

**T.C.  
MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU BUHARI DİFÜZYONU VE  
ISI YALITIM MALZEMELERİNİN BUHAR  
GEÇİRGENLİKLERİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA**

**R. Engin ALAN (Mimar)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YAPI FİZİĞİ VE MALZEMESİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
Yar. Doç. Dr. Cüneyt DİRİ**

**Şubat 2010**

**T.C.**  
**MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU BUHARI DİFÜZYONU VE**  
**ISI YALITIM MALZEMELERİNİN BUHAR**  
**GEÇİRGENLİKLERİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA**

**R. Engin ALAN (Mimar)**

(20077120)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**YAPI FİZİĞİ VE MALZEMESİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN**

**Yar. Doç. Dr. Cüneyt DİRİ**

**Şubat 2010**

R. Engin ALAN tarafından hazırlanan SU BUHARI DİFÜZYONU VE ISI YALITIM MALZEMELERİNİN BUHAR GEÇİRGENLİKLERİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Cüneyt DİRİ

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Yapı Fiziği ve Malzemesi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## ÖNSÖZ

Yapılarda yalıtım konusu, meslek hayatının ilk yıllarından itibaren mimarların karşısına çıkan, sorunlu, tam çözümlenmemiş bir konudur. Bir çok mimarın bu konuda yeterli bilgiye sahip olmamaları, bu konuda bir çok firmanın ortaya çıkmasına neden olmuş, ve yapı yalıtımını, ayrı bir sektör olarak karşımıza çıkarmıştır. Fakat yalıtım konusunda verilmesi gereken kararlar, mimari tasarım sürecinde gerek cephe tasarımı, gerekse detay çözümlerinde, mimarın hakimiyetinde ve bilgisinde olması gereken konulardır.

Bu konudaki çalışmalar ilerledikçe, tasarımcı, kullanıcı bilinci artacak, ve mimari ile bir bütün olarak ele alınması gereken yalıtım konusunda daha doğru adımlar atılacaktır. Önemli olan, bu konunun bilincine varmak, ve bu yöndeki çalışmaların gerekliliğini anlamaktır.

Tez çalışmamda değerli bilgileri ile çalışmamı yöneten değerli tez hocam Yard. Doç. Dr. Cüneyt DİRİ'ye, mesleki ve akademik tüm meraklarımı çok iyi süzen, yolumu gösteren, tez çalışmamda engin bilgilerini her zaman benimle paylaşan değerli hocam, büyüğüm Yard. Doç. Dr. Ali Çiçek'e, gerek yüksek lisans çalışmamda, gerek tez çalışmamda her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen sevgili dostum, Ümit Arpacıoğlu'na, tüm emekleri için sevgili dostum Sinan Bader'e, değerli müdürüm Eda Benderli'ye, Yrd. Doç. Dr. Aslıhan Kerç'e, ve tüm desteklerinden dolayı sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2010

R. Engin ALAN

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>iii</b>
<b>SEMBOLLER LİSTESİ</b>	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>v</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vi</b>
<b>RESİM LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Problemin Tanımı	2
1.2 Amaç Ve Kapsam	3
<b>2. YAPI KABUĞUNDA SU BUHARI DİFÜZYONU</b>	<b>4</b>
2.1 Su Buharı, Nem İle İlgili Tanım Ve Kavramlar	4
2.1.1 Havadaki Rölatif ve Mutlak Nemin Tanımı	4
2.1.2 Malzeme Nem İlişkisi	7
2.2 Buhar Difüzyonu Ve Buhar Difüzyonu İle İlgili Olaylar	8
2.2.1 Buhar Difüzyonu ve Malzemelerin Buhar Difüzyonuna Etkileri	8
2.2.2 Buhar Difüzyonuna Bağlı Fiziksel Olaylar (Yoğuşma, Terleme)	10
2.2.3 Buhar Difüzyonunun Malzeme Fiziksel Özelliklerine Etkileri	12
2.2.4 Buhar Difüzyonunun Malzeme Mekanik Özelliklerine ve Dayanıklılığa Etkileri	13
2.2.5 Buhar Difüzyonunun Mekan Konforuna Etkileri	14
<b>3. ISI YALITIM MALZEMELERİ</b>	<b>16</b>
3.1 Isı Yalıtım Malzemelerinin Tanımı Ve Özellikleri	16
3.1.1 Isı Yalıtım Malzemelerinin Muhteviyatı Ve Çevreciliği	16
3.2 Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması	19
3.3 Isı Yalıtım Malzemelerinin Uygulama Alanları Ve Teknikleri	22
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA</b>	<b>24</b>
4.1 DENEY YÖNTEMİ	24
4.2 Deney Ekipmanı	25
4.2.1 Ts-En 12086'ya Göre Düzenlenmiş Bir Ölçme Cihazı Önerisi	27
4.3 Deneyin Yapılışı Ve Sonuçları	41
<b>5. SONUÇ</b>	<b>45</b>
<b>6. KAYNAKÇA</b>	<b>47</b>
<b>EKLER</b>	<b>48</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>97</b>

## SEMBOLLER LİSTESİ

W	Mutlak Nem
Mb	Kuru Hava İle Karışık Halde Bulunan Su Buharı Kütlesi
V	Havanın Hacmi
$\varphi$	Bağıl Nem
Ws	Havanın Neme Doyma Miktarı
Ps	Doymuş Buhar Basıncı
P	Buhar Basıncı
rs	Doymuş Havanın Karışım Oranı
X	Özgül Nem
Mh	Kuru Hava Kütlesi
gh	Difüzyon Akım Şiddetinin Sakin ve Kuru Havadaki Değeri
gy	Difüzyon Akım Şiddetinin Yapı Elemanındaki Değeri
ts	Yoğuşma Noktası Sıcaklığı
$\mu$	Difüzyon Direnç Katsayısı
Sd	Difüzyon Değerlerine Eşdeğer Hava Tabakası Kalınlığı
WVTR	Su Buharı Geçirgenlik Oranı
R	Direnç (Resistance)

## **TABLO LİSTESİ**

<i>Tablo 2-1 Bazı Malzemelerin Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörleri (TS825, 1998).....</i>	<i>11</i>
<i>Tablo 4-1-Deney Numunelerinin Ağırlık Değişim Tablosu.....</i>	<i>43</i>
<i>Tablo 4-2- Deneylerden Elde Edilen Verilerle Hesaplanmış Sayısal Değerler .....</i>	<i>44</i>

## ŞEKİL LİSTESİ

<i>Şekil 4-1- Deney Cihazı Planı ve Kesiti .....</i>	<i>28</i>
<i>Şekil 4-2-Deney Cihazı Ön ve Yan Görünüşleri.....</i>	<i>29</i>
<i>Şekil 4-3-Higrostat İç Diyagramı.....</i>	<i>38</i>
<i>Şekil 4-4-Higrostat Montaj Şekli.....</i>	<i>39</i>
<i>Şekil 4-5-Higrostat Teknik Çizimi .....</i>	<i>39</i>
<i>Şekil 4-6- 4 cm Kalınlığındaki EPS Deney Düzeneginin Ağırlık Zaman Grafiği.....</i>	<i>43</i>
<i>Şekil 4-7- 2 cm Kalınlığındaki XPS Deney Düzeneginin Ağırlık Zaman Grafiği.....</i>	<i>43</i>
<i>Şekil 4-8- 3 cm Kalınlığındaki Cam Yünü Deney Düzeneginin Ağırlık Zaman Grafiği.....</i>	<i>43</i>
<i>Şekil 4-9- 3 cm Kalınlığındaki Taş Yünü Deney Düzeneginin Ağırlık Zaman Grafiği.....</i>	<i>44</i>
<i>Şekil 4-10- Deneye Tabi Tutulan Tüm Düzeneklerin Çakıştırılmış Ağırlık Değişimi Zaman Grafiği..</i>	<i>44</i>



## RESİM LİSTESİ

<i>Resim 4-1-Deney Numuneleri ve Deney Cihazı .....</i>	<i>25</i>
<i>Resim 4-2-Analitik Terazi ve Kesintisiz Güç Kaynağı.....</i>	<i>26</i>
<i>Resim 4-3-Simülasyon Ünitesi Genel Görünüşü .....</i>	<i>30</i>
<i>Resim 4-4-Simülasyon Ünitesi Yan Görünüşü .....</i>	<i>30</i>
<i>Resim 4-5- Cihaz İç Görünüşü .....</i>	<i>31</i>
<i>Resim 4-6- Cihaz Isıtma ve Soğutma Sistemi, Buhar Girişi, Duyargalar ve İç Ortam Kontrol Probu</i>	<i>31</i>
<i>Resim 4-7-Cihazın Nem ve Sıcaklık Kontrol Ekranı .....</i>	<i>32</i>
<i>Resim 4-8-Hava Akımını Engellemek İçin Kullanılan Kapak Fitilleri.....</i>	<i>33</i>
<i>Resim 4-9-Simülasyon Ünitesi Kapak Sistemi.....</i>	<i>33</i>
<i>Resim 4-10-Soğutma Ünitesi Dış Ünitesi.....</i>	<i>34</i>
<i>Resim 4-11-Soğutma Sistemi Dış Paneli.....</i>	<i>35</i>
<i>Resim 4-12-Kamera Sistemi.....</i>	<i>35</i>
<i>Resim 4-13-Buhar Jeneratörü ve Kabin İçi Elektrik Prizi .....</i>	<i>37</i>
<i>Resim 4-14-Buhar Jeneratörü Dışarıdan Takıldığı Durumlar İçin Buhar Girişi .....</i>	<i>37</i>
<i>Resim 4-15-Isıtma, Buhar ve Soğutma Kontrol Birimleri .....</i>	<i>38</i>
<i>Resim 4-16- Deney Esnasında Cihazın İç Görüntüsü, Buhar Jeneratörü.....</i>	<i>42</i>
<i>Resim 4-17- Deney Sırasında Cihaz İçerisindeki Numuneler ve Kontrol Probu.....</i>	<i>42</i>

## ÖZET

Bu çalışma kapsamında öncelikle ısı yalıtım malzemeleri, nem kavramı, sıcaklık hava ve nem ilişkisi, malzeme özelliklerin nem geçişine etkisi ve nem geçişinin malzeme özelliklerine etkileri konusunda bir literatür araştırması yapılmıştır.

Çalışmanın literatür araştırması bölümünden sonra malzemelerin nem geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili standartların incelenmesi ile deneysel çalışmalara giriş yapılmıştır. TS-ISO 2528, TS-ISO 9932, TS-EN-ISO 7783-1, TS-EN 1931, TS 1971 ISO 1663, TS-EN 13469 ve TS-EN 12086 standartları incelenmiş, bu standartlardaki deney yöntemlerinin gerçekleştirilebilmesi için bir ölçme cihazı gerekliliği görülmüştür. Bu ölçme cihazı önerisi yukarıda bahsedilen standartların gereksinimlerini yerine getirebilecek şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneme çalışmalarından sonra deneyleri yapılmak için ısı yalıtım malzemesi örnekleri belirlenmiş, bu malzemeler ile TS-EN 12086 standardında belirlenen deney yöntemi ile deneyler yapılmış ve karşılaştırmalı bir sonuç çıkartılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Yapıları etkileyen doğa etkenleri arasında suyun önemli bir yeri vardır. Su molekülü kapiler boşluklarda yukarıya doğru hareket edebilir, en kılcal çatlaklarda ilerleyebilir. Bu nedenle su molekülü gerek sıvı halde, gerek gaz halde nem olarak yapı bileşenleri bünyesine girebilmekte, zamanla çeşitli zararlara neden olabilmektedir. Yapı ömrünün uzaması için, yapının gerek tasarım, gerek uygulama, gerek kullanım safhalarında su ve nem etkilerine karşı önlemler alınmalıdır.

Atmosferdeki suyun yeryüzüne geçişi, havanın herhangi bir durumda taşıdığı nem miktarından ve yağışlardan kaynaklanır. Sıcaklık derecesinin değişmesi sonucu nem miktarı değişmekte, ayrıca su sıvı halden katı hale dönüşerek çığlenme ve donma olaylarına yol açabilmektedir.

Suyun malzeme üzerindeki etkisi söz konusu olduğu zaman ya su malzemenin içindedir, yada su malzemeye yüzeysel olarak etkimektedir. Ayrıca buhar basıncından ortaya çıkan kondansasyon (yoğuşma) ise malzeme iç yapısını veya yüzeysel olarak malzemeyi etkilemektedir. Malzeme boşlukları içine girmiş bulunan suyun sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi ile ortaya çıkaracağı olay ise donmadır. Donmada katı hale geçerek hacim genişlemesine uğrayan su malzeme iç yapısında gerilmelere neden olacaktır. Suyun buz hale geçmesiyle hacminde %9'luk bir artış olur. Bu da malzemeyi genişlemeye uğratarak çatlmasına neden olmaktadır. (Eriç, 1994)

Buhar difüzyonu yapı malzemeleri ile oluşturulan yapı bileşenlerinin (duvar, çatı, döşeme vb.) her iki tarafı ile ilgili basınç farkı sonucu gerçekleşen ve sürekliliği istenen fiziksel bir olaydır. Difüzyon olayının gerçekleştiği süre içerisinde, hem kapalı bir ortam hem de ortamı sınırlayan yapı elemanları açısından bir sorun söz konusu değildir. Ancak, buhar difüzyonu sırasında, iç ve dış ortam koşullarının farklılıklarına bağlı olarak malzeme bünyesinden atılamayan suyun birikip yoğuşarak su haline gelmesi ile malzeme yapısında sorunlar oluşabilmektedir. (Biçer Özkun, 2005) Isı yalıtım malzemelerinin bünyelerindeki hava boşluklarında yoğuşma ile

biriken su, malzeme bünyesindeki hava miktarını azalttığı için performans düşüşüne neden olacaktır.

Ayrıca malzeme bünyesinde biriken su, malzemeye kimyasal ve fiziksel başka zararlar da verebilir. Suyun etkisiyle malzemede çiçeklenme, mukavemet düşmesi, kabarma dağılma ve çözünmeler, bağlayıcı özelliklerinin kaybolması, dekoratif ürünlerde renk ve doku bozulması, korozyon, çürüme, küf ve mantar oluşması, bakteri ve böcek oluşması, iç ortam hava kirliliği ve ortam nem dengesinin bozulması gibi sorunlarla da karşılaşılabilir.

Yapı kabuğunu meydana getiren katmanların su buharı geçirgenlik özelliklerinin bilinmesi ve bunların doğru yorumlanması, tasarım sürecinde mimarın doğru kararlar vererek beklenen konfor ortamını sağlaması açısından önem arz etmektedir.

Isı yalıtım malzemeleri, kalınlıkları arttıkça daha fazla ısı yalıtımı sağlamaktadır. Bununla beraber, malzemenin kalınlığının artması nedeni ile su buharı geçirgenlik kabiliyetleri de düşmektedir. Isı yalıtım malzemelerinin sadece ısı yalıtım değerleri değil, aynı zamanda da nefes alabilme kabiliyetleri birlikte düşünüldüğü zaman, bu iki özelliğin optimum miktarlarda tutularak yalıtımın sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

## **1.1 PROBLEMİN TANIMI**

Günümüzde ısı yalıtım malzemeleri artık hemen hemen her yapının kabuk bileşenleri içerisinde kullanılmaktadır. 14.12.1983 tarihli 180 sayılı kanun hükmünde kararnameye dayanan, 8 Mayıs 2000 tarihli resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği uyarınca, ısı yalıtımı yapılması tüm binalarda zorunlu hale gelmiştir.

Yapılarda iç ve dış bağıl nem farklılığı, basınç farklılığı gibi nedenlerle su buharı yapı kabuğu üzerinden difüze olurken, diğer katmanlardan geçtiği gibi ısı yalıtım katmanının içerisinde de geçmelidir. Bundan dolayı, en az diğer katmanlar kadar, ısı yalıtımının da su buharı geçirgenlik özelliği önem kazanmaktadır.

Ancak literatür araştırmaları sonucu görülmüştür ki, günümüzde üretilen ve yapı kabuğu kesiti içerisinde yer alan bir çok yapı malzemesinin su buharı geçirgenlik değerleri çeşitli ticari kaygılarla sınırlı olarak yayınlanmakta, bazılarının ise yayınlanmamaktadır. Yapı malzemelerinin nefes alabilme

konusundaki yetersizlikleri sonucunda ortaya çıkan insan ve yapı sağlığı açısından istenmeyen sonuçlar, çalışmaların bu yönde yoğunlaşması gerekliliğini doğurmaktadır. Ayrıca malzemelerin nefes alabilme kabiliyetleri ile ilgili sayısal değerler elde edilmiş olsa bile, bu değerlerin doğru yorumlanması, ve bu doğrultuda karar verilmesi için gerekli bilinç henüz oluşmamıştır.

## **1.2 AMAÇ VE KAPSAM**

Bu tez çalışmasının amacı, yapı kabuğu içerisinde kullanılması zorunlu hale gelen ısı yalıtım malzemelerinin nefes alabilme özelliklerini objektif bir ortamda deneysel olarak incelemek, tasarım sürecinde ısı yalıtım malzemelerinin doğru kullanımını irdelemektir.

Literatür çalışması yapıldıktan sonra, ölçme çalışmalarının gerek karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, gerekse buhar difüzyon direnç faktörünün sayısal olarak hesaplanabilmesi için bir ünite gerekliliği görülmüş, ve bu çalışma kapsamında bir ölçme cihazı önerisinin ilk versiyonu da imal edilmiştir.

## **2. YAPI KABUĞUNDA SU BUHARI DİFÜZYONU**

### **2.1 SU BUHARI, NEM İLE İLGİLİ TANIM VE KAVRAMLAR**

#### **2.1.1 Havadaki Rölatif ve Mutlak Nemin Tanımı**

Hava çeşitli gazlardan oluşur. Bu gazların bir kısmının oranı sabit, bir kısmının oranı ise bazı faktörlere bağlı olarak değişkendir. Hava içinde bulunan değişken gazların yapı malzemeleri bakımından en önemlisi su buharıdır. Nem, havada su buharının bulunması olarak tanımlanabilir. Havanın tutabileceği maksimum su buharı miktarı havanın sıcaklığı ile değişim gösterir. Her sıcaklıkta hava bünyesinde bulunabilen su buharının hava hacmine oranı ise en fazla %4 olabilir.

Hava nemliliği herhangi bir sıcaklıkta ve herhangi bir anda hava içindeki su buharının miktarıdır. Bünyesinde su buharı bulunmayan havaya kuru hava denir. Kuru hava ancak laboratuvar koşullarında elde edilebilir. Ayrıca su buharı, sıcaklığın sınır şartlarına bağlı olarak çığ veya don olaylarına yol açar. Bu durum yapı kabuğunu meydana getiren kabuk bileşenlerinde kondansasyon, terleme, nemlenme ve hava sıcaklığının eksi değerlere ulaşmasının doğal sonucu olarak da don haline dönüşmesine neden olur.

Havada yağmur, kar suyu olarak sıvı halde bulunan su aynı zamanda nem olarak bilinen gaz haliyle de yapıyı etkilemektedir. Coğrafi bölgelere göre nem miktarı değişen alanlar, nem miktarı ne kadar olursa olsun mutlaka yapıyı etkilemektedir. Zira suyun sıvı veya katı olması için bir takım sıcaklıkların koşul olmasına karşın, su buharı her sıcaklıkta oluşmaktadır. Ama bu etki doğal olarak havadaki nemin daha yoğun olduğu bölgelerde daha fazla olmaktadır. Sıcaklık düştükçe havanın tutabileceği su buharı miktarında azalma, sıcaklık yükseldikçe su buharı miktarında artma olmaktadır.

Havadaki su etkisine karşı olduğu gibi nem etkisine karşı da yapı kabuğunda hem yüzeysel olarak hem de kabuğun içinde bir takım önlemler alınmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta özellikle yağmur suyuna karşı önlem alırken yapı

kabuğunun nefes almasını engellememektir. Zira yapı kabuğunda iç ortam ile dış ortam arasında nem geçişine mutlaka izin verilmelidir. Yoksa özellikle iç ortamdaki dışarı çıkamayan nem, içerideki havanın niteliğinin bozulmasına yol açacak, bu da insan sağlığını olumsuz olarak etkileyecektir.

Havanın içinde bulunduğu sıcaklıkta bünyesinde bulundurabileceği en fazla su buharı miktarını bulundurması haline “**doymuş hava**” denir.

Nemli havanın birim hacmi içinde bulunan su buharı birim ağırlığına “**mutlak nemlilik**” denir. Birimi gr/m<sup>3</sup> ’tür.

$$W = \frac{M_b}{V} \quad (\text{gr/m}^3)$$

W : Mutlak Nemlilik

M<sub>b</sub>: Kuru hava ile karışık halde bulunan su buharı kütlesi

V : Havanın Hacmi

Havanın içindeki su buharı kütlesi Aynı koşullardaki hava içinde bulunabilecek en fazla su buharı kütlesine oranına “**bağlı nem**” denir. Mevcut barometre basıncı ve sıcaklıkta havadaki su buharı miktarının aynı basınç ve sıcaklıkta alabileceği en fazla su buharı miktarı olarak da tanımlanabilir ve % olarak ifade edilir. Diğer bir deyişle bağlı nem havanın doyma açığını gösterir. Bağlı nem havanın doymamış ve doymuş haldeki mutlak nemliliklerinin ve kısmi buhar basınçlarının oranlarına da eşittir.

$$\phi = \frac{W}{W_s} \cdot 100 = \frac{P}{P_s} \cdot 100$$

φ : Bağlı nem

W : Mutlak nem

W<sub>s</sub> : Doyma Miktarı

Ps : Doymuş Buhar Basıncı

P : Buhar Basıncı

Birim hacimdeki havanın belirli bir sıcaklıkta bünyesinde tutabileceği en fazla buhar miktarına “**doymuş buhar miktarı**” denir. Birimi gr/m<sup>3</sup> tür.

Doymuş buhar basıncı belirli bir sıcaklıktaki doymuş havanın kısmi buhar basıncına denir. Barometre basıncına da bağlı olarak değişir. Değişimin bağıntısı;

$$P_s = \left( \frac{r_s}{0,62197} + r_s \right) \cdot P \quad (\text{kg/m}^2) \text{ yada (mmHg)}$$

Ps : Doymuş buhar basıncı

rs : Doymuş havanın karışım oranı

0,62197 : suyun molekül ağırlığının havanınkine oranı

P : Barometre Basıncı

Birim kütledeki nemli hava bünyesinde bulunan su buharının kütesine “**özgül nem**” denir. Birimi gr / kg’dır. (nemli havanın nem miktarı da denilir.)

$$X = \frac{M_b}{M_b + M_h} \quad (\text{gr/kg})$$

X : Özgül nem

Mb : Kuru hava ile karışık halde bulunan su buharı kütlesi

Mh : Kuru hava kütlesi

Belli şartlardaki havanın özgül nemliliğinin doymuş şartlardaki havanın özgül nemliliğine oranına “**doyma derecesi**” adı verilir.



### 2.1.2 Malzeme Nem İlişkisi

Atmosferi çevreleyen ve yaşamımızı sağlayan hava, kapalı bir hacimde, yapı bileşenleri ve yapı malzemelerinin katman veya gözeneklerinde ve dış ortamda bulunmaktadır. Katı cisimlerin hava ile dolu olan gözeneklerinde ısı iletimi;

- Havanın moleküler ısı iletkenliği
- Havanın gözenek içinde dolaşımı
- Gözeneğin bir yüzeyinden diğerine ışıma
- Gözeneklerdeki havanın yerine su dolması
- Buhar difüzyonu

Bişimlerinde gerçekleşmektedir. (Baldaş & Kantar, 1975)

Küçük gözeneklerin ışıma yoluyla ısı iletkenlikleri çok düşük olup, hava dolaşımı gerçekleşmemektedir. Ancak, kapiler su emme sonucu gözeneklerin su ile dolması veya buhar difüzyonu, bu ısı iletkenlik değerini yükseltmektedir.

Büyük gözenekler ve kalın hava katmanları ise hava dolaşımına uygun olup, hava bu katmanların sıcak tarafında yukarı doğru çıkarken, soğuk hava aşağı doğru inmektedir. Bu hava dolaşımı sırasında, soğuk yüzeylerde yoğuşma suyu oluşur. Oluşan yoğuşma suyu ise hava katmanlarının ısı iletkenlik değerlerinin, gözeneklerdeki havaya oranla 40 kat daha büyük değerler almasına neden olmaktadır. Bu nedenle hava iyi bir yalıtım katmanı olmasının yanı sıra zararlı bir katman da olabilmektedir.

Yapı malzemeleri, üretim sistemleri ve depolama koşullarına göre az veya çok oranda nem içermektedir. Nem; duvar, döşeme ve çatılarda küf mantar vb. oluşumuna neden olabilmektedir. Küf ve mantarlar bu yapı elemanlarında kötü bir görünüm oluşturan; aynı zamanda solunum yolları rahatsızlıklarına da zemin hazırlayan zararlı etkenlerdir. Nemli dış duvar bileşenlerine sahip yapılarda kalorifer vb. Gibi çeşitli ısınma sistemleri ile bile uygun konfor koşulları elde edilememektedir. Bu nedenle, yapıların tasarımlarında asıl ele alınması gereken konu, kuru yapıların oluşturulması ve ürün seçimlerinin bu doğrultuda yapılmasıdır. (Özgür, 1982)

## 2.2 BUHAR DİFÜZYONU VE BUHAR DİFÜZYONU İLE İLGİLİ OLAYLAR

### 2.2.1 Buhar Difüzyonu ve Malzemelerin Buhar Difüzyonuna Etkileri

Belli bir yapı elemanının ayırdığı, buhar basınçları farklı iki ortam arasında buhar basıncı yüksek olandan düşük olana doğru bir akım meydana gelir. İşte bu buhar basıncı farkından dolayı malzemelerin bünyelerinden buhar akımı geçirmelerine “difüzyon” denir.

Gözenekli yapı malzemelerinde su ve su buharı akımı ısı akımı ile doğrudan ilgilidir. Nem sıcaklık değişimine bağlı olarak gözenekli malzeme içinde hareket eder. Bu hareket sonucunda ısı taşınabilir. Çünkü su ve su buharı malzeme içinde herhangi bir kütle akımı “entalpi” olarak da anılan duyulur ısı akımına neden olacaktır. Ayrıca kütle buhar durumundan suya veya sudan buza dönüşmesi durumundan gizli ısı ortaya çıkacaktır.

Gözenekli malzemenin gözenek yapıları da bu olayda etkilidir. Kapalı gözenekli malzemelerde su veya su buharı ile nemlenme yavaş olacağından bu yolla ısı geçişi de yavaş olacaktır. Ancak açık gözenekli malzemelerde nem hareketi ısı akımını önemli ölçüde arttırdığından daha fazla ısı geçişine neden olacaktır. Isı akımının gün boyu tek yönlü olduğu gözenekli malzemelerde hacimde %5 nem oranı, kuru malzemeye oranla %15-25 daha fazla ısı akışı sağlar. Isı akımının gün boyu dönüşümlü olduğu gözenekli malzemelerde hacimce %1 nem oranının üzerine çıkıldığında ısı akışı artışı yavaşlamaktadır.

Bir yapının sınırladığı iç ortam koşullarının, bu ortamın işlevinin gerektirdiği ortamı sağlamak üzere sabit veya sabit sayılacak derecede az değişken olmasına karşın, dış ortam koşulları, mevsimlere göre değişkendir. Bu koşullara bağlı olarak da yapıda bir ısı akışı gerçekleşir. Isı akışı iç ve dış ortamların sıcaklığına, bağlı nemine veya yapı kabuğunun niteliklerine bağlı olarak fiziksel olaylar ortaya koyar.

Yapı ürünlerinde ve bunlarla oluşturulan elemanların yapısında bulunan su buharı, yaşamsal konfor koşulları açısından zararlı sonuçlara neden olabilmektedir. Yapı ürünlerindeki su buharı hareketleri, bu ürünlerin özellikleri bakımından yapısal değişikliklere neden olmadığı sürece, buhar difüzyonu (nemsal akım) olarak tanımlanmaktadır. (Ilgaz, 1979)

Yapı elemanlarındaki su buharı difüzyonu, elemanlarının her iki taraftaki basınç farkı nedeniyle gerçekleşen ve olması gereken sağlıklı bir olaydır. Bu olay, su buharının birikip yoğunlaşarak su haline gelmesine kadar geçerlidir. (Ilgaz, 1979)

Yapı sağlığı ve ısı akışını etkileyen önemli etkenlerden biri de yapı bileşenlerinin su buharı iletkenliğidir. Su buharı iletkenliği, birim kalınlıktaki bir malzemenin birim yüzey alanında iki yüzü arasında 1Pa (N / m<sup>2</sup>) buhar basıncı farkı olduğunda, birim zamanda geçen su miktarıdır. Birimi [kg / (N/m<sup>2</sup>.h (N/m<sup>2</sup>)] veya (ng/m<sup>2</sup>.s.Pa)'dır. Birim kalınlıktaki bir malzemenin aynı koşullarda buhar akımına gösterdiği direnç buhar iletkenlik direnci olarak anılır ve buhar iletkenliğinin aritmetik tersine eşittir. Su buharı geçirgenliği herhangi bir (d) kalınlığındaki kabuk bileşenindeki bir eleman tabakasının, iki yüzü arasında 1Pa (N/m<sup>2</sup>) buhar basıncı farkı olduğunda, birim yüzey alanından, birim zamanda geçen su buharı miktarıdır. Birimi [ kg / (m<sup>2</sup>.h.(N/h<sup>2</sup>)]'dır. Aynı koşullarda malzeme tabakasının buhar girişine gösterdiği direnç buhar geçirgenlik direnci olarak anılır ve birimi [m<sup>2</sup>.h.(N/m<sup>2</sup>)] / kg'dır Bu değer çok rakamlı olduğundan Alman Normlarında (DIN), yoğunlaşma ve buhar akımı hesaplarında, buhar difüzyon direnç katsayısı olarak geçmekte ve 1m kalınlığındaki bir malzemenin buhar iletkenlik direncine oranı olarak verilmektedir.

Su buharı difüzyon geçirgenliği yapı bileşenin ortamlar arasındaki buhar basınç farkı nedeniyle içinden su buharını geçirir. Bir yapı bileşeni ile ayrılan, iç veya dış ortamda bulunan nemli havanın özgül nemi eşitleninceye kadar, buhar basıncı fazla olan ortamdaki, az olan ortama buhar akımı olur. Bu olay basınçlar eşitleninceye kadar devam eder. Barometrik basınç aynı olmasına rağmen, sıcak ortamdaki buhar basıncı soğuk ortamlarda bulunan buhar basıncından yüksek olduğundan, soğuk bölüme devamlı su buharı akımı olur. Yapı bileşenleri genellikle bu akıma tam direnç gösteremezler ancak, bazı yapı elemanları özelliklerinden dolayı daha dirençlidirler. Bu direnç büyüdükçe buhar geçirgenliği azalır.

Difüzyon direnç faktörü ise, bir yapı elemanının buhar difüzyon direncinin, aynı kalınlık ve koşullardaki hava tabakasından kaç kat büyük olduğunu gösteren birimsiz bir rakamdır. Difüzyon direnç faktörü difüzyon akım şiddetinin sakin ve kuru havadaki değerinin (gh), yapı elemanındaki değerine (gy) oranıdır. Örneğin, havanın difüzyon direnç faktörü 1'dir. Ayrıca, cam ve metaller de su buharını geçirmez.

### 2.2.2 Buhar Difüzyonuna Bağlı Fiziksel Olaylar (Yoğuşma, Terleme)

Farklı buhar basınçlarından dolayı meydana gelen difüzyon sırasında, su buharının bir kısmının malzemenin bünyesinde yoğuşarak su haline gelmesine **yoğuşma** (kondansasyon) denir.

Bir ortamda ortamın sıcaklığı ile o ortamı çevreleyen yapı elemanının yada malzemenin yüzey sıcaklığı arasında yüksek bir fark varsa ortamda bulunan su buharının bir kısmı, bu yapı elemanının yada malzemenin yüzeyine yakın bir yerde yoğuşarak su haline dönüşür ve yüzeyde su damlacıkları şeklinde karşımıza çıkar. Bu olaya **terleme** denir.

