

## MEASUREMENT OF THE COEFFICIENT OF VAPOR DIFFUSION RESISTANCE OF BUILDING MATERIALS

### ABSTRACT

In this study with the experiments; first of all the values of  $\mu$  (resistance coefficient of water vapor transition) were measured for the materials like stone, brick, plaster etc. Then water-repellent and water-based, silicate paints were applied on the surface of these materials and the change in  $\mu$  values were searched.

Vapor is the gas state of water, so water vapor always exists in the air. The amount of water vapor in the air is related with the temperature of the environment, and is greater in higher temperature. Water vapor creates a pressure according to its amount. If a space is divided into two spaces with a separator and the temperature is different on each side, then there also occurs a flow of water vapor as the same direction to the flow of heat from higher to lower temperature. The property of the separator effects the amount of vapor transition. All of the materials -also including the impermeable ones- except metal, glass and glazed ceramic may transfer water vapor more or less. Condensation of water vapor inside of a building material may cause hazardous deterioration so it is an important feature to control the water vapor movements.

# Yapı Malzemelerinin Buhar Geçirgenliği Direnç Katsayısının Ölçülmesi



EROL GÜRDAL,  
DİLEK MALİK, GAZANFER AKINCI

### ► Giriş

İçinde yaşadığımız atmosfer etrafımızı çevreleyen hava, oksijen, azot gibi gazların yanında, değişken oranlarda su buharı da ihtiva eder. Atmosferdeki su buharının başlıca kaynakları; okyanuslar, denizler, göller ve ormanlardır. Hava sıcaklığına bağlı olarak büyük oranda buharlaşma bu alanlardan başlar ve hava hareketi ile yeryüzünün her noktasına ulaşır. Bu kaynakların yanında, kapalı alanlarda yaşayan kişilerin de nefes alıp vermesi sonucunda bir miktar su buharı havaya karışır. Banyo ve mutfak gibi ıslak hacimlerdeki faaliyetler sonucu da bol miktarda su buharı üretilir.

Havanın kaldırabileceği su buharı sıcaklık derecesine bağlıdır. Belirli bir sıcaklık derecesinde, havanın alabileceği su buharı miktarı belirli bir değerin üstüne çıkamaz. Alabileceği en fazla su buharı miktarına “doğgun su buharı” denir. Sıcaklık derecesi yükseldikçe, hava-

Yapılan deneyler sonucu su itici malzeme ile anorganik bağlayıcı boyaların buhar geçirgenliği üzerindeki etkisinin, uygulandığı malzemenin yüzey özelliği ve boşluk yapısı ile ilgili olduğu görülmüştür.

nın alabileceği su buharı artar; sıcaklık düştükçe su buharı miktarı da azalır. Bu durumda doğgun su buharının üzerinde bulunan su buharı yoğunlaşarak havadan ayrılır ve su damlları halinde yüzeyde birikir.

Havada her zaman doğgun su buharına rastlanmaz, genellikle daha az miktarda su buharı bulunur. Canlılar, su buharı miktarı, içinde buldukları ortamı sıkıntılı ya da rahat bir şekilde hissedererek algılarlar. Ancak kesin ifadeler

için sayısal değerler geçerlidir. Bunun için belirli bir sıcaklık derecesinde, havadaki su buharı miktarının aynı sıcaklıktaki doğgun su buharına oranına “bağlı nem” denir ve % ile ifade edilir. Hesaplarda  $\psi$  (Psi) ile gösterilir.

Havadaki su buharı miktarı değişmediği halde, sıcaklık artınca bağlı nem azalır, sıcaklık azalınca bağlı nem yükselir. Bağlı nem %100’ü aşınca su buharı, su damlları şeklinde havadan ayrılır ve yoğunlaşma başlar. Yapılarda, yapı elemanlarının (duvar, döşeme) ara katmanlarında yukarıda açıklanan nedenlerle yoğunlaşma olması, birçok hasara, bozulmaya ve ayrışmaya neden olduğundan buhar hareketlerinin incelenmesi zorunlu olmuş, ölçüm ve hesap esasları belirlenmiştir.

Havadaki su buharı miktarı ve değişik sıcaklıklardaki durumu, bağlı nemin veya higrometrik derecenin değişimi Şekil 1’de görünmektedir.

Şekil 1’deki grafikte değişik hava sıcaklığına bağlı olarak 1kg havanın en fazla kaldırabileceği su buharı miktarı %100 higrometrik

derecede gösterilmiştir. 10°C'de 7,8 gr olan su buharı, 28,4°C'de 25 gr olarak görülmekte, diğer bağıl nem derecelerindeki su buharı miktarı grafikte okunmaktadır.

