerde verildiği şekliyle iç sıcaklıklar ve dış ortalama aylık sıcaklıklar üzerinden yapılmaktadır. Bu hesaplama iç ve dış ortam sıcaklıklarının sabit kaldığı varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu çalışmada bu standart hesaplama yanında iç sıcaklıkların değişmesi durumunda duvar bileşenleri ara yüzeylerindeki sıcaklıklar bütün alternatifler için hesaplanmıştır. Tablo 5.'de sadece ocak ayına ait farklı iç sıcaklıklar için yüzey sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 4. Yoğuşma Hesabına Esas Alınan İl için Aylık Ortalama Sıcaklık, Bağıl nem, İç ve Dış Ortam Sıcaklıkları

Aylar	Dış Ortam Sıcaklığı, Td, °C	Dış Ortam Bağıl Nem, %□	İç Ortam Sıcaklığı, Ti	İç Ortam Bağıl Nem, %□
Ocak	-0,3	76		
Şubat	0,1	71		
Mart	4,1	65		
Nisan	10,1	62		
Mayıs	14,4	59		
Haziran	18,5	55		
Temmuz	21,7	49	20	65
Ağustos	21,2	48		
Eylül	17,2	52		
Ekim	11,6	62		
Kasım	5,6	72		
Aralık	1,3	78		

Tablo 5. Yalın Duvar İçin Farklı İç Ortam Sıcaklıklarında Ocak Ayı İçin Yapı Bileşenleri Ara Yüzey Sıcaklıkları

	Sıcaklık (°C)				
Dış Ortam	-3.100	-3.100	-3.100	-3.100	-3.100
Dış Yüzey	-1.437	-1.733	-2.029	-2.325	-2.621
Sıva	-1.313	-1.631	-1.949	-2.267	-2.585
Tuğla	14.483	11.355	8.226	5.097	1.968
İç Sıva	14.608	11.457	8.306	5.155	2.004
İç Ortam	25.000	20.000	15.000	10.000	5.000

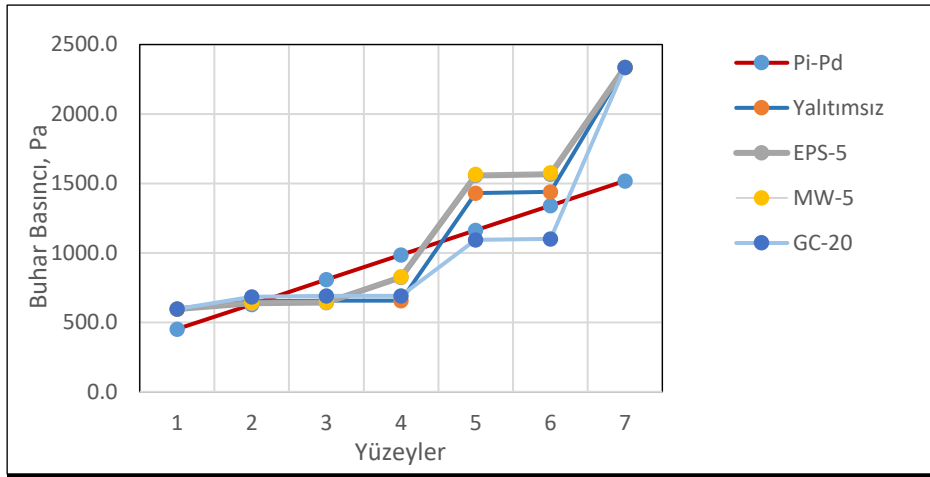
5. Sonuçlar

Duvar içerisinde veya yüzeylerinde yoğuşma olup olmayacağı hesaplamalar sonucunda belirlenir. Ancak su buharı difüzyon dirençleri yüksek malzemenin duvarın herhangi bir yerinde kullanılması hatta çok ince bir katman şeklinde dile olması su buharı geçişini engelleyecektir.

