

# YAPI MALZEMELERİNDE BUHAR DİFÜZYONU VE YOĞUŞMA

Hasan A. HEPERKAN  
M. Murat BİRCAN  
M. Kemal SEVİNDİR

## ÖZET

Su buharı difüzyonu sonucu oluşan yoğuşma, yapı malzemelerine ve yapı malzemelerinde meydana gelen ısı geçişine olumsuz yönde etki eder. Yapı malzemelerinde kışın ortaya çıkan yoğuşma ya da terleme olayı; hava ile temas eden yapı malzemesi yüzey sıcaklığının, havanın çığ noktası sıcaklığının altına düşmesiyle oluşur. Eğer su buharı, yapı malzemesi yüzeyinde yoğuşmazsa, terleme olmadan yapı malzemesi içine girer. Yapı malzemesi içine difüz eden su buharının kısmi basıncı iç katmanlarda herhangi bir noktada o sıcaklıktaki su buharı doyma basıncına eşit olduğu anda yoğuşma başlar. Malzeme içinde yoğuşan su malzemenin nemini artırır. Yoğuşan suyun miktarı, malzemenin absorbe edebileceği doyma neminden fazla ise serbest kalır ve muhtelif şekillerde malzeme içinde hareket eder. Yoğuşma yapı malzemesinin yapısını bozacağı gibi malzemenin toplam ısı transferi katsayısını yükseltir, ısı kayıplarını da artırır.

Buhar difüzyonu ve yoğuşma hesaplarını kolaylaştıran, yapı malzemesi içerisinde yoğuşmanın meydana geldiği noktayı tespit eden bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program, sekiz farklı malzemeden oluşan bir yapı içinde ısı ve buhar geçişini hesaplamakta, sıcaklık ve buhar basıncı değişimini çizerek yoğuşma noktasını bulmaktadır. Programda sık kullanılan malzemelere ait bilgileri içeren bir kütüphane de mevcuttur.

## 1. GİRİŞ

20. yüzyılın başlarından itibaren hem endüstrinin gelişmesi hem de modern mimarideki taleplerin artması ile, modern konstrüksiyon metodlarının hızla kullanılmaya başlanması; yapı malzemelerinin, taşıyıcılık görevlerinin azalmasını, incelmelerini ve ısı geçirgenlik direncinin önemli miktarda düşmesini sağlamıştır. Isı geçirgenlik direncinin düşmesi yapı malzemesi yüzeyinde yoğuşmaya sebep olabilmektedir. Isı geçirgenlik direncinin yükseltilmesi, dolayısıyla ısı ekonomisinin sağlanması ve yapı malzemesi yüzeyindeki yoğuşmanın önlenmesi için inşa edilen yapılardaki duvarlarda birden fazla yapı elemanı kullanılmasını ortaya çıkarmıştır.

Ekonomi ve konfor gereği olarak yapı elemanlarında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri bünyelerinde su veya nem bulundurmadıkları müddetçe hesaplama esnasında kabul edilen ön şart özelliklerini koruyabilirler. Ancak su veya nem, bilindiği gibi oldukça iyi ısı geçirgenliği olan bir madde olup, yalıtım malzemeleri içindeki kılcal hava kanallarını veya gözeneklerini doldurduğu takdirde yalıtım malzemesinin ısı geçirgenlik direncini düşürmektedir. Ayrıca su veya nemin ısı yalıtım malzemesi içinde kışın donması veya yazın buharlaşması bu malzemenin deformasyonuna sebep olmaktadır.

Yapı malzemelerinde kullanım şartlarına göre yazın veya kışın ortaya çıkan yoğuşma ya da terleme olayı; hava ile temas eden yapı malzemesi yüzey sıcaklığının, havanın çığ noktası sıcaklığının altında olması durumunda gerçekleşir. Kışın yapı malzemeleri iç yüzeyinde görülen (pencere, izolasyonsuz

kolon ve kirişlerde, çatı iç yüzeylerinde) bu olay bazı özel durumlarda yapı malzemelerinin içinde de meydana gelebilmektedir. Bu çalışmada, yapı malzemelerinde buhar difüzyonunu incelemek üzere bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

## 2. SÜREKLİ REJİMDE TEK BOYUTLU ISI İLETİMİ VE SU BUHARI DİFÜZYONU

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

$$q_x = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanmıştır [1]. Eşitlikteki,

$q_x$  : x yönünde, birim zamanda, birim yüzeyden geçen ısı miktarı olup kısaca ısı akısını ( $W/m^2$ )  
 $\lambda$  : ısı iletim katsayısını ( $W/m \text{ } ^\circ C$ )  
 $dT/dx$  : sıcaklık gradyanını

ifade eder.