Şekil.1'deki örnekte 25°C'deki hava, %100 durumunda 20 gr su buharı içermektedir. Sıcaklık 20°C'ye düşünce 5 gr su yoğuşmaktadır. 25°C'de, %60 bağıl nemde 12 gr su buharı içeren hava, sıcaklık 17°C'ye düşünce %100 bağıl neme ulaşmaktadır.

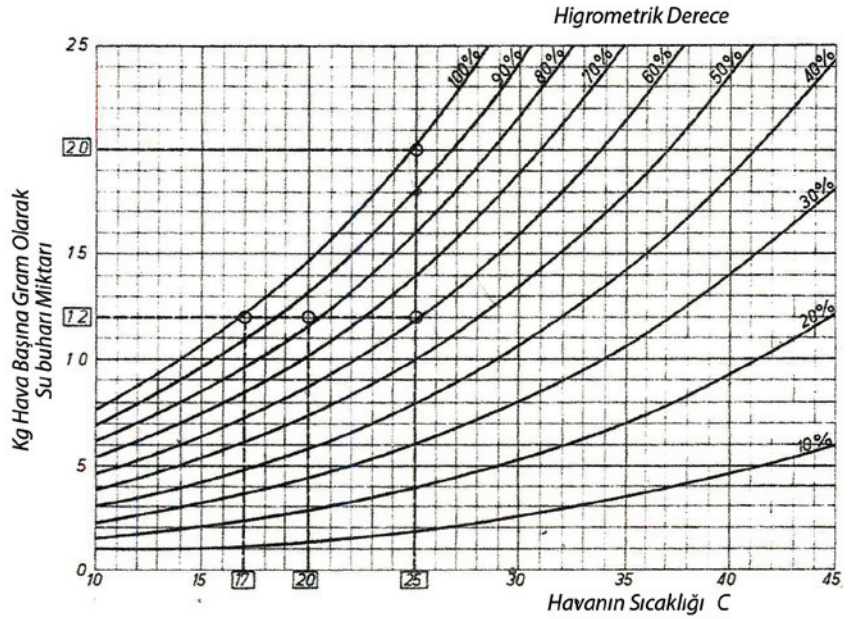
Sıcaklık derecelerine bağlı olarak 1 m<sup>3</sup> hava içindeki doymuş su buharı miktarı ölçülerek tablolar halinde verilmektedir. Bu tablolardan yararlanarak yoğuşma durumu ve yoğuşan su miktarları bulunabilir.

Havada bulunan su buharı, hava basıncı yanında bir buhar basıncı oluşturur. %100 bağıl nemde su buharının yaptığı basınca "Doymuş Su Buharı Basıncı" denilmektedir. Bu basınç değerleri düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara kadar 0,1°C aralıklarla tablolarda verilmektedir. Örnek olarak Tablo.1'de 20°C için basınç değerleri verilmiştir.

Su buharı basınç birimi ISO normunda Pascal (Pa) olarak verilmiştir. Havadaki su buharının yaptığı basınç o sıcaklıktaki doymuş su buharının bağıl nem oranı ile çarpımına eşittir. Doymuş su buharı basıncı Ps ile gösterilirse;

$$P=Ps \times \psi$$

Yapılarımızda; içinde yaşadığımız mekânlarda soğuk günlerde iç sıcaklık dış ortama göre daha yüksektir. Bu durumda iç mekân buhar basıncı, dış ortamdaki buhar basıncından yüksektir ve fizikteki genel kural gereği; yüksek basınçtan düşük basınca doğru bir buhar akımı oluşur. Buhar akışı arada bulunan yapı elemanlarındaki malzeme özelliklerine bağlı olarak (malzemenin cinsi, yoğunluğu, boşluk durumu



Şekil 1. Sıcaklık derecelerine bağlı olarak havanın taşıyabileceği su miktarı (%100) ve değişik higrometrik derecelerindeki nem miktarı [Maurice Croiset, 1968, *L'Hygrothermique dans le bâtiment*]

vb.) az veya çok engellenir.

Metaller, cam, sırlı porselen ve seramik gibi tam boşluksuz malzemeler su buharını geçirmezler. Bitümlü ve polimer malzemeler gibi bazı malzemeler çok az geçirirler, pratik olarak geçirmez kabul edilirler. Bu malzemeler dışındaki bütün yapı malzemeleri, suyu geçirmeseler bile su buharını geçirebilirler.

