

66393

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUHAR DİFÜZYONUNUN DIŞ DUVARLARIN NEM İLE İLGİLİ VE ISIL PERFORMANSINA
ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM**

DOKTORA TEZİ

Y. MİMAR M. Cem ALTUN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4. Ekim 1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 7. Ocak 1997

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İmer SUNGURÖĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zerrin YILMAZ

: Doç. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU

: Prof. Dr. Murat ERİÇ

: Prof. Dr. Rifat ÇELEBİ

OCAK 1997

ÖNSÖZ

Yüzyılın ikinci yarısından itibaren, yapı kesiminde yaygın olarak kullanılmaya başlanan, yeni yapı malzemeleri ile yeni yapı ve yapım sistemlerinde, diğer alanlarda olduğu gibi yapı elemanlarındaki fiziksel olaylar ile ilgili olarak da, geleneksel sistemlerde, yüzyıllar boyunca süren deneme - yanılma yolu ile elde edilen deneyimler sonucu, ulaşılabilen olgunluk düzeyine erişilmesi, olanaksız olduğundan ötürü, bunların tasarım aşamasında değerlendirilmesi, bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada da, duyarlı bir değerlendirmede kullanılabilecek bir yaklaşımın ortaya koyulması, amaçlanmıştır

Bu çalışmadaki, tez danışmanım Prof. Dr. İmer SUNGUROĞLU' na, tüm aşamalardaki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Zerrin YILMAZ' a, yerinde uyarılarından dolayı Prof. Dr. Ertan ÖZKAN' a teşekkür ederim.

İstanbul, Ekim 1996

M. Cem ALTUN

İÇİNDEKİLER

NOTASYON	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
BÖLÜM 1. GİRİŞ, AMAÇ VE KAPSAM	1
BÖLÜM 2. BUHAR DİFÜZYONUNUN DIŞ DUVAR PERFORMANSINA ETKİLERİ	6
2.1. Dış Duvarlarda Nem İle İlgili Ve Isıl Performans Gereksinimleri	6
2.2. Dış Duvarlarda Nemliliğin Nedenleri	7
2.3. Dış Duvarlarda Nemin Taşınma Ve Depolanma Tipleri	8
2.4. Dış Duvarlarda Nemin Etkileri	9
2.4.1. Nemliliğin, Dış Duvarı Oluşturan Malzemelerin Isı İletkenlik Katsayılarına Etki Etme Biçimi	10
2.4.2. Nemliliğin, Dış Duvarı Oluşturan Malzemelerin Buhar Difüzyon Direnç Katsayılarına Etki Etme Biçimi	11
BÖLÜM 3. BUHAR DİFÜZYONUNUN, MEYDANA GELMESİNE VE DIŞ DUVARLARIN NEM İLE İLGİLİ VE ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNE NEDEN OLAN ETMENLER : ÇEVRESEL ETMENLER VE DUVAR ÖZELLİKLERİ	12
3.1. Çevresel Etmenler	12
3.1.1. Dış İklim Elemanları	13
3.1.1.1. Dış Hava Sıcaklığı	13
3.1.1.2. Dış Hava Nemliliği	13
3.1.1.3. Güneş Işınımı	14
3.1.1.4. Rüzgar	14
3.1.2. İç İklim Elemanları	15
3.2. Duvar Özellikleri	15
3.2.1. Duvarı Oluşturan Malzemelerin Nem ile İlgili Özellikleri	16
3.2.2. Duvarı Oluşturan Malzemelerin Isıl Özellikleri	17
3.2.3. Duvarı Oluşturan Malzemelerin Optik Özellikleri	17