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

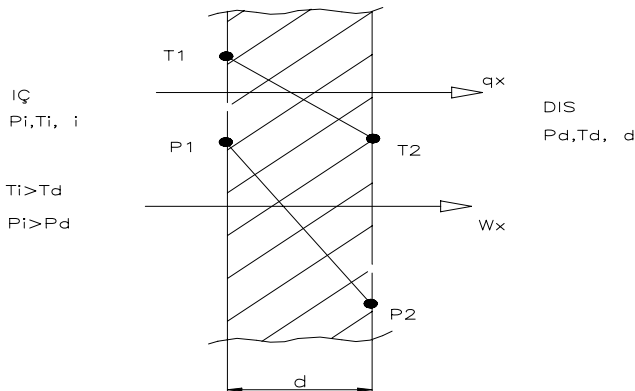
$$w_x = -\mu_p \frac{dp}{dx} \quad (2.2)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Eşitlikteki,

$w_x$  : x yönünde, birim zamanda, birim yüzeyden geçen su buharı miktarı olup kısaca su buharı akısını ( $kg/h \text{ } m^2$ )  
 $\mu_p$  : yapı malzemesi permeabilitesi veya buhar geçirgenliğini ( $kg/h \text{ } m \text{ } mmSS$ )  
 $dp/dx$  : su buharı kısmi basınç gradyanını ( $mmSS/m$ )

ifade eder.

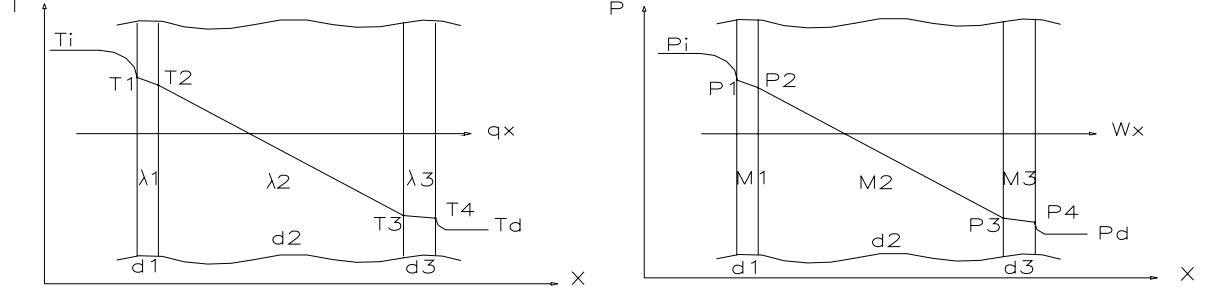
Fourier ısı iletim kanununda belirtildiği gibi ısı akısının yönü nasıl yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru ise, Fick kanununa göre su buharı akısı yüksek su buharı kısmi basıncından düşük su buharı kısmi basıncına doğru olmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Yapı malzemesinde ısı geçişi ve buhar difüzyonu

### 3. BİLEŞİK DÜZLEM DUVARDA ISI İLETİMİ VE SU BUHARI DİFÜZYONU

Şekil 2'de görülmekte olan, üç farklı yapı malzemesinden oluşan bir dış duvarda, iç taraftaki sıcaklık  $T_i$ , su buharı kısmi basıncı  $p_i$ , dış taraftaki sıcaklık  $T_d$ , su buharı kısmi basıncı  $p_d$  olsun.