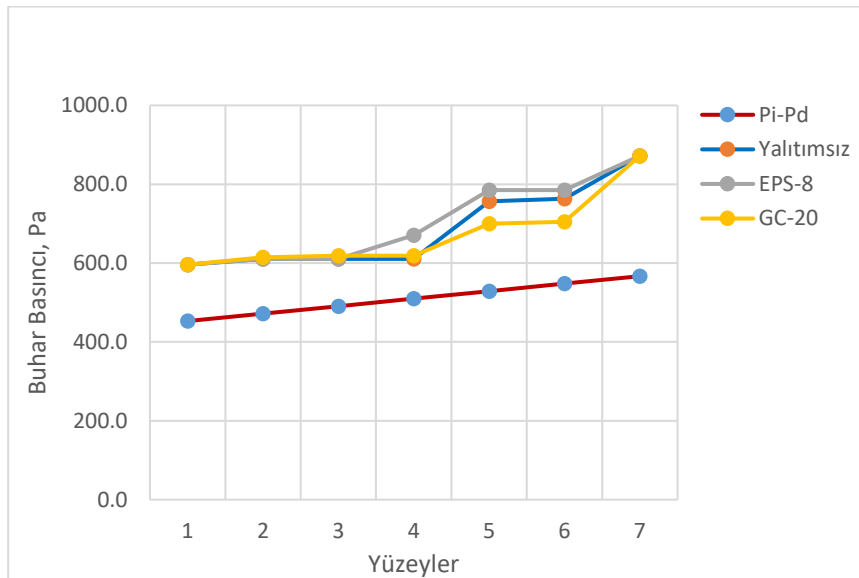
Duvar bileşenlerinde yaygın olarak kullanılan sıva, çimento harcı donatılı ve donatısız beton ve tuğla duvarların buhar difüzyon direnç faktörleri EPS gibi kapalı gözenekli yalıtım malzemelerin değerlerine yakındır. Bu bakımdan bileşenlerin buhar difüzyon dirençlerinin birbirlerine yakın malzemelerden oluşması buhar geçişini benzer bir hız ve akıda dışarıya veya içeriye geçirecektir. Yukarıdaki bölümlerde gösterildiği gibi EPS için bu değer kırk(40) civarında iken Mineral yünlerde bir(1) olarak alınmaktadır. Mineral yünlerde çeşitlilik ve yoğunluklar dikkate alındığında kabul edilen bir(1) değeri incelemeye değer bir durumdur. Bunların yanında duvarların doğal taşlarla, mermer, granit gibi veya daha yoğun malzemelerle kaplanması, çok geçirimsiz boyalarla boyanması durumunda su buharı geçişi ciddi bir direnç ile karşılaşacağı açıktır. Bu tür malzemelerin içeriden kaplanması durumunda ise iç ortam yüzeylerde terlemeler görülebilir. Elbette ortam sıcaklık ve nemine bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır. Su buharı difüzyon direnç faktörü yüksek olan malzemelerin kompozit yapı içerisinde kullanılması durumunda kısmi buhar basıncı değerleri arasındaki fark büyüyeceğinden basınç eğrisinin eğimi artacaktır. Kısmi buhar basıncı iç ve dış ortamın sıcaklık ve bağıl nemi ile ilişkilidir. Şekil 5.'de malzemelerin her iki tarafındaki basınç doyma basıncı olup sadece sıcaklığın fonksiyonudur. Eğim Sd değeri ile değişmekte olup ürünlerin ısı yalıtım fonksiyonu olmadığı ve Sd değeri büyük ise eğim azalacaktır. Bu durumda hem kalınlık hende su buharı difüzyon direnç faktörü eğimi etkileyen büyüklüklerdir.

Tablo 6. Duvar bileşenlerinin eşdeğer hava tabakası kalınlık(Sd) değerleri

Duvar Bileşenleri	Kalınlık d	Difüzyon Direnç Faktörü($\frac{1}{\alpha}$)	Eşdeğer Hava Tabakası (Sd)				
			Yalın	EPS-5	EPS-8	MW-5	GC-20
Dış Sıva	0,003	25,0000	0,075	0,0750	0,075	0,075	0,075
EPS-5cm	0,05	35,0000		1,7500			
EPS-8cm	0,08	35,0000			2,800		
MW-5cm	0,05	1,0000				0,050	
GC-20cm	0,2	7,5000					1,500
Tuğla	0,19	7,5000	1,425	1,425	1,425	1,425	
İç Sıva	0,003	25,0000	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
Toplam, Sd	-	-	1,575	3,325	4,375	1,625	1,650