Sınırlayıcı nitelikte olan her yapı elemanında (duvar, çatı vb.) genellikle sıcak ortamdaki soğuk ortama doğru sürekli bir su buharı difüzyonu gerçekleşmektedir. Nemli havada sıcaklık düşüşü, bağıl nemin artışına neden olmaktadır. Sıcaklık, bağıl nem %100 oluncaya kadar düşüş gösterdiğinde su buharı havada ayrılarak buhar fazı özelliğini kaybeder. Bunun sonucunda su buharı, sisli yapılardan ayrılarak yoğuşma suyu oluşturur. Bu noktada ölçülen sıcaklık, yoğuşma noktası sıcaklığı ( $t_s$ ) veya yoğuşma noktası olarak belirlenmektedir. Hava sıcaklığı ve su buharı içeriğine, diğer bir ifadeyle bağıl neme göre belirlenen yoğuşma noktası, hava sıcaklığına ne kadar yaklaşırsa; havada ölçülen nem o oranda artış gösterir. (Gösele ve Schüle, 1983). Diğer bir ifade ile yapı elemanlarının iç yüzey sıcaklığı, ortamdaki havanın yoğuşma noktası sıcaklığının altına düştüğünde; bu yüzeylerde yoğuşmuş su görülmektedir.

Buhar difüzyonu süresince, hem kapalı ortam hem de ortamı sınırlayan yapı elemanları açısından bir sorun söz konusu değildir. Ancak, bir yapı sistemi içerisinde yer alan her yapı ürünü, difüzyon olayına karşı farklı dirençler göstermektedir. Difüzyon dirençleri nemsel akım yönünde düzenlenen, diğer bir ifadeyle bileşen içerisindeki su buharı miktarına sistem içerisinde yığılmalara uğramadan düzgün olarak dış ortama kadar ulaştığı sistemlerde, yoğuşma olmamaktadır.

Bileşenlerdeki katman sayısı arttıkça bu katmanlara ait difüzyon dirençlerinin, nem akışı yönünde artarak sıralanması, su buharının bileşen içerisinde uzun süre hapsedilmesi veya yavaşlatılması anlamına gelmektedir. Sistemdeki bileşenlerin difüzyon dirençleri, standartlara uygun olup; yoğuşmaya neden olacak oranda büyük değil ise burada oluşacak nemsel akım sorunları da üzerinde durulacak büyüklükte değildir. (Ilgaz, 1979)

Bir maddenin difüzyon davranışı sırasında yapısında gerçekleşen olayların fiziksel olarak tanımlanması için direnç katsayısı ( $\mu$ ) kullanılmaktadır. (Tablo2-1). Bu değer bir malzeme katanının difüzyon direncinin, aynı şartlar altında aynı kalınlıktaki hava katmanının difüzyon direncinden kaç kat büyük olduğunu göstermektedir.

*Tablo 2-1 Bazı Malzemelerin Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörleri (TS825, 1998)*

<b>MALZEME</b>	<b>SU BUHARI DİFÜZYON DİRENÇ KATSAYISI (<math>\mu</math>)</b>
Çimento Harcı, Kireçli Alçı Harcı	15/35
Normal Beton (TS-500'e Uygun)	70/150
Buharla Sertleştirilmiş Gazbetonlar	5/10
Alçı Karton Plaklar (TS-425'e Uygun)	8
Tuğlalar	5/10
Alçı Harcı, Kireç Alçı Harcı	10
Asbest – Çimento Plakları	20/50
Odun Yünü, Hafif Yapı Plakları	2/5
Ploistrol Köpük	20/50 – 40/100
Extrude Polistrol Köpük	80/300

Yapılan hesaplamalarda, geçici bir süre için de olsa, yapı elemanları veya bileşenlerinin dış yüzeyinde yoğunlaşma olmadığı düşünülmektedir. Eğer yüzeyler yoğunlaşma oluşturacak özellikte ise; damla oluşmadan gerçekleşen yoğunlaşmalar kabul edilir düzeyde sayılmaktadır. Ancak yoğunlaşan su buharı ortam koşullarına bağlı olarak zaman içerisinde bileşen bünyesinde damla şeklinde depolanabilmektedir. Bu yoğunlaşma ve depolama özelliği genelde sıva, ahşap vb. malzeme yüzeylerinde görülmektedir. Yüzeylerin ısıtılmasına devam edilmesi durumunda, alınan su tekrar ortama verilmektedir. Bu geri dönüşüm sonucu yapı elemanı serbest kalarak oluşan nem zararsız hale gelmektedir.

Yapıların herhangi bir bölümünde hava neminin çok yüksek olduğu durumlarda yoğunlaşma fazla olmaktadır. Bu bağlamda, özellikle ıslak hacimlerde bu

durum dikkate alınmalı, hesaplar buna göre yapılmalı ve nemin yükselmemesi için yeterli havalandırma koşulları sağlanmalıdır.

Ortamların ısıtılması sırasında duvar iç yüzeyleri için yapılan ölçümler, ısı tekniği açısından yeterli olurken; dış yüzeyler için yeterli olmamaktadır. Bu ölçümlere dayanarak, ortamdaki hava nemi yüksek olduğunda duvarlarda yavaş ısınma olduğu gözlemlenmektedir.

Yapılarda soğuk ve kapalı bölümler tekrar ısıtıldığında, ortamdaki hava sıcaklığı oldukça çabuk artarken duvar tavan ve bunun gibi yüzeylerin sıcaklığı daha yavaş artmaktadır. Ancak; duvar ve/veya tavan yüzeylerinin sıcaklığı, ortamdaki havanın yoğuşma noktası sıcaklığının altında ise; yüzeylerde yoğuşma olmaktadır. Ortamın tekrar ısıtılmaya başlaması ile yüzeyler yeterli ısıya ulaştığında yoğuşma durmaktadır. Ortamın ısıtılmasına bağlı olarak; yapı elemanlarında yoğuşma olmaması için, yüzeylerin yeterli ısıya sahip olmaları gerekmektedir. (Gösele & Schüle, 1983)

### **2.2.3 Buhar Difüzyonunun Malzeme Fiziksel Özelliklerine Etkileri**

Yapılan araştırmalar doğrultusunda buhar difüzyonunun, binalarda ısı yalıtım standardı olan TS 825'te belirtilen, yaz ve kış ayları için ortalama iklim koşulları dahilinde olumsuz etkileri olmadığı belirlenmiştir. Ancak, ortalama iklim verilerinin dışında değer alınarak yapılan hesaplamalarda ise zararlı etkilerinin oluşabileceği ve buna bağlı olarak da malzemelerin özelliklerinin etkilenebileceği gözlenmiştir.

Malzemelerin yoğun su ve su buharı ile karşılaşması ve bu su buharlarının yoğuşarak yapıdan atılmaması durumunda, malzeme yüzeyinde küflenmeler oluşabilmektedir. Bu küflenmeler malzeme yapısına ve özelliklerine bağlı olarak yoğuşmanın olduğu noktada gerçekleşmektedir. Bu nedenle, malzeme rengi, buhar difüzyonu sonucu oluşan etkilerle değişiklik göstermeyip, bu etkilerin bir sonucu olan küflenme gibi etkilere bölümsel değişiklik gösterebilmektedir.

Malzemelerde üretime giren hammaddelerin suda çözünebilen tuzlar içermesi durumunda; uygun olmayan koşullarda, bu tuzlar malzeme yüzeyinde kristalleşerek çiçeklenmeye neden olabilmektedirler. Çiçeklenme, malzemelerin içerdiği eriyik tuz oranına bağlı olmayıp, yapılarındaki kılcal su hareketine ve yüzeydeki kuruma hızına bağlıdır. Dolayısı ile difüzyon sonucu oluşabilecek yoğuşma suyu gibi yoğun su etkisinde kalan malzeme yüzeyinde, çiçeklenme haricinde küflenme gibi bozulmalarda görülmektedir.

Yapay taşlar gibi bir takım yapı malzemeleri, yapısındaki rutubet oranına bağlı olarak hacim değişikliğine uğramaktadır. Hacim değişikliği, kuruma veya pişirme süresince oluşan hacim küçülmesi ve nemlenme süresince oluşan hacim büyümesi şeklinde görülmektedir.

Denge rutubeti, yapı malzemelerinin bir çoğunun başlangıçta içerdiği rutubetin zaman içinde atılarak belirli bir düzeyde sabit hale gelmesi şeklinde ifade edilir. Denge rutubeti, yoğuşma suyu oluşumuna neden olabilecek olumsuz koşulların uzun sürmesi sonucunda, değişim göstermektedir.

Yapı malzemelerinin en düşük ısı iletkenlik değerleri tam kuru durumdayken belirlenir. En yüksek ısı iletkenlik değerleri ise malzemenin tüm boşluklarının su ile doldurulduğu durumlarda gözlenir. Malzemelerde gözlenen ısı iletkenlik değeri, malzeme kuru birim hacim ağırlığına ve rutubet miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Dolayısı ile yoğuşma suyunun zararlı boyutlara ulaştığı durumlarda, ısı iletkenlik değeri yükselerek malzemeler eğer ısı yalıtımı amacı ile kullanılıyorsa bu özelliklerini kaybetmektedir.

#### **2.2.4 Buhar Difüzyonunun Malzeme Mekanik Özelliklerine ve Dayanıklılığa Etkileri**

Yapı malzemelerinin basınç, çekme, eğilme ve kayma mukavemetleri, bünyelerinde bulunan su buharı miktarına göre değişim göstermezler. Ancak, malzeme bünyesindeki su buharı veya yoğuşma suyunun malzeme bünyesinde uzun süre kalması durumunda, malzemede yapısal bozulmalar meydana gelebilmekte ve bu yapısal bozulmalara bağlı olarak basınç ve çekme mukavemeti değerlerinde ciddi düşüşler görülebilmektedir.

Gözenekli yapıdaki malzemeler, içlerinde bulundurdukları donatıların korozyonu açısından yeterli oranda koruyucu olamamaktadır. Bu nedenle, gözenekli malzemelerde kullanılacak donatılar bitümlenerek; donatı dışında kullanılan çivi, cıvata vb. malzemeler de galvanizlenerek kullanılmaktadır. Yoğuşma suyu veya don etkisinde kalarak yüzeysel aşınmalara uğrayan gözenekli yapı ürünlerindeki donatılar, zaman içerisinde suyun etkisi ile korozyona uğrayarak malzeme yapısına zarara vereceğinden, uygulamaya dikkat edilmesi gerekmektedir.

Eriyik yada gaz halindeki kimyasal maddeler, ortamın bağlnemine ve sıcaklığına bağlı olarak malzemeleri olumsuz etkileyebilmektedir. Örneğin; sülfürik

asit, hidroklorik asit ve asetik asit yapısına, deniz suyunda bulunan asit tuzları, beton gibi malzemelere, kloridler sülfatlar ve nitratlar ise donatıya zarar vermektedir. Dolayısı ile kimyasal etkiler altında kalan veya yoğunlaşma gözlenen malzemeler daha kolay etkilenecek yapısal sorunlar oluşabilmektedir. Ortamda yoğun ve sürekli kimyasal maddelerin bulunması durumunda malzemeler bu maddelere dayanıklı yüzey kaplamaları ile korunmalıdır.

### **2.2.5 Buhar Difüzyonunun Mekan Konforuna Etkileri**

İç ortamlarda nem oranının artması ve belli değerlerin üzerine çıkması, soğuk ve sıcak ortamdaki sıcaklığın daha fazla hissedilmesine yol açar. Sıcak ortamdaki nem vücudun rahat bir soluma ve terleme ile atabileceği toksinlerin atılmasına olanak vermez. Soğuk ortamlarda ise nem üşümeye neden olur ve tıbbi rahatsızlıkları arttırır. Eklem rahatsızlıkları ve solunum yolları rahatsızlıklarına da neden olabilir. Ayrıca nem oranının %30'un altında olduğu iç ortamlar ise kuru hava olarak adlandırılır ve bu tür ortamlar mikrobik hastalıkların oluşmasına elverişli ortamlardır.

Yağmur suyundan veya su buharından oluşan su, kimyasal yapı ürünlerini çözer. Hızlı buharlaşma olmayan kesitlerde suda bulunan tuzlar duvar içinde yüzeye yakın yerlerde çöker ve şişer. Çöken tuzlar yüzeylere basınç uygulayarak kaplamanın altında yüzeye bağıntısız kabuklar oluşmasına neden olur. Bunun sonucu olarak ise kaplamalarda kabarma ve dağılmalar oluşur.

Tavan yüzeylerinin sıcaklık düzeyleri temas ettikleri havanın çığlaşma noktasına eşit veya düşük olması nedeni ile havadaki nemin belirli bir miktarı, o yüzeyde su damlacıkları halinde belirir ve yapı ürünlerini nemlendirir. Bu durum tavanda akma ve damlamalara neden olur.

İç ortamda nem oranının fazla olması veya yapı ürünleri bünyesinde ve arasında su birikmesi sonucu, bakterilerin ve böceklerin üremesi için gerekli ortam sağlanmış olur. İç ortamda istenmeyen su ve nem oluşumlarından özellikle ahşap mobilyalar hasar görür. Bünyesinde sürekli su ve nem barındıran ahşap aynı zamanda hava ile de temas halinde olduğu için bünyesinde meydana gelecek bakteri ve böcek oluşumları neticesinde çürümeye başlar. Diğer malzemelerle üretilmiş mobilyalar da su ve nemden olumsuz yönde etkilenir ve kullanılamaz hale gelirler. Ayrıca bu ürünlerin kimyasal yapıları etkilenecek ortama çeşitli gazlar yayabilirler.



Yapı sağlığının su ve nem sorunlarından etkilenmesi sonucu insan sağlığına yansması iç ortam hava kirliliği ile oluşur. İç ortamdaki nem oranının fazla oluşu ve buna bağlı olarak meydana gelen korozyon, çürüme, küf, mantar gibi etkenler yapı içi hava kirliliğine yol açarlar. Bir ortamda hem yapı içi hava kirliliğinin hem de mikroorganizmaların oluşması insan sağlığını tehdit eden unsurlardır. Bazı bakteriler, mantarlar, riketsiyalar ve virüsler nemli ortamda ürerler. Nem etkisiyle bozulan yapı ürünleri de ortama bozulmuş ürün tozları yayarlar. Bu bozulmuş ürün tozları ve mikroorganizmalar ise insan vücuduna yerleşerek, vücut direncinin azalmasına ve çeşitli hastalıklara yakalanma riskinin oluşmasına yol açar. Bunun yanında iç ortamda makul bir nem oranının sağlanması da dikkat edilmelidir. Bu oran minimum %30, maksimum %80 olarak belirlenmişe de insan için en uygun nem seviyesi %50-55 olarak kabul edilmektedir. İç ortamdaki nem seviyesinin çok yüksek olmasının yanında nem oranı %30'un altında olan i ortamlar da kuru hava olarak bilinmekte ve yine bir takım farklı mikrobik hastalıkların oluşmasına yol açmaktadır.

### **3. ISI YALITIM MALZEMELERİ**

#### **3.1 ISI YALITIM MALZEMELERİNİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ**

Isı yalıtım malzemesi, organik ve inorganik liflerden, petrol esaslı malzemelerden veya kum esaslı maddelerden imal edilen, ısı iletimini azaltmak amacıyla kullanılan malzemelerdir. Avrupa standartlarında ısı iletkenlik hesap değerleri 0,060 W/mK'nın altında olan malzemeler, ısı yalıtım malzemeleri olarak tanımlanır.

##### **3.1.1 Isı Yalıtım Malzemelerinin Muhteviyatı ve Çevreciliği**

Yalıtımda kullanılan hammaddeler çok çeşitlidir. Cam yününden, petrokimya köpük yalıtım malzemelerine ve selüloz yalıtım malzemesi için eski gazetelere kadar hammaddeler kullanılmaktadır. Madencilik yol açtığı kirlilik ve sınırlı kaynakların tüketilmesi ise çevresel açıdan hammadde eldesinin olumsuz yönleridir. Olumlu yönü ise yaygın olarak kullanılan çoğu yalıtım malzemesinin geri kazanımlı içeriğinin olmasıdır.

Bazı yalıtım malzemeleri yüksek oranlarda geri dönüşümlü bileşenler içerebilmektedir. Örneğin; taş yünü % 75 geri dönüştürülmüş cüruf, cam yünü % 20 geri dönüştürülmüş seçme cam, selüloz % 75 kullanılmış kağıt, perlit-kompozit levha % 23 kullanılmış kağıttan üretilmiştir.

Yalıtım malzemeleri üretiminde kullanılan sınırlı kaynaklar arasında en önemlisi plastik köpük yalıtım malzemesi üretiminde kullanılan fosil yakıtlardır. Petrolden elde edilen bazen ve doğal gaz bileşeni olan etilenden polistren üretilir. Yine petrol türevi olan polyol ve polimerik metilen diizosiyanattan, polisosiyanurat ve poliüretan yapılır. Fosil yakıtlar çok uzun süreyle kullanılmayacağı, kaynaklarının sınırlı olması ve gelecekte bir gün yok olacağı için maliyetler çok daha yükselecektir.

Petro – kimyasal kaynaklı olmayan diğer yalıtım malzemelerin üretilmesi için çok fazla fosil yakıt kullanılmayı gerektirir. Üretim ve taşımayı da dikkate alarak bu malzemelerin de fosil yakıt bitişine katkıda bulunduğu söylenebilir.

Diğer bir hammadde de cam yünü ve selülozik yalıtım malzemelerinde yanmayı önleyen bordur. Borun kullanıldığı ilk yalıtım malzemesi cam yünüdür. Dünyadaki bor kaynakları ise ABD ve en çok miktarda Türkiye’de bulunmaktadır. Bor cam yününe esneklik ve üretim de enerji verimliliği sağlamaktadır. Cam yünü ağırlıkça % 6-8 bor oksit (B<sub>2</sub> O<sub>3</sub>) içerir. Mevcut tüketim hızı ile ABD nin bor kaynakları 54 yıl, dünya kaynakları ise 2000 yıl yetecek kadardır.

Selüloz yalıtım malzemelerinde yangına karşı kullanılan bor suda çözülebilir bir maddedir ve çok uzun sürelerle yalıtım görevini yapmasını sağlamaktadır.

Bazı ahşap yapılarda görülen karınca ya da böcekler yalıtım malzemesinde de boşluk ve tüneller oluşturmaktadır. Bu ise yalıtım ısıl başarımını azaltmaktadır. Bu yüzden ısı yalıtım malzemesi üreticisi bazı firmalar ürünlerine bor eklemektedir.

Yalıtım malzemesi üretiminde son yıllarda üzerinde en çok durulan konu (CFC – Chlorofluorocarbon ) kloroflorokarbon maddesidir. 1993 yılından itibaren yalıtım malzemesi üretiminde CFC’nin kullanımı azaltılarak (HCFC-HydroChlorofluorocarbon) hidroklorofloro karbonun bir çok ürüne eklenmesine başlanmıştır. HCFC’nin CFC den daha az zararlı olduğu ancak yinede ozon katmanında azalmaya yol açtığı ve bunun da küresel ısınmaya katkıda bulunduğu ve sonuçta önümüzdeki birkaç on yılda aşamalı olarak bırakılacağı görülmektedir.

Yalıtım malzemelerinde bulunan ve dünyayı koruyucu ozon katmanına zarar veren en önemli kirleticiler klor esaslı kimyasal maddelerdir. Kloro floro karbon (CFC = Choloro Fluoro Carbon) püskürtülmüş polistren (XPS) poliüretan ve fenolik köpük üretiminde kullanılmaktadır. CFC kullanımının azaltılması için uluslar arası anlaşmalar yapılmış ve ozon katmanına daha az zarar veren maddelerin kullanılması için sanayi kuruluşları zorlanmaktadır. HCFC zehirlilik testlerinden geçmektedir. Firmalar bu yüzden ek bir test yapmadan HCFC yi kullanabilmektedir. CFC ise zehirlilik testlerinden geçememiştir.

Sert köpük yalıtım malzemelerinde kullanılan etken maddelerin (CFC ve HCFC’ler ) iletim özelliği azdır. Ancak püskürtme sırasında bunlar küçük boşlukları doldurarak R değerinde azalma yapabilmektedir. Poliizosiyanurat köpüğünde beklenen R değerinin % 33 altında bir R değeri olduğu belirlenmiştir. Uzun yıllar boyunca bu azalmanın süreceği de bir gerçektir.

Tüm yalıtım malzemeleri, yapının ısıtma ve soğutma enerji gereksinimini azaltarak kirliliği ve sera etkisi yapan gaz çıkışını azaltır. Bu fayda diğer malzemelere bağlı olarak ortaya çıkan sorunlardan daha ağır basmaktadır.

Çevreci (doğal) olmayan yalıtım malzemesinin çevreci (doğal) malzeme yerine kullanılması yapının enerji performansında azalmaya yol açmaktadır. Doğal ürünler çevresel açıdan daha az zararlı olmaları yanında, bir yapının yalıtım değerlerini de artırmaktadır.

Lifli yalıtım malzemeleri (selüloz, pamuk gibi) daha ince kalınlıkta gerekli ısı iletkenlik direnç değerlerine ulaşmaktadırlar ve köpük-plastik yalıtım malzemelerinden daha az çevresel zarara yol açmaktadır.

Hammadde kaynaklı çevresel etkiler, hava-su kirliliği ve minerallerin çıkarılması ile oluşan erozyondur. Örneğin cam yününde kum ve kireç taşı, alüminyum folyo üretiminde üretimin de boksit kullanılmaktadır. Madenlerden çıkarılan malzemeler yüzey suyunun dengesini bozmakta, suyun bulanıklaşması ve oksijensizleşmesi ise balık ölümlerine yol açmaktadır. Petrol kaynaklı kirlilik dağılmakta ve plastik köpük yapımında kullanılan fosil yakıtların taşınması ve dağıtımında gölcükler oluşmaktadır. Aynı yakıtlar madencilikte enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Bazı yalıtım malzemelerinin üretiminde enerjiye bağlı olmaksızın kirlilik oluşmaktadır. Yapısı gereği kimyasal reaksiyonla oluşan yalıtım malzemelerinde bu durum söz konusudur. Bu tip çevre kirliliğine karşı çevre örgütleri endüstriyel kuruluşları uyarmaktadır.

Polistren üretiminde kullanılan stiren kanser yapıcı, canlılarda tür dönüştürücü, zehirli ve çevreye zarar verici bir maddedir. Ayrıca üretimde kullanılan bir diğer kimyasal olan benzen çevre ve insan sağlığı için zararlıdır. Çoğu cam yünü üretiminde lifleri bir arada tutmak için Fenol formaldehit ( PF = phenol formaldehit ) kullanılır. Üretimde ne kadar kullanıldığı ise üreticiler tarafından tam olarak açıklanmamaktadır. Bir firma % 5- 7 arasında kullanıldığını söylerken diğer bir firma % 10- 15 kadar kullanıldığını söylemektedir. Ancak şu bir gerçek ki bu kullanılan maddede çevreye zararlı kirlilik oluşturmaktadır. Sanayi kuruluşları ise oluşan kirliliği kontrol altında tutacak arıtım ekipmanlarına sahip değildir.

Yapı malzemelerinde dayanıklılık, özellikle yalıtım malzemelerinde çevresel açıdan çok önemlidir. Uzun süre görev yapan bir yapı malzemesi her zaman tercih edilir. Yalıtım malzemelerinin çoğu onlarca hatta yüzyıl boyunca görev yapabilmektedir. Zaman geçtikçe birçok etken bir yapı malzemesinin etkinliğini değiştirirse de yapı malzemelerinden birçok beklenti söz konusudur.

Yalıtım su ile ıslatılırsa ayrılmalar oluşabilir. Selüloz yalıtım malzemelerinin su ile ıslatılmasa bile zamanla bu kimyasal maddelerin kaybolacağı ileri sürülmektedir. Ancak henüz bunu kanıtlayacak bulgular yoktur. Yapılan bir araştırmaya göre yangına karşı amonyum sülfat kullanılan bir yalıtım malzemesinde zamanla yangın direncinde artış olduğu görülmüştür. Amonyum sülfat, ıslak püskürtme uygulamasında metallere temas durumunda oluşan pastır. Lifli yalıtım malzemeleri için diğer bir konuda yerleşme ve sonuçta oluşan boşluktan içeri böcek veya rüzgâr girişidir. Oluşan boşluklarda biriken toz ve yabancı maddeler R değerinde azalma yapmaktadır. Bu ise yalıtımın ısıl başarımını azaltmaktadır.

Lifli ısı yalıtım malzemelerinin geri kazanımı, toz ve pislikler içermesinden ötürü, yalıtım malzemesi dışında başka bir malzeme olarak gerçekleşir. Köpük yalıtım malzemelerinden (EPS veya XPS) polistrenin geri kazanımı polisiyanür veya poliüretandan daha kolaydır. Polistren bir termo plast olduğundan küçük kimyasal düzenlemelerle döküm veya yeniden şekillendirilerek başka ürünlerin içinde kolayca kullanılabilir. Polisiyanür ve poliüretan ise termosettir ve dökülemezler. Bu malzemelerin geri kazanımı için yapılan çoğu çalışma bunların öğütülerek birçok malzemeye katkı olarak eklenmesine odaklanmıştır.

Yalıtımın çevresel özellikleri karmaşıktır ve genellikle çok iyi anlaşılmamaktadır. Bundan dolayı bir malzemenin diğerine karşı seçimi oldukça zordur. Bugün çok iyi olarak görünen bir seçimin etkenlerin değişebilmesinden dolayı tekrar değerlendirilmesi gerekebilmektedir.

### **3.2 ISI YALITIM MALZEMELERİNİN SINIFLANDIRILMASI**

Isı yalıtım malzemeleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Yüklenebilme yeteneklerine göre:
  - Yüklenebilen
  - Yüklenemeyen

- Dinamik sertliklerine göre:
  - 1. Sertlikte
  - 2. Sertlikte
- Biçimleri ve uygulama tekniklerine göre:
  - Dökme
  - Şilte
  - Keçe
  - Plaka
- Üretilen malzemenin türüne göre
  - Organik
  - İnorganik
- Yapısına göre
  - Lifli
  - Lifsiz

Isı yalıtım malzemeleri içeriklerine göre aşağıdaki gibi incelenebilir.

### **Cellulbor**

Yalıtımda kullanılan geri dönüşümlü malzemelere en iyi örnek kuşkusuz selülozdur. Selülozik yalıtım malzemeleri % 70 oranında kullanılmış kâğıttan üretilir. Geri kalan kısmı ise yangın önleyici ve bağlayıcı maddelerdir. 1994'te yapılan bir çalışmaya göre ABD de selüloz endüstrisi 381000 ton kullanılmış gazete kâğıdı işlenmiştir.

Yeni teknolojiler geri dönüşümlü gazete kâğıdının daha çok kullanılmasına yardım etmektedir. Böylece gazete kâğıtları lifler şeklinde kullanılarak düşük yoğunlukta selüloz üretilmektedir. Bu sektör kullanılmış kağıtları kullanarak temiz, az tozlu, yüksek R değerinde ve çok daha önemlisi kaynakların daha uzun kullanımına fırsat veren bir malzeme üretmektedir. Çoğu üretici çatı yalıtımında stabilize selülozu önermektedir.

### **Mineral Yün**

Mineral yün yalıtımında önceleri yaygın olarak kullanılmaktayken 1960 – 1970'lerde pazardaki payı oldukça azalmıştır. Ancak son yıllarda tekrar yaygınlaşmaya başlamıştır. ABD de sekiz sahada mineral yün üreticisi firma üretim yapmaktadır.

Mineral yünün iki değişik türü vardır. Cüruf ve taş yünü. Cüruf, demir üretimi sırasında atık ürün olarak çıkmaktadır. Taş yünü ise doğal kayalardan elde edilmektedir. Cüruftan elde edilen ürünler % 80 kayalardan elde edilenlerse % 20 kadardır. Bu oranlara göre mineral yün içeriği % 75 oranında sanayi atıklarından elde edilmektedir. ABD de 1992 de yapılan bir araştırmaya göre 425000 ton cüruf bu işte kullanılmıştır.

### **Cam Yünü**

Cam yünü üreticisi büyük firmalar, % 20 oranında atık cam kullanılmaktadır. Bazı firmalar ise % 17 si kullanılmış, % 8 endüstriyel atık cam olmak üzere % 25 oranında atık cam işlenmektedir. Yapılan araştırmalara göre geri dönüşümde % 90'a kadar atık cam kullanılabilir. Atık cam ile ilgili en önemli sorun temiz cam bulunamayışıdır.

### **Polistren**

Geri dönüşümlü plastik reçine şişirilmiş (expanded polystyrene styrophor, EPS) veya püskürtülmüş (extruded polystyrene styrophor, XPS) polistrende kullanılmaktadır. Kullanılmış polistren küçük parçacıklar halinde kalıplara dökülerek yeniden şekillendirilmektedir.

Günümüzde polistren esaslı yalıtım malzemeleri en yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerinden sayılabilir. Fakat XPS yangın anında çıkardığı zehirli gazlardan dolayı Avrupa Birliği Standartlarına uymamaktadır, ve kullanımı yasaklanmıştır. Ülkemizde ise böyle bir yasak bulunmamaktadır.

### **Poli İzosiyanürat**

Geri dönüşümlü malzemelerin kullanıldığı bir alan da poli izosiyanürat endüstridir. ABD'de bu ürünün üreticilerinin en az % 9 geri dönüşümlü malzeme kullanması zorunludur. 1993 verilerine göre bu ürünün üreticiler 10 – 15000 ton geri dönüştürülmüş malzeme kullanmışlardır. Bu ürünün yüzey kaplaması için alüminyum film kullanılmaktadır. Kullanılan alüminyum % 70 – 80 kadarı da geri kazanılmış malzemedен elde edilmektedir.

### **Erken ( Tam Oluşmamış ) Poliüretan**

CFC yerine HCFC kullanılarak üretilen yalıtım malzemesidir. Üretimi pahalıdır. Ancak sera etkisi yapan gazlar açısından güvenlidir.

### **İsinen ( Icynen )**

1987’de Kanada’da geliştirilmiş bir üründür. ABD’de birçok firma üretim için yetkilidir. Köpük içinde karbondioksit ve su bulunur. Bu ise çevre açısından sorun oluşturmaz ve düşük R değeri edilebilir. Duvar yalıtımında boşlukların doldurulması için kullanılabilir ancak boşlukta açıkta kalan yerlerde yumuşak köpük oluşur. Yalıtım özellikleri yanında hava sızıntısına da izin vereceği dikkate alınmalıdır.

### **Su Püskürtülmüş Poliüretan**

HCFC ye gerek kalmadan üretilebilen bir yalıtım malzemesidir. Kapalı zincirli poliüretan 32 kg/m<sup>3</sup> açık zincirli poliüretan 8 – 12 kg/m<sup>3</sup> yoğunlukta üretilmekte ve 8 – 12 kg/m<sup>3</sup> olan ürün isinen’e yakın özelliktedir. Henüz yaygınlaşmamıştır.

### **Tri Polimer Köpük**

Köken olarak fenolik köpüktür. 1980’lerde üre formaldehite karşıt olarak geliştirilmiştir. Duvar örmeye tuğlalar arası boşlukların doldurulmasında kullanılır. CFC ve HCFC içermez. Yangın direnci çok iyidir ancak zamanla büzüşme özelliğinden dolayı ısı yeteneği azalır.

## **3.3 ISI YALITIM MALZEMELERİNİN UYGULAMA ALANLARI VE TEKNİKLERİ**

Isı yalıtım malzemeleri yatay veya düşey yapı kabuğunda, kısaca iç ve dış ortam koşullarının birbirinden etkilenmemesinin istenildiği ortamlarda kullanılır. Binaların çatılarında, bölme duvarlarda, dış cephe ısı yalıtımlarında, dış mekana temas eden döşeme yüzeylerinde, fırınlarda, çelik kapıların ısı ve ses yalıtımlarında, gemi inşaatlarında, eğlence mekanlarının ve sinemaların ses yalıtımında, endüstri ürünlerinin çeşitli yerlerinde ısı yalıtım malzemelerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulur. Isı yalıtım malzemeleri dökme, şilte halinde, keçe halinde veya plaka halinde uygulanabilir.