Malzemelerin buhar geçirimsizliği, "eski yöntemlerde", buhar iletkenlik katsayısı ile ( $\lambda D$ ) tanımlanıyordu. Yeni hesap yöntemlerinde "buhar geçiş direnci katsayısı;  $\mu$ " kullanılır. "d" kalınlığındaki bir malzemenin gösterdiği direnç " $\mu.d$ " ile belirlenir. İç ve dış ortamda buhar basıncı değerleri Pi ve Pd ile gösterilirse her bir katmandaki buhar basınç değeri azalması basit bir ifade ile:

$$\delta P_i = \frac{(P_i - P_d) \times \mu_i \times d_i}{\sum \mu_i \times d_i}$$

olarak hesaplanabilmektedir.  $\mu$ 'nün bulunması laboratuvar koşullarında basit deneylerle yapılabilmektedir.  $\mu$  değerinin bağıntısı ASTM E-96-00 ve DIN 52615'te ve

rilen şekli ile;

$$\mu = \frac{1}{d} (\delta_H \times A \times P_{is} \times \frac{\psi}{G} - d_H) \text{ ve}$$

$$\delta_H = \frac{0.083}{R_b \times T} \times \frac{P_o}{P} \times \left( \frac{T}{273} \right)^{1.81}$$

bağıntıları ile verilmektedir.

Bu bağıntılarda;

**R<sub>b</sub>**: Su buharının gaz sabiti; 462 Nm/kg<sup>o</sup>K

**T**: Mutlak Sıcaklık °K (273,15 + °C)

**P**: Normal koşullarda hava basıncı (Pa)

**P<sub>is</sub>**: Deney anındaki sıcaklıktaki doymuş su buharı basıncı, Pa değeri tablodan alınır)

**Ψ**: Desikatör içindeki ortalama bağıl nem

**d**: Ölçülecek malzemenin kalınlığı, (m)

**P<sub>o</sub>**: Ölçüm anındaki hava basıncı, Pa

**δH**: Havanın su buharı iletkenliği

**A**: Buharın geçtiği alan (m<sup>2</sup>)

**d<sub>H</sub>**: Ölçülecek malzeme ile nem çekici arasındaki havanın kalınlığı, (m)

ASTM E-96-00 ve DIN 52615'e

Sıcaklık	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
°C	Pascal	Pascal	Pascal	Pascal	Pascal	Pascal	Pascal	Pascal	Pascal	Pascal
20°C	2338,7	2353,4	2368,1	2382,8	2397,5	2412,2	2426,9	2441,6	2456,4	2472,1

Tablo 1. Sıcaklığa bağlı doymuş su buharı basınç değerleri (TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları)

göre metalden yapılmış bir kap içine nem çekici bir madde konulur ve  $\mu$  değeri belirlenecek malzeme levha şekline getirilip kabın üzerine kapatılır. Gerekirse silikon macun veya

parafin ile kenarları sızdırmaz hale dönüştürülür. Sabit ortam nemi altında buharın malzemeden geçecek nem çekici tarafından tutulması sağlanır. Ağırlık değişimleri belirli ara-

lıklarla ölçülerek, formüldeki yerlerine konularak  $\mu$  değeri hesaplanır. Literatürde bulunan bazı sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Deney kabının Cinsi	Kalınlık (mm)	$\mu$
Kireç Harcı (1:3)	14,3	9,1
Cimento Harcı (1:1)	21,65	32
Zayıf Cimento Harcı (1:6)	22,3	14,5
Asbestli Cimento Levha (1850 kg/m <sup>3</sup> )	6,5	64
Asfalt Döşeme Kaplaması (Tip A)	15,3	143
Asfalt Döşeme Kaplaması (Tip B)	14,1	166

Tablo 2. Bazı yapı malzemelerinin  $\mu$  değerleri

Deney kabının cinsi	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$
Aleve Dirençli Şişirilmiş Polistren(EPS)	13,5	25
Polistren Köpüğü (EPS)	37	76
Styrofoam (XPS)	15	50
Styrofoam (XPS)	26	92
Köpük PVC	26	413
Köpük PVC	35	206
Sisirlmiş Taneli Mantar Blok	121	20
Mineral Yün Levha	220	2,7

Tablo 3. Bazı yalıtım malzemelerinin  $\mu$  değerleri

Deney kabının cinsi	Kalınlık (mm)	$\mu$
Asfalt Kâğıt ve Karton	0,3	3000
Asfalt Keçeler (1 m <sup>2</sup> 'de değişik bitüm ağırlığı)	0,8-2,0	1300-15000
PVC Folyo (silte)	0,03	139000

Tablo 4. Bazı bitümlü kağıt ve keçelerin  $\mu$  değerleri

## Deneyel Çalışma

### Çalışmanın Amacı:

Deney yapılması talebi ile KU-DEB Restorasyon-Konservasyon Laboratuvarı'na getirilen Su İtici ile Özel Taş Boyasının, sıva, horasan sıva, taş ve tuğla gibi malzemeler üzerine, teknik şartname kurallarına riayet edilerek yapılan uygulama ile örneklerin buhar geçirgenliğin-

deki etkileri istenmiştir.