Şekil 2. Bileşik düzlem duvarda sıcaklık ve su buharı basınç gradyeni

Bileşik düzlem duvarda sürekli rejimde duvarın her noktasında ısı akısı aynı, iç taraftaki ısı taşınım katsayısı  $\alpha_i$ , dış taraftaki ısı taşınım katsayısı  $\alpha_d$ , malzemelerin ısı iletim katsayıları  $\lambda$  ve kalınlıkları  $d$  olduğuna göre,

$$q = \alpha_i (T_i - T_1) \Rightarrow (T_i - T_1) = \frac{q}{\alpha_i} \quad (3.1)$$

$$q = \frac{\lambda_1}{d_1} (T_1 - T_2) \Rightarrow (T_1 - T_2) = \frac{q}{\frac{\lambda_1}{d_1}} \quad (3.2)$$

yazılabilir. Benzer şekilde her katman için eşitlikler yazılıp taraf tarafa toplanırsa toplam ısı transferi ( 1 m<sup>2</sup> yüzey için )

$$q_{toplam} = \frac{(T_i - T_d)}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_d}} \quad (3.3)$$

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

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_d}} \quad (3.4)$$

olarak ifade edilir.

Isı iletimine benzer şekilde, bileşik düzlem duvarda sürekli rejimde duvarın her noktasında su buharı akısı aynı olduğundan ve iç taraftaki buhar geçirgenlik katsayısı  $\beta_i$ , dış taraftaki buhar geçirgenlik katsayısı  $\beta_d$ , yapı malzemelerinin permeabiliteleri (buhar geçirgenliği)  $\mu_p$  ve kalınlıkları  $d$  olduğuna göre,

$$w = \beta_i (p_i - p_1) \Rightarrow (p_i - p_1) = \frac{w}{\beta_i} \quad (3.5)$$

$$w = \frac{\mu_1}{d_1} (p_1 - p_2) \Rightarrow (p_1 - p_2) = \frac{w}{\frac{\mu_1}{d_1}} \quad (3.6)$$

$$w = \frac{\mu_2}{d_2} (p_2 - p_3) \Rightarrow (p_2 - p_3) = \frac{w}{\frac{\mu_2}{d_2}} \quad (3.7)$$

$$w = \frac{\mu_3}{d_3} (p_3 - p_4) \Rightarrow (p_3 - p_4) = \frac{w}{\frac{\mu_3}{d_3}} \quad (3.8)$$

$$w = \beta_d (p_4 - p_d) \Rightarrow (p_4 - p_d) = \frac{w}{\beta_d} \quad (3.9)$$

yazılabilir. Bu eşitlikler alt alta yazılıp taraf tarafa toplanırsa toplam su buharı akısı ( 1 m<sup>2</sup> yüzey için )

$$w_{toplam} = \frac{(p_i - p_d)}{\frac{1}{\beta_i} + \frac{d_1}{\mu_1} + \frac{d_2}{\mu_2} + \frac{d_3}{\mu_3} + \frac{1}{\beta_d}} \quad (3.10)$$

şeklinde yazılabilir.

3.10 eşitliğinde iç ortam su buharı kısmi basıncı  $p_i$ , dış ortam su buharı kısmi basıncı  $p_d$  olup bu değerler bağıl nem yardımıyla hesaplanabilir.

$$\varphi_i = \frac{p_i}{p_{s,i}}; \varphi_d = \frac{p_d}{p_{s,d}} \quad (3.11)$$

3.11 eşitliğindeki  $p_{s,i}$  iç ortam sıcaklığındaki doymuş havanın su buharı basıncı,  $p_{s,d}$  ise dış ortam sıcaklığındaki doymuş havanın su buharı basıncıdır ve tablolardan veya

$$p_s = a \left( b + \frac{T}{100} \right)^n \quad (3.12)$$

eşitliği yardımıyla bulunabilir [3]. Katsayılar aşağıda verilmiştir.

$$0 < T < 30 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{için} \quad a = 28.87 \text{ mmSS} \quad b = 1.098 \quad n = 8.02$$

$$-20 < T < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{için} \quad a = 0.47 \text{ mmSS} \quad b = 1.48 \quad n = 12.30$$