Dökme yalıtım malzemeleri genelde yatay düzlemde kullanılan yalıtım malzemeleridir. Yalıtım malzemesinin yatay bir düzleme dökülmesi şeklinde uygulanır. Genelde kendiliğinden yayılan özelliğe sahiptir. Düzgün olmayan yüksek sıcaklıktaki yüzeylerde, çift cidarlı kaplarda ve laboratuvar cihazları, elektrikli ev aletleri gibi uygulamalarda kullanılır. Örneğin düzgün olmayan yüzeylere dökme taş yünü uygulanabilir.



Şilte yalıtım malzemeleri serilerek uygulanan malzemelerdir. Yapıştırılmayan döşeme kaplamaları altında, her türlü ahşap oturtma çatıda, metal çatılarda, sandviç çatılarda, tavuk çiftlikleri ve hayvan barınaklarında, güneş enerjisi toplayıcı sistemlerinde ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilir. Çıplak üretilebildiği gibi bir yüzü alüminyum folyo kaplı da üretilebilir. Düşeyde uygulanması güç olan bir biçimdir. Bu sebepten dolayı genellikle yatayda kullanılması tercih edilir. Değişik kalınlıklarda kullanılabilir. Örneğin soğuk çatılarda çatı altı döşemesi üzerine veya sıcak çatılarda çatı kaplaması içerisine cam yünü serilerek yalıtım sağlanabilir.

Keçe yalıtım malzemeleri genelde sarılarak uygulanan malzemelerdir. Boru ve kanal izolasyonlarında, tekil malzemelerin dış etkenlerden korunmasında, makine yapımında kullanılır.

Malzemelerin çeşitli yöntemlerle sertleştirilerek önce bloklar haline, daha sonra bu bloklardan kesilerek plakalar haline getirilmesi ile elde edilen ürünlerdir. Yapıştırma ve/veya monte edilerek uygulanır. Örneğin EPS, polistrenin şişirilerek blok haline getirilmesi ve daha sonra plakalara kesilmesi ile meydana getirilir. Yatay veya düşey yapı kabuğu üzerine uygulanabilir. Koruma şapları altına serbest dizilerek uygulanabilir (yüzer döşeme). Yapı dış kabuklarında yapıştırılarak ve üzeri çeşitli granüllü sıvalar yapılarak örtülür. Bir ara katman malzemesidir.

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 4.1 DENEY YÖNTEMİ

Yapı malzemelerinin su buharı geçirgenlik özelliklerinin tayini ile ilgili giriş bölümünde bahsedilen standartlardan TS-EN 12086 (Isı Yalıtım Malzemelerinin – Binalar İçin – Su Buharı Geçirgenlik Özellikleri İle İlgili Standart)’da belirtilen yöntem kullanılarak, ısı yalıtım malzemelerinin su buharı geçirgenlikleri ile ilgili deneyler yapılmıştır.

Standartta belirtildiği üzere, deney prensibi şu şekilde belirlenmiştir. İçinde kurutucu veya sulu doymuş tuz çözeltisi ihtiva eden bir deney kabının ağzı deney parçası ile sıkıca kapatılır. Deney düzeneği daha sonra, sıcaklık ve nemi kontrol edebilen bir deney hücresine yerleştirilir. Deney düzeneği ile deney hücresi arasındaki kısmi su buharı basınç farklarından dolayı, su buharı deney parçasından geçmeye başlar. Su buharı geçirgenlik hızı kararlı hale gelinceye kadar deney düzeneği periyodik olarak tartılır.

Deney prensibinin gerçekleştirilmesi için gerekli olan en önemli ekipman, deney hücresi olarak anılan bir ortam sabitleyici cihazdır. Standartta anlatılan deney, çok hassas ölçümler gerektiren, ortam koşullarının yüksek hassasiyetle sabit kalmasını gerektiren bir yöntemle gerçekleştirilmektedir. Deney hücresi, standartta belirtilen koşulları, ve bunun yanı sıra gerekli durumlarda standart dışı koşulları da aynı yüksek hassasiyetle gerçekleştirebilecek ekipmanlarla donatılmış, ısıtma, soğutma ve nem kapasitesi yüksek bir deney cihazı olmalıdır. Aynı gereklilik, çalışma kapsamında incelenen diğer standartlarda da görüldüğü için, böyle bir cihaz imalatına çalışma kapsamında karar verilmiş ve gerçekleştirilmiştir. Cihaz ile ilgili detaylar çalışma eklerinde bulunmaktadır.

Deney koşulları, ortalama %50 ( $\pm 3$ ) bağıl nem ve 23°C ( $\pm 1$ °C) sıcaklık olarak belirlenmiştir. Gerekli durumlarda, aynı deney yöntemi, yüksek nem, yüksek sıcaklık veya düşük sıcaklık koşullarında da yapılabilir.

Çalışmanın amacı ısı yalıtım malzemelerinin buhar geçirgenlik özelliklerinin incelenmesi olduğu için, simülasyon ünitesinde de ısı yalıtım malzemelerinden 4 cm kalınlığında EPS, 2 cm kalınlığında XPS, 3 cm kalınlığında cam yünü ve 3 cm

kalınlığında taş yünü plaka ile deneylerin yapılmasına karar verilmiştir. Bu malzemelerin seçilme sebebi, günümüz mimarisinde daha sıklıkla kullanılmaları, yani bilinirlikleridir.

## 4.2 DENEY EKİPMANI

### Deney Kapları

8x12x3 cm boyutlarında plastik kaplar.

### Deney Hücresi

İstenilen bağıl nemi  $\pm\%3$ , istenilen sıcaklığı  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  sınırları içinde tutabilen bir deney cihazı.



*Resim 4-1-Deney Numuneleri ve Deney Cihazı*

### **Analitik Terazi**

Deney düzeneğinin kütlesini  $\pm 1$  mg hassasiyette ölçebilen elektronik, dijital terazi

### **Kesintisiz Güç Kaynağı**

Elektrik kesintisi durumunda jeneratör devreye girene kadar deneyin devamını sağlayabilecek kapasitede olmalıdır.



*Resim 4-2-Analitik Terazi ve Kesintisiz Güç Kaynağı*

#### 4.2.1 TS-EN 12086'ya G6re D6zenlenmiş Bir 6l6me Cihazı 6nerisi

Deney cihazının bir başka 6nerisi 2002 yılında Ali 7i7ek tarafından yapılmıştır. Deney cihazı olarak ilk aşamada bu cihaz ile deneylerin yapılması d6ř6n6lm6ř, fakat cihazın kabin boyutlandırmasının, ihtiya7 duyulan deney koşullarına uygun olmaması nedeni ile benzer yeni bir cihaz yapımı gereği duyulmuştur.

Yapı malzemelerinin, y6zey kaplamalarının, ısı, ses veya su yalıtım envanterlerinin nem ge7irgenlik 6zelliklerinin tayini ile ilgili mevcut standart ve deney y6ntemlerinin tamamına bakıldığında, bahsedilen tayinleri ger7ekleştirmek i7in muhtelif seviyelerde sabitlenmiş nem ve sıcaklık 6zelliklerine ihtiya7 duyulduğunu g6r6r6z. Fakat ger7ek şudur ki, 6zellikle dış kabuk kaplama ve yalıtım malzemeleri yıllar boyunca farklı mevsimlerde değişken ortam koşullarına maruz kalmaktadır.

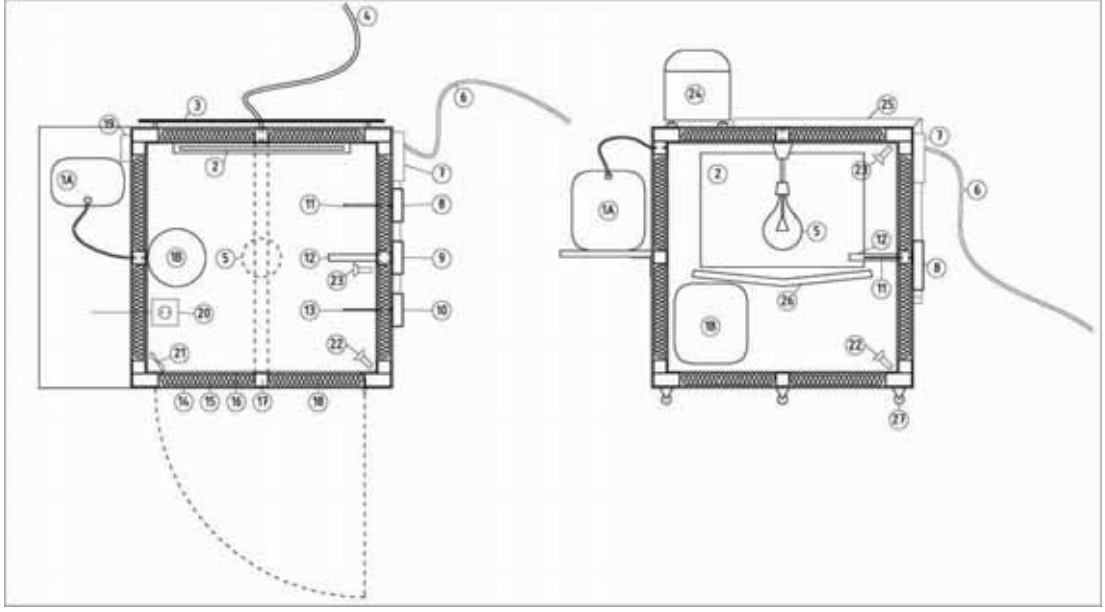
Bu deney cihazı tasarlanırken, deneylerin 6ncelikle standartlarda belirtilen koşullarda, daha sonra g6zlemlenmek istenen diğer koşullarda sabit miktarlar elde edilmesi ihtiyacından yola 7ıkılmıştır.

Deney cihazı, analog ve manuel olarak tasarlanmıştır. Daha sonraki 7alışmalarda, 6nitenin dijital ve otomasyon 6zerinden 7alışan versiyonları geliştirilecektir.

Deney cihazını genel olarak tanımlamak gerekirse, sıcaklık ve nemi istenilen d6zeyde sabit tutarak deneyin yapılması istenilen ideal ortamı oluşturan, yani test edilmek istenilen koşulların bir sim6lasyonunu ger7ekleştiren bir deney h6cresidir.

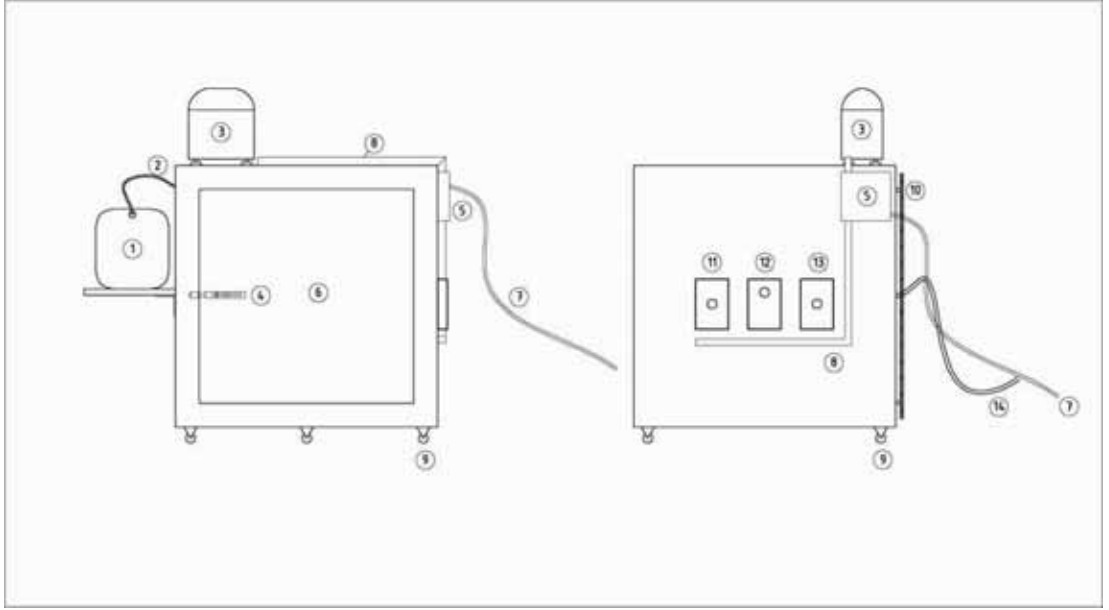
Cihaza bağlı bir ısıtma sistemi, bir soğutma sistemi ve bir buhar jenerat6r6, bunları kontrol eden birer tane sens6r ve kontrol birimi, ve enerjilerini sağlayan bir elektrik dağıtım panosu bulunmaktadır.

## Teknik Çizimler



Şekil 4-1- Deney Cihazı Planı ve Kesiti

- 1A buhar jeneratörü (dışarıda olursa konumu)
- 1B buhar jeneratörü (içeride olursa konumu)
- 2 soğutma ünitesi iç plakası
- 3 soğutma ünitesi dış plakası
- 4 soğutma ünitesi direnaj borusu
- 5 ısıtma ünitesi (300W akkor telli ampul)
- 6 AC güç kablosu
- 7 elektrik dağıtım panosu
- 8 termostat
- 9 higrostat
- 10 termostat
- 11 termostat duyargası
- 12 higrostat duyargası
- 13 termostat duyargası
- 14 5mm kontrplak dış cidar
- 15 taş yünü ısı yalıtımı
- 16 su ve nem geçirmez malzeme kaplı kontrplak iç cidar
- 17 ahşap iskelet
- 18 kapak
- 19 higrostat kontrollü dış priz
- 20 AC bağlantılı iç priz
- 21 fan
- 22 kamera 1
- 23 kamera 2
- 24 soğutma sistemi dış ünitesi
- 25 kablo kanalı
- 26 direnaj haznesi
- 27 tekerlek



*Şekil 4-2-Deney Cihazı Ön ve Yan Görünüşleri*

- 1 buhar jeneratörü
- 2 buhar giriş kanalı
- 3 soğutma dış ünitesi
- 4 kapak kilidi
- 5 elektrik panosu
- 6 kapak
- 7 AC kablosu
- 8 kablo kanalı
- 9 tekerlek
- 10 soğutma ünitesi dış plakası
- 11 termostat
- 12 higrostat
- 13 termostat
- 14 direnaj borusu



*Resim 4-3-Simülasyon Ünitesi Genel Görünüşü*



*Resim 4-4-Simülasyon Ünitesi Yan Görünüşü*

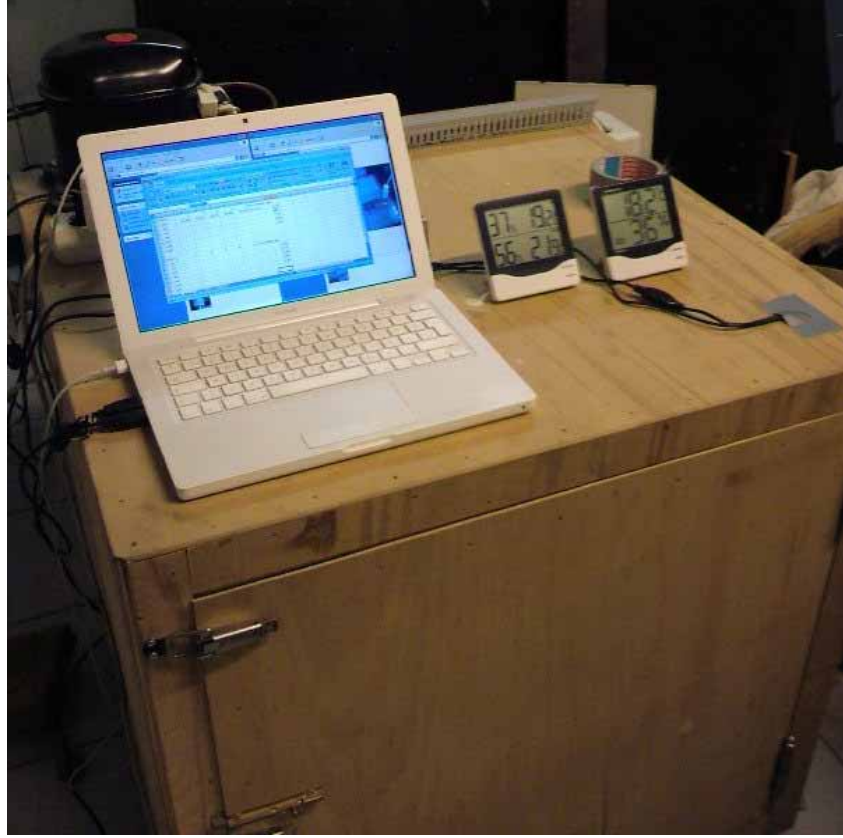




*Resim 4-5- Cihaz İç Görünüşü*



*Resim 4-6- Cihaz Isıtma ve Soğutma Sistemi, Buhar Girişi, Duyargalar ve İç Ortam Kontrol Probu*



*Resim 4-7-Cihazın Nem ve Sıcaklık Kontrol Ekranı*

### **Kullanılan Malzemeler**

Yapıma öncelikle ünitenin dış kabuğundan başlanmıştır. Bir çok numuneyi bir arada deneye tabi tutmak amacıyla 800x800x800 mm boyutlarında küp şeklinde bir gövde düşünülmüştür. Dış kabuk, iki katman arası yalıtım olarak düşünülmüştür. Malzeme ünitenin hafif olması ve dış kabuğun sonradan kolay işlenebilir olması amacıyla ahşap olarak seçilmiştir. İçte ve dışta 5 mm kontrplak ahşap taşıyıcı sistem üzerine monte edilmiş ve arasına 4 cm kalınlığında 90 kg/m<sup>3</sup> yoğunlukta taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Ünitenin iç yüzeyi, su buharını sürekli emmesi nedeni ile alüminyum folyolu kendiliğinden yapışabilen bitüm membran ile kaplama ihtiyacı doğurmuştur. Bu kaplama yapılmadan önce, nemi %30 seviyesinden yukarıda sabitlemek mümkün olamamıştır. Kaplama yapılmasından sonra ise nem oranı %15 ile %90 arasında gözlenebilmiştir. Ünitenin ön cepesindeki kapak, gergili adet kilitle sabitlenir ve kapak yuvasında lastik bir conta bulunmaktadır.



*Resim 4-8-Hava Akımını Engellemek İçin Kullanılan Kapak Fitilleri*



*Resim 4-9-Simülasyon Ünitesi Kapak Sistemi*

Cihaz içerisinde ayrı ayrı termostatlara bağı olan ısıyı düşürmeye yarayan bir soğutma sistemi, yükseltmeye yarayan bir de ısıtma ünitesi bulunmaktadır. Soğutma sistemi dış ünitesi freon 12 gazı kullanarak çalışan alçak basınçlı bir ekowattan oluşmaktadır. Buradan soğutulan hava cihazın arka yüzünde bulunan borulardan geçerek iç yüzeydeki evaporatörü soğutmaktadır. Evaporatör üzerinde oluşan karlanmanın çözülmesine karşın evaporatör altında bir tahliye kanalı ve tahliye deliğı bulunmaktadır. Bu tahliye deliğine bağı bir tahliye hortumu ile fazla su dışarı atılmaktadır.



*Resim 4-10-Soğutma Sistemi Dış Ünitesi*



*Resim 4-11-Soğutma Sistemi Dış Paneli*



*Resim 4-12-Kamera Sistemi*

Isıtma ünitesi ise 300W gücünde akkor telli bir ampulden oluşmaktadır. Bu ampulün güç kablosu direk panoya gitmektedir. Burada termostattan gelen komut ile ampule enerji gider, veya kesilir.

Cihaz içerisinde soğutma ünitesi çalışıkça evaporatör üzerinde iç mekandaki nem yoğuşur ve gaz halinden katı hale geçer. Aynı zamanda deney kapsamında numune kapları altında bulunan nem tutucu maddeler (doymuş tuz çözeltisi veya silika jel) ortam içerisindeki nemin sürekli düşmesine neden olur. Bu durumdan dolayı cihaz dışında soğuk buhar üreten bir buhar jeneratörü kullanılmıştır. Bu jeneratör, evlerde özellikle kış aylarında ısıtma sisteminin kullanıldığı zamanlarda ve genellikle bebek odalarında kullanılan, suyu soğuk olarak buhara çeviren bir ünedir. Bu ünite öncelikle cihaz dışında konumlandırılarak bir higrostat kontrolünde çalışmak üzere düşünülmüştür. Fakat cihaz üzerindeki çalışmalar sonucu, bu jeneratörün gerek cihaz içerisinde gerekse cihaz dışında kullanılabiliyor olması gerekliliği görülmüştür. Buhar jeneratörünün kendi higrostatı da ayrıca bulunması nedeniyle cihaz dışına higrostatı bağlı bir priz farklı buhar jeneratörü tiplerinin kullanılabilmesine olanak vermiştir. Aynı zamanda kabin içerisine bir elektrik prizi daha yerleştirilmiş, bu prizin bağlantı kablosunun ucuna da bir fiş takılmıştır. Böylece kabin içi priz gerek higrostat kontrolünde, gerekse doğrudan alternatif akım ile beslenebilmektedir. Bu da gerek buhar jeneratörünün kendi higrostatı ile, gerekse cihaz üzerindeki diğer higrostat ile nem kontrolünün sağlanabilmesine olanak vermiştir.



*Resim 4-13-Buhar Jeneratörü ve Kabin İçi Elektrik Prizi*



*Resim 4-14-Buhar Jeneratörü Dışarıdan Takıldığı Durumlar İçin Buhar Girişi*

Cihaz içerisinde bu üç sistemi kontrol ederek ortam koşullarının sabitlenmesini sağlayan, açma kapama özelliğinde üç adet sensör bulunmaktadır. Bunlardan bir tane

termostat sensör ısıtma birimine, diğer termostat sensör soğutma birimine, son olarak da higrostat sensör buhar jeneratörü birimine bağlıdır.



Resim 4-15-Isıtma, Buhar ve Soğutma Kontrol Birimleri

**Nem sensörü:**

Marka / Model : Siemens QFM 81.2

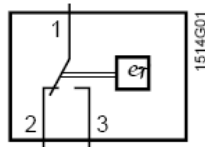
Hassasiyet :  $\pm \%1,5$

Ölçüm Aralığı :  $\% 15-90$  RH

Kontrol Modu : Açma-Kapama

Sürekli Hava Akımı : 10 m/s

Çalışma Sürekli Sıcaklığı : 0-70 °C

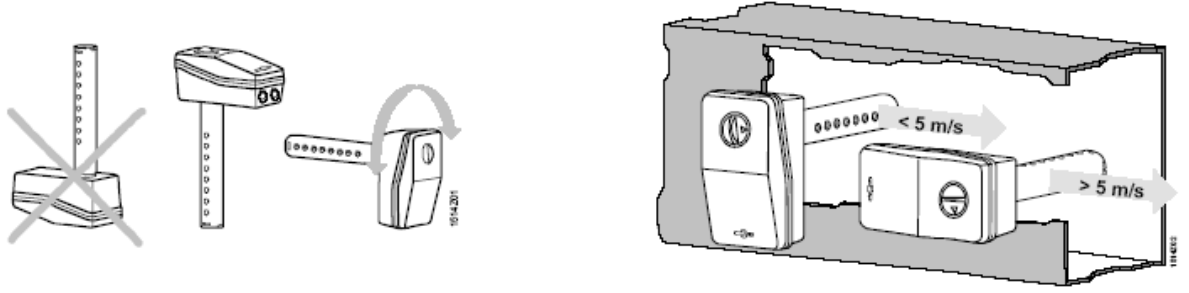


1-2 Humidification

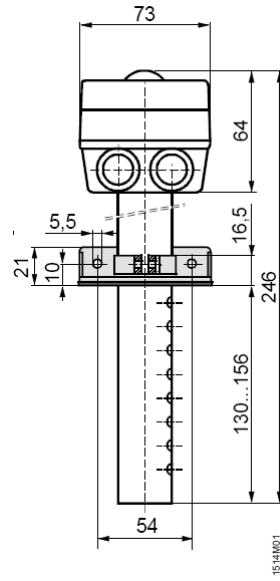
1-3 Dehumidification

Şekil 4-3-Higrostat İç Diyagramı





Şekil 4-4-Higrostat Montaj Şekli



Şekil 4-5-Higrostat Teknik Çizimi

**Sıcaklık Sensörü :**

Marka / Model	: Siemens
Hassasiyet	: $\pm 0,5$ °C
Ölçüm Aralığı	: 10-90 °C
Çalışma Modu	: Açma - Kapama
Çalışma Nem Aralıkları	: $> \%95$

**Buhar Jeneratörü:**

Marka / Model	: Rowenta Vitality
Hassasiyet	: $\pm \%5$
Buhar Şiddet Ayarı	: 2 Kademeli
Su Kapasitesi	: 5.5 lt
Zamanlayıcı	: 1-16 saat

Kullanım Alanı :Max. 40 m<sup>2</sup>  
RH Ayarı :Belirlenebilir veya Continuous Mode

Deney esnasında cihazın içini görebilmek, aynı zamanda da deney görüntülerini alabilmek amacıyla cihaz içerisine bir kamera sistemi kurulmuştur. Bu kamera sistemi iki adet bilgisayar bağlantılı internet kamerasından oluşmaktadır. Kameralardan bir tanesi buhar jeneratörü ekranını ve kabin içini, diğeri ise deney numunelerini göstermektedir. Deney numunelerini görüntüleyen kamera 6 adet led ışık ile aydınlık sağlamakta, aynı zamanda da gece çekimi özelliği bulunmaktadır.

Kabin içerisinde homojen hava koşulları sağlamak amacı ile kabin köşesinden 12 V akım ile çalışan 8 cm çapında bir fan yerleştirilmiştir. Bu fan, kabin içi prizinden akım sağlamaktadır.

Sensörlerin analog olmaları sebebi ile, iç ortamdaki beklenen koşulların gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol amacı ile, duyarlı bir termostat, higrostat kullanılmıştır. Bu ölçme cihazı, iç ve dış ortamı ayrı ayrı ölçebilen, minimum ve maksimum ortam koşullarını kaydedebilen bir dijital ölçerdir. Bu ölçer, makine koşullarının dijital monitörü olarak deneyler esnasında çok fayda sağlamıştır.

### **Çalışma Prensipleri ve Kullanma Talimatları**

Cihaz üzerine takılı olan sistemlerin minimum çalışma süresi ile ortam koşullarının sabit tutulması üzerine tasarlanmıştır. Bu nedenle sıcaklıkta sabit tutulmak istenen değerin belli bir miktar altına ısıtma, belli bir miktar üstüne de soğutma sistemini kontrol eden sensörlerin ayarlanması düşünülmüştür. Örneğin 23 °C da sabit tutulmak istenen sıcaklık için ısıtma tertibatını kontrol eden termostat 22,5 °C sıcaklığa, soğutma tertibatını kontrol eden termostat da 23,5 °C sıcaklığa ayarlanmalıdır. Böylece sıcaklık  $\pm 0,5$  °C hassasiyetinde kontrol edilmiş olacaktır.

Ortam nemi sürekli düşme eğiliminde olduğu için buhar sistemi sadece nem vermek için kullanılacaktır. Higrometre istenilen nem miktarına ayarlanacak ve bırakılacaktır. İstenilen nem oranı ne kadar yüksek olursa ünitenin rejim süresi de o kadar uzun olacaktır. 23 °C sıcaklık ve %50 bağıl nem ortamı için ünitenin gözlenen rejim süresi yaklaşık 1 saattir.

Kamera sistemi bilgisayara bağlanır ve görüntü alınmaya başlanır. Fan ve buhar jeneratörü fişleri kabin içi prizine takılır, buhar jeneratörü üzerindeki dijital kontrol panelinden sabit kalması beklenen nem miktarı ayarlanır. Eğer yukarıda

özellikleri belirtilen buhar jeneratörü kullanılacak ise, buhar jeneratörünün elektriğinin kesilmemesi sağlanmalıdır.

Elektrik kesintilerinden etkilenilmemesi için bir kesintisiz güç kaynağı bağlantısı kullanılmıştır. Deney şartlarının ve cihazın tekrar ayarlanmaması kesintisiz güç kaynağı kullanımı büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde nem ayarının tekrar yapılması gereklidir ve bu esnada ortam koşulları bozulacaktır.

Genel olarak çalışma sistemi şu şekildedir:

Deney için oluşturulmak istenen şartlar belirlenir. Belirlenen şartlara göre nem miktarı ayarlanır. Buhar jeneratörü haznesi tamamen su ile doldurulur. Belirlenen sıcaklığın 0,5 °C altına ısıtma sistemi ayarlanır. Aynı miktarda yukarıya da soğutma sistemi ayarlanır.

Daha sonra cihazın ağzı kapatılarak beklenen ortam koşulları sağlanana kadar rejime bırakılır. Cihaz üzerindeki monitörde beklenen koşullar sabit olarak gözlenene kadar beklenir.

Bu aşamadan sonra önceden hazırlanmış numune kapları cihaz içerisine yerleştirilerek kapağı hemen sıkıca kapatılır.

Her saat başı yapılacak ölçümlerde cihazın kapağı en az sürede açık kalmalıdır. Uzun süre açık kalması durumunda ideal ortam bozulur, ve tekrar rejime girmesi beklenmek zorunda kalınır. Bu da deneyin her rejim süresinde baştan tekrarlanması anlamına gelmektedir.

### **4.3 DENEYİN YAPILIŞI VE SONUÇLARI**

Deneye başlamadan önce deney cihazının istenilen atmosfer koşullarında kararlı hale gelmesi gerekmektedir. Bunun için cihaz önceden çalıştırılmış, ve hazırlanan deney numuneleri iki saatlik bir rejim süresinden sonra tartılarak cihaza yerleştirilmiştir. İlk tartımlar, en büyük nem geçişi ilk saat içerisinde olacağı için iki kere daha kontrol edilerek yapılmıştır.



*Resim 4-16- Deney Esnasında Cihazın İç Görüntüsü, Buhar Jeneratörü*

İlk tartımlar yapıldıktan sonra numuneler cihaza yerleştirilmiş ve 1 saat süre ile beklenmiştir. 1 saatlik süre sonunda numuneler tek tek cihaz içerisinden çıkartılarak tartılmış ve tekrar yerlerine konmuştur. Tartım işlemleri ilk tartımla birlikte 7 kere tekrarlanmış, ve sonuçlar grafiklere geçirilmiştir.

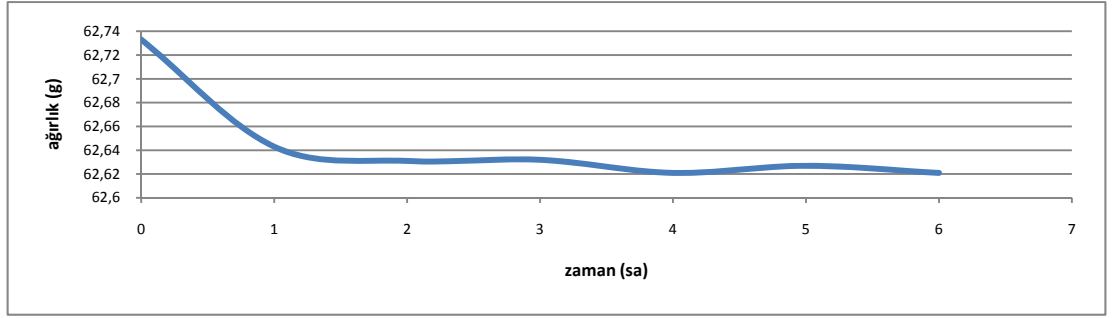


*Resim 4-17- Deney Sırasında Cihaz İçerisindeki Numuneler ve Kontrol Probu*

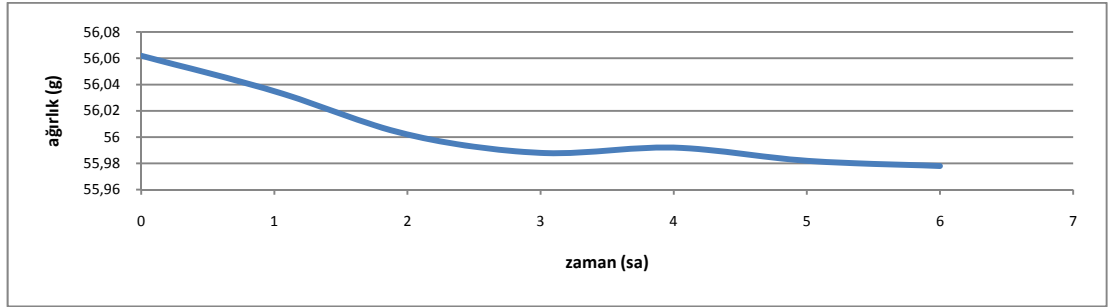
Deney sonunda elde edilen tablolar ve grafikler aşağıdaki gibidir.