### Deneyin Yapılışı:

Buhar Geçirgenlik Direnci deneyi için doğal taş, harman tuğlası, gözenekli siliko-kalker blokları (Ytong) ve puzolan katkılı kum-kireç harcı seçilmiş ve bunlar önce alanı 100 cm<sup>2</sup> olacak şekilde çapı 11

cm'lik daireler şeklinde kesilmiştir. Örneklerin kalınlıkları 15 mm olarak alınmıştır. Örnekler önce bu haliyle, ardından su itici ve taş boyası uygulandıktan sonra, buhar geçirgenlik deneyleri yapılmıştır.

Deney kapları paslanmaz çelik tendir. İlgili standartlarda belirtilen şekle sahiptir. Kap içinde nem çe-

Resim 1. Buhar Geçirgenlik Direnci için hazırlanan kap ve numuneler.



Resim 2. Kapların sabit nem ve sıcaklıkta desikatörde bekletilmesi



Resim 3. Boyalı numunelerin sabit nem ve sıcaklıkta desikatör içinde bekletilmesi



Resim 4. Su iticili numunelerin sabit nem ve sıcaklıkta desikatör içinde bekletilmesi



kici olarak  $\text{CaCl}_2$  kullanılmış olup malzemeden geçen buhar,  $\text{CaCl}_2$  tarafından tutulmuştur.

Deney ASTM E96-00 ve DIN 52615 normlarına uygun olarak yapılmış olup  $\mu$  değeri ölçülecek malzemenin yerleştirildiği kaplar, sabit nem ortamını sağlamak üzere desikatöre yerleştirilmiştir. Desikatörün tabanına aşırı doygun KCl (potasyum klorür) çözeltisi konmuş ve %80 sabit nem sağlanmıştır. Örnekler sabit nem oranı sağlanan desikatörün içine konmuş, sıcaklık ve nem değerleri, her saat başında Data Logger ile ölçülüp kaydedilmiştir. Sistemin ağırlığı her 24 saatte bir 0,01 gr (10 mg) duyarlılıkla tartılmıştır. Deney bir hafta sürmüş ve hesaplarda günlük ortalamalar kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar formüle uygulanarak  $\mu$  değerleri hesaplanmıştır.

Bu metotta buhar geçirgenlik direnci, sıcaklığın sabit olduğu ortamda ölçülmüştür. Gerçek şartlarda sıcak ve soğuk taraflar arasındaki -dış ortam ve iç ortam- farkı tanımlamak doğru olacaktır.

Ölçümü yapılacak malzeme örneği ile nem çekici olarak kullanılan  $\text{CaCl}_2$  arasındaki 1,5 cm'lik boşluk, yapılan deneylere dayanılarak uygun bir değer olarak seçilmiştir. Numune kaba yerleştirildikten sonra, sistemin kap ve numune arası boşluktan hava temasını kesmek amacıyla katı parafin eritilip bu boşluğa katılaşmaya yakın haldeyken dökülmüştür.

Aşağıda buhar geçirgenlik direnç katsayısını belirlemek için yapılan deneyin fotoğrafları yer almaktadır.

Deney kaplarının içinin çok düşük nem oranında, yani %0-%2

arasında olması gereklidir. Bu kaplar sistemi; ortam nemini uygun değerlerde tutmak amacıyla içinde potasyum klorür bulunun desikatör içine yerleştirilir.

Ortam nemi %80 ve sıcaklığı  $20^\circ\text{C}$ 'de tutulmuştur. Desikatörün içinin dışarıdaki ortam şartlarından etkilenmemesi için desikatör kapağı vazelin sürülerek kapatılır. Desikatör içinde oluşturulan ortam, desikatör dışındaki doğal şartlardan tamamen bağımsız olmalıdır.

Desikatör içerisinde hava doluşunun elverişli olması için, küçük çaplı bir fan yerleştirilebilir. Deney yaz aylarında yapıldığından laboratuvar ortamı sıcaklığı klima sistemi ile sabit tutularak sıcaklık korunmuştur.