3.10 eşitliğinin paydasındaki değerleri irdeleyecek olursak; permeabilite (buhar geçirgenliği)  $\mu_p$  yerine yapı malzemesi buhar geçirgenlik direnci  $\delta$  (mmSS m h/kg) kullanılır ( $\delta = 1 / \mu_p$ ). Yapı malzemelerinin buhar geçirgenliği ile ilgili tablolarda genellikle  $\mu$ , yapı malzemesinin havaya göre direnç faktörü  $\mu = \delta / \delta_H$  şeklinde tanımlanır.  $\delta_H$  havanın difüzyon direncidir (mmSS m h/kg).  $\delta$  yerine  $\mu \times \delta_H$  yazılabilir.  $\delta_H$  değeri 10 °C daki hava için yaklaşık olarak  $1.5 \times 10^5$  mmSS m h/kg olarak alınabilir [ 2]. Ayrıca bu değerler -20 ile +30 °C da su buharı difüzyon proseslerinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu yaklaşımlardan sonra 3.10 eşitliği,

$$w_{toplam} = \frac{p_i - p_d}{\frac{1}{\beta_i} + 1.5 \times 10^5 (d_1 \mu_1 + d_2 \mu_2 + d_3 \mu_3) + \frac{1}{\beta_d}} \quad (3.13)$$

şeklinde yazılabilir veya yapı malzemesi özgül buhar direnci  $\Delta$  kullanılarak

$$\Delta = d \mu 1.5 \times 10^5 \quad (3.14)$$

$$W_{toplam} = \frac{p_i - p_d}{\Delta_j + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_d} \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilir.

İç yüzey buhar geçirgenlik katsayısı  $\beta_i = 0.0015 \text{ kg/m h mmSS}$  [1], iç yüzey buhar geçirgenlik direnci  $\Delta_i = 670 \text{ mmSS m h/kg}$ , dış yüzey buhar geçirgenlik katsayısı  $\beta_d = 0.0033 \text{ kg/m h mmSS}$  [4], dış yüzey buhar geçirgenlik direnci  $\Delta_d = 300 \text{ mmSS m h/kg}$  olarak verilmiştir. Bu değerlerin yapı malzemesi buhar geçirgenlik dirençlerinin yanında çok küçük olması nedeniyle pratik hesaplarda ihmal edilmektedir. Böylece iç yüzey kısmi buhar basıncının iç ortamın kısmi buhar basıncına ( $p_i = p_1$ ), dış yüzey kısmi buhar basıncının dış ortamın kısmi buhar basıncına ( $p_d = p_4$ ) eşit olduğu kabul edilir. Bu kabuller çerçevesinde Şekil 2. deki yapı malzemesindeki su buharı akışı,

$$W_{toplam} = \frac{p_1 - p_4}{1.5 \times 10^5 (d_1 \mu_1 + d_2 \mu_2 + d_3 \mu_3)} \quad (3.16)$$

şeklinde yazılabilir, toplam özgül buhar difüzyon direnci ise,

$$\Delta_{toplam} = 1.5 \times 10^5 (d_1 \mu_1 + d_2 \mu_2 + d_3 \mu_3) \quad (3.17)$$

olarak ifade edilir.

#### 4. BİLEŞİK DUVARDA YOĞUŞMA

Gözenekli bir yapı malzemesinde eğer iç ortam ile dış ortam arasında su buharı kısmi basınç farkı oluşursa, su buharı, kısmi basıncın yüksek olduğu taraftan alçak olduğu tarafa doğru yapı elemanı içinden difüzyon yolu ile geçer. Basınç farkı nedeniyle sınır tabakayı aşan buhar, çığ noktası sıcaklığının altında bir yüzey ile temas ederse, yapı malzemesi yüzeyinde bir miktar yoğuşarak terleme meydana getirir, kalan su buharı yapı malzemesi içine difüz eder. Eğer su buharı, yapı malzemesi yüzeyinde yoğuşmazsa, terleme olmadan yapı malzemesi içine girer. Yapı malzemesi içine difüz eden su buharının kısmi basıncı iç katmanlarda herhangi bir noktada o sıcaklıktaki su buharı doyma basıncına eşit olduğu anda yoğuşma başlar. Yoğuşma olan bölgede sıcaklık  $0^\circ\text{C}$  'ın altında ise yoğuşan su buharı buz fazına geçer. Yoğuşmayan su buharı ise yapı malzemesinin dış yüzeyinden çıkar ve dış havaya karışır.