DENEY 1	TOPLAM AĞIRLIK				KOŞULLAR	AĞIRLIK FARKLARI				
	4 cm eps	3 cm xps	3 cm cam yünü	3 cm taş yünü		saat	4 cm eps	3 cm xps	3 cm cam yünü	3 cm taş yünü
0. saat	62,733	56,062	45,87	123,418	% 99-44 / 18	11:00	0	0	0	0
1. saat	62,643	56,035	45,698	123,204	%49 / 24,4	12:00	-0,09	-0,027	-0,172	-0,214
2. saat	62,631	56,002	45,588	123,111	%50 / 24,2	13:00	-0,012	-0,033	-0,11	-0,093
3. saat	62,632	55,988	45,515	123,058	%49 / 24,2	14:00	0,001	-0,014	-0,073	-0,053
4. saat	62,621	55,992	45,476	123,034	%48 / 24,2	15:00	-0,011	0,004	-0,039	-0,024
5. saat	62,627	55,982	45,442	123,008	%50 / 24,4	16:00	0,006	-0,01	-0,034	-0,026
6. saat	62,621	55,978	45,423	122,99	%50 / 24,6	17:00	-0,006	-0,004	-0,019	-0,018

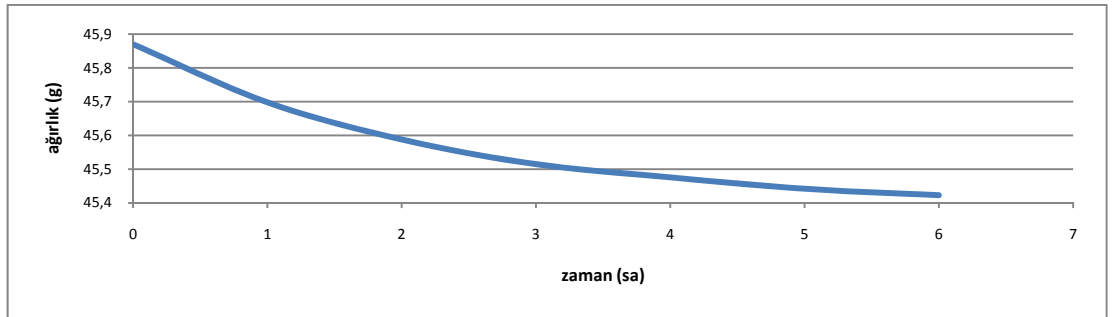
Tablo 4-1-Deney Numunelerinin Ağırlık Değişim Tablosu



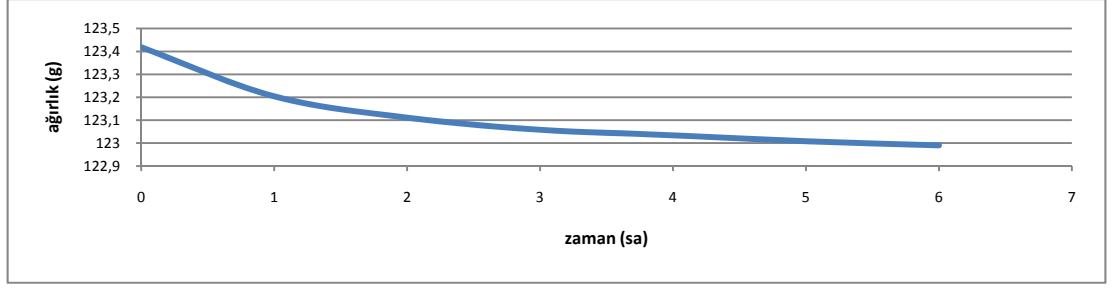
Şekil 4-6- 4 cm Kalınlığındaki EPS Deney Düzeneginin Ağırlık Zaman Grafiği



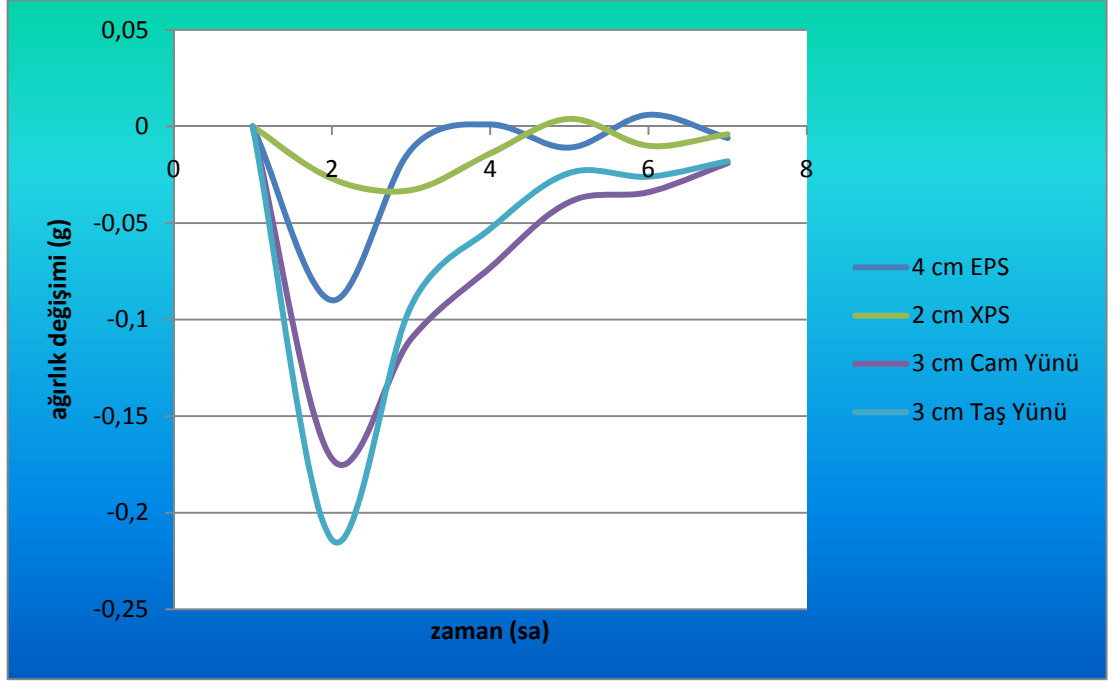
Şekil 4-7- 2 cm Kalınlığındaki XPS Deney Düzeneginin Ağırlık Zaman Grafiği



Şekil 4-8- 3 cm Kalınlığındaki Cam Yünü Deney Düzeneginin Ağırlık Zaman Grafiği



Şekil 4-9- 3 cm Kalınlığındaki Taş Yünü Deney Düzeneklerinin Ağırlık Zaman Grafiği



Şekil 4-10- Deneye Tabi Tutulan Tüm Düzeneklerin Çakıştırılmış Ağırlık Değişimi Zaman Grafiği

Elde edilen grafikler incelendiğinde, lifli ısı yalıtım malzemelerinin buhar difüzyon dirençlerinin daha düşük olduğu, daha fazla nefes alabildikleri gözlenmiştir.

Deneyde elde edilen veriler, TS-EN 12086 standardında belirtilen hesap yöntemi ile işleme konulmuş, ve aşağıdaki sayısal sonuçlara ulaşılmıştır.

	G (mg/h)	A (m <sup>2</sup> )	g (mg/m <sup>2</sup> h)	W (mg/m <sup>2</sup> hPa)	Z (m <sup>2</sup> hPa/mg)	δ (mg/mhPa)	μ	Sd (m)
4 cm eps	21,00	0,012	1750	1,25	0,8	0,05	14,06	0,56
2 cm xps	15,33	0,012	1277,78	0,91	1,10	0,02	38,51	0,77
3 cm cam y	74,50	0,012	6208,33	4,43	0,23	0,13	5,28	0,16
3 cm taş y	71,33	0,012	5944,44	4,25	0,24	0,13	5,52	0,17

Tablo 4-2- Deneylerden Elde Edilen Verilerle Hesaplanmış Sayısal Değerler

## 5. SONUÇ

Günümüz mimarisinde, teknolojinin gelişmesi, bina ve ürün çeşitliliğinin artması sonucu, kullanıcıların binalardan konfor koşulları talepleri artmıştır. Konfor koşullarının en önemlilerinden bir tanesi de, mekanların ısısal konforlarıdır. Isı yalıtımı ile ilgili karşılaşılan yanılgılardan bir tanesi de, ne kadar kalın ısı yalıtım malzemesi kullanılırsa o kadar avantaj sağlanacağıdır. Isı yalıtımından beklenen konfor, sadece ısı direncin fazla olması değil, aynı zamanda nefes alabilme kabiliyetlerinin de gerekli düzeylerde olması ile mümkündür. Tasarım aşamasında, malzeme seçimi yapılırken bu kriterlerin de göz önünde bulundurulması ve konfor koşullarının bu yönde belirlenmesi gereklidir.

Literatürde ve malzeme prospektüslerinde, ısı yalıtım malzemelerinin bu özellikleri hakkında çok sınırlı bilgiler vardır. Günümüz teknolojisinde, malzemelerin bu yöndeki kabiliyetleri henüz her malzeme için yeteri kadar gelişmediğinden, üreticiler tarafından, ticari kaygılar nedeni ile, yayınlanması tercih edilmemektedir. Aynı zamanda her gün değişen üretim teknolojileri ile aynı yapıdaki farklı üreticiler tarafından geliştirilen malzemelerin nefes alabilme kabiliyetleri değişiklik göstermektedir.

Bu çalışmada, objektif bir deney yöntemi ile, çeşitli ısı yalıtım malzemelerinin ne kadar nefes alabildikleri gözlemlenmiştir.

Isı yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenliklerini sağlayan, içlerinde bulundurdukları durağan havadır. Isı yalıtım malzemesinin kalınlaştırılması daha fazla ısı yalıtımı sağlamasına rağmen, nefes alabilme kabiliyetini de aynı oranda düşürecektir. Dolayısı ile, ısı yalıtım kabiliyeti fazla olan bir malzemenin, nefes alabilme kabiliyeti düşük olabilir. Örneğin; 4 cm kalınlığında, 28kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki XPS ile elde edilen ısı yalıtımı, eğer 90kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki taş yünü ısı yalıtım plakası kullanılırsa ancak 5,6 cm kalınlıkta elde edilebilmektedir. Bununla beraber, bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucu, 4 cm kalınlığında, 28kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki XPS plakanın Sd değeri 1,54 m iken, 5,6 cm kalınlığında ve 90kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki taş yünü plakanın Sd değeri 0,32 m olarak elde edilmiştir. Bir başka deyişle, 4 cm kalınlığındaki 28kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki XPS ile sağlanan ısı yalıtımı, 5,6 cm kalınlığında ve 90kg/m<sup>3</sup> yoğun taş yünü plaka ile de elde edilebilir, fakat taş yünü

plaka kullanılması halinde, 4,8 kat daha fazla nefes alabilme kabiliyeti elde edilebilmektedir.

Yalıtım malzemesi seçerken, ısı yalıtım özellikleri ile birlikte, nefes alma kabiliyetleri de göz önünde bulundurularak, yukarıdaki gibi bir hesap yapılması durumunda, mimari tasarım sürecinde en doğru seçimin yapılması sağlanabilir.

Yapı kabuğu, sadece ana katmanlar ve yalıtım katmanlarından ibaret değildir. Yapı kabuğu bir kompozisyondur ve bu kabukta son kat kaplama malzemeleri de bulunmaktadır. Her ne kadar ısı yalıtım malzemelerinde gerekli nefes alma özellikleri sağlansa bile, son kat kaplamaları ve diğer katmanların da nefes alabilme kabiliyetleri önem taşımaktadır. Gerek dış, gerekse iç yüzeydeki dekoratif kaplamalar, diğer katmanlar nefes alabilseler bile, bütün kabuğun solunumunu kesecek özelliklerde olabilir, terleme ve yoğuşma sorunlarına neden olabilirler. Bu katmanların da ileriki çalışmalarda aynı şekilde incelenmesi, mimari tasarım sürecinin bir başka boyutuna ışık tutacaktır.



## 6. KAYNAKÇA

- Anonim. (1998). *TS825: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*,. Ankara: TSE.
- Baldaş, A., & Kantar, F. (1975). *Yapı Fiziği, Yapıların Isıya Suya Sese Titreşimlere ve Yangına Karşı Korunumu*. İstanbul: Sermet Matbaası.
- Biçer Özkun, Ü. (2005). *Gazbeton Yapı Ürünleri İle Yapılan Dış Duvarlarda Buhar Difüzyonunun Etkileri*. İstanbul: YTÜ FBE Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Boles, M. A., & Çengel, Y. A. (1994). *Thermodynamics: An Engineering Approach*,. McGraw-Hill Book Company.
- Çiçek, A. (2002). *Yapı Düşey Dış Kabuk Bileşenlerinin Performans Belirlenmesi Sürecinde Isı ve Nem Geçişi Ölçümünde Kullanılabilecek Bir Yöntem Önerisi, Doktora Tezi*. İstanbul: MSÜ FBE.
- Eriç, M. (1994). *Yapı Fiziği ve Malzemesi*. İstanbul: Literatür Yayınları.
- Gösele, K., & Schüle, W. (1983). *Schall-Waerme-Feuchte, 7. Auflage (Neubearbeitete)*,(Çev: T. Özgün). Weisbaden und Berlin: Bauverlag GmbH.
- Hasol, D. (1998). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Henn, W. (1975). *Aussenwände Verlag Georg D. . W. Callway*.
- Ilgaz, T. (1979). *Yapı Düşey Dış Kabuklarının Isı Etkilerinden Korunması, Araştırma Projesi*. Trabzon: KTÜ, Döner Sermaye İşletmeleri.
- Özer, M. (1982). *Yapılarda Isı – Su Yalıtımları*. İstanbul: Özer Yayınları.
- Özgür, Ü. (1982). *Yapı Elemanlarında Su Buharı Etkisinin İncelenmesi*. İstanbul: İTÜ Mimarlık Fakültesi.
- Rietschell, H., & Reiss, W. (1969). *Isıtma ve Havalandırma Tekniği*. İstanbul: Arı Kitabevi Matbaası.
- Toydemir, N., Gürdal, E., & Tanaçan, L. (2000). *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme*. Literatür Yayınları: İstanbul.
- Yüncü, H., & Kakaç, S. (1999). *Temel Isı Transferi*. Bilim Yayıncılık: İstanbul.

## EKLER

### EK (TS-EN 12086) ISI YALITIM MALZEMELERİNİN – BİNALAR İÇİN – SU BUHARI GEÇİRGENLİK ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ İLE İLGİLİ STANDART

#### KAPSAM

Bu standard, kararlı haldeki deney parçalarının farklı deney şartları altında, su buharı geçirgenlik hızı, su buharı geçirgenliği ve su buharı özgeçirgenliğinin tayini için gerekli teçhizat ve işlemleri kapsar. Bu standard, ısı yalıtım malzemelerine uygulanır.

Bu standard, homojen malzemelere (Not 1) ve kendi malzemesinden yapılmış yekpare bir kabuğu veya farklı malzemedan yapılmış kaplama ihtiva eden mamullere uygulanır.

Not 1 - Yoğunluğu her tarafında hemen hemen aynı, bir başka ifadeyle, ölçülen münferit yoğunluk değerleri ortalamaya yakın olan bir madde, homojen olarak kabul edilir.

Not 2 - Bu deney metodu, tayin çok uzun zaman aldığından, normal olarak, prefabrike filmler, folyo, membran veya levhalar gibi tek, müstakil buhar tutucularının (yüksek difüzyon mukavemetine sahip) su buharı geçirgenlik özelliklerinin tayininde kullanılmaz.

$sd \geq 1000$  m (Madde 3.6) kalınlıktaki hava tabakasına eşdeğer su buharı difüzyonu sağlayacak buhar geciktirici veya tutucu, tek, müstakil malzemelerin geçirgenlik özelliklerini ölçmek için IR - algılama gibi ışın ölçümüne dayalı başka deney metotları kullanılabilir. Ancak bu durumda, elde edilen sonuçların geçerli olması için bulunan değerlerin bu standarda uygun olarak ölçülen değerlere yakın olması lazımdır.

Su buharı geçirgenlik hızı ve geçirgenlik değerleri, deneye tâbi tutulan deney parçasının (mamulün) kalınlığına has değerlerdir. Homojen mamullerde, su buharı özgeçirgenliği malzemenin kendisinin bir özelliğidir.

#### ATIF YAPILAN STANDART VE/VEYA DÖKÜMANLAR

Bu standardda, tarih belirtilerek veya belirtilmeksizin diğer standard ve/veya dokümanlara atıf yapılmaktadır. Bu atıflar metin içerisinde uygun yerlerde belirtilmiş ve aşağıda liste halinde verilmiştir. Tarih belirtilen atıflarda daha sonra yapılan tadil veya revizyonlar, atıf yapan bu standardda da tadil veya revizyon yapılması şartı ile uygulanır. Atıf yapılan standard ve/veya dokümanın tarihinin belirtilmemesi halinde en son baskısı kullanılır.

EN, ISO, IEC Vb. No	Adı (İngilizce)	TS No	Adı (Türkçe)
EN 12085	Thermal insulating products for building applications - Determination of linear dimensions of test specimens		

## PRENSİP

İçinde bir kurutucu veya sulu doymuş tuz çözeltisi ihtiva eden bir deney kabının ağzı deney parçası ile sıkıca kapatılır. Deney düzeneği daha sonra, sıcaklık ve nemi kontrol edilebilen bir deney hücresine yerleştirilir. Deney düzeneği ile deney hücresi arasındaki kısmî su buharı basınç farklarından dolayı, su buharı deney parçasından geçmeye başlar. Su buharı geçirgenlik hızı kararlı hale gelinceye kadar deney düzeneği periyodik olarak tartılır.

## CİHAZ VE MALZEMELER

### Deney kapları

Tercihan yuvarlak, su veya su buharı geçirmez ve içerisine konulabilecek kurutucu veya tuz çözeltilerinden etkilenmemeleri için korozyona mukavim olan. Bu kaplar genel olarak cam veya metalden yapılır. Kapların büyüklüğü deneye tâbi tutulacak deney parçasının büyüklüğüne bağlıdır. Deney parçasının su buharına maruz bırakılan üst yüzey alanı (A1) ile alt yüzey alanı (A2) arasındaki fark % 3'den daha düşük olmalıdır (Ek B'de verilen örnekler).

Not - Bazı tip deney kapları, kimi yalıtım malzemeleri ile kullanılmaya uygun değildir. Bu husus, ilgili mamul standardında veya teknik şartnamesinde belirtilmelidir.

### Ölçme cihazları

Lineer boyutları EN 12085'e uygun olarak tayin etmeye elverişli olan.

### Kapak

Kullanıldıktan sonra çıkarılmasını kolaylaştırmak için kenarları konik kesilmiş olan. Kapağın biçimi ve boyutu, deney parçasının açıkta kalan alt ve üst yüzey alanlarının birbirine eşit olması için deney kabının şekline ve boyutuna uymalıdır. Kapağın alanı, lineer olmayan buhar akışı sebebiyle meydana gelen kenar kaçığını (Ek C) sınırlamak amacıyla deney parçasının yüzeyinin en az % 90'ı kadar olmalıdır.

### Analitik terazi

Deney düzeneğinin kütlelerini  $\pm 1$  mg veya daha iyi bir doğrulukla ölçebilen. Daha büyük deney düzenekleri kullanıldığında, tartımda aranan doğruluk, toplam kütle ve deney sonuçlarında istenilen doğruluk dikkate alınarak tayin edilebilir.

### Deney hücresi

İstenilen bağıl nemi  $\pm \% 3$ , istenilen sıcaklığı da  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  sınırları içinde tutabilen. Not - İstenilen şartları deney hücresinin her tarafında aynı tutabilmek için, havanın hızı (0,02 - 0,3) m/s olan bir sirkülasyon sistemi kullanılmalıdır. Deney hücresindeki nem kontrolü, enjeksiyonlu sistemle yapılmıyorsa, doymuş tuz çözeltileri kullanılabilir.

### Sızdırmazlık malzemesi

Deney şartlarından etkilenmeyen. Bu deneyde kullanılacak uygun sızdırmazlık malzemesi çeşitleri aşağıda verilmiştir:

% 90 mikro kristal halinde vaks ve % 10 plâstikleştirici karışımı (meselâ, düşük molekül kütleli poliizobutilen).

% 60 mikro kristal halinde vaks ve % 40 rafine edilmiş parafin.

## DENEY PARÇALARI

Deneysel parçalarının boyutları

Şekil ve uygunluğu

Deneysel parçaları mamulü temsil edebilmeli ve doğal olarak üzerinde mevcut olan, farklı maddelerden yapılmış kabuk veya kaplama gibi yüzeyleri ihtiva etmelidir. Esas malzemenin özgeçirgenliğinin ölçülmesi istendiğinde, kabuk veya yüzölçüm çıkarılmalı ve deneysel parçasının kalınlığı en az 20 mm olmalıdır.

Not - Ana mamulün su buharı difüzyon direnç faktörü,  $\mu \leq 3$  olan, yüzölçümlü ve/veya kaplamalı mamulün özgeçirgenliğinin tayini, mamulden ayırdıktan sonra sadece astar ve/veya kaplama üzerinde yapılan ölçmelerle yapılabilir. Deneysel parçaları, seçilen deneysel düzeneğinin (Örnekler - Ek B) boyutlarına uyacak şekilde kesilmelidir.

Deneysel parçalarının kalınlığı

Deneysel parçalarının kalınlığı, mamulün kalınlığının aynı olmalıdır. Mamulün kalınlığı 100 mm'yi geçerse, deneysel parçasının kalınlığı, bu kalınlıktan kesmek suretiyle elde edilebilir.

Maruz bırakılan alan

Deneysel parçasının maruz bırakılan alanı, A, (maruz bırakılan üst ve alt alanların aritmetik ortalaması) en az 50 cm<sup>2</sup> olmalıdır. Yuvarlak deneysel parçalarının çapı veya dikdörtgen deneysel parçalarının eşdeğer çapı (alandan hesap edilerek bulunur), deneysel parçası kalınlığının en az iki katı olmalıdır.

Deneysel parçalarının sayısı

En az beş deneysel parçası deneye tâbi tutulmalıdır. Deneysel parçasının alanı 500 cm<sup>2</sup>'den büyükse, en az üç deneysel parçası deneye tâbi tutulmalıdır. Deneysel parçaları kesilerek hazırlanmışsa, bütün parçalar deneye tâbi tutulmalıdır. Deneye tâbi tutulan mamulün anizotropik olduğundan şüpheleniliyorsa, deneysel parçaları, paralel yüzeyler uygulama sırasında mamulün buhar akış yönüne dik olacak şekilde kesilmelidir. Mamulün yüzeyi tabii olarak ince bir tabaka ile kaplanmış veya her yüzeye farklı tabakalar yapıştırılmış ise, deneysel parçaları buhar akışı uygulama sırasında hangi yönde yine aynı yönde olacak şekilde deneye tâbi tutulmalıdır. Uygulama sırasında buhar akışının yüzeylere göre hangi yönde olacağı bilinmiyorsa, deneysel parçaları iki takım olarak hazırlanmalı ve sonuçlar her yöndeki buhar akışı için verilmelidir.

Deneysel parçalarının şartlandırılması

Deneysel parçaları, en az 6 saat süreyle (23 ± 5)°C'da muhafaza edilmelidir. Anlaşmazlık halinde deneysel parçaları (23 ± 2)°C ve % (50 ± 5) bağıl nem ortamında, en az 6 saat olmak üzere ilgili mamul standardında belirtilen süre kadar muhafaza edilmelidir.

## İŞLEM

Deneysel şartları

Deneysel, aşağıdaki çizelgede verilen üç deneysel atmosferinden birinde yapılmalıdır.

### Çizelge 1 - Deney şartları

Deney seti	Deney şartları	Sıcaklık °C	Bağıl nem, %	
			Kuru hal <sup>1</sup>	Nemli hâl
A	23 - 0 / 50	23 ± 1	0	50 ± 3
B	23 - 0 / 85	23 ± 1	0	85 ± 3
C	23 - 50 / 93	23 ± 1	50 ± 3	93 ± 3

1) % 0 bağıl nem şartı, bir kurutucu kullanılarak sağlandığı için, tolerans verilmemiştir.

Not 1 - Nem çekici mamullerde sonuç deney şartlarına bağlıdır. Bu mamuller için A ve C deney şartları tavsiye edilir.

Not 2 - Özel uygulamalardaki şartlara benzetmek amacıyla, taraflar isterse başka deney şartları (sıcaklık ve bağıl nem) üzerinde anlaşabilirler.

Not 3 - 23°C sıcaklıkta, belirtilen bağıl nem ortamını sağlayabilmek için aşağıdaki kurutucu ve doymuş sulu tuz çözeltileri kullanılabilir. Bu maddelerden fazla miktarda kullanılmalıdır.

#### Kurutuc maddeler

	Bağıl nem, %
1) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Fosfor pentoksit):	0
2) CaCl <sub>2</sub> (Kalsiyum klorür, tane büyüklüğü: 2 mm - 8 mm):	0
3) Mg (ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (Magnezyum perklorat):	0

Sulu tuz çözeltileri (Fazla miktarda çözülmemiş tuzla temasta olan doymuş tuz çözeltileri)

	Bağıl nem, %
1) Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> · 2H <sub>2</sub> O (Sodyum dikromat):	52
2) KCl (Potasyum klorür):	85
3) NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (Amonyum dihidrojen fosfat):	93
4) KNO <sub>3</sub> (Potasyum nitrat):	94

#### İşlem

Deney şartlarının sabit tutulduğunu görmek için hücre sık sık kontrol edilmelidir. Bir deney düzeneği seçilir. Uygun olarak deney parçaları hazırlanır.

Deney parçasının kalınlığı 0,2 mm yaklaşımla veya % 0,5 doğrulukla, hangisi daha küçükse, EN 12085'e uygun olarak ölçülür.

Kurutucu veya sulu doymuş tuz çözeltisi, en az 15 mm olmak üzere, uygun bir seviyeye kadar deney kabına doldurulur. Deney parçası kabın açık ağzına yerleştirilir ve çevresi erimiş mumla sıvanarak sızdırmazlık sağlanır. Kurutucu ile deney parçası arasındaki hava boşluğu (15 ± 5) mm olmalıdır. Deney düzeneği

hücreye konularak, 1 saat ile 24 saat arasında bir süreyle şartlandırılır. Daha sonra en yakın miligramına kadar veya daha büyük ebatlı deney düzeneği kullanılmışsa, toplam ağırlığına ve deney sonuçlarında istenilen doğruluğa bağlı olarak tayin edilen bir doğrulukla tartılır. Deney düzeneği 24 saatten az olmayan aralıklarla muntazam olarak tartılır. Terazinin bulunduğu odanın sıcaklığı, anılan deney sıcaklığının  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  içinde ise, deney düzenekleri, deney hücresinin içinde veya dışında tartılabilir. Tartma işlemi hücrenin dışında yapılırsa, deney düzenekleri en kısa zamanda tekrar hücreye yerleştirilmelidir. Deney düzeneklerinin hücre dışında kaldığı sürenin deney sonuçlarını etkilememesine dikkat edilmelidir. Terazinin bulunduğu ortam sıcaklığı,  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  aralığı dışında kalıyorsa, deney düzenekleri deney atmosferinde tartılmalıdır. Her bir deney parçası için, ardışık beş deney sonunda elde edilen birim zamandaki kütle değişimi değerleri, bu deney parçası için bulunan ortalama değer (Madde 8.1)  $\pm \% 5$ 'i içinde sabit kalıncaya kadar tartımlara devam edilmelidir. Kütle değişiminin sabit hale (kararlı hale) geldiğinin anlaşılmasına yardımcı olması için, zamana karşı kütle değişimi grafiğe geçirilir.

### HESAPLAMA VE SONUÇLARIN GÖSTERİLMESİ

Deney düzeneğinin kütle değişimi (1)

Seçilen zaman aralığında, her bir deney parçasının kütledeki değişme,  $G_{1,2}$  miligram/saat cinsinden,

aşağıdaki bağıntı (1) yardımıyla hesaplanır:

$$G_{1,2} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1}$$

Burada;

$m_1$  : Deney düzeneğinin  $t_1$  zamandaki kütlesi, mg;

$m_2$  : Deney düzeneğinin  $t_2$  zamandaki kütlesi, mg;

$t_1$  ve  $t_2$  : Ardışık tartım zamanları, h 'dir.

Ardışık 5 adet  $G_{1,2}$  tayininin ortalaması,  $G$ , mg/h cinsinden, her deney parçası için hesaplanır.

Ardışık son beş  $G_{1,2}$  tayininin herbirinin ortalamadan ( $G$ ) bağıl farkı  $\pm \% 5$  aralığında ise,  $G$ 'nin nihaî değeri elde edilmiş olur.

Su buharı geçirgenlik hızı (2)

Su buharı geçirgenlik hızı ( $g$ ), mg/m<sup>2</sup>.h cinsinden, aşağıdaki bağıntıyla (2) hesaplanır:

$$g = \frac{G}{A}$$

Burada;

$A$  : Deney parçasının açıkta kalan alanı (açıkta kalan üst ve alt alanların aritmetik ortalaması), m<sup>2</sup>

dir.

Su buharı geçirgenliği (3)

Su buharı geçirgenliği,  $W$ ,  $\text{mg/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$  cinsinden, aşağıdaki bağıntıyla (3) hesaplanır:

$$W = \frac{G}{A \times \Delta p}$$

Burada;

$\Delta p$  : Su buharı basınç farkı,  $\text{Pa}$ ' dır.

Su buharı basınç farkı, deney şartlarına bağlı olarak aşağıdaki değerlerden biridir.

Deney şartları:	23 - 0 / 50	$\Delta p = 1400 \text{ Pa}$
	23 - 0 / 85	$\Delta p = 2390 \text{ Pa}$
	23 - 50 / 95	$\Delta p = 1210 \text{ Pa}$

Su buharı direnci (4)

Su buharı direnci,  $Z$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg}$  cinsinden, aşağıdaki bağıntıyla (4) hesaplanır:

$$Z = \frac{l}{W}$$

Su buharı özgeçirgenliği (5)

Su buharı özgeçirgenliği,  $\delta$ ,  $\text{mg/m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$  cinsinden, aşağıdaki bağıntıyla (5) hesaplanır.

$$\delta = W \cdot d$$

Burada;

$d$  : Deney parçasının kalınlığı,  $\text{m}$ ' dir.

Su buharı difüzyon direnç faktörü (6)

Su buharı difüzyon direnç faktörü,  $\mu$ , (birimsiz) aşağıdaki bağıntıyla (6) hesaplanır.

$$\mu = \frac{\delta_{\text{hava}}}{\delta}$$

Burada;  $\delta_{\text{hava}}$ , havanın su buharı özgeçirgenliğidir (Değeri deney sırasındaki ortalama barometrik basınca bağlıdır (Şekil 1).

Hem havanın, hem de malzemenin su buharı özgeçirgenlikleri barometrik basınca bağlı olduğu için, bunların birbirine oranı,  $\mu$ , barometrik basınçtan bağımsız sayılabilir.