Yapılan deney ve hesaplamalar sonunda bulunan sonuçlar tablolar halinde aşağıda verilmiştir.

Örnek	Tuğla	Boyalı Tuğla	Değişim ( $\mu$ )
Ortalama Buhar Geçirgenlik Direnç Katsayısı (5 Ölçüm) $\mu$	16	17	1

Tablo 5.1. Tuğla üzerinde 2 kat boya uygulamalı deney sonuçları

Örnek	Tuğla	Su İticili Tuğla	Değişim ( $\mu$ )
Ortalama Buhar Geçirgenlik Direnç Katsayısı (5 Ölçüm) $\mu$	16	17	1

Tablo.5.2. Tuğla üzerinde su itici uygulaması deney sonuçları

Örnek	Kireçtaşı	Boyalı K.taşı	Değişim ( $\mu$ )
Ortalama Buhar Geçirgenlik Direnc Katsayısı (5 Ölçüm) $\mu$	32	34	2

Tablo 6.1 Kireçtaşı üzerinde 2 kat boya uygulamalı deney sonuçları

Örnek	Kireçtaşı	Su İticilik.taşı	Değişim ( $\mu$ )
Ortalama Buhar Geçirgenlik Direnc Katsayısı (5 Ölçüm) $\mu$	32	33	1

Tablo 6.2 Kireçtaşı üzerinde su itici uygulaması deney sonuçları

Örnek	Ytong	Boyalı Ytong	Değişim ( $\mu$ )
Ortalama Buhar Geçirgenlik Direnc Katsayısı (5 Ölçüm) $\mu$	13	14	1

Tablo 7.1 Ytong üzerinde 2 kat boya uygulamalı deney sonuçları

Örnek	Ytong	Su İticili Ytong	Değişim ( $\mu$ )
Ortalama Buhar Geçirgenlik Direnc Katsayısı (5 Ölçüm) $\mu$	13	14	1

Tablo 7.2 Ytong üzerinde su itici uygulaması deney sonuçları

Örnek	Harç	Boyalı Harç	Değişim ( $\mu$ )
Ortalama Buhar Geçirgenlik Direnc Katsayısı (5 Ölçüm) $\mu$	19	28	9

Tablo 8.1 Puzolan katkılı kireç harcı üzerine 2 kat boya uygulamalı deney sonuçları

Örnek	Harç	Su İticili Harç	Değişim ( $\mu$ )
Ortalama Buhar Geçirgenlik Direnc Katsayısı (5 Ölçüm) $\mu$	20	27	7

Tablo 8.2 Puzolan katkılı kireç harcı üzerine su itici uygulaması deney sonuçları

Yukarıdaki tablolarda verilen deney sonuçlarına göre, inorganik pigmentli, silikat bağlayıcılı su bazlı astar ve iki kat boya ile boyanmış, tuğla, kireç taşı ve gözenekli silika-kalker tuğlası (Ytong) örnekleri üzerindeki boyanın, su buharı geçirimsizlik direnci katsayısı ( $\mu$ ) değerlerinde çok az değişimler olduğu görülmektedir. Puzolan katkılı kireç ve kumdan oluşan sıva harcında ( $\mu$ )

değeri 19'dan 28'e çıkarak 9 birim artmıştır. Ancak bu artış, buhar geçirimsizliği yönünden oldukça düşük bir değerdir.

Benzer şekilde tuğla, kireç taşı ve gözenekli silika-kalker tuğlasına uygulanan su iticide de, buhar geçirimsizlik direnci ( $\mu$ ) 1 birimlik değişimler göstermiştir. Bu da su buharı yönünden ihmal edilecek bir boyuttur. Puzolanlı kireç- kum

sıva harcında ise ( $\mu$ ) değeri 7 birim artmıştır.

Sonuç olarak su itici malzeme ile anorganik bağlayıcılı boyaların buhar geçirimsizliği üzerindeki etkisinin uygulandığı malzemenin yüzey özelliği ve boşluk yapısı ile ilgili olduğu görülmüştür. Etkisi; taş, tuğla gibi emiciliği az olan malzeme az, sıva harcında ise bir miktar daha fazla olmaktadır.

## REFERANSLAR

- 1- Croiset, M., 1968, *L'Hygrothermique dans le bâtiment*, Edition Eyrolles.
- 2- TS 825, *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*
- 3- ASTM E-96-00, *Standard Test for Water Vapor Transmission of Materials*
- 4- DIN 52615, *Test for Water Vapor Permeability*