Gözenekli yapı malzemeleri içindeki difüzyon olayını deneysel, analitik veya grafik yöntemlerle incelemek mümkündür. Yapı elemanında buhar difüzyon ve yoğuşma kontrolü için geliştirilen hesap yöntemi aşağıda tanımlanmıştır.

- Dış ortam sıcaklıkları önceki yılların ortalaması olarak meteorolojiden, iç ortam sıcaklıkları, iç ortam ve dış ortam taşınım katsayıları, yapı malzemelerinin  $\lambda$  (ısı iletim katsayısı) değerleri tablolardan alınır toplam ısı akışı hesaplanır ve buradan yola çıkarak yapı elemanı katmanlarındaki yüzey sıcaklıkları ( $T_1, T_2 \dots$ ) hesaplanır.
- İç ortam ve dış ortam su buharı kısmi basınçları verilen sıcaklıklara karşılık gelen doyma basınçları ve bağıl nemler yardımıyla hesaplanır. Doyma basınç değerleri tablolardan veya 3.12 eşitliği yardımıyla bulunur. Daha önce belirtildiği gibi,  $T_1$  iç yüzey sıcaklığındaki su buharı kısmi basıncı  $p_1 = p_i$ ,  $T_n$  dış yüzey sıcaklığındaki su buharı kısmi basıncı  $p_n = p_d$  olduğu kabul edilir.
- Yapı malzemesinin her tabakasındaki yüzey sıcaklıklarına ( $T_1, T_2, \dots$ ) karşılık gelen su buharı doyma basınçları ve kısmi basınçları bulunur.
- Kısmi buhar basınçlarının doymuş buhar basıncının altında kalması bize yapı elemanında yoğuşma olmadığını gösterir. Kısmi buhar basıncının doymuş buhar basıncına eşit olması halinde yoğuşma başlar.
- Yoğuşma noktasının yeri grafik yöntemi ile belirlenir.

## 5. YAPI MALZEMESİNDEKİ YOĞUŞMANIN BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE HESABI

Yukarıda açıklanan yöntemi hızlı ve standart bir şekilde yapabilmek için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Programın kullanıcı açısından esnek ve kolay anlaşılabilir olmasına özen gösterilmiş, standart menülerden oluşacak şekilde düzenlenmiştir.

Program 4 (dört) ana gruptan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Malzeme veri tabanlarının oluşturulması,
2. Yapı geometrisinin tanımlanması,
3. Yoğuşma hesapları,
4. Sıcaklık ve basınç grafiklerinin çizilmesi ve yoğuşma noktasının tesbiti

### 5.1. Malzeme Veri Tabanlarının Oluşturulması

Yoğuşma hesaplarını yapabilmek için geliştirilen program içerisinde daha önce fiziksel özellikleri girilmiş yapı malzemelerine ait bir kütüphane mevcuttur. Yapı malzemelerini kütüphaneden seçerek belirlemenin yanısıra yeni yapı malzemesi ilave etmek de mümkündür (Şekil 3.). Yeni yapı malzemesinin aşağıdaki özellikleri girilerek kütüphaneye kaydedilmektedir.

- Yeni yapı malzemesi ismi
- Yeni yapı malzemesi ısı iletim katsayısı,  $\lambda$  (kcal/mh°C)
- Yeni yapı malzemesi buhar difüzyon direnç faktörü,  $\mu$

YENİ YAPI ELEMANI EKLEME

YENİ YAPI ELEMANININ ÖZELLİKLERİNİ GİRİNİZ

YENİ YAPI MALZEMESİNİN ADINI YAZINIZ

ISI İLETKENLİK DEĞERİNİ GİRİNİZ kcal/mh°C

BUHAR DİFÜZYON DİRENÇ FAKTÖRÜNÜ GİRİNİZ ( μ ) Boyutsuz

Şekil 3. Yeni yapı malzemesi ekleme penceresi

Kütüphanedeki veya sonradan özellikleri girilerek kütüphaneye kaydedilen yapı elemanlarının fiziksel özellikleri ile ilgili hatalı bir veri mevcut ise programımızın “değişiklik” penceresi yardımıyla bu hata giderilebilir[8]. Ayrıca kütüphaneye kaydedilmiş yapı elemanlarından kullanılmayanlarını “kayıtlı malzemeleri silme” penceresi yardımıyla kaldırabiliriz[8].