Farklı yerlerdeki su buharı geçirgenlik hızı hesaplanırken, aşağıdaki bağıntı (7) kullanılarak gerçek barometrik basınç hesaba katılabilir.

$$g = \frac{\Delta p}{(\mu \cdot d)} \times \delta_{\text{hava}}$$

## **EK (TS-ISO 2528) TABAKA MALZEMELER – SU BUHARI GEÇİŞ HIZININ TAYİNİ – GRAVİMETRİK (KAP) METOT**

Bu standart, teoride herhangi bir tabaka malzemeye uygulanabilen bir metodu tanımlar. Uygulamada bu metodun esas kullanımı, su buharı geçişine karşı direnç oluşturmak üzere üretilen, örneğin ambalajlamada kullanılan kâğıt, karton, plastik filmler veya film lamine edilmiş kâğıt veya metal folyolar ile kauçuk veya plâstikle kaplanmış kumaşlar gibi düz, genellikle ince malzemelere uygulanır.

Su buharı kısmî basınç farkı, bu deneyin önemli bir bölümüdür. Bu deney, basit cihazlarla su buharı geçiş hızı (WVTR)'nin güvenilir değerler elde etmek için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, bazı özel uygulamaların sonuçlarının kullanılması tecrübeye dayalıdır. Geçiş hızı, genellikle ne sıcaklığın ne de bağıl nem farkının doğrusal bir fonksiyonu değildir. Bu nedenle, belirli şartlar altında tamamlanan bir tayinin, diğer şartlar altında tamamlanan başka bir tayinle karşılaştırılması gerekli değildir. Bundan dolayı, deney şartları, kullanım şartlarına mümkün olduğunca yakın seçilmelidir.

Bu standart, tabaka malzemelerinin su buharı geçirme hızının (genellikle hatalı kullanılan adı geçirgenlik) tayini için bir metodu kapsar. Bu metot genellikle, geçirme hızı, 1 g/(m<sup>2</sup>.d)'den az olması beklenen malzemeler veya 3 mm'den kalın malzemeler için tavsiye edilmez. Bu durumda ISO 9932'de belirtilen metot tercih edilir.

### **Tarifler**

#### **Su buharı geçiş hızı (WVTR)**

Belirli sıcaklık ve nem şartları altında, birim zamanda, birim alandan geçen su buharı kütlesi. Gram / metrekare / 24 saat [ g/(m<sup>2</sup>.d) ] olarak ifade edilir.

Not 1 - WVTR bileşen malzeme veya malzemelerin, kalınlığı, bileşimi ve geçirgenliği ile deneyin yapıldığı sıcaklık ve bağıl nem şartlarına bağlıdır (Ek B).

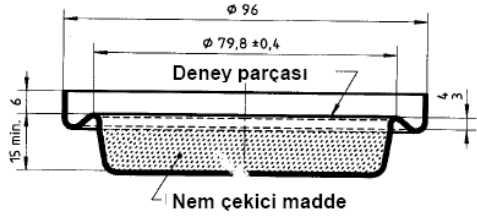
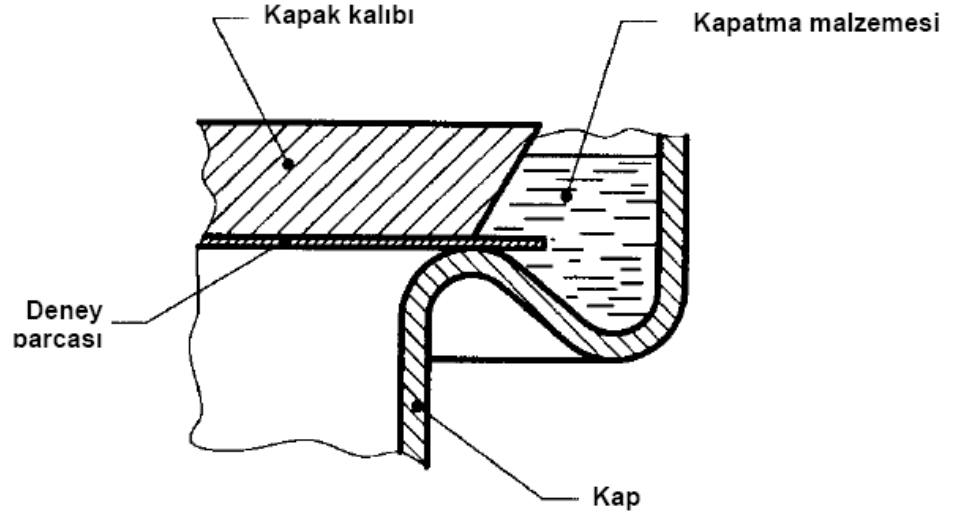
### **Prensip**

Nem çekici bir madde içeren kaplar, deneyi yapılacak malzemelerle kapatılarak kontrollü atmosferde bekletilir (Ek B). Bu kaplar uygun belirli periyotlarla tartılır ve zaman aralıklarıyla kütledeki artış orantılı olduğunda, WVTR, kütledeki artıştan tayin edilir.

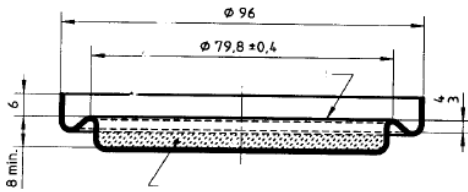
### **Cihaz ve malzemeler**

**Deney kapları**, sıg, cam, alüminyum veya paslanmaz çelikten mamul ve çapları, kullanılan teraziye uyacak kadar geniş olan. Kaplar hafif, fakat sert ve deney şartlarındaki korozyona karşı dayanıklı olmalıdır. ISO 209-1'de belirtildiği gibi, derecesi Al 99,5 olan, alüminyumdan yapılmış ve kimyasal veya anodik oksidasyonla korunmuş kaplar uygundur. Deney parçasını mum ile kapatmak için, her kabın ağız kısmında bir oluk mevcuttur. Bu oluk, üzerinden veya deney parçasının kenarlarından su buharı geçirmeyecek şekilde, deney parçasını kabın açık ağzı üzerinde kapatabilecek bir profile sahip olmalıdır. Kabın iç çapı, mumlama kalıplarının (Madde 5.3) çaplarına eşit veya çok az büyük olmalıdır. Deney parçası düzlemi altındaki kabın iç derinliği 15 mm (derin kap) veya 8 mm'den (sıg kap) daha az olmamalıdır. Kabın içinde, deney parçası ve nem çekici madde arasındaki su buharı akışını önleyecek bir engel olmamalıdır. Nem çekici madde ile doldurulmuş kabın taban yüzeyinin alanı, deney parçasının açık olan yüzeyiyle benzer olmalıdır. Her kap farklı bir numara ile numaralandırılmalıdır.

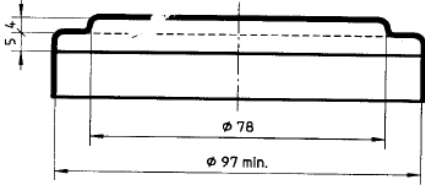




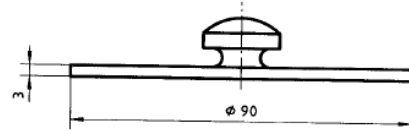
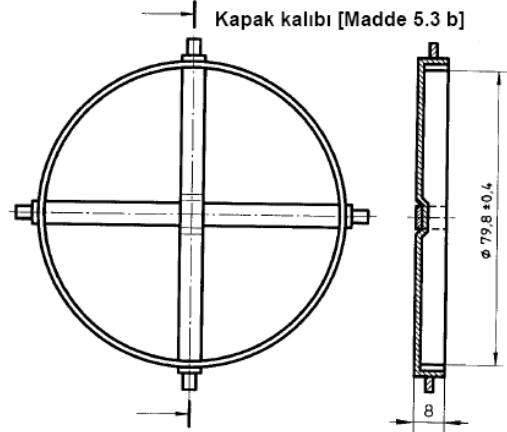
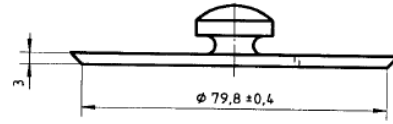
Geçirme hızı 100 g/(m<sup>2</sup>.d)'den daha büyük olan malzemeler için derin kap (Madde 5.1) (iç yivli)



Normal geçirme hızına sahip malzemeler için sıg kap (Madde 5.1)



Kabın dışına oturması için kenarlı kapak (Madde 5.2)



**Not 1-** Verilen boyutlar 50 cm<sup>2</sup>'lik deney alanı içindir. Kapların dış çapı hariç, verilen diğer boyutlar, kap ve kapağın iç boyutlarını gösterir.

**Not 2-** Sadece 79,8 mm  $\pm$  0,4 mm boyutuna kesin olarak uyulmalıdır. Diğerler boyutlar yaklaşık olarak verilmiştir.

**Kapaklar**, kabın yapıldığı malzemeden yapılmış ve bir kaba karşılık gelecek şekilde numaralandırılmış, tartım için deney atmosferinden alındığında, su buharı kaybı ihmal edilebilecek şekilde, kabın dış tarafı üzerine sıkıca oturacak biçimde tasarlanmış, dış kenarı olan.

**Mum kalıpları**, mum kapatıcının kolayca yerleştirilmesine ve deney alanının tam olarak tanımlanmasına izin veren. Bunların çapı, D, tercihan 79,8 mm  $\pm$  0,4 mm (alanı 50 cm<sup>2</sup>) olmalıdır. Herhangi farklı bir çapta kalıp kullanılırsa, bu durum deney raporunda belirtilmelidir. Hiç bir durumda çap 56,1 mm'den az olmamalı ve %1'den daha iyi bir doğrulukla bilinmelidir.

Aşağıdaki kalıpların her ikisi de uygun olabilir.

a) çapraz bağlı halka kalıplar, deney esnasında yerinde kalan. Bunların çapı, D, halkanın iç çapıdır. Halka kalıplarının sayısı kadar kaba ihtiyaç vardır.

veya

b) kapak kalıplar, uygulanan mum soğuduğu zaman çıkarılması için, merkezde bir tutamağı olan, uygun bir yerine küçük bir delik açılmış, bir diskten oluşan, (Şekil 1) ve yaklaşık 45°'lik açıda oluklu kenarı bulunan. Bunların çapları, D, küçük dairenin de çapıdır. Kapak kalıbını otomatik olarak merkezlemek için, küçük bir kılavuz kalıba tespit edilebilir. Bir kaç kapak kalıbı yeterlidir.

**Kapatıcılar**, kap ve deney parçasının her ikisine de kuvvetlice yapışan (Ek C), normal sıcaklıklarda kırılğan, higroskopik olmayan ve oksitlenmeyen mum karışımı. 24 saat B şartlarına (Ek B) maruz bırakıldığında, kütlesi 1 mg.'dan fazla değişmeyen, 50 cm<sup>2</sup> 'lik yüzey alanına sahip yeni eritilmiş mum.

**Su banyosu**, mumu eritmek için.

**Mum dağıtma aleti**, en az 25 mL kapasiteli, yaklaşık 3 mm boşaltım tüplü pipet veya yalıtılmış saplı metal boşaltıcı gibi hızla boşaltma yapabilen,

**Kesme kalıbı veya deney parçası kesicisi**, dairesel deney parçalarını kesmek için uygun boyutlarda ve kullanılan kaba uygun çapta olan. Bu çap, kabın üst iç çapından çok az küçüktür.

**Nem çekici madde**, 1,6 mm ilâ 4 mm'lik boyutlarda, granül şeklinde, silika jel veya susuz kalsiyum klorür (CaCl<sub>2</sub>) veya alternatif olarak 1,5 mm ilâ 2,0 mm'lik boyutlarda ince tabaka halinde ufalanabilen bir mamul.

**Not :** 1 g kalsiyum klorürün, doyunluk sınırı 0,1 g sudur. 1 g silika jelin doyunluk sınırı ise 0,04 g sudur.

**Terazi**, her bir kap, kapak ve muhtevasının kütlesini 0,1 mg doğrulukla tartabilen.

**Pens veya tutucu**, kabı elle hareket ettirmek için.

**Kapalı alan**, istenilen kontrollü atmosferin sağlanabildiği (Ek B) ve sürekli hava sirkülasyonu olan. Kontrol, kapalı alanın kapısının kapanmasından itibaren 15 dakika içinde, belirlenen şartların tekrar oluşmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Kapalı alan aşağıdaki deney şartlarını karşılayabilecek şekilde olmalıdır.

A Şartı

Sıcaklık 25 °C  $\pm$  1°C

Bağıl nem % (90  $\pm$  2)

#### B Şartı

Sıcaklık  $38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Bağıl nem %  $(90 \pm 2)$

#### C Şartı

Sıcaklık  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Bağıl nem %  $(75 \pm 2)$

#### D Şartı

Sıcaklık  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Bağıl nem %  $(85 \pm 2)$

#### E Şartı

Sıcaklık  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Bağıl nem %  $(85 \pm 2)$

A ve B şartları potasyum nitratın doymuş bir çözeltisinin kullanımı ile elde edilebilir.

C şartı sodyum klorür'ün doymuş çözeltisinin kullanılması ile elde edilebilir.

D ve E şartları ise potasyum klorür'ün doymuş bir çözeltisinin kullanılması ile elde edilebilir.

Not : Bağıl nem algılayıcıları tuz buharından etkilenir, bu nedenle algılayıcıyı tuz buharından korumak için önceden tedbir alınmalıdır. Okuma değerleri, belirli bir aralıkta, kalibre edilmiş bir bağıl nem algılayıcı okunan sistematik hatalara göre düzeltilmişse, bağıl nem (R.H.) özellikleri uygun kabul edilir. Kalibre edilmiş bağıl nem algılayıcısı, % 1'lik R.H.'dan az rastgele bir hata, % 2'lik R.H.'dan az sistematik bir hata (gerçek nemden sapma) ile çalıştığı belgelenmiş ve dakikada % 1,5 R.H.'lık eğimle izlenmesini sağlayan erişim hızına sahip, herhangi bir algılayıcıdır.

Not : Ambalajlanmış malzemelerin, incelenen benzer şartlara maruz kaldığı, taşıma veya depolama sırasındaki WVTR'sinin değerlendirilmesi için, ISO 2233'de verilenlerden uygun olan şartların seçilmesi tavsiye edilir.

#### **Numune alma**

Bir kâğıt partisi değerlendirilecekse, numuneler ISO 186'ya göre alınır.

#### **Sartlandırma**

Deney parçalarının hazırlanmasından önce, özellikle WVTR'nin yüksek olduğu biliniyorsa, malzeme ile ilgili ISO 187, ISO 291, ISO 471 veya ISO 2231'e göre numunelerin şartlandırılması tavsiye edilir.

#### **Deney parçalarının hazırlanması**

Bütün hasar görmüş alanlar hariç tutularak, denenecek her bir yüz için, kesme kalıbı veya deney parçası kesicisi yardımıyla uygun çapta, normal olarak 90 mm 'lik, en az üç adet deney parçası kesilir. Deney atmosferine maruz bırakılan yüzün, kolaylıkla belirlenebilmesi için, herhangi bir yolla, deney parçaları işaretlenir.

Malzeme higroskopikse veya deneyde daha yüksek doğruluk isteniyorsa, en az iki adet ilâve tanık deney parçası hazırlanır.

**Not :** Kâğıt malzemeler çözücü içeren bir işlemle hazırlanıyorsa, deney parçalarında kalan kalıntı çözücü, deney sonuçlarını etkileyebilir. Deney parçaları, kalıntı çözücüyü uzaklaştırmak için işleme tabi tutulmuşsa, bu işlemin detayları deney raporunda belirtilmelidir.

### **Kapların hazırlanması**

Kapları hazırlama metodu, kullanılan kapak veya halka kalıplarına göre, az da olsa değişiklik gösterir. İşleme, her zaman kaplar ve kalıpları dikkatle temizleyerek ve kurularak başlanmalıdır. Nem çekici madde kaba konular, sonra istenilen yüz yukarıya gelecek şekilde deney parçası kaba yerleştirilir ve mum ile kalıplama yapılır ve deney parçaları ile kabın arası su buharı geçirmeyecek şekilde mum ile kapatılır. Nem çekici maddedeki su buharı absorpsiyonunu, asgaride tutmak için işlem hızlı bir şekilde yapılmalıdır.

UYARI - Sıcak mumla, elle çalışıldığında dikkatli olunmalıdır, mum dökülür veya sıçrarsa, ciddi yanıklar ortaya çıkabilir. Gözlük, eldiven vb. uygun koruyucu gereçler kullanılmalıdır.

### **Mum ve kapak kalıbının kullanımı**

Her bir kap, deney parçasının son pozisyonunun 3 mm ilâ 4 mm aşağısına kadar, nem çekici madde ile doldurulur ve hafifçe vurularak düzeltilir. Mum, su banyosunda eritilir ve mum dağıtma aletine doldurulur. Sırasıyla mum kalıbı ve deney parçası merkezlenerek yerine yerleştirilir, Oluk içerisine erimiş mum, mum kalıbının üst yüzey seviyesine ulaşana kadar akıtılır ve soğuduktan sonra, küçük gaz aleviyle ince çatlaklar ve hava kabarcıkları uzaklaştırılarak işlem tamamlanır. Bu işleme yardımcı olmak üzere, sıcak bir spatül mumun üzerinden geçirilir, böylece soğuma esnasında gelişen büzülme çatlakları kapatılır. Mum kalıbı uzaklaştırılır ve kapamanın tam olup olmadığından emin olmak için, düzenek kontrol edilir. Mum kalıbının kolaylıkla geri alınmasını sağlamak için, önce kenarlara ince bir film halinde vazelin sürülmesi ve deney parçasında kirlilik yaratacak herhangi bir fazlalığın silinmesi tavsiye edilir. Düzenek, kabın numarasına karşılık gelecek şekilde numaralandırılmış bir kapak ile kapatılır.

### **Mum ve halka kalıbının kullanımı**

Her bir kap, deney parçasının son pozisyonunun 3 mm ilâ 4 mm aşağısına kadar, nem çekici madde ile doldurulur ve hafifçe vurularak düzeltilir. Mum, su banyosunda eritilir ve mum dağıtma âletine doldurulur. Kabın etrafındaki dairesel olukta, oyuğun iç kenarı üstünde, küçük bir menisküs oluşuncaya kadar eritilmiş mum dolaştırılır. Deney parçası merkezlenerek, kap üzerindeki yerine konur, bunu takiben halka kalıbı yerleştirilir ve 1 kg'lık ağırlık yüklenir. Dairesel yüzey oluşuncaya kadar, daha fazla mum akıtılır ve soğuduktan sonra küçük gaz aleviyle ince çatlaklar ve hava kabarcıkları uzaklaştırılarak işlem tamamlanır. Bu işleme yardımcı olmak için, sıcak bir spatül mum üzerinden geçirilir, böylece soğuma esnasında gelişen büzülme çatlakları kapatılır. Ağırlık kaldırılır ve halka yerine bırakılır. Düzenek, kabın numarasına karşılık gelecek şekilde numaralandırılmış bir kapağıyla kapatılır.

## İşlem

### **Genel metot**

Hazırlanan tüm kaplar, terazide kapakları ile birlikte yaklaşık 0,1 mg doğrulukla tartılır. Kaplar, kapakları kaldırıldıktan sonra, deney şartlarına ayarlanmış kotrollü kapalı alana yerleştirilir. Kaplar, uygun zaman aralıklarında, ard arda kapaklarıyla birlikte tartılır. Tartımlar aşağıdaki şekilde yapılmalıdır:

Kaplar, karşılık gelen kapaklarıyla kapatılır, kotrollü kapalı alandan, pens veya tutucular kullanılarak alınır ve oda sıcaklığına gelmesi için 15 dakika bekletilir. Düzenekler, 0,1 mg doğrulukla tartılır ve tekrar kapakları alınarak kotrollü, kapalı alana yerleştirilir. Bütün tartma işlemlerinin daima aynı sürede (30 dakikayı aşmayan) yapılmasının sağlanması için, hızlı bir şekilde ve aynı sayıdaki kabı ihtiva eden küçük guruplarla çalışılmasına dikkat edilmelidir. Kapaksız çalışması da mümkündür, fakat bu durumda, nem çekici madde ihtiva etmeyen düzeneklerin kullanılması tavsiye edilir. Kapların taşınması ve soğutulması, nem çekici madde olarak kalsiyum klorür içeren kapalı kaplarda yapılmalıdır. Tartma işlemleri arasındaki zaman aralığı tercihan, 24 saat, 48 saat veya 96 saat olmalıdır. Ancak, yüksek geçirme hızına sahip malzemeler için, daha düşük zaman aralıkları gerekebilir (örneğin 3 saat, 4 saat veya 8 saat). Seçim, deneyi yapılan tabakanın geçirme hızına bağlıdır. İki ard arda tartım arasındaki kütle artışı, en az 5 mg olmalıdır. Zaman aralığı seçimi deneyin başında yapılmalıdır. İlk iki tartım arasındaki kütle artışı çok yüksek veya çok düşükse, sonraki tartımlar için zaman aralıkları düzenlenebilir.

Tartıma, seçilen atmosfere birim zaman için maruz bırakılan kapların, ard arda yapılan iki tartımındaki kütle artışı, % 5'i aşmayacak şekilde sabit kalana kadar devam edilir.

Nem çekici maddenin etkinliği, farkedilebilir şekilde azalmadan önce, deney tamamlanmalıdır (pratikte kütledeki toplam artış sığ kaplar için 1,2 g, derin kaplar için 3,2 g olmalıdır).

### **Nem çekici madde ihtiva etmeyen düzeneklerin kullanımı**

Numune, kalın ve düşük geçirme hızına (örneğin kauçuk, plastik ve polietilen kaplı karton gibi) sahip veya oldukça higroskopikse, üç adet normal deney düzeneğine ek olarak, aynı biçimde hazırlanmış, nem çekici madde içermeyen, iki veya daha fazla deney düzeneği ile deney yapılması tavsiye edilir. Her bir zaman aralığında, aynı işleme tabi tutulmuş deney düzeneklerinin kütledeki ortalama değişiklik, ölçülen tüm kütlelerden çıkartılarak düzeltme yapılmalıdır.

### **Sonuçların gösterilmesi**

Her kap için, maruz kalma süresinin fonksiyonu olarak toplam kütle artışı grafiksel olarak gösterilir, üç veya dört nokta doğru üzerinde olduğunda (Madde 10.1.4) ve su buharı geçişi, sabit hızı gösterdiğinde, deney tamamlanmış olacaktır. Bu doğru kullanılarak, WVTR, her bir deney parçası için, aşağıdaki formülden  $g / m^2 / 24 h$  cinsinden, hesaplanır.

$$\frac{240 \times m_1}{S}$$

Burada,

m1 grafikten belirlenen, kütledeki artış hızı, mg/h,

S %1 dahilinde bilinen (normal olarak 50 cm<sup>2</sup>), deney parçasının deneye tabi tutulan yüzeyinin alanı.

Tartımlar eş zaman aralıklarında yapılırsa, her bir deney parçası için, geçirme hızının, bir grafik hazırlanmadan doğrudan elde edilen sonuçlardan, yukarıdaki formül kullanılarak, fakat m1 yerine m2/t konularak hesaplanması mümkündür.

$$\frac{240 \times m_2}{S \times t}$$

Burada,

t en son iki maruz kalma süresinin toplamı, h,

m2 t süresinde düzenekteki kütle artışı, mg

Deney malzemesinin tek bir numunesine ve tek bir yüzeyine karşılık gelen birkaç düzenek için, yukarıdaki iki maddeye göre elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması hesaplanır.

Ortalama WVTR ;

100 g/(m<sup>2</sup>.d)'nin üzerindeki değerler : 10 g/(m<sup>2</sup>.d) yaklaşımla;

10 g/(m<sup>2</sup>.d)'den 100 g/(m<sup>2</sup>.d)'e kadar olan değerler : En yakın tam sayıya;

10 g/(m<sup>2</sup>.d)'den küçük değerler : Birinci ondalıklı sayıya

yuvarlatılarak rapor edilir.

### **Kesinlik**

Hâlihazırda, yeterli veri mevcut olmadığından, tekrarlanabilirlik ve uyarlık ile ilgili herhangi bir ifade verilmemiştir.

### **Deney raporu**

Deney raporu aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- a) Bu standardın işareti ve numarası (TS ISO 2528 şeklinde);
- b) Denenen numunenin tam tanıtımı için gerekli tüm ayrıntılar, gramajı, kalınlığı (gerekliyse) ve deney esnasındaki dış yüzün tanıtımı;
- c) Kabın derinliği;
- d) Deney şartları (Ek B);
- e) Kullanılan nem çekici maddenin tipi;
- f) Tek WVTR sonuçları arasındaki en büyük fark, aritmetik ortalamanın % 10'nu geçmezse, aritmetik ortalama; aksi taktirde, ayrı ayrı elde edilen (Madde 11) tek tek WVTR sonuçları rapor edilir.
- g) Deneyin Ek A'ya göre katlanmış deney parçaları ile yapılıp yapılmadığı;
- h) Sonuçların yorumlanmasına yardımcı olabilecek herhangi bir bilgi, örneğin çözücü kalıntısını uzaklaştırmak için yapılan işlem.

## **EK (TS-ISO 9932) KAĞIT VE KARTON – TABAKA HALİNDEKİ MALZEMELERİN SU BUHARI GEÇİRGENLİK HIZININ TAYİNİ – DİNAMİK SÜRÜKLEME VE STATİK GAZ METODU**

Bir engelleme malzemesinden, su buharı geçirgenlik hızı pek çok uygulamada, örneğin inşaat ve ambalajlamada, önemli bir özelliktir. ISO 2528, geçirgenlik hızının tayini için, yaygın olarak kabul edilen, kap metodunu açıklar. Ancak, bu metodun üç dezavantajı vardır. Sonuç bir kaç günde elde edilebilir, 1 g/(m<sup>2</sup>.d).den küçük geçirgenlik hızlarına uygun değildir ve 3 mm.den kalın malzemeler için tavsiye edilmez.

Bu standardda belirtilen metot, deneye tâbi tutulan malzemeye bağlı olarak birkaç saatte sonuç verir ve geçirgenlik hızları 1 g/(m<sup>2</sup>.d).den oldukça düşük olan malzemeler için uygundur. Ayrıca, özel cihazlara bağlı olarak, kalınlıkları 38 mm.ye kadar olan malzemeler için de uygundur. Bu standard, bir dinamik gaz metodu veya bir statik gaz metodu ile tabaka halindeki malzemelerin su buharı geçirgenlik hızının tayini için genel deney metotlarını kapsar. Metoda ve kullanılan cihaza bağlı olarak, kalınlıkları 38 mm.ye kadar ve su buharı geçirgenlik hızları 0,05 g/(m<sup>2</sup>.d) ile 65 g/(m<sup>2</sup>.d) aralığında olan malzemeler deneye tâbi tutulabilir. Bu standardda, cihaz tekniklerinin temel fonksiyonları kısaca tarif edilmiştir. Kalibrasyon ile ilgili tavsiyeler standart ekinde verilmiştir.

### **Tarifler**

Bu standardın amacı için, aşağıdaki tarifler uygulanır:

#### **Su buharı geçirgenlik hızı (WVTR)**

Belirli sıcaklık ve nem şartları altında, birim zamanda, birim alandan geçen su buharının kütlesi.

Gram / metre kare / 24 saat [g/(m<sup>2</sup>.d)] olarak ifade edilir.

#### **Kuru yüz**

Deney hücresinin düşük neme maruz bırakılan yüzü.

#### **Yaş yüz**

Deney hücresinin yüksek neme maruz bırakılan yüzü.

### **Metot A: Dinamik gaz sürüklenme metodu**

#### **Prensip**

Deney parçası, biri bilinen bağıl nemde, diğesinde kuru bir gaz akışı olan, kapalı iki bölme arasına yerleştirilir. Kuru gaz akışıyla toplanan su buharının miktarı elektriksel bir sensörle ölçülür ve doğrudan veya hesaplanarak, deney parçasından geçen su buharının bir ölçüsü olan okuma değerine dönüştürülür.

#### **Cihazlar**

**Deney hücresi**, belirli bir alana sahip deney parçasının, biri kuru bir gaz ile süpürülen (kuru yüz) diğeri, bağıl nemi yüksek bir atmosferi ihtiva eden (yaş yüz) iki bölme arasına sıkıştırılması için tasarlanmış.

**Sıkıştırma düzenekleri**, deney parçasının hızlı yerleştirilip çıkarılmasına imkân veren ve sıkıştırma kuvvetiyle sızdırmaz hale getirilmesi için uygun contalarla donatılan.

**Nem sağlama aracı**, yaş yüzde istenen düzeyde nem sağlayan. İstenen bağıl nem düzeyi, Standart ekinde tarif edildiği gibi katı faz ihtiva eden doymuş tuz çözeltileriyle veya %100 nem isteniyorsa damıtık su ile sağlanabilir.

**Reaksiyona girmeyen (inert) kuru gaz** (kullanılacak özel aletin gerektirdiği şekilde), kuru yüzü temizlemek için.

**Not :** Bu gaz, normal olarak nemi alınmış hava veya kuru azottur.

**Sensör**, sürükleyici gazdaki, % 0,05 bağıl neme eşit veya düşük seviyedeki, nem muhtevasını tayin edebilecek yüksek duyarlılığa sahip olan ve hızlı cevap veren. Sensör, elektriksel direnç elemanı, elektrolitik hücre veya kızıl ötesi dedektör gibi değişik şekillerde olabilir.

**Dönüştürme aracı**, deneye tâbi tutulan deney parçasından birim zamanda geçen nem miktarının hesaplanması için sensör çıktısını sinyale dönüştüren.

**Sıcaklık sağlama aracı**, deney bölmesi, sürükleyici gaz ve sensörü istenilen sıcaklığa getiren.

**Not :** Normal deney sıcaklığı,  $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  veya  $38^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . dür, fakat diğer sıcaklıklar da kullanılabilir.

**Deney numunesi**, deney hücresinin standardizasyonu için cihazın imalatçısı tarafından temin edilen, belirtilen su buharı geçirgenlik hızına sahip.

### **Metot B: Statik gaz metodu**

#### **Prensip**

Deney parçası, elektrolitik element ihtiva eden bir hücreye yerleştirilir ve hücre, istenilen sıcaklık ve bağıl nemdeki, nem kabine konulur. Hücre içine nüfuz eden su buharı elektroliz edilir ve bunun sonucunda hücre içindeki bağıl nem çok düşük seviyede kalır (<%1). Dengeye ulaşıldıktan sonra, elektroliz hızının (Faraday'ın elektroliz yasasına göre) ve su buharı geçirgenlik hızının doğrudan ölçüsü olarak elektrik akımı ölçülür.

#### **Cihazlar**

**Kontrol kutusu**, aşağıdakileri ihtiva eden:

- Bir elektrik güç kaynağı,
- Bir mikroampermetre, doğrudan, gram/metrekaare/24 saat [g/(m<sup>2</sup>.d)] cinsinden bölüntülü,
- Selektör ve anahtarlar (değişik aralıkları ölçmek için),
- Hücreler için bağlantı noktaları ve istenirse kaydedici

**Nem kabini**, deney hücrelerini istenilen şartlarda tutmak amacıyla, hava dolaşımı için bir fanı, hücrelerin kablolarının ve fişlerinin takılması için küçük girişleri olan.



**Paslanmaz çelik deney hücreleri**, bir kablo ve fiş yardımıyla kontrol kutusuna bağlanabilen bir elektrolitik element ihtiva eden, deney parçasının belirli bir alanını sıkıştırmak üzere tasarılanmış.

**Elektrolitik element**, çevresi, reaksiyona girmeyen bir kılıf (cam ve politetrafloro etilen uygun malzemelerdir) ile sarılmış, iki plâtin tel ihtiva eden. Telin ve kılıfın yüzeyinde bir fosfor penta oksit filmi kaplanmıştır.

**Delik açma aleti**, deney parçasını delmek için.

**Deney numunesi**, belirtilen su buharı geçirgenlik hızına sahip.

### **Numune alma**

Numunelerin seçimi ISO 186.ya uygun olarak yapılmalıdır.