**Şekil 2.** Farklı Duvar bileşenleri için 20°C iç sıcaklıkta ocak ayı için kısmi basınç değişimleri

İç ortam sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasında bir sıcaklık skalası ile duvar içerisinde sıcaklıklar oluşacaktır. Ocak ayı için yalın duvar iç sıcaklıkları Tablo 1.'de verilmiştir. Buna benzer olarak farklı yalıtım ve yapı malzemelerinin kullanılmasında bu ara sıcaklıklar değişiklik gösterecektir. Ocak ayı için 20°C iç sıcaklık durumunda Pi-Pd değişimine göre diğer yalıtım ve yapı malzemelerinin (EPS-5, MW-5, GC-20 ve sadece 19cm delikli tuğla kullanım durumuna göre) kısmi buhar basıncı değişimleri Şekil 2.'de verilmiştir. Burada GC-20 kullanıldığında ayrıca delikli tuğla kullanılmadığı unutulmamalıdır. Benzer şekilde iç sıcaklığın çok düştüğü bir durum olan 5°C için Yalıtımsız (sadece delikli tuğla ve sıvaların bulunduğu durum), EPS-8(tuğla dışına 8cm EPS uygulanması) ve GC-20(tuğla yerine 20cm gaz beton kullanılması durumu) kullanımında kısmi buhar basınçlarının değişimi Şekil 3.'de gösterilmiştir.

**Şekil 3.**Farklı Duvar bileşenleri için 5°C iç sıcaklıkta ocak ayı için kısmi basınç değişimleri

Buhar basıncı sıcaklık değişimlerinde iç sıcaklık düştüğünde duvar bileşenlerinin hepsinde basınç değerlerinin belirlenen Pi-Pd basınç eğrisinin üzerinde kaldığı görülmektedir. Bunun yanında normal ısıtma şartlarında, iç sıcaklık 20°C ve dış sıcaklık ortalama iklim verilerindeki sıcaklıkta, olduğunda basınç eğrilerinin bazı malzemeler için kesiştiği ve yoğuşma durumunun ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durumun duvar bileşenlerinde eşdeğer hava tabakası kalınlığına göre basınç değişimlerinin gösterilmesi ile daha iyi görülebileceği açıktır. Bu çalışmada o grafik veya verilere yer verilmemiştir.

Kaynaklar

Bademoğlu A.H., Canbolat A.S. ve Kaynaklı Ö., “Bina Dış Duvarlarında Yoğuşma Dikkate Alınarak Gerekli Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 3, 2018.

Bademoğlu A. H., Canbolat A. S. ve Kaynaklı Ö., “Bina Dış Duvarlarında Yoğuşma Dikkate Alınarak Gerekli Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi Bitlis İli İçin Örnek Çalışma”, Uludağ Ün. Müh. Fak. Dergisi, Cilt (23), Sayı (3), s. 333-340, 2018.

Böke B., “Yüzeyde Yoğuşma Problemi”, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan, 2015, İzmir.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009, Türkiye Enerji Raporu 2009, Ankara.

Keleşoğlu Ö. ve Fırat A., “Çatı Döşemesinde Meydana Gelen Yoğuşma ve Buharlaştırma Kütlelerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi”, S.Ü. Müh. Fak. Dergisi, C(25), S(1-2), s. 49-56, 2006

Özel M. ve Beyazıt N. İ., “Yalıtımın Duvar İçerisindeki Farklı Konumlarına Göre Yoğuşma Analizi”, DÜMF Mühendislik Dergisi 9:2,785-794, 2018.

Türk Standartları, 2013, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.

Umaroğulları F., Zorer Gedik G. ve Mihlayanlar E., “Periyodik Rejimde Yalıtımlı ve Yalıtımsız Betonarme duvarlarda Yoğuşma Denetimi: Edirne Örneği”, Megaron, Yıldız Teknik Üniversitesi, Cilt Vol (6), Sayı (1), 13-20, 2011.