### 5.2. Yapı Geometrisinin Tanımlanması

Yapı geometrisinin tanımlanması bölümünde, yoğuşma hesaplarının ana başlangıç parametrelerinden olan sistemin belirlenmesi ve bu sistemi oluşturan yapı elemanlarının iç ortamdan başlayarak dış ortama doğru sırasıyla “yapı elemanlarının seçimi” penceresine girilmesi mevcuttur. Yapı elemanları seçimi penceresinde maksimum 8 (sekiz) adet yapı elemanı girilebilmektedir. Şekil 4. de örnek teşkil etmesi açısından bazı değerler girilmiştir.

**YAPI ELEMANLARININ SEÇİMİ**

**YAPI ELEMANLARINI BELİRLEYİNİZ**

	Malzeme Kalınlığını Giriniz
Kireç Sıva	20 mm.
Delikli Tuğla	190 mm.
Cam Pamuğu	30 mm.
Delikli Tuğla	190 mm.
Çimento Sıva	30 mm.
	mm.
	mm.
	mm.

**Yapı Elemanlarını İç Ortamdan Dış Ortama Doğru SIRALAYINIZ.**

Şekil 4. Yapı elemanlarının seçimi penceresi

### 5.3. Yoğuşma Hesapları

Yoğuşma hesapları bölümünde sırasıyla ortam sıcaklıkları, ısı transferi, yüzey sıcaklıkları, iç ve dış ortam için su buharı kısmi basınç hesapları, buhar difüzyon dirençleri, kütle transferi, sistemin her katmanının sıcaklığına karşı gelen doyma basıncı pencereleri mevcuttur.

Ortam sıcaklıkları penceresinde; daha önceden girilmiş olan (Şekil 4.) yapı elemanları tipleri, kalınlıkları, iletim ısı transfer katsayıları, standart olarak taşınım ısı transfer katsayıları ve hesap yaptığınız mahalin bulunduğu yere ait olup manuel olarak girilebilen iç ve dış ortam sıcaklıkları bölümleri mevcuttur [8].

Isı transferi penceresinde; 3.4 eşitliği yardımıyla hesaplanan toplam ısı transfer katsayısı ve 3.3 eşitliği yardımıyla hesaplanan toplam ısı akısı bölümleri mevcuttur [8].

Yüzey sıcaklıkları penceresinde; 3.1, 3.2 eşitlikleri yardımıyla hesaplanan yüzey sıcaklıkları mevcuttur[8].

İç ve dış ortam basınç hesapları penceresinde (Şekil 5.); ortam sıcaklıkları, manuel olarak girilebilen ortam bağıl nem değerleri ve aşağıda verilen denklemler yardımıyla hesaplanan iç ortam ve dış ortamın su buharı kısmi basınçları bölümleri mevcuttur [8].

-100°C ile 0°C sıcaklıkları arasında dış ortam doyma basıncı[8],

$$\ln p_{s,d} = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 \times T + C_4 \times T^2 + C_5 \times T^3 + C_6 \times T^4 + C_7 \times \ln T \quad (5.3.1)$$

0°C ile 200°C sıcaklıkları arasında iç ortam doyma basıncı[8],

$$\ln p_{s,i} = \frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10} \times T + C_{11} \times T^2 + C_{12} \times T^3 + C_{13} \times \ln T \quad (5.3.2)$$

Buhar difüzyon dirençleri penceresinde; yapı elemanlarının kalınlıkları, buhar difüzyon dirençleri ve iç ve dış ortam buhar geçirgenlik katsayıları mevcuttur[8].

Kütle transferi penceresinde; toplam buhar geçirgenlik katsayısı ve toplam buhar difüzyonu miktarı bölümleri mevcuttur[8].