### **Deney Parçalarının hazırlanması**

Deney parçaları, numuneyi temsil edebilmeli ve uygun olduğu yerlerde, tabakalar ve üretimler arasındaki değişiklikleri kapsamalıdır. Deney alanı, tayini etkileyebilecek kusurları içermemelidir. Deney parçasının yüzleri sırasıyla, 1 ve 2 olarak işaretlenmelidir. Malzemenin iki yüzü birbirinden ayırt edilebildiğinde, 1 işaretli yüzü deney sırasında yaş tarafa maruz bırakılacak yüzü belirtmelidir. Deney alanına zarar vermemek için, dikkatlice, istenen boyutlarda 10 deney parçası kesilir ve kullanılacak deney hücresi için gerekli delikler açılır. Kenarları neme maruz bırakılırsa, birleşik malzemeler nem geçirgenliği için ikinci bir yol sağlayabilen, geçirgen bir mihvere sahip olabilir. Bu durumda, bu gibi deney parçalarının kenarları alüminyum folyo bantla kaplanır. Folyo bant, kenarları kaplamalı ve yüzeyin üstünü en az 10 mm örtmelidir. Folyo bant, en az 40 µm kalınlığında, yumuşak temperli, yapışkan tipte olmalıdır. Homojen yapıdaki kalın deney parçaları da kenarlarından nem geçişine izin verebilir, bu deney parçaları da yukarıda belirtilen işleme tâbi tutulmalıdır.

**Not :** Kenarların kapatılmasının gerekli olduğu kalınlıkla ilgili kesin bir hüküm söylenemez, ancak genel bir kural olarak kalınlığı 5 mm.den az olanlar için gerekli değildir.

### **İşlem**

Kesin metot, imalâtçının kullanma kılavuzundan elde edilebilir. Genel işlem aşağıdaki gibidir:

#### **Metot A**

Deney hücresinin alt kısmı, istenilen nemi sağlamak için su veya uygun katı faz ihtiva eden doymuş bir tuz çözeltisi ile doldurulur ve deney parçası, 1 no.lu yüzü, hücrenin yaş tarafına doğru olacak şekilde deney hücresi içinde sıkıştırılarak tutturulur. Cihaz istenilen sıcaklığa ayarlanır. Cihaz imalâtçının talimatlarına göre çalıştırılır, cihazın kararlı hale geldiğinden emin olduğunda, bir okuma değeri elde edilir. Bu değer kaydedilir ve geri kalan deney parçalarıyla, 1 no.lu ve 2 no.lu yüzleri yaş tarafa doğru olacak şekilde her bir yüzle 5.er değer elde edilene kadar işlem tekrarlanır.

## **Metot B**

Deney parçası, 1 no.lu yüzü yaş tarafa doğru olacak şekilde deney hücresi içinde sıkıştırılarak tutturulur. Hücre, istenen sıcaklık ve bağıl nemdeki nem kabine yerleştirilir. Kararlı hale gelince, hücre içinden geçen su buharının elektroliz hızı, mikroampermetrede görüldüğü gibi kaydedilir. Bu değer kaydedilir ve geri kalan deney parçalarıyla, 1 no.lu ve 2 no.lu yüzleri yaş tarafa doğru olacak şekilde her bir yüzle 5.er değer elde edilene kadar işlem tekrarlanır.

### **Bir yüzü kaplanmamış kâğıt olan engelleme malzemesi**

Kaplanmamış kağıttan oluşan engelleme malzemesinin 1 no.lu yüzü kuru tarafa doğru olduğunda zorluklarla karşılaşılabilir. Kaydedici veya ölçü aletinin göstergesinde sabit bir su buharı geçirgenlik hızı elde edilmeden önce, kuru gaz ile kâğıttaki tüm su muhtevası uzaklaştırılmalıdır.

**Not :** Ön şartlandırma, son birkaç günde tamamlanabilir ve kararlı halin doğru olmasına dikkat edilmelidir. Deneyin, kâğıdın sadece yaş tarafa doğru konularak yapılması tavsiye edilir. Su buharı geçirgenlik hızı tayini, aynı malzemenin karşılaştırılabilir numunelerinden oldukça farklı bir sonuç verirse, özellikle tayinin uygulaması şüpheli görülmeli, incelenmeli ve gerekirse tayin tekrarlanmalıdır.

### **Kırıyık malzeme**

Bazı amaçlar için kırıyık malzemenin, su buharı geçirgenlik hızının tayini gerekebilir; böyle durumlarda ISO 2528 standardındaki Ek C.de tarif edilen kırıyırma işlemi yapılır ve Metot A veya Metot B.deki gibi uygun olan işlem yürütülür.

### **Sonuçların gösterilmesi**

1 no.lu ve 2 no.lu yüzler sırasıyla yaş tarafa doğru konularak yapılan ayrı tayinlerden standard sapma değeri ve ortalama değeri hesaplanır. Sonuçlar, deneye tâbi tutulan her bir yüz için gram/ metrekare/ 24 saat [g/(m<sup>2</sup>.d) cinsinden iki anlamlı rakam olarak verilir.

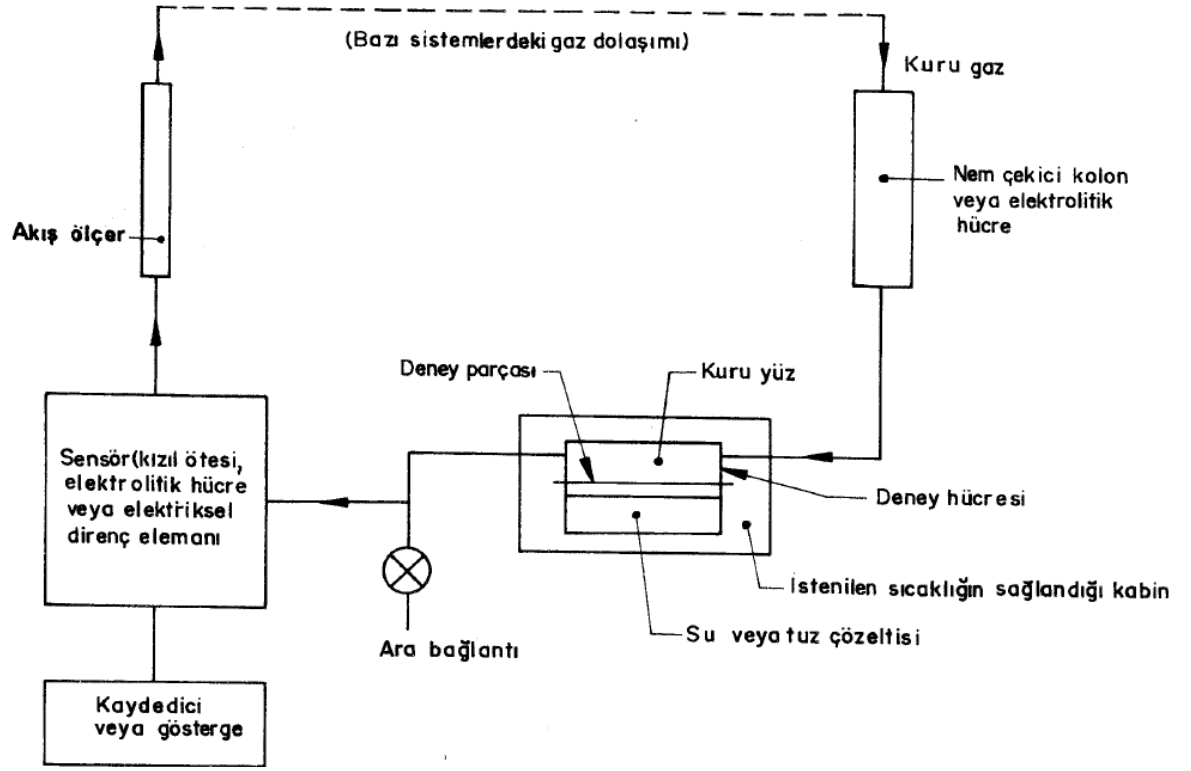
### **Kesinlik**

#### **Metot A**

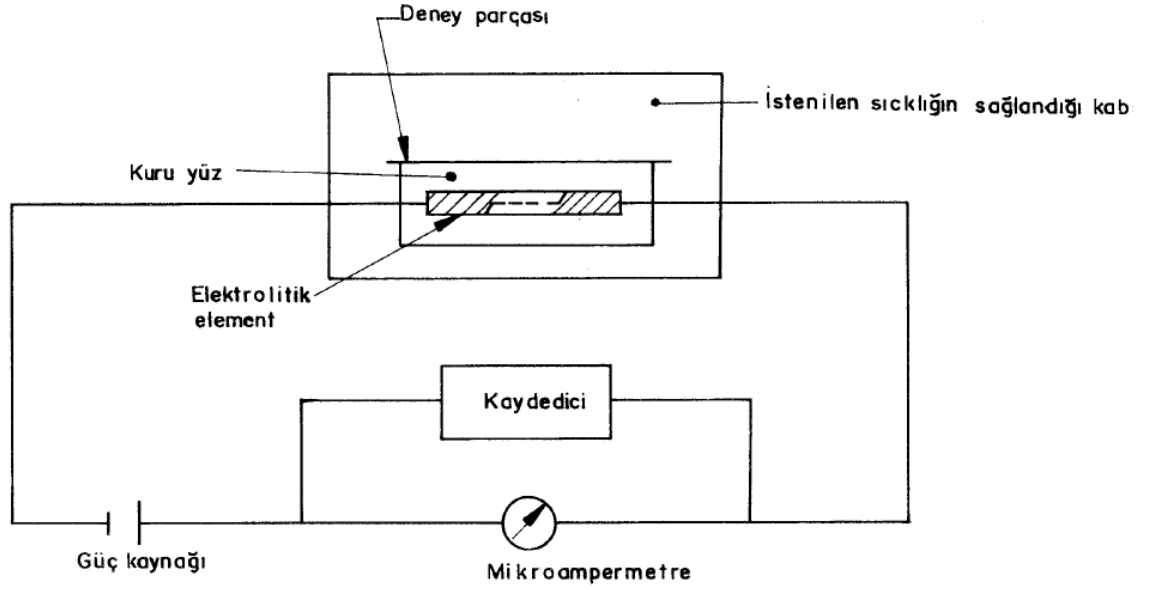
Kesinlikle ilgili, halihazırda kesin bir ifade bulunmamakla beraber, ABD.de aynı prensipler kullanılarak, 38 °C sıcaklık ve % 90 bağıl nem şartlarında, 2,3 g/(m<sup>2</sup>.d) ile 24 g/(m<sup>2</sup>.d) aralığındaki numunelerle yürütülen çalışmada, deney değerlerinde % 2 ilâ % 8 tekrarlanabilirlik ve % 7 ilâ % 13 uyarlık değerleri elde edilmiştir.

#### **Metot B**

Bu metot için kesinlikle ilgili, halihazırda kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Hollanda.da tecrübeler göre, 2 g/(m<sup>2</sup>.d) ile 5 g/(m<sup>2</sup>.d) aralığındaki WVTR.lı malzemelerin deney verilerinden, % 5 tekrarlanabilirlik ve % 10 ilâ % 15 uyarlık beklenebilir.



Şekil 1 - Dinamik sistemin şematik gösterimi



Şekil 2 - Statik sistemin şematik gösterimi

Şekil 1 - Dinamik sistemin şematik gösterimi

Şekil 2 - Statik sistemin şematik gösterimi

### **Deney raporu**

Deney raporu en az aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- Bu standardın işareti ve numarası (TS ISO 9932 şeklinde),
- Deneyin yapıldığı yer ve deney tarihi,
- Deneye tâbi tutulan numunenin tam olarak tanımlanması için gerekli tüm bilgiler,
- Kullanılan cihazın ve kuru gazın tipi,
- Deney şartları olarak kullanılan sıcaklık ve bağıl nem,
- Deneye tâbi tutulan her bir yüz için aritmetik ortalama,
- Deneye tâbi tutulan her bir yüz için standard sapma,
- Gerektiğinde, kırıştırma işleminden sonraki sonuçlar,
- Belirtilen işlemde herhangi bir sapma.

### **Doymuş tuz çözeltileri**

Belirtilen bağıl nemi sağlamanın uygun yolu, doymuş tuz çözeltisi kullanmaktır. Bu tür çözeltilerin kullanılmasıyla geniş bir aralıkta farklı bağıl nemler sağlanabilir. Çizelge A.1, bu standardın kullanıcılarının en çok gerek duyabileceği düşünülen tuzları belirtir.

#### **Çizelge A.1**

Tuz	Bağıl Nem %	Sıcaklık aralığı °C
Magnezyum klorür heksahidrat ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ )	$33 \pm 2$	10 ilâ 70
Sodyum dikromat dihidrat ( $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2 H_2O$ )	$52 \pm 2$	20
Sodyum klorür (NaCl)	$75 \pm 2$	10 ilâ 100
Çinko sülfür heptahidrat ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ )	$90 \pm 2$	20 ilâ 25
Sodyum tartarat dihidrat ( $Na_2C_4H_4O_6 \cdot 2H_2O$ )	$91 \pm 2$	20 ilâ 40

### **Kalibrasyon**

#### **Genel**

Bu standard gibi genel bir standardda, belirli kalibrasyon talimatları verilememektedir. Bu nedenle, bu standardın kullanıcılarına, imalâtçının kullanma kılavuzuna başvurmaları tavsiye edilir. Genellikle, cihazla birlikte, bilinen WVTR değerine sahip, film halindeki bir malzeme temin edilir ve bu malzemenin istendiği şekilde kullanılması, cihazın doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü için yeterlidir. Genel hata kaynakları, hava sızması, süpürücü gazdaki nem kalıntısı, standard deney filmindeki hasar ve elektrolitik hücre kullanıldığında fosfor pentaoksit kaplamadaki aşınmadır. Her hangi bir hata durumunda, problemin kaynağı bulunmalı ve uygun düzeltme işlemi yapılmalıdır.

#### **Cihazın ve standard deney filminin gravimetrik kalibrasyonu**

Bazı durumlarda, örneğin sızma veya hasardan şüphelenilmişse, standard olarak farklı bir deney filminin kullanılmasına karar verilmişse, cihazın kalibrasyon kontrolünün yapılması gerekli olabilir. Bu gibi durumlarda aşağıdaki işlem uygulanabilir.

Deney filmi, istenilen nemi sağlaması için doymuş tuz çözeltisi ilâve edilmiş deney hücresindeki (veya Metot B. ye uygun cihazlar için nem kabinindeki) yerine tutturulur. Cihaz, kararlı şartlar sağlanıncaya kadar, imalâtçının talimatlarına uygun olarak çalıştırılır. Deney hücresi dışındaki atmosferden gelen su buharının absorpsiyonunu engellemek için deney hücresinin çıkışına, dolu kalsiyum klorür tüpünü takiben, doldurulmuş ve tartılmış bir Schwarz (veya diğer eşdeğer bir nem çekici) tüpü takılır. Cihaz, imalâtçının talimatlarına uygun olarak, Schwarz tüpünde güvenilir kütlede, en az 100 mg su buharı absorplanana kadar çalıştırılır. Bunun için geçen süre kaydedilir ve Schwarz tüpü, kütle artışını elde etmek üzere doğru bir şekilde tartılır. Bu tayinden, saat başına absorplanan su buharının kütlesi hesaplanır ve  $m1$  olarak adlandırılır.

Deney filmi yerine, politetrafloro etilen kaplanmış alüminyum folyo (alüminyum tarafı yaş yüze doğru olacak şekilde) takılır ve Madde B.2.1.deki işlem tekrarlanır, ancak bu defa cihaz en az 48 saat çalıştırılır. Saat başına absorplanan su buharının kütlesi hesaplanır ve  $m2$  olarak adlandırılır.

**Not :**  $m2$ , sistemdeki sızmadan veya süpürücü gazın yeterince kuru olmamasından kaynaklanır.

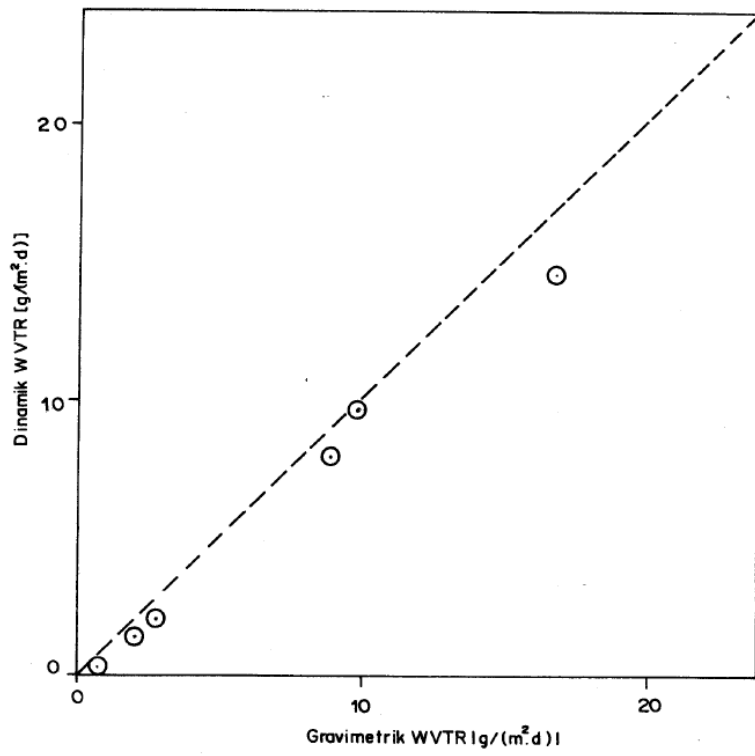
Deney filminin WVTR değeri aşağıdaki formülden hesaplanır;

$$WVTR = \frac{24(m_1 - m_2)}{A}$$

Burada; A, deney filminin deneye tabi tutulan, metre kare cinsinden yüzey alanıdır.

#### **Dinamik metodun gravimetrik metotla karşılaştırılması**

WVTR değeri, 1 g/(m<sup>2</sup>.d) ile 20 g/(m<sup>2</sup>.d) aralığında olan malzemelerle, dinamik metot (Metot A) kullanılarak yapılan, gravimetrik metotla (ISO 2528) elde edilenden daha düşük, ancak karşılaştırılabilir sonuçlar gösteren, sınırlı sayıda deney bulunmaktadır. Bu sonuçlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Dinamik metodun statik gaz metoduyla karşılaştırılması ile ilgili bilinen hiç bir bilgi bulunmamaktadır.



## **EK (TS-EN-ISO 7783-1) BOYALAR VE VERNİKLER – SU BUHARI GEÇİRGENLİK TAYİNİ BÖLÜM 1: SERBEST FİMLER İÇİN KAP YÖNTEMİ**

Bu standard, boyalar, vernikler ve ilgili ürünlerden numune alma ve bunların deneyleriyle ilgili bir seri standarddan birisidir. Bu standard, desteksiz bir boya filminin su buharı geçiş hızının tayini için bir yöntemi açıklar. Su buharı geçiş hızı, kaplama gözenekli bir taban malzemeye uygulandığında genellikle çok önemlidir. Kullanım şartlarına bağlı olarak, su buharının kaplama içinden her iki yönde geçmesi beklenebilir.

Bu işlem, mutlak sonuçlar elde etmek için değil, genellikle iki veya daha fazla boya filminin geçiş hızlarını karşılaştırmak için kullanılır. Mutlak sonuçlar elde etme durumunda, tayinin, uygun geçirgen taban malzemenin kaplanmış bir deney parçası üzerinde yapılması tercih edilebilir.

### **Tarif**

#### **(Bir Kaplamanın) Su Buharı Geçiş Hızı**

Deney parçasının herbir yüzeyinde belirtilen sabit bağıl nem şartları altında, verilen sürede, bir deney parçasının yüzey alandan geçen su buharı kütlesi

**Not :** Su buharı geçiş hızı kaplamanın iki yüzeyinde, tanımlanan bağıl nem şartlarında; günde metrekare başına gram( g/(m<sup>2</sup>.d)) olarak ifade edilir.

### **Prensip**

Hemen üzerinde %93'lük bağıl nemli bir atmosfer oluşturan doygun amonyum dihidrojen fosfat çözeltisi içeren ve denenen ürünün bir filmi ile kapatılmış kaplar, sıcaklığı kontrol edilen kapalı bir ortama yerleştirilir. Ürün filminin dışındaki bağıl nem, isteğe göre değiştirilir. Kaplar uygun zaman aralıklarında tartılır ve su buharı geçiş hızı, kütle değişimi zaman aralığıyla doğru orantılı olduğunda, bu değişimden tayin edilir.

Referans yöntemde, kapalı ortamın sıcaklığı (23 ± 2)°C da ve bağıl nemi % (50 ± 5) de tutulur (Standart Eki B).

Üzerinde anlaşmayla, kaba bir nem çekicinin yerleşmesi ve sonra kabın kapalı ortama konulması dahil alternatif şartlara izin verir (Standart Eki C).

### **Deneyin Önemi**

Bu deney, basit cihazlar kullanarak tutarlı su buharı geçiş hızı değerleri elde etmeyi amaçlar, ancak bu sonuçların herhangi bir özel uygulama için kullanımı deneyime dayalıdır. Su buharı geçiş hızı, film kalınlığının, sıcaklığın veya bağıl nem farkının doğrusal bir fonksiyonu olması gerekmediğinden, belli bir şartlar grubu altında yapılan bir tayin diğer bir şartlar grubu altında yapılanla karşılaştırabilir olmayabilir. Bundan dolayı deney şartlarının mümkün olduğunca kullanım şartlarına yakın olarak seçilmesi gereklidir.

### **Gereken İlâve Bilgiler**

Verilen ilâve bilgilerin unsurları, uygun olduğunda, yöntemin uygulanabilmesi için verilmelidir. Gereken bilgiler üzerinde tercihan ilgili taraflar arasında anlaşmaya

varılmalıdır ve bu bilgiler kısmen veya tamamen denenen ürünle ilgili bir uluslar arası veya ulusal standarddan veya diğer bir dokümandan alınabilir.

- a) Deney parçalarının niteliği ve deney parçalarının hazırlanması için kullanılan yöntem.
- b) Deney parçalarının deneyden önce kurutma (veya fırınlama ) ve yaşlandırma (uygulanabilirse) süresi ve şartları
- c) Kuru kaplamanın mikrometre cinsinden kalınlığı ve ISO 2808'e göre ölçme yöntemi, kuru kaplamanın tek katlı veya çok katlı bir sistem olup olmadığı,
- d) Deney için kullanılan nem ve sıcaklık değerleri ( Ek B ve Ek C),
- e) Yüksek bağıl nemli atmosfere maruz kalmış deney parçasının yüzeyi.

### **Cihaz Ve Malzemeler**

**Kaplar**, deney şartlarında, korozyona dayanıklı tercihan camdan veya hafif metalden yapılmış. Bunlar, şekil bozukluğu olmaksızın elden geçirmeye dayanacak şekilde sağlam olmalıdır.

**Not :** Kimyasal veya anodik oksitle korunmuş, ISO 209-1'e uygun, Al 99,5 sınıfı alüminyum uygundur ve 1 mm kalınlığındaki alüminyumun tatminkâr olduğu tespit edilmiştir.

Deneye tâbi tutulan parçanın deney şartlarına maruz kalan tam yüzey alanı, kabın tasarımı ile belirlenir. Bu maruz kalan yüzeyin çapı 113 mm'den büyük (alan=100 cm<sup>2</sup>), 35,7 mm (alan=10 cm<sup>2</sup>) den küçük olmamalıdır. Bu alan en çok % 1' lik hata dahilinde bilinmelidir. Kap, kap ile deney parçası arasında etkili bir sızdırmazlık sağlanacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. En yaygın düzenleme, kaba, mekanik bir kısıkaçla dairesel bir kapak veya uygun sızdırmaz bir polimer malzemeden yapılmış sızdırmazlık contası içerebilen vidalı parça tutturulmasıdır. Alternatif olarak, sızdırmazlık sağlayıcı olarak erimiş mum kullanılabilir.

**Not :** Mekanik olan bir sızdırmazlık cihazının kullanılması genelde daha kolaydır. Deney parçası çok kırılansa veya sert bir yüzeye sahipse, bu durum uygun olmayabilir. Bu durumlarda, erimiş mumun kullanımı daha tatminkârdır. Ancak mumun doğru miktarda kullanıldığından emin olmak gerekir. Erimiş mumun ölçülen deney alanı üzerine yayılması, deney parçasının etkili alanını azaltacak hatalı sonuçlara gidilmesine sebep olacaktır.

Doğun çözelti ile doldurulmuş kabın tabanının yüzey alanı, deney şartlarına maruz kalan yüzey alanına benzer olmalıdır ve kabın içinde su buharının hareketini bozacak bir engel olmamalıdır. Kabın, deney parçası düzleminin altında kalan iç derinliği 15 mm'den az olmamalıdır. Her kap, açıkca tanımlanmalı ve kap sisteminin su buharı kaybı olmaksızın kapalı ortamdan çıkartılıp tartılmasına imkân verecek şekilde yeterince iyi kapatan bir kapağa sahip olmalıdır. Her kaba karşılık gelen kapak tanımlanmalıdır.

**Doymuş çözelti**, doymuş amonyum dihidrojen fosfat çözeltisi (analitik saflıkta), ISO 3696'da tanımlanan en az sınıf 3 saflığında su kullanılarak hazırlanan, % 93 bağıl nem oluşturmak için.

**Kapalı ortam**, deney için istenilen seviyedeki sıcaklık ve bağıl nemi kontrol edilebilen . Kontrol, kaplar tartılmak için çıkartıldığında, belirtilen şartlar kapalı ortamın kapağının kapatılmasından sonra en fazla 15 min süre içinde yeniden



oluşacak şekilde olmalıdır. Kapak mümkün olan en kısa süre ile açık kalmalıdır; bu durum, yüksek geçiş hızlarına sahip malzemeler olduğunda özellikle önemlidir.

**Not :** Eğer kontrol edilemeyecek kapalı bir ortam yoksa, belirtilen şartların sağlanması seçilmiş sulu çözeltilerle dengelemeyle mümkün olabilir. Bu işlemin esasları ISO 483 te verilmiştir.

**Not :** Belirtilen şartların sağlanması, kapların bir nem çekici madde veya seçilen sulu çözeltiyi içeren uygun bir kapalı kaba kapatılması ve bu kabın sıcaklığı kontrol edilebilen uygun bir odaya veya odacığa konulmasıyla mümkün olabilir.

**Terazi,** 50 cm<sup>2</sup> veya daha küçük alanlı kaplar için 0,1 mg doğrulukla veya 50 cm<sup>2</sup> den büyük alanlı kaplar için 1 mg doğrulukla tartım yapabilen.

**Kesme kalıbı,** Kap için uygun. Bu kalıp ortasından saplı olabilir.

### **Numune Alma**

Denenen ürünün (veya çok katlı bir sistem durumunda her bir ürünün) temsili bir numunesi, ISO 1512’de belirtilen şekilde alınır. Her numune, ISO 1513’de belirtilen şekilde incelenir ve deney için hazırlanır.

### **Deney Parçalarının Hazırlanması**

**Not :** Deney parçaları, her hangi bir taban malzeme ile desteklenmemiş maddenin filminden veya denenen sistemden oluşur.

Uygun bir taban malzemesi seçilir. Yüzey hataları olmayan ve kuru olduğunda denene ürünün kolayca ayrılabilirdiği yüksek yoğunluklu polietilenin uygun olduğu bulunmuştur.

**Not :** Diğer taban malzeme düzenlemeleri de kullanılabilir. (Ek A); örneğin, suya daldırma ile kaplamanın kolayca giderilmesine imkan veren polivinil alkol gibi çözünebilir madde ile taban malzemenin ön kaplanması. Suda çözünebilir madde filmin su-buharı geçiş hızını etkileyeceğinden dolayı bu en son yöntem dikkatli kullanılmalıdır. Taban malzeme belirtilen yöntem ile kaplanır ve belirtilen şartlar altında kurumaya bırakılır. (Fırınlama gerekirse, seçilen taban malzemenin kullanılan sıcaklıktan etkilenmemesini sağlamak için dikkat edilmelidir. Tersini belirtilmedikçe), numuneler ISO 3270 de belirtildiği gibi, standard atmosferde, deneyden en az 24 h önce şartlandırılır. Kaplama, dikkatlice taban malzemenin uzaklaştırılır. Daha fazla şartlandırma gerekiyorsa, bu durumda daha fazla anlaşmaya varılabilir. Her tayin için, tercihan kesme kalıbı kullanılarak, uygun büyüklükte en az üç deney parçası hazırlanır. Deney parçaları gözle incelenir. Üzerinde delik olanlar atılır.

### **İşlem**

#### **Kapların Hazırlanması**

Kaplar , yardımcı bağlantılarıyla birlikte temizlenir ve kurutulur. Her kap, yaklaşık olarak deney parçasının son konumunun 10 mm altına kadar doymuş çözeltiyle doldurulur. Deney parçası, belirtilen şekilde uygun yüzü ortam atmosferine maruz kalacak şekilde kaba yerleştir ve deney parçası ile kap arasında buhar sızdırmazlığı sağlanır.

**Not :** Kap düzenekleri tartım için kapalı ortamdan çıkarılırsa, bu düzenegin kendisine karşılık gelecek şekilde işaretlenmiş bir kapakla kapatılması gerekebilir.

#### **Tayin**

Kap düzenekleri terazide tartılır. Kap düzenekleri, deney şartlarında tutulan kapalı ortama konur.

Kap düzeneklerinin arka arkaya tartımları, uygun zaman aralıklarında aşağıdaki işleme göre yapılır:

Kap düzeneği kontrol edilen kapalı ortamdan çıkartılır. Bunlar ortam sıcaklığına ulaşmaya bırakılır. Düzenekler terazide (Madde 7.4) tartılır ve tekrar kapalı ortama konur. Tartım, kap düzenekleri yaklaşık olarak aynı sayıdaki küçük gruplar halinde alınarak gecikme olmaksızın yapılır. Herbir düzenek grubu, 30 min süreyi geçmeyecek şekilde aynı sürede çıkartılır, tartılır ve geriye konur. Tartımlar arasındaki süre tercihan 24 h, 48 h veya 96 h olmalıdır ancak yüksek geçiş hızlı filmler için daha kısa zaman aralıkları (örneğin 3 h, 4 h veya 8 h) gerekli olabilir. Bu husustaki seçim, denenen ürünün geçiş hızına bağlıdır : Arka arkaya yapılan iki tartım arasındaki kütle değişimi en az 5 mg olmalıdır. İkl tartımda kütlede çok fazla veya çok az değişim görülürse, bunu izleyen tartma zaman aralığı değiştirmelidir.

Seçilen atmosfer şartlarına maruz bırakılan birim zaman başına kütledeki değişim sabit kalıncaya kadar tartımlar sürdürülür.

### **Hesaplama Ve Sonuçların Gösterilmesi**

Deney sonuçları aşağıdaki metodlardan biri kullanılarak hesaplanır :

Her bir deney parçası için, kütledeki toplam değişim maruz bırakma zamanının bir fonksiyonu olarak grafikte gösterilir, sabit bir su buharı geçiş hızını gösteren üç veya dört noktanın düz bir çizgi üzerine gelmesi halinde deney tamamlanmış olur. Bu düz çizgi kullanılarak, her bir deney parçası için su buharı geçiş hızı (G), günde metrekaire başına gram olarak aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$G = \frac{240 \times m_1}{A}$$

Burada;

m<sub>1</sub> : Grafikten tayin edilen kap düzeneğindeki kütle değişim hızı, mg/h,

A : Deney parçasının deney yüzeyinin alanı ,cm<sup>2</sup>

dır.

Tartımlar eşit zaman aralıklarında yapılırsa, bu sonuçlardan her bir deney parçasının geçiş hızının geşitlik (1) aşağıdaki şekilde değiştirilerek, bir grafik çizmeden doğrudan hesaplanması mümkündür:

Deney numunesine ve tek bir yüzeye karşılık gelen 3 veya daha fazla deney parçası için; formül 1 veya formül 2'den elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması hesaplanabilir. Ortalamadan %10'dan daha fazla sapan sonuçlar atılır ve ortalama tekrar hesaplanır. İki veya daha fazla sonuç atılıyorsa tayin tekrarlanır. Ortalama su buharı geçiş hızı iki anlamlı rakam olarak verilir.