	3.2.4. Dış Duvarların Nem ile İlgili ve Isıl Performansına Etkisi Olan Diğer Duvar Özellikleri	17
BÖLÜM	4. BUHAR DİFÜZYONUNUN, DIŞ DUVARLARIN NEM İLE İLGİLİ VE ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE, BUGÜNE KADAR, KULLANILAN YÖNTEMLER	19
	4.1. Buhar Difüzyonunun Nem İle İlgili Ve Isıl Performansa Etkilerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Ölçütler	20
	4.1.1. Nem ile İlgili Performans Ölçütleri	20
	4.1.2. Isıl Performans Ölçütleri	20
	4.2. Buhar Difüzyonu Hesaplama Yöntemlerinde Kullanılan Modeller	21
	4.2.1. Sabit Rejimde Hesaplama Yöntemleri	22
	4.2.1.1. Analitik Yöntemler	22
	4.2.1.2. Grafik Yöntemler	23
	4.2.2. Değişken Rejimde Hesaplama Yöntemleri	24
	4.3. Buhar Difüzyonu Hesaplama Yöntemlerinde Kullanılan İklim Elemanları	25
	4.3.1. Sabit Rejim Hesaplama Yöntemlerinde Kullanılan İklim Elemanları	26
	4.3.2. Değişken Rejim Hesaplama Yöntemlerinde Kullanılan İklim Elemanları	28
	4.4. Buhar Difüzyonu Sonucu Oluşan Nemliliğin, Dış Duvarın Isıl Performansına Etkilerinin Hesaplanmasında Kullanılan Yöntemler	28
	4.5. Yöntemlerin Tartışılması	34
BÖLÜM	5. BUHAR DİFÜZYONUNUN, DIŞ DUVARLARIN NEM İLE İLGİLİ VE ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM	37
	5.1. Yaklaşımın Amacı	37
	5.2. Yaklaşımın Tanıtılması Ve Adımları	38
	5.2.1. Dış Duvar Seçeneklerinin Geliştirilmesi ve Duvarı Tanımlayıcı Özelliklerin Derlenmesi	38
	5.2.1.1. Duvarı Tanımlayıcı Fiziksel Özellikler	40
	5.2.1.2. Duvarı Tanımlayıcı Diğer Özellikler	41
	5.2.2. Çevresel Etmenlerin Hesap Değerlerinin Belirlenmesi	41
	5.2.2.1. Dış İklim Elemanları	41
	5.2.2.2. İç İklim Elemanları	42
	5.2.2.3. Diğer Çevresel Etmenler	43