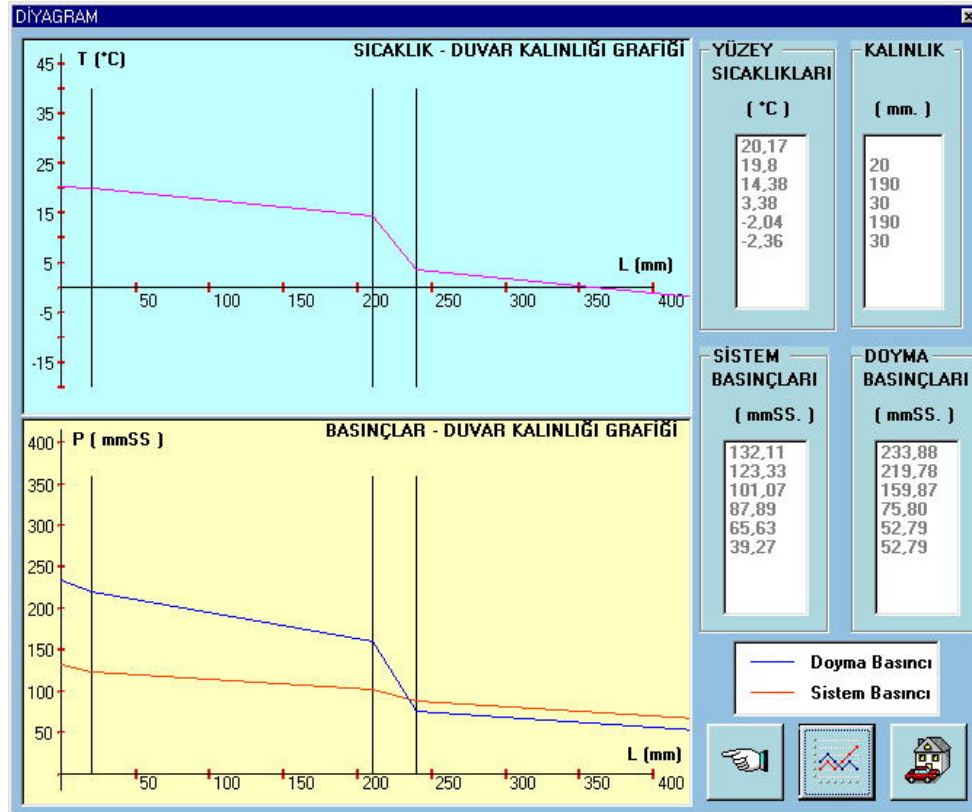
Sistem basınçları penceresinde; yüzey sıcaklıkları, yüzey sıcaklıklarına karşılık gelen doyma basınç değerleri ve hesaplanan kısmi basınç değerleri ile mutlak nem değerleri bölümleri mevcuttur[8].

ORTAM SICAKLIKLARI		BAĞIL NEMİ GİRİNİZ		BASINÇLAR	
İç Ortam	22 °C	İç Ortam (%)	50	İç Ortam Basıncı	1,322 k Pa / 132,2 mmSS
Dış Ortam	-3 °C	Dış Ortam (%)	80	Dış Ortam Basıncı	0,392 k Pa / 39,21 mmSS

Şekil 5. İç ve dış ortam su buharı kısmi basınç hesapları penceresi

#### 5.4. Sıcaklık ve Basınç Grafiklerinin Çizimi ve Yoğuşma Noktasının Tesbiti

Geliştirilen bilgisayar programının son bölümünde sıcaklık ve basınç grafiklerinin çizimlerinin bulunduğu bir pencere mevcuttur. Bu pencere de ayrıca yüzey sıcaklıkları, malzeme kalınlıkları, sistem basınçları ve doyma basınç değerleri de görülmektedir (Şekil 6.).