**Not :** Gerekiyorsa, su buharı geçirgenliği (T) [metre saniye paskal başına mol (mol.m-1.s-1.Pa-1) cinsinden ifade edilen] aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$T = \frac{m_1 \times d \times 1,54 \times 10^{-12}}{A \times \Delta P}$$

Burada;

$m_1$  : Grafikten tayin edilen kap düzeneğindeki kütle değişim hızı, mg/h,

$d$  : Deney parçasının kalınlığı,  $\mu\text{m}$ ,

$A$  : Deney parçasının deney yüzeyinin alanı,  $\text{cm}^2$ ,

$\Delta P$  : Çizelge 1'den alınan, 23 oC'daki, kaptaki su buharının kısmî basıncı ile havadaki su buharının kısmî basıncı arasındaki fark,

dır.

Kaptaki bağıl nem %	Basınç farkı Pa
$\leq 50$	1400
50- 93	1210

### **Kesinlik**

#### **Tekrarlanabilirlik**

Kısa zaman aralığında, aynı cihazlarla, aynı lâbaratuvarda, aynı kişi tarafından, özdeş numunelerle, referans yöntem (Ek B) kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen, herbir iki sonucun ortalaması ve iki deney sonucunun ortalaması olan iki deney sonucu arasındaki mutlak farkın %95 olasılıkla, %10'un altında olması beklenir.

#### **Uyarlık**

Farklı lâbaratuvarlarda farklı kişiler tarafından, özdeş numuneler üzerinde, referans yöntem kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen, herbir iki sonucun ortalaması ve iki deney sonucunun ortalaması olan iki deney sonucu arasındaki mutlak farkın % 95 olasılıkla, %15'in altında olması beklenir (Ek B).

### **Deney Raporu**

Deney raporu en az aşağıda bilgileri içermelidir :

- Denenen ürünü tanıtmak için gerekli bütün ayrıntılar
- Bu standardın işaret ve numarası(TS EN ISO 7783-1 şeklinde)
- Ek A'da atıf yapılan, kaplama kalınlığını kapsayan ilâve bilgilerin unsurları,
- Yukarıda, c) de atıf yapılan bilgileri sağlayan uluslararası veya bir millî standarda, ürün özelliğine veya diğer dokümana atıf,
- Deney parçasının hangi yüzünün daha yüksek bağıl neme maruz bırakıldığı ve nem çekici maddenin (kullanılırsa) tipi dahil deney şartları (Ek B),
- Deney parçasını sabitleme yöntemi ve muhlama (kullanılırsa) kalıbının büyüklüğü,
- Madde 11.1'de belirtilen şekilde deneyin sonuçları,
- Geçerli sonuçlar grubunun aritmetik ortalaması,

- i) Belirtilen deney yönteminden olabilecek herhangi bir sapma,  
j) Deneyin yapılış tarihi.

## **EK – B**

### **Deney Şartları**

#### **Genel**

Su buharı geçişi, yüksek nem şartları altında önemlidir. Bundan dolayı, ıslak kap işlemi referans yöntem olarak kabul edilmiştir. Anlaşmayla, diğer işlemler ve şartlar kabul edilebilir.

#### **Sıcaklık**

Deney normal olarak (  $23 \pm 2$  ) oC’da yapılır. Üzerinde anlaşılarak bu sıcaklıktan yapılan herhangi bir sapma, ISO 3270 için hükümlerini dikkate almalı ve deney raporunda açıkça belirtilmelidir.

#### **Nem**

Referans yöntem, doymuş çözelti (Madde 7.2) vasıtasıyla kabın dışındaki şartların  $\%(50 \pm 5)$  lik bağıl nemde ve kabın içindeki şartların % 93 bağıl nemde tutulmasını gerektirir. Anlaşmayla diğer şartlar kabul edilebilir (bununla birlikte Madde 5’e bakınız), ancak bu durum deney raporunda açıkça belirtilmelidir.

## **Ek – C**

### **Kuru Kap İşlemi**

Kurutucu maddenin, kabın içine konduğu ve dış atmosferin istenen bağıl nemde tutulduğu düzenleme bazen tercih edilir. Bu düzenleme, düşük bağıl nem şartları altında su buharı geçişi tayinlerinin yapılması için en uygun durumdur. Anlaşmayla bu işleme izin verilir, ancak bu işlemin kullanımı deney raporunda açıkça belirtilmelidir. Kurutucu madde ya 4 mm elekten geçen, ancak 1,6 mm elek üzerinde alıkonan granül şeklindeki kuru silikajel veya 200°C’ da kurutulmuş susuz kalsiyum klorür olmalıdır. Deney, kurutucu maddenin verimliliği belirgin bir şekilde azalmadan önce tamamlanmalıdır. (Uygulamada, kurutucu maddenin kütlesindeki toplam artışın, 25 cm<sup>2</sup>’lik alana sahip deney parçaları için 1,6 gramı aşması beklenmez.)

## EK (TS-EN 1931) ESNEK LEVHALAR – SU SIZDIRMAZLIĞI İÇİN – ÇATI SU SIZDIRMAZLIĞI İÇİN BİTÜM, PLASTİK, VE LASTİK LEVHALAR – SU BUHARI GEÇİRGENLİK ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ

Bu standard, su sızdırmazlığı için esnek levhaların su buharı geçirgenlik özelliklerinin tayini için CEN/TC 254 tarafından hazırlanmıştır. Bu standard, çatı kaplaması uygulamaları için hazırlanmıştır, fakat ilgili diğer alanlarda da kullanılabilir. Bu standard, esnek levhaların su sızdırmazlığı özelliklerinin, kullanımdan önce veya imalât esnasında belirlenmesinde kullanılır. Bu standard, sadece mamullerle ilgili olup, iş yerlerinde döşemesi yapılan ve bu tür mamullerden oluşan su sızdırmayan membran sistemleriyle ilgili değildir. Bu standard, su buharı geçirgenlik özelliklerinin tayini için ve su sızdırmayan levhaların, su buharı akış hızı yoğunluğu (g) ve su buharına dayanım faktörünün ( $\mu$ ) hesaplanması için bir metodu kapsar. Bu standard, fabrikada imal edilen çatı su sızdırmazlığı için bitüm, plâstik ve lâstik levhalara uygulanır.

### Tarifler

Bu standardın amacı bakımından aşağıda verilen tarifler uygulanır.

**Su buharı akış hızı yoğunluğu:** Belirtilen sıcaklık ve rutubet şartlarında, belirli kalınlıktaki bir levhanın birim alanından, birim zamanda geçen su buharının kütlesi. Geçen su buharı miktarı aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır:

$$g = \frac{\Delta m}{A \times \Delta t}$$

Burada,  $A$ , deney numunesinin kalan m<sup>2</sup> cinsinden maruz alanı ve  $\Delta t$ , deney sisteminin iki tartımı arasında geçen saniye cinsinden süredir.

**Su buharı geçişi:** Miktarı aşağıda verilen eşitlikle belirlenir:

$$w_p = \frac{g}{(p_1 - p_2)}$$

Burada,  $p_1$  ve  $p_2$ , deney esnasında numunenin iki yüzündeki kısmi buhar basıncıdır

**Su buharı geçirgenliği:** Miktarı aşağıda verilen eşitlikle belirlenir:

$$\delta_p = w_p \times d$$

Burada,  $d$ , deney numunesinin m cinsinden kalınlığıdır.

**Su buharına dayanım faktörü:** Miktarı aşağıda verilen eşitlikle belirlenir:

$$\mu = \frac{\lambda_{ma}}{\delta_p}$$

Burada,  $\lambda_{ma}$ , havadaki su buharının iletkenliğidir.

Sembol	Birim
g	kg/(m <sup>2</sup> .s)
$w_p$	kg/(m <sup>2</sup> .s.Pa)
$\delta_p$	kg/(m.s.Pa)
$\lambda_{ma}$	kg/(m.s.Pa)
$s_d$	m

**Difüzenen su buharına eş değer hava tabakası kalınlığı:** Miktarı aşağıda verilen eşitlikle belirlenir:

$s_d = \mu \times d$  Burada, d, deney numunesinin m cinsinden kalınlığıdır.

### Prensip

Deney numunesi, kurutucu ihtiva eden bir deney kabının açık kısmına sızdırmaz bir şekilde yerleştirilir. Daha sonra deney sistemi, sıcaklığı ve rutubeti kontrol edilebilen bir ortama yerleştirilir. Söz konusu süre içinde kütle artışı doğrusal ise, deney numunesinden kurutucu madde içine olan su buharı akış hızı miktarını hesaplamak için deney sistemi periyodik olarak tartılır. Bitüm, plâstik veya lâstik levhaların yapısından dolayı, bu standartta verilen deneysel işlemler aşağıda verilen iki metottan oluşur:

**Metot A: Bitümlü levhalar için deneysel işlemler.**

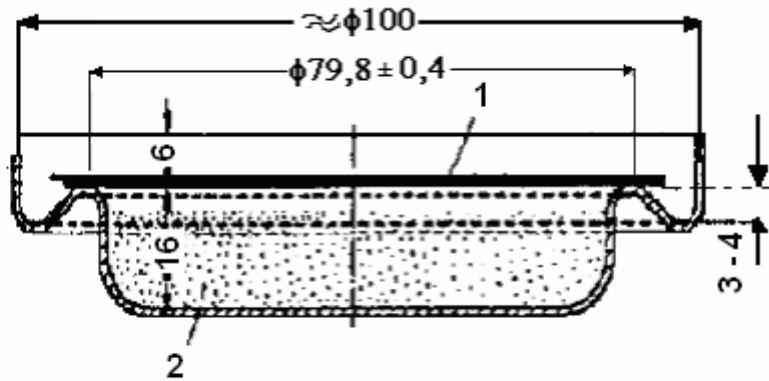
**Metot B: Plâstik veya lâstik levhalar için deneysel işlemler.**

Bu standardın teknik muhtevası, ilgili olduğu yerlerde bu bölümlere uygun olarak adapte edilmiştir (meselâ deney numunelerinin hazırlanması maddesi).

### Cihazlar

#### **Kaplar (absorpsiyon ortamı)**

1 mm kalınlığında, saf alüminyumdan soğuk şekillendirilmiş kaplar kullanılır. Bu kabın boş alanı en az 0,005 m<sup>2</sup> olmalı ve deney numunesinin yerleştirildiği kabın ve kurutucunun kütlesi, tartımda kullanılacak analitik terazinin (0,1 mg doğrulukla tartım yapabilen) kapasitesini geçmemelidir. Bir deney kabı, Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



#### **Açıklama:**

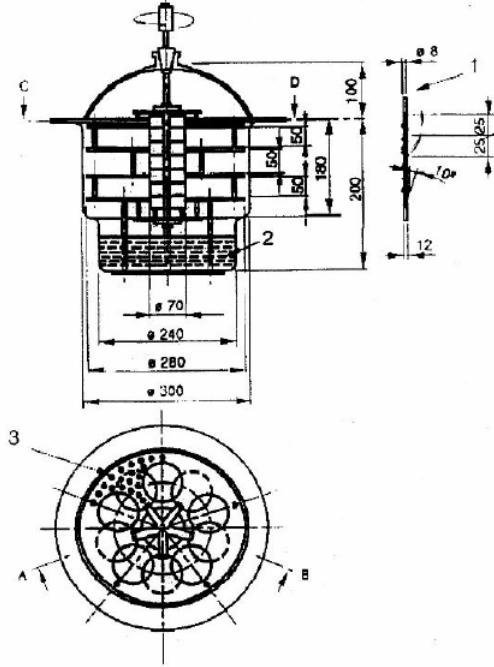
- 1 Deney numunesi
- 2 Kurutucu

**Mekanik kalınlık ölçer:** Deney numunesinin kalınlığını (d) 0,05 mm doğrulukla ölçebilen.

**Analitik terazi:** Deney numunesi ve kabı (Madde 5.1) ± 0,1 mg doğrulukta tartım yapabilecek kapasitede.

**Sabit sıcaklık, sabit rutubet kabini:** (23 ± 1) °C sıcaklık ve % (75 ± 2) bağıl nem sağlayabilecek kapasitede olan.

Alternatif olarak, aşırı miktarda katı sodyum klorür ihtiva eden 23 °C sıcaklıkta doymun sodyum klorür çözeltisi içeren bir desikatörle birlikte (23 ± 1) °C sıcaklıkta oda veya kabin kullanılabilir. Deney numunesinin üst yüzeyindeki bağıl nem, deney esnasında sabit tutulmalıdır. Buharlaştırmanın yapıldığı ortamda, 0,02 m/s ilâ 0,03 m/s'lik bir hava akımı bir fan vasıtasıyla sağlanmalıdır.



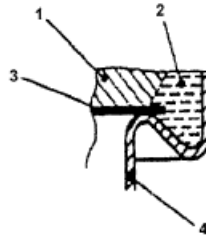
Açıklama:

- 1 Pervane ve kanatlarının yandan görünüşü
- 2 Tabanında katı ihtiva eden doymun tuz çözeltisi
- 3 Her plâka için 8 mm çapında 125 delik

**Desikatör:** Deney numunesini koymak için

**Kurutucu:** Susuz kalsiyum klorür, yaklaşık 5 mm parçacık çapına sahip ve içerisinde 600 µm göz açıklığına sahip elekten geçebilecek toz ihtiva etmeyen. Kabin içindeki atmosferin bağıl rutubeti %1'i aşmamalıdır. Deney esnasında kurutucudaki kütle artışı, her 25 cm<sup>3</sup>'lük hacim başına 1,5 gramdan daha fazla olmamalıdır.

**Sızdırmazlık elemanı:** Kap ile deney numunesi arasında (absorpsiyon ortamında) su buharı sızdırmazlığı sağlayan sızdırmazlık malzemesi. Sızdırmazlık malzemelerine örnek olarak; butil veya poliizobutilen tipi ekstrude contalar veya EN 12591'e uygun 35/50 bitümler kullanılabilir.



Açıklama:

- 1 İç şablon
- 2 Sızdırmazlık malzemesi
- 3 Deney numunesi
- 4 Şekil 1'e uygun kap

**Şablon veya halka şeklinde eleman:** Sızdırmazlık işlemi için yardımcı eleman.

Sadece sızdırmazlık işlemi esnasında kullanılacaksa, dış çap= (79,8 ± 0,4) mm

Sadece deney esnasında kullanılacaksa, iç çap= (79,8 ± 0,4) mm

**Barometre:** Basıncı ± 1 hPa doğrulukta ölçebilecek kapasitede olan.

### **Numune alma**

Deney numuneleri, prEN 13416'ya uygun olarak alınmalıdır.

### **Deney numunelerinin hazırlanması**

#### **Numune alma işlemi**

Deney parçaları, levhaların genişliği boyunca düzgün bir şekilde kenarlardan 100 mm içeride olacak şekilde alınmalıdır.

#### **Deney parçalarının sayısı**

En az 3 adet deney parçası ile 1 adet referans deney parçası alınmalıdır.

#### **Deney parçalarının boyutları**

Daire şeklindeki deney parçalarının boyutları, kullanılan kabın boyutlarına ( $d \approx 90$  mm) uygun olmalıdır. Deney parçasının belirtilen serbest yüzeyi  $0,005 \text{ mm}^2$  olmalı, bu da  $d = 79,8 \text{ mm}$ 'ye eş değerdir.

#### **Deney parçalarının şartlandırılması**

**Metot A**Deney numuneleri, ilk tartma işleminden önce,  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta ve % 75 bağıl nemde en az 90 gün, deney kabına yerleştirilmiş olarak bekletilir.

**Metot B**Deney numunesi, deney kabına yerleştirildikten sonra  $0,1 \text{ mg}$  doğrulukla deney kabıyla birlikte kütlesi tartılır ve deney kabında  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık ve % 75 bağıl nemde muhafaza edilir.

### **Deneyin yapılışı**

#### **Deney şartları**

İklimlendirme odası veya buhar alanı: ( $23 \pm 1$ )  $^\circ\text{C}$  sıcaklık ve % ( $75 \pm 2$ ) bağıl nem

Konveksiyon :  $0,02 \text{ m/s}$  ilâ  $0,3 \text{ m/s}$

Kabın kapalı absorpsiyon alanı : ( $23 \pm 1$ )  $^\circ\text{C}$  sıcaklık ve % ( $75 \pm 2$ ) bağıl nem

#### **İşlem**

Kabın tabanına (Madde 5.1) yaklaşık 12 mm kalınlığında olacak şekilde kurutucu (Madde 5.6) konur. Deney numunesi ile kurutucu arasında 3 mm ile 4 mm arasında olacak şekilde bir boşluk kalmalıdır. Kap ile deney numunesi sızdırmaz hale getirilir ve  $0,1 \text{ mg}$  doğrulukla hazırlanan deney sisteminin kütlesi tartılır. Hazırlanan kap; ( $23 \pm 1$ )  $^\circ\text{C}$  sıcaklık ve % ( $75 \pm 2$ ) bağıl rutubet şartlarında sabit sıcaklık ve sabit rutubet kabine yerleştirilir. Alternatif olarak deney kabı, sodyum klorür çözeltisi ihtiva eden bir desikatöre yerleştirilir ve bu desikatör ( $23 \pm 1$ )  $^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki bir kabine veya odaya konur. Referans deney numunesi olarak alınan numune, kurutucusu olmayan deney kabına yerleştirilerek sızdırmaz hale getirilir ve deney numunelerine uygulanan işlemler aynen tekrarlanır. Su buharı akış hızı, yoğunluğu



tahminen  $1,1574 \times 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m}^2.\text{s})$ 'den küçük olan su sızdırmaz levhalar için, bir haftalık aralıklarla kap hızlı bir şekilde iklimlendirme kabininden (Madde 5.4) çıkarılarak oda sıcaklığındaki desikatöre konulur ve  $(30 \pm 10)$  dakika süreyle bekletilir. Kap daha sonra 0,1 mg doğrulukla tartılır. Tartımdan sonra kurutucu maddenin karışmasını sağlamak için kap çalkalanır. Daha sonra tekrar iklimlendirme kabine konur.

**Not** – Şartlandırma işlemi ve deneyin yapıldığı oda, sabit sıcaklık ve rutubetteki oda ile aynı ise, kabin desikatöre yerleştirilmesine gerek yoktur.

Başlangıçtaki tartım hariç olmak üzere, ardı ardına dört değer elde edildikten sonra deney sonlandırılır ve hafta olarak zamana karşı, kütle değeri grafiğe geçirilir. En fazla % 5'lik sapma ile düz bir doğru elde edilmelidir. Barometre basıncındaki değişmeden dolayı, havanın kaldırma etkisi sebebiyle kap, “bir hava yastığı” gibi davranabilir. Özellikle su buharı akış hızı yoğunluğu düşük [ $g = 5,7870 \times 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2.\text{s})$ 'den daha düşük] olan malzemeler için aynı barometre basınca sahip ( $\pm 5 \text{ hPa}$ ) günlerde tartım alınması gereklidir. Bu, günler arasındaki basınç değişiminin büyük olmasından kaynaklanan havanın kaldırma etkisinin dikkate alınması için en iyi yoldur.

### **Sonuçların gösterilmesi ve deney metodunun kesinliği**

#### **Sonuçların gösterilmesi**

Her bir deney numunesi için, su buharı akış hızı yoğunluğu, referans numune dikkate alınarak aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır:

$$g = \frac{\Delta m_{21}}{A \times \Delta t}$$

Burada;

$\Delta m_{21}$  : Grafik doğrusunun dönüm noktasından hesaplanan kütle değişim hızı, kg,

$$\Delta m_{21} = (m_2 - m_1) - (m_{R2} - m_{R1})$$

Burada;

$m_2, m_1$  : deney sisteminin kütlesi, kg

$m_{R2}, m_{R1}$  : Referans deney sisteminin kütlesi, kg,

$A$  : Deney numunesinin maruz kalan alanı,  $\text{m}^2$ ,

$\Delta t$  : Deney numunesinin kütlesinin iki tartımı arasında geçen süre, s

dir.

Su buharı akış hızı yoğunluğunun ( $g$ ) ortalama değeri ve standard sapması, 3 adet deney numunesinden hesaplanmalıdır.

Su buharına dayanım faktörü ( $\mu$ ) aşağıda verilen eşitlikten hesaplanır:

$$\mu = \frac{1}{d} \left( \lambda_{m\alpha} \frac{(\rho_1 - \rho_2) - S_a}{g} \right)$$

Burada;

$d$  : Deney parçası kalınlığının ortalama değeri, m,

$g$  : Yukarıda hesaplandığı gibi, su buharı akış hızı yoğunluğunun ortalama değeri,  $\text{kg}/(\text{m}^2.\text{s})$ ,

$\lambda_{ma}$  : Sıcaklığa ve basınca bağlı olarak değişen, havanın su buharı iletimi olup, aşağıda verilen eşitlikten

hesaplanır:

$$\lambda_{ma} = \frac{0,083}{R_D \times T} \times \frac{p_0}{p} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,81}$$

Burada;

$R_D$  : Su buharının gaz sabiti;  $462 \text{ Nm}/(\text{kg.K})$ ,

$T$  : Deney sıcaklığı,  $\text{K}$ ,

$p$  : İklim ve yöreye bağlı olarak değişen, deney esnasındaki ortalama barometre basıncı,  $\text{hPa}$

$p_0$  : Standard barometre basıncı:  $1013,25 \text{ hPa}$ ,

$p_1, p_2$  : Deney numunesi yüzeylerindeki su basıncı,  $\text{Pa}$

$S_a$  : Difüzyon kabındaki, deney numunesinin altında kalan hava tabakasının ortalama kalınlığı,  $\text{m}$  (Su buharı difüzyonu eş değeri hava tabakası kalınlığı,  $S_d > 1,0 \text{ m}$  ise,  $S_a$ 'nın dikkate alınmasına gerek yoktur).

dır.

### Basitleştirilmiş hesaplama işlemi

Esnek levhaların su buharı geçirgenliği için,  $S_a$  dikkate alınmaz, bu nedenle  $\mu$ 'nün basitleştirilmiş şekli aşağıda verildiği gibidir:

$$\mu = \lambda_{ma} \frac{(p_1 - p_2)}{g \times d}$$

ile yukarıda tarif edildiği gibi

$$g = \frac{\Delta m_{21}}{A \times \Delta t}$$

Basitleştirilmiş eşitliğe göre, su buharına dayanım faktörünün ( $\mu$ ) basit hesaplanmasında, bütün sabit değerler,  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık için  $1,97762 \times 10^{-7}$  sabit değerinde birleştirilir.

$$\lambda_{ma} = \frac{0,083}{R_D \times T} \times \frac{p_0}{p} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,81} \quad \text{eşitliği basitleştirilerek} \quad \lambda_{ma} = \frac{1,97762 \times 10^{-7}}{p} \quad \text{şeklini alır.}$$

% 75 bağıl rutubet deney şartlarında su buharı basınç farkı,  $\Delta p = 2107 \text{ Pa}$ 'dır. Bu, basınç farkı ve su buharına dayanım faktörü ( $\mu$ ), ortalama barometre basıncı ( $p$ ) ve su buharı akış hızı yoğunluğu ( $g$ ) tayin edilerek, aşağıda verilen eşitlikten kolayca hesaplanır:

$$\mu = \frac{1,97762 \times 10^{-7}}{p} \times \frac{2107}{g \times d}$$

Bu eşitlikte basitleştirilerek,

$$\mu = \frac{4,1668 \times 10^{-4}}{\rho \times g \times d}$$

şeklini alır.

### **Deney metodunun kesinliği**

Ölçme işlemleri esnasında, kurutucu tarafından alınan toplam nem, her 25 cm<sup>3</sup>'lük hacim başına 1,5 gramı aşmayabilir. Bu standardda verilen deney işlemi, en az  $g=1,1574 \times 10^{-8}$  kg/(m<sup>2</sup>.s) su buharı akış hızı yoğunluğu (g) için yaygın bir şekilde uygulanır. Deney şartları uygun olarak seçilmişse (meselâ, barometre basınç düzeltilmesi, deney süresinin uzunluğu, sabit iklim şartları), bu deney işlemlerinde,  $g=5,7870 \times 10^{-9}$  kg/(m<sup>2</sup>.s) değeri halâ uygulanabilir.

### **Deney raporu**

Deney raporunda en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

- a) Deneye tâbi tutulan mamulün tam bir tanımını için gerekli bütün ayrıntılar,
- b) Bu standardın (TS EN 1931) numarası ve bu standarddan herhangi bir sapma olup olmadığı;
- c) Alınan deney numunesi hakkında bilgi,
- d) Deney parçalarının hazırlanmasıyla ilgili ayrıntılar,
- e) Uygulanan deney metodu (Metot A veya Metot B) ve bu metotlardan herhangi bir sapma olup olmadığı,
- f) Sonuçların alınması ve deney metodunun kesinliğine göre;
  - Deney numunesinin gerçek kalınlığı,
  - Her bir deney numunesinin su buharı akış hızının (g) deney sonuçları, ortalama değer ve standard sapması
  - Su buharına dayanım faktörü,  $\mu$ ,
- g) Deney tarihi.

## **EK (TS 1971 ISO 1663) GÖZENEKLİ PLASTİKLER – SERT MALZEMELERİN SU BUHARI GEÇİRGENLİK HIZININ TAYİNİ**

Bu standard, sert gözenekli plâstiklerin su buharı geçirgenlik hızının, su buharı geçirme oranının ve su buharı geçirgenliğinin tayinini kapsar. Bu standard, 3 mm - 80 mm kalınlıkta ve malzemenin aslı bir parçası olarak doğal kabuk veya bazı farklı malzemelerden yapıştırılmış tabaka ihtiva eden sert gözenekli malzemelere uygulanır. Bu standardda verilen metotla elde edilen sonuçlar tasarım amaçları, mamul kontrolü ve mamulün verilen özelliklere uygun olup olmadığını tayini için uygundur.

### **Tarifler**

Bu standardda yer alan terimlerin tarifleri aşağıda verilmiştir.

#### **Su Buharı Geçirgenlik Hızı**

Su buharı geçirgenlik hızı, (water vapour transmission rate) belirli sıcaklık ve nem şartlarında belirli kalınlıktaki malzemenin birim alanından birim zamanda geçen su buharının miktarıdır. Su buharı geçirgenlik hızı  $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$  olarak ifade edilir.

#### **Su Buharı Geçirme Oranı (Water Vapour Permeance)**

Su buharı geçirme oranı, malzemenin su buharı geçirgenlik hızının deney parçasının her iki yüzü arasındaki buhar basıncı farkına oranıdır. Su buharı geçirme oranı,  $\text{ng}/\text{Pa}.\text{m}^2.\text{s}$  olarak ifade edilir.

#### **Su Buharı Geçirgenliği (Water Vapour Permeability)**

Homojen bir malzemenin su buharı geçirgenliği, malzemenin bir özelliğidir. Su buharı geçirgenliği birim kalınlık için deney parçasının yüzeyleri arasındaki birim buhar basıncı farkı başına birim alandaki malzemenin içinden geçen su buharının miktarıdır. Su buharı geçirgenliği,  $\text{ng}/\text{Pa}.\text{s}.\text{m}$  olarak ifade edilir.

### **Prensip**

Deney parçası, içinde kurutucu bulunan bir beherin ağzına hava geçirmeyecek şekilde sıkıca kapatılır. Deney tertibatı kontrol edilebilen belli sıcaklık ve nem şartlarındaki ortama yerleştirilir. Deney parçası içinden geçen ve nem tutucu tarafından absorplanan su buharı deney tertibatının periyodik tartımlarıyla bulunur.

### **Cihaz Ve Malzemeler**

#### **Beher Veya Kapsül**

Beher veya kapsül, en az 250 ml kapasiteli, korozyona dayanıklı ve su geçirmez olmalıdır.

#### **Ölçme Cihazı**

Ölçme cihazı, TS 1856 EN ISO 1923.de verilen özelliklere uygun olmalıdır.

#### **Dairesel Metal Kalıp**

Dairesel metal kalıp, alanı kullanılan deney parçasının alanına 0,1  $\text{cm}^2$  doğrulukla eşit olacak büyüklükte olmalıdır.

#### **Metal Veya Porselen Kapsül**

Metal veya porselen kapsül, sızdırmazlık sağlayan maddeleri eritmek için kullanılmalıdır.

### **Terazi**

Terazi, deney parçasını ve deney parçasının konulduğu beher veya kapsülü 1 mg doğrulukla tartmaya uygun olmalıdır.

### **Ekipman**

Ekipman, sabit sıcaklık ve nem temin etmek için kullanılır.

Sabit sıcaklık, sabit nem hücresi veya odası, gerekli olan bağıl nemi  $\pm$  % 2 doğrulukla ve ortam sıcaklığını  $\pm$  1°C doğrulukla sabit tutabilen.

Alternatif olarak;

Desikatör, ortamın bağıl nemini temin etmek amacıyla kullanılır. Desikatör, deney parçasının da içinde bulunduğu en az 5 adet beher konabilecek büyüklükte olmalı ve sabit sıcaklık hücresine yerleştirilebilmelidir. Desikatör seçiminde TS 721 ISO 483 standardı referans alınabilir. Desikatör içinde kullanılacak çözelti aşağıda verilenlerden birisi olabilir:

- Sıcaklığı 38°C bağıl nemi % 0 - % 88,5 olan deney şartları için: Potasyum nitrat çözeltisi, 38°C sıcaklıkta çözünmemiş katı potasyum nitrat ihtiva eden doymuş çözelti.
- Sıcaklığı 23°C ve bağıl nemi % 0 - % 85 olan deney şartları için: Potasyum klorür çözeltisi, 23°C sıcaklıkta çözünmemiş katı potasyum klorür ihtiva eden doymuş çözelti.
- Sıcaklığı 23°C ve bağıl nemi % 0 - % 50 olan deney şartları için: Sodyum dikromat dihidrat çözeltisi, 23°C sıcaklıkta çözünmemiş sodyum dikromat dihidrat ihtiva eden doymuş çözelti.

### **Desikatör**

Desikatör, susuz kalsiyum klorür ihtiva eden ve deney parçalarının kolayca yer değiştirmesine imkân sağlamak amacıyla 5 adet beher veya kapsülün yerleştirilebileceği yeterli büyüklükte olmalıdır.

**Not :** Deneyler ve tartımlar, sıcaklık ve bağıl nemi istenilen değerde sabit tutulabilen bir odada yapıldığı zaman desikatöre gerek yoktur.

### **Sızdırmazlık Malzemeleri**

Sızdırmazlık malzemeleri, deney şartlarından etkilenmemelidir. Aşağıda verilen maddeler sızdırmazlık malzemeleri olarak kullanılabilirler:

- % 90 mikrokristaller halinde mum ve % 10 plâstikleştirici karışım, meselâ, düşük molekül kütleli poliizobutilen,
- % 60 mikrokristaller halinde mum, % 10 tekrar kristallendirilmiş parafin mumu.

### **Kalsiyum Klorür**

Susuz, parçacık çapı yaklaşık 5 mm olmalı ve anma göz açıklığı 600 µm olan elekten geçen (No.30) küçük parçacıkları ihtivâ etmemelidir.

### **Numune**

Deney numunesi bütün bir partiyi tam olarak temsil etmelidir. Numune, malzemenin aslı bir parçası olarak doğal kabuk veya bazı farklı malzemelerden yüzey kaplaması ihtiva edebilir.

### **Deney Parçaları**

#### **Boyutlar**

Her bir deney parçası silindir şeklinde ve kullanılan beher veya kapsülün (Madde 5.1) ağzını sıkıca kapatacak büyüklükte olmalıdır. Deney parçasının kalınlığı 3 mm.den az, 80 mm.den fazla olmamalı ve deneye tâbi tutulan kısmın alanı en az 32,0 cm<sup>2</sup> olmalıdır. Deney parçasının kenarında, deney parçasının behere yerleştirilmesi sırasında içeride bulunan havanın uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak amacıyla bir delik açılmalıdır.

#### **Deney Parçası Sayısı**

En az 5 adet deney parçası alınır ve deneye tâbi tutulur. Deneye tâbi tutulan malzemenin anizotropik olduğu tahmin ediliyor ise kullanımının söz konusu olduğu şekli göz önüne alınarak deney parçaları, paralel yüzeyleri buhar akışına dik olacak şekilde kesilmelidir. Malzeme doğal kabuk veya her iki yüzü farklı yapışkan yüzey kaplaması ihtivâ ediyorsa deney parçası, buhar akış yönü ürünün kullanıldığı durumdaki yönü ile aynı olacak şekilde deney tâbi tutulmalıdır. Malzemenin kullanılma yönünün hangisi olduğu bilinmiyorsa, deney parçaları üzerinde buhar akış yönü kullanım yönü ile aynı ve zıt olacak şekilde ayrı ayrı iki paralel deney yapılır.