5.2.3.	Dış Duvarda Meydana Gelen Buhar Difüzyonu Sonucu Oluşan Nem Dağılımı ve Bunun Duvarın Isıl Özelliklerine Etkilerinin Hesaplanması	43
5.2.3.1.	Katman Parçaları (Δx) ve Zaman Aralıkları (Δt)'nin ve Simülasyon Süresinin Belirlenmesi	45
5.2.3.2.	Duvar Yüzey ve Katman Parçalarındaki Sıcaklıkların (T) Belirlenmesi	45
5.2.3.3.	Doymuş Buhar Basınçlarının (P_s) Belirlenmesi ..	46
5.2.3.4.	Kısmi Buhar Basınçlarının (P) Belirlenmesi	46
5.2.3.5.	Difüzyon Direnç Faktörlerinin (μ) Belirlenmesi ...	46
5.2.3.6.	Havadan Duvar Yüzeylerine ve Katman Parçaları Arasında, Birim Alandan, Difüzyon Yolu İle Geçen Buhar Miktarının (i) Belirlenmesi	47
5.2.3.7.	Buhar Difüzyonu Sonucu, Katman Parçalarında Oluşan Hacimsel Nemlilik Oranının (u) Belirlenmesi	48
5.2.3.8.	Kritik Malzeme Nemliliğini (u_{KR}) Aşan Nemin Dağıtılması	50
5.2.3.9.	Duvar Yüzeyleri ile Katman Parçalarındaki, Bağlı Nem Oranlarının (ϕ) Belirlenmesi	52
5.2.3.10.	Duvar Katmanlarını Oluşturan Malzemelerin Isı İletkenlik Katsayılarının (λ) Malzeme Nemliliğine Bağlı Olarak Belirlenmesi	52
5.2.3.11.	Isı Yayınım Katsayılarının (a) Hesaplanması	52
5.2.3.12.	Birim Alandan, Birim Zamanda Geçen Isı Miktarının (q) Hesaplanması	53
5.2.3.13.	Duvarın Zaman Geciktirme Özelliğinin (ϕ) Belirlenmesi	53
5.2.3.14.	Duvarın Genlik Küçültme Faktörünün (f) Belirlenmesi	54
5.2.4.	Buhar Difüzyonu Etkisi Altındaki, Dış Duvar Seçeneklerinin, Nem ile İlgili Ve Isıl Performans Ölçütleri Doğrultusunda, Değerlendirilmesi	54
BÖLÜM 6.	SONUÇLAR	57
BÖLÜM 7.	YENİ YAKLAŞIMIN UYGULANMASINA İLİŞKİN ÖRNEKLER	61
7.1.	Buhar Difüzyonunun Dış Duvarların Nem İle İlgili Ve Isıl Performansa Etkilerinin Belirlenmesi Amacı İle Ortaya Koyulan Yaklaşımın Türkiye' nin Farklı İklim Bölgelerindeki, Değişik Dış Duvar Tiplerine Uygulanması	61
7.1.1.	İncelenecek Duvar Seçeneklerinin Geliştirilmesi ve Duvarları Tanımlayıcı Özelliklerin Derlenmesi	62
7.1.1.1.	İncelenecek Duvar Seçeneklerinin Geliştirilmesi ..	62
7.1.1.2.	Duvar Seçeneklerinin Boyutlandırılması ve Duvarları Tanımlayıcı Bilgilerin Derlenmesi	66
7.1.2.	Çevresel Etmenlerin Hesap Değerlerinin Belirlenmesi	66
7.1.2.1.	İncelenecek Karakteristik İllerin Seçimi	66

7.1.2.2.	Dış İklim Elemanları	67
7.1.2.3.	İç İklim Elemanları	68
7.1.2.4.	Diğer Çevresel Etmenler	68
7.1.3.	Duvar Seçeneklerinin Değerlendirilmesi İçin Seçilen Ölçütler ve Ölçütlerin Sınır Değerleri	68
7.1.4.	Uygulama ile İlgili Hesaplamalar	69
7.1.5.	Buhar Difüzyonu Etkisindeki, Dış Duvarların, Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinde Gösterdikleri Isıl ve Nem ile İlgili Performansın Değerlendirilmesine İlişkin Uygulama Çalışmasının, Sonuçları	69
7.1.5.1.	Ortadan Isı Yalıtımlı Duvarların, Bağlı Nem Oranı Dağılımı ve Birim Zamanda, Birim Alandan Geçen Isı Miktarı Ölçütleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi	70
7.1.5.2.	Dıştan Isı Yalıtımlı Duvarların, Bağlı Nem Oranı Dağılımı ve Birim Zamanda, Birim Alandan Geçen Isı Miktarı Ölçütleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi	72
7.1.5.3.	İçten Isı Yalıtımlı Duvarların, Bağlı Nem Oranı Dağılımı ve Birim Zamanda, Birim Alandan Geçen Isı Miktarı Ölçütleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi	73
7.2.	Buhar Difüzyonunun Dış Duvarların Nem ile İlgili Ve Isıl Performansına Etkilerinin Belirlenmesi Amacı İle Ortaya Koyulan Yaklaşımın, Ilımlı - Nemli İklim Bölgesinde, Ortadan Isı Yalıtımlı Dış Duvar Tiplerine Uygulanması	106
KAYNAKLAR		115
EKLER		123
ÖZGEÇMİŞ		146

NOTASYON LİSTESİ

Simge	Birim	Açıklama
A,B,...	:[-]	Farklı katman malzemeleri
AP(0), AP(1),