Şekil 6. Sıcaklık ve basınç grafikleri penceresi



## SONUÇ

Geliştirilen bilgisayar programı; yapılması düşünülen binanın dış ortam ile temasta olan duvarını oluşturan yapı elemanlarının hangi noktasında yoğuşma olabileceğinin önceden belirlenebilmesini sağlamaktadır. Ancak, yoğuşmanın başlangıcının belirlendiği noktadan sonraki noktalar için çizilen basınç eğrilerinin doğruluğu hakkında kesin bir yargıya varmak mümkün olmamaktadır. Buradan sonra yoğuşan su miktarını toplam difüze olan kütleden çıkarmamız gerektiğinden, madde ve enerji denklemleri yeniden yazılmalıdır.

Yapı malzemeleri içinde meydana gelen yoğuşmayı önlemek veya zararsız miktarlara indirebilmek için yapı elemanını meydana getiren tabakaları difüzyon tekniğine uygun bir şekilde sıralamak yani, yapı elemanının sıcak tarafına izolasyon malzemesi, soğuk tarafına buhar kesici koymaktan kaçınılmalıdır. Ayrıca iç ortam bağıl nemini mümkün olduğu kadar azaltmak da yararlıdır.

## SİMGELER

$q_x$	:	ısı akısı	$(W/m^2)$ $(kcal/h m^2)$
$\lambda$	:	ısı iletim katsayısı	$(W/m ^\circ C)$ $(kcal/h m ^\circ C)$
$W_x$	:	su buharı akısı	$(kg/h m^2)$
$\mu_p$	:	permeabilite, buhar geçirgenliği	$(kg/h m mmSS)$
$p$	:	su buharı kısmi basıncı	$(mmSS)$
$p_s$	:	su buharı doyma basıncı	$(mmSS)$
$d$	:	yapı malzemesi kalınlığı	$(m)$
$\delta$	:	buhar geçirgenlik direnci	$(mmSS m h/kg)$
$\delta_H$	:	havanın buhar geçirgenlik direnci	$(mmSS m h/kg)$
$\Delta$	:	yapı malzemesi özgül buhar direnci	$(mmSS m^2 h/kg)$
$\varphi$	:	bağıl nem	$(\%)$
$\beta$	:	buhar geçirgenlik katsayısı	$(kg/m^2 h mmSS)$
$\alpha$	:	taşınım ısı transferi katsayısı	$(W/m^2 ^\circ C)$ $(kcal/m^2 h ^\circ C)$
$T$	:	sıcaklık	$(^\circ C)$

## KAYNAKLAR

- [1] INCORPERA & DEWITT, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Wiley, 1990.
- [2] TS 825 Ek 6
- [3] TREYBALL, "Mass Transfer Operations", McGraw Hill, 1978.
- [4] THRELKELD, J., "Thermal Environmental Engineering", Wiley, 1985.
- [5] MUJUMDAR, A., "Handbook of Industrial Drying", Marcel Decker Inc., 1991.
- [6] ASHRAE Fundamentals 1993
- [7] ÖZER, M., "Yapıların Isı, Su ve Buhar Yalıtımları", Haşmet Yayınevi, 1974.
- [8] BİRCAN, M., "Yapı Malzemelerinde Yoğuşmanın İncelenmesi", YTÜ Yüksek lisans tezi, 1999.

## ÖZGEÇMİŞLER

### **Hasan A. HEPERKAN**

1953 İstanbul doğumludur. 1974 yılında İTÜ Makina Fakültesini bitirmiştir. 1976 yılında Syracuse Üniversitesi'nden Yüksek Mühendis ve 1980 Yılında University of California, Berkeley'den Doktor Mühendis ünvanını almıştır. 1987 yılında üniversiteler arası Doçentlik sınavını vermiş ve 1996 yılında YTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Profesörü olmuştur. 1995 yılından beri aynı üniversitede Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır.

### **M. Murat BİRCAN**

1973 Ankara doğumludur. 1996 yılında YTÜ Makina Fakültesini bitirmiştir. 1998 yılında YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programından Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 1996-1998 yılları arasında Sönmez Metal Endüstri ve Tic. A.Ş.'de ısıtma, görev yapmıştır.

### **M. Kemal SEVİNDİR**

1973 Eskişehir doğumludur. 1996 yılında YTÜ Makina Fakültesini bitirmiştir. 1999 yılında YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programından Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 1999 yılında aynı Enstitüde Doktora programına kaydolmuştur. 1996 yılından beri YTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.