#### **Kondisyonlama**

Deney parçaları TS 720 EN ISO 291.de verilen şartlardan birinde kondisyonlanır.

### **Deney Şartları**

Deney parçaları aşağıda verilen deney şartlarından birinde deneye tâbi tutulur.

- a) 38°C sıcaklık ve % 0 - % 88,5 bağıl nem,
- b) 23°C sıcaklık ve % 0 - % 85 bağıl nem,
- c) 23°C sıcaklık ve % 0 - % 50 bağıl nem.

Yukarıda verilen deney şartlarının her birinde elde edilen deney sonuçları birbirinden farklı olduğu için malzemenin kullanıldığı atmosfer şartlarına en yakın olanı deney atmosferi olarak seçilmelidir. Su buharı geçirgenlik hızı ve su buharı geçirme oranı değerleri deneye tâbi tutulan deney parçasının kalınlığına bağlı olduğundan deney parçası kalınlığı deney raporunda belirtilmelidir. Homojen malzemelerde su buharı geçirgenlik hızı ve su buharı geçirme oranı deney parçasının kalınlığından bağımsızdır ve malzemenin bir özelliği olarak su buharı geçirgenliğinin hesaplanması mümkün olur.

**Not :** Açık hücreli plâstikler deneye tâbi tutulduğu zaman kalsiyum klorür çok çabuk doygunluğa ulaştığı için 3000 µg/m<sup>2</sup>s üzerindeki sonuçlar geçerli değildir.

### **İşlem**

Deney parçasının kalınlığı birbirine eşit uzaklıktaki 4 ayrı noktadan 0,1 mm doğrulukla ölçülür ve ortalaması alınır. Beher veya kapsülün (Şekil 1) dibine yaklaşık 20 mm kalınlıkta susuz kalsiyum klorür tabakası konulur.

**Not :** Bazı durumlarda nem tutucu maddeyi deney parçasına daha yakın tutabilmek amacıyla beher veya kapsülün dibine kapalı hücre gözenekli plâstik gibi kuru malzemeden yapılan bir destek konulması tavsiye edilir.

Deney parçası beher veya kapsülün içine yerleştirilir. Metal kalıp deney parçasının üst yüzeyinin tam ortasına yerleştirilir. Deney parçası ile beher veya kapsül çeperi arasında sızdırmazlık sağlamak ve deney parçasının üst yüzeyinde uygun bir açık alan bırakmak üzere deney parçası ile beher arasında sızdırmazlık malzemelerinden birisiyle tamamiyle kapatılır. Sızdırmazlık sağlandıktan sonra metal kapak dikkatli bir şekilde çıkarılır. Şekil 1, deney parçasının beher içine yerleştirilmesini göstermektedir. İçerisine uygun bir şekilde deney parçası yerleştirilmiş en az 5 adet beher 1 mg doğrulukla tartılır. Her bir beher sabit sıcaklık ve nem hücresi veya gerekli deney şartlarında tutulan odaya veya içinde tavsiye edilen çözeltiler bulunan desikatöre yerleştirildikten sonra bu desikatör sabit sıcaklık hücresine ( $38^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) veya deney sıcaklığında ( $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) tutulan odaya yerleştirilir. Yaklaşık 24 saat aralıklarla beher veya kapsül hücreden veya odadan veya desikatörden alınır ve ( $30 \pm 1$ ) dakika süreyle oda sıcaklığındaki ayrı bir desikatör içinde bekletilir, sonra her bir beher veya kapsül 1 mg doğrulukla tartılır. Tartma işleminden sonra içindeki kurutucunun karışmasını sağlamak amacıyla beher veya kapsül çalkalanır, deney parçaları hücre veya odaya veya sabit sıcaklıkta tutulan desikatöre konur.

**Not :** Deney ve tartımlar aynı sabit sıcaklık ve nem odasında yapıldığı takdirde beherin, nakletme desikatörüne konulması gerekli değildir.

Elde edilen kütle değerleri zamana karşı grafiğe geçirilir ve başlangıç tartım hariç üç ardışık tartım sonucu düz bir doğru üzerine düştüğü zaman deneye son verilir.

### **Sonuçların Gösterilmesi**

#### **Su Buharı Geçirgenlik Hızı (Wvt)**

Su buharı geçirgenlik hızı aşağıda verilen eşitlikle ifade edilir:

$$WVT = 11,57 \times \frac{\Delta m}{A} \times 10^4$$

Burada:

WVT : Su buharı geçirgenlik hızı,  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ,

$\Delta m$  : 24 saat içinde beher ve muhtevasının grafikten elde edilen kütle artışı, g,

A : Deney parçasının, sızdırmazlık maddesinin sürüldüğü kısmın dışında kalan bölgenin  $0,1 \text{ cm}^2$  doğrulukla ölçülen alanı,  $\text{cm}^2$ ,

11,57 :  $\text{g}/\text{m}^2$  24 saat biriminden  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$  birimine dönüşüm faktörü,

104 :  $\text{cm}^2$  biriminden  $\text{m}^2$  birimine dönüşüm faktörü.

Dür.

Su buharı geçirgenlik hızı  $3000 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ .den daha yüksek olan numuneler için sonuç  $.3000 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ .den daha büyüktür. olarak ifade edilir.

#### **Su Buharı Geçirme Oranı**

Su buharı geçirme oranı aşağıda verilen eşitlikle ifade edilir.

$$\frac{WVT}{\Delta P} = \frac{WVT}{S (R_1 - R_2)}$$

Burada:

WVT : Su buharı geçirgenlik hızı,  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ,

$\Delta P$  : Deney parçasının iki yüzü arasındaki buhar basıncı farkı, kPa,

S : Deney sıcaklığında doymuş buhar basıncı, kPa,

R1 : Deney hücresi veya odasının bağıl nemi, %,

R2 : Beher veya kapsülün bağıl nemi, %,

dir.

$$1 \text{ g}/\text{m}^2 \text{ 24h} = 11,57 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$$

$$1 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s} = 0,0864 \text{ g}/\text{m}^2 \text{ 24h}$$

**Not :** Madde 8a.da verilen  $38^\circ\text{C}$  sıcaklık ve % 88,5 bağıl nem için,

$$\Delta p = S (R_1 - R_2) = 551 \text{ kPa}$$

$23^\circ\text{C}$  sıcaklık ve % 85 bağıl nem için,

$$\Delta p = S (R_1 - R_2) = 239 \text{ kPa}$$

$23^\circ\text{C}$  sıcaklık ve % 50 bağıl nem için,

$$\Delta p = S (R_1 - R_2) = 140 \text{ kPa}$$

Su buharı geçirme oranı  $\text{ng}/\text{Pa}.\text{s}.\text{m}^2$  olarak ifade edilir.

### **Su Buharı Geçirgenliği**

Su buharı geçirgenliği aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\text{Su buharı geçirgenliği} = \text{Su buharı geçirme oranı} \times \text{Kalınlık}$$

Burada:

Su buharı geçirme oranı :  $\text{ng}/\text{Pa}.\text{s}.\text{m}^2$ ,

Kalınlık : 0,1 mm doğrulukla ölçülen deney parçası kalınlığı, m,

Su buharı geçirgenliği :  $\text{ng}/\text{Pa}.\text{s}.\text{m}$ ,

dir.

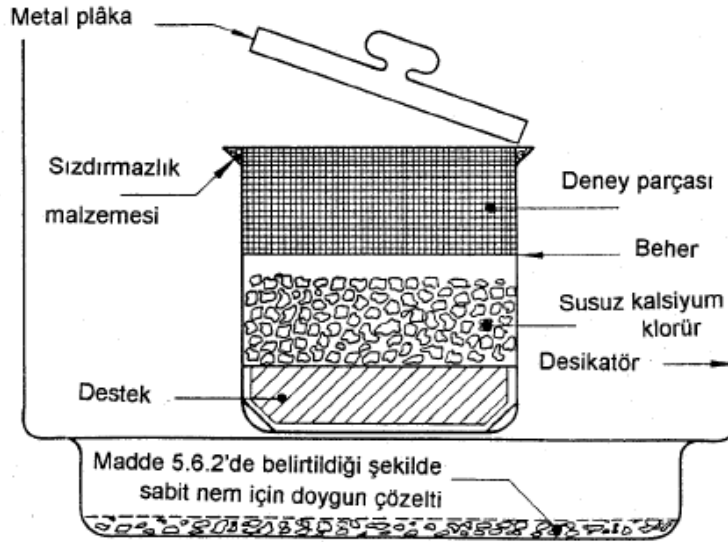
### **Deney Raporu**

Deney raporunda en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır.

- Bu standardın numarası (TS 1791 ISO 1663 şeklinde),
- Deney parçasının kalınlığı ve herhangi bir kaplama olup olmadığı da dahil olmak üzere tam olarak tanıtılması,
- Deneyde kullanılan sıcaklık ve bağıl nem şartları,
- Kondisyonlama şartları,



- e) Yüzey kaplamaya göre su buharı akış yönü dahil su buharı geçirgenlik özellikleri (su buharı geçirgenlik hızı, (WVT), su buharı geçirme oranı ve su buharı geçirgenliği) gerekirse raporda ayrı ayrı belirtilir,
- f) Deney sonuçlarının ayrı ayrı gösterilmesi,
- g) 5 adet deney sonucunun iki anlamlı rakamla verilen aritmetik ortalaması,
- h) Deney metodunda belirtilmeyen veya zorunlu olmayan fakat deneylerde yer almış olan işlemler.



ŞEKİL 1 - Deney Parçasının Beher ve Sabit Nem Desikatörüne Yerleştirilmesi

## **EK (TS-EN 13469) ISI YALITIM MAMULLERİ – SANAYİ TESİSLERİ VE BİNA EKİPMANLARI İÇİN BORU ŞEKLİNDE ÖN ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ISI YALITIM MAMULLERİNİN SU BUHARI GEÇİRGENLİK ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ**

Bu standard, boru şeklinde ön şekillendirilmiş ısı yalıtım mamullerinden hazırlanan deney numunelerinin belirli şartlar altında kararlı halde su buharı geçirgenlik özelliklerinin tayini için uygulanan işlem ve ekipmanları kapsar. Bu standard ısı yalıtım mamullerine uygulanır. Bu standardda verilen metot, homojen malzemeler (Not) ve kendinden (yekpare) yüzey kabuğu veya farklı malzemelerden yapılandırılmış halde yüzey kaplaması ihtiva eden mamuller için kullanılır.

**Not** - Bir malzeme, yoğunluğu her yerinde yaklaşık olarak aynı olduğu zaman (meselâ, ölçülen yoğunluk değerleri mamulün ortalama yoğunluğuna çok yakın ise) kütle dağılımı itibariyle homojen olduğu kabul edilir.

Su buharı geçirgenlik (transmission) hızı ve geçirgenlik (permeance) değerleri deneye tâbi tutulan deney numunesinin kalınlığına bağlıdır. Homojen malzemeler için su buharı öz geçirgenliği (permeability) malzemenin bir özelliğidir. Boru şeklindeki ısı yalıtım mamulü, düz bir mamulden kesilmiş ise su buharı geçirgenlik özellikleri benzer özellikli düz mamuller üzerinde EN 12086'ya uygun olarak yapılan deneylerle elde edilir.

### **Terimler ve tarifler**

Bu standardın amacı bakımından aşağıdaki terim ve tarifler uygulanır.

#### **Su buharı akış hızı, $G$**

Deney numunesinin iki yüzeyi arasında birim zamanda geçen su buharı miktarı.

#### **Su buharı geçirgenlik hızı, $g$**

Belirli sıcaklık, nem ve kalınlık şartları altında deney numunesinin birim alanından birim zamanda geçen su buharı miktarı.

#### **Su buharı geçirgenliği, $W$**

Deney numunesinin su buharı geçirgenlik hızının deney sırasında deney numunesinin yüzeyleri arasındaki su buharı basıncı farkına bölünmesiyle elde edilen değer.

#### **Su buharı direnci, $Z$**

Su buharı geçirgenliğinin tersi ( $1/W$ )

#### **Su buharı öz geçirgenliği, $\delta$**

Deney numunesinin kalınlığı ile su buharı geçirgenliğinin çarpımı ( $\delta=W \times d$ ). Homojen bir mamulün su buharı öz geçirgenliği, malzemenin kendisinin bir özelliğidir. Su buharı öz geçirgenliği, birim kalınlıkta deney numunesinin birim alanından, deney numunesinin yüzeyleri arasındaki birim su buharı basınç farkı başına birim zamanda geçen su buharı miktarıdır.

#### **Su buharı difüzyon direnci faktörü, $\mu$**

Havanın su buharı öz geçirgenliğinin deneye tâbi tutulan homojen mamulün veya malzemenin su buharı öz geçirgenliğine oranı. Bu faktör, mamulün su buharı

direncinin, aynı kalınlıktaki hareketsiz hava tabakasının su buharı direncine göre bağıl büyüklüğünü ifade eder.

### **Prensip**

Boru şeklinde ön şekillendirilmiş ısı yalıtım mamullerinden hazırlanan, içine nem çekici konulmuş bir kuru kap, sıcaklık ve nemi kontrol altında tutulan bir deney atmosferine yerleştirilir. Deney tertibatı ile deney atmosferi arasındaki kısmî buhar basıncı farkı nedeniyle su buharı, deney numunesinin bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçer. Su buharı geçirgenlik hızı kararlı hale gelinceye kadar, deney tertibatı periyodik olarak tartılır. Düşük su buharı geçirgenlik hızına sahip mamuller için başka faktörler de göz önüne alınmalıdır.

### **Cihazlar**

**Deney hücresi**, sıcaklığı (23±1) 0C ve bağıl nemi %(50±3)'de muhafaza edilebilen.

**Not** - Hücre içindeki hava şartlarını gerektiği şekilde muhafaza edebilmek için 0,02 m/s-0,3 m/s arasında bir hızla hava dolaşımını temin etmek gerekir.

**Nem çekici madde**, tanecik büyüklüğü 2 mm-15 mm (bağıl nemi %0) olan susuz kalsiyum klorür (CaCl<sub>2</sub>) veya aynı görevi yapabilen diğer nem çekiciler.

**Analitik terazi**, deney tertibatını ±1 mg veya daha iyi bir doğrulukla tartmaya elverişli. Deneylerde daha büyük bir deney tertibatı kullanılırsa, tartımların doğruluğu toplam kütleye veya deney sonuçlarında aranan doğruluğa göre belirlenir.

**Ölçme aletleri**, deney numunelerinin doğrusal boyutlarını ve kalınlığını EN 12085 veya EN 12467'ye göre (hangisi kullanılıyorsa) ölçmeye uygun.

**Alüminyum folyo**, su buharı difüzyonuna engel olan (en az 50 µm kalınlıkta) kalsiyum klorür (CaCl<sub>2</sub>) ile temas halindeki yüzey, polimer film ile kaplanarak korunmuş.

**Yapıştırıcı**, alüminyum folyo ile deney numunesi arasında su buharı geçirmez bir ek yapmaya uygun.

### **Deney numuneleri**

#### **Genel**

Deney numuneler, mamulü temsil edecek şekilde alınmalı ve deney numunelerinde kendinden bir yüzey kabuğu veya farklı malzemelerden yapıştırılmış yüzlekler (facing) varsa bunlar da muhafaza edilmelidir. Boru şeklinde ön şekillendirilmiş ısı yalıtım mamulü parçaları (iki veya daha çok parçalı) tam boyutlu bir deney numunesi elde etmek amacıyla uygun bir sızdırmazlık macunu veya yapıştırıcı kullanılarak bir araya getirilir.

**Not** - Yüzlük ve/veya kaplama ihtiva eden, su buharı difüzyon direnci indisi  $\mu \leq 3$  olan mamuller için ana gövde malzemelerinin öz geçirgenliği, mamulden ayrıldıktan sonra yüzlük/kaplamanın kendisi üzerinde ölçülebilir. Çapları çok büyük olan mamullerde yüzlük ve/veya tabakadan deney numuneleri kesilerek alınır ve EN 12086'ya göre deneye tâbi tutulur.

#### **Deney numunesinin boyutları**

Deney numuneleri en az (100±1) mm uzunlukta hazırlanır, dış çapı 100 mm'den daha fazla olan mamuller için uzunluk en az 150 mm olmalıdır. Kesme yüzeyleri mümkün olduğu kadar düz, deney numunesinin düşey eksenine dik olmalıdır. Deney numunesinin kalınlığı mamulün kalınlığı ile aynı olmalıdır.

#### **Deney numunelerinin sayısı**

Deney numunelerinin sayısı ilgili mamul standardında belirtildiği kadar olmalıdır. Mamul standardında herhangi bir sayı verilmemişse, bu durumda en az 5 deney numunesi kullanılmalıdır.

**Not** - İlgili mamul standardının veya diğer herhangi bir dokümanın olmaması halinde, deney numunelerini seçme metodu ilgili taraflar arasında varılan anlaşmayla belirlenmelidir.

#### **Deney numunelerinin şartlandırılması**

Deney numuneleri (23±5) 0C sıcaklıkta en az 6 h süreyle bekletilmelidir. Anlaşmazlık durumunda, deney numuneleri ilgili mamul standardında belirtildiği süre kadar (23±2) 0C sıcaklık ve %(50±5) bağıl nem şartlarında bekletilmelidir.

#### **İşlem**

Deney numunesi, su buharı geçirmez bir bağlantı elde etmek amacıyla bir ucundan alüminyum folyoya apıştırılır. Deney süresince %0 bağıl nem oranını muhafaza etmek için deney numunesi içine yeteri kadar nem çekici madde konur. Nem çekici maddenin miktarı kapalı hacmin 2/3'ünü aşmamalıdır. Deney numunesinin üst kısmı ilk paragrafta anlatıldığı şekilde kapatılır.

**Not** - Folyo ile deney numunesi arasında kabarcık oluşması önlenmeli ve deney numunesi ile folyo arasındaki yapışma o şekilde olmalı ki deney numunesi kırılmalı fakat folyo deney numunesinden ayrılmamalıdır. Düşük su buharı geçirgenlik hızına sahip mamullerde folyo ile deney numunesi arasındaki yapışma sathı yüzeyde yapıştırıcı sürülmüş kısımlar ihmal edilebilecek şekilde olmak şartıyla ilâve bir sızdırmaz madde (waks gibi) ile de sızdırmaz hale getirilebilir.

Deney numunesi (23±5) 0C sıcaklık ve %(50±3) bağıl nem şartlarındaki deney hücresine (Şekil 1) daldırılır.

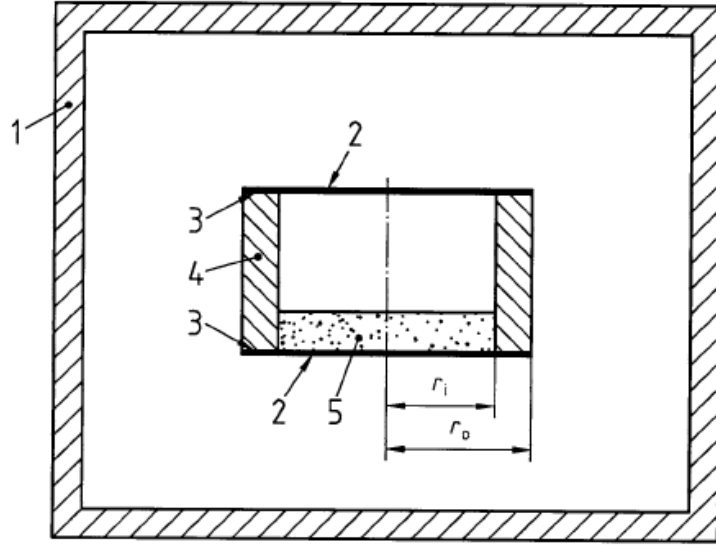
Deney numuneleri arasında herhangi bir temas olmamasına dikkat edilmelidir.

Deney hücresindeki deney numuneleri 1 h-24 h arasında bir süreyle şartlandırılır.

Deney numuneleri düzenli aralıklarla tartılır. Tartma işlemi deney hücresinde mevcut olan şartlar altında gerçekleştirilmelidir. Tartma işlemi deney hücresi dışında yapılacaksa deney numunesinin hücre dışında kalma süresi sonuçları etkilemeyecek kadar kısa olmalıdır.

**Not** - Deney numunesinin kirlenmesini önlemek amacıyla çalışma esnasında eldiven kullanılmalıdır.

Tartma işlemlerine deney numunesinde birim zamanda meydana gelen kütle değişimleri ardışık 5 tartma sonucu deney numunesi için ortalama değer  $\pm\%5$  sınırları içinde olacak şekilde sabit kalıncaya kadar devam edilir. Zamana karşı kütle değişimi eğrisini çizmek, sabit kütle değişimi (kararlı hal) şartlarını belirlemede yardımcı olur.



#### Açıklama

- 1) Deney hücresi
- 2) Alüminyum folyo
- 3) Yapıştırıcı
- 4) Deney numunesi
- 5) Nem çekici madde
- $r_i$  İç çap
- $r_o$  Dış çap

Şekil 1 - Deney tertibatı örneği

### Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi

#### Su buharı akış hızı

Seçilen zaman aralığı için her bir deney numunesinin su buharı akış hızı,  $G_{12}$ , mg/h cinsinden aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$G_{12} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1}$$

Burada;

$m_1$  : Deney tertibatının  $t_1$  zamanındaki kütlesi, mg

$m_2$  : Deney tertibatının  $t_2$  zamanındaki kütlesi, mg

$t_1, t_2$  : Deney numunesinin ardışık tartım zamanları, h dır.

Her bir deney numunesi için ardışık 5 tartım sonucu,  $G_{12}$ , ve ortalama değeri,  $G$ , (mg/h olarak) hesaplanır. Ardışık 5 tartımın sonucu ( $G_{12}$ ), ortalama değerin ( $G$ )  $\pm\%5$  sınırları içinde olduğu zaman deneye son verilir.

#### Su buharı geçirgenlik hızı

Su buharı geçirgenlik hızı,  $g$ , mg/m<sup>2</sup>h cinsinden aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$g = \frac{G}{A}$$

Burada;

A : Deney numunesinin aşağıdaki eşitlikten hesaplanan, su buharına maruz kalan alanı, m<sup>2</sup>

$$A = \frac{2 \times \pi \times l \times (r_0 - r_i)}{\ln \frac{r_0}{r_i}}$$

Burada;

l : Deney numunesinin uzunluğu, m

r<sub>0</sub> : Dış çap, m

r<sub>i</sub> : İç çap, m dır.

### **Su buharı geçirgenliği**

Su buharı geçirgenliği, W, mg/m<sup>2</sup>Pa cinsinden aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$W = \frac{G}{A \times \Delta p}$$

Burada;

Δp : Su buharı basınç farkı (Pa). EN 12086'ya göre 23-0/50 deney şartlarında değeri 1400 Pa'dır.

### **Su buharı direnci**

Su buharı direnci, Z, Pa.h.m<sup>2</sup>/mg cinsinden aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$Z = \frac{1}{W}$$

### **Su buharı öz geçirgenliği**

Su buharı öz geçirgenliği, δ, mg/mxhxPa cinsinden aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\delta = W \times d$$

Burada;

d : Deney numunesinin kalınlığı, m dır.

### **Su buharı difüzyon direnci faktörü**

## Genel

Su buharı difüzyon direnç faktörü,  $\mu$ , aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\mu = \frac{\delta_{\text{hava}}}{\delta}$$

Burada;

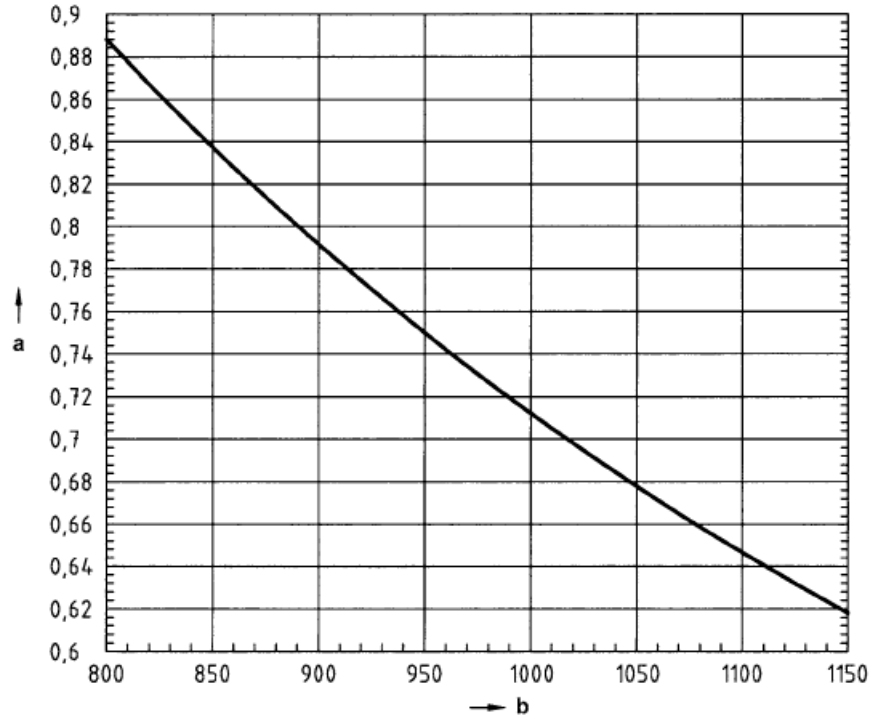
$\delta$  : Deney numunesinin su buharı öz geçirgenliği,

$\delta_{\text{hava}}$  : Havanın su buharı öz geçirgenliği (deney sırasında ortalama barometrik basınca bağlı olarak, Şekil 2 dir.

**Not** - Havanın ve malzemenin su buharı öz geçirgenliğinin barometrik basınca bağlılığı eşit olduğu kabul edildiğinden,  $\mu$  faktörünün barometrik basınca bağlı olmadığı kabul edilir. Farklı yerlerde su buharı geçirgenlik hızı hesaplanırken gerçek basınç, aşağıdaki eşitlik kullanılarak göz önünde bulundurulmalıdır.

$$g = \frac{\Delta p}{(\mu \times d)} \times \delta_{\text{hava}}$$

## Havanın su buharı öz geçirgenliğinin ( $\delta_{\text{hava}}$ ) hesaplanması



### Açıklama

- a :  $\delta_{\text{hava}}$ , mg/(m.h.Pa)  
b : Barometre basıncı, hPa

Şekil 2 - 23 °C'da havanın su buharı öz geçirgenliği

Havanın su buharı öz geçirgenliği Schirmer eşitliği ile de hesaplanabilir.

$$\delta_{\text{hava}} = \frac{D}{R_D \times T}$$

$$\delta_{\text{hava}} = \frac{0,083}{R_D \times T} \times \frac{p_0}{p} \times \left(\frac{T}{273}\right)^{1,81}$$

Burada;

D : Su buharı difüzyon katsayısı, m<sup>2</sup>/h

R<sub>D</sub> : Su buharının gaz sabiti, 462x10<sup>-6</sup> Nm/(mg.K)

T : Deney sıcaklığı, K

p : Deney sırasında barometre basıncı, hPa

p<sub>0</sub> : Normal barometre basıncı, 1013,25 hPa dır.

#### **Deney numunesinin su buharı öz geçirgenliğinin hesaplanması**

$$\delta = d \frac{G}{\Delta p \times A}$$

Burada;

d : Deney numunesinin kalınlığı, m

G : Su buharı akış hızı, mg/h

A : Deney numunesinin alanı, m<sup>2</sup>

Δp : Deney numunesinin içi ve dış yüzeyi arasındaki su buharı basıncı farkı, Pa dır.

#### **a) Su buharı akış hızı**

$$G = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

Burada;

Δm : İki okuma arasındaki kütle farkı

Δt : Ölçme süresi, h dir.

#### **b) Su buharı basıncı farkı**

$$\Delta p = (p_{s1} \times \square 1) - (p_{s2} \times \square 2)$$

Burada;

p<sub>s1</sub> : Deney hücreesindeki su buharı doymunluk basıncı, Pa

□1 : Deney hücresi içindeki bağıl nem,

p<sub>s2</sub> : Deney tertibatının (nem çekici madde üzerindeki) su buharı doymunluk basıncı, Pa

□2 : Deney tertibatının (nem çekici madde üzerindeki) bağıl nemidir.



Nem çekici olarak kalsiyum klorür kullanılırsa bağıl nem %0 kabul edilir. Bu durumda  $\square 2$  sifıra eşittir. Bu sebeple yukarıdaki eşitlik yeniden düzenlendiğinde;

$\Delta p = (p_s \times \square 1)$  olur.

$p_s$  için iyi bir yaklaşım:

$$p_s = a \times \left( b + \frac{T - 273,15}{100} \right)^n$$

Burada;

a 288,68 Pa

b 1,098

n 8,02

T Sıcaklık, K dir.

### **Su buharı difüzyon direncinin, $\mu$ , hesaplanması**

Su buharı difüzyon direnci aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\mu = \frac{1}{(r_0 - r_i)} \times \frac{0,083}{R_D \times T} \times \frac{p_0}{p} \times \left( \frac{T}{273,15} \right)^{1,81} \times \frac{\Delta t}{\Delta m} \times \frac{2 \times \pi \times l \times (r_0 - r_i)}{\ln \frac{r_0}{r_i}} \times 288,68 \left( 1,098 + \frac{T - 273,15}{100} \right)^{8,02} \times \varphi_1$$

### **Ölçmelerin doğruluğu**

**Not** - Bu standard metninde uygulanan metodun doğruluğu ile ilgili bilgiler verilmemiştir, doğrulukla ilgili bilgiler bu standardın bir sonraki revizyonuna ilâve edilmesi öngörülmektedir.

### **Deney raporu**

Deney raporu aşağıdaki bilgileri ihtiva etmelidir.

- a) Bu standardın numarası, (TS EN 13469 şeklinde)
- b) Deneye tâbi tutulan mamulün tam olarak tanıtılması için, gerekli bütün ayrıntılar
  - 1) Mamulün adı, imalât yeri, imalâtçı veya tedarikçi
  - 2) Üretim kod numarası
  - 3) Mamul tipi
  - 4) Ambalâjlama
  - 5) Mamulün lâboratuvara getirildiği biçimi
  - 6) Mamulün anma boyutları ve anma kalınlığı gibi diğer bilgiler

### **c) Deney işlemi**

- 1) Numunenin geçmişi ve numune alınması, meselâ, numuneyi kimin ve nereden aldığı
- 2) Şartlandırma
- 3) Deney numunesi sayısı
- 4) Madde 6 ve Madde 7'den sapmalar

- 5) Deney tarihi
- 6) Uygulanan deneyle ilgili genel bilgiler
- 7) Deney sonuçlarını etkileyebilecek durumlar

**Not** - Cihaz hakkında bilgiler ve metodu uygulayıcı hakkındaki bilgiler ilgili lâboratuvardan temin edilebilir, fakat bu bilgiler deney raporunda belirtilmelidir.

**d) Deney sonuçları**

- 1) Deney numunesinin yüzlekleri farklı olduğu takdirde yüzleklere göre su buharı akış hızı yönü dahil su buharı geçirgenlik özellikleri (su buharı difüzyon faktörü, geçirgenliği ve öz geçirgenliği)
- 2) Deneyde elde edilen münferit deney sonuçları
- 3) Münferit deney sonuçlarının aritmetik ortalaması

## ÖZGEÇMİŞ

R. Engin Alan 1982 Ankara doğumludur. Orta ve Lise öğrenimini İstanbul Ümraniye Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2000-2006 yılları arasında Mimar Sinan Üniversitesi, Mimarlık bölümünde lisans eğitimini tamamlamış, 2007 yılında aynı üniversitenin Yapı Fiziği ve Malzeme programında yüksek lisans çalışmalarına başlamıştır.

[enginalan@gmail.com](mailto:enginalan@gmail.com)

+90 532 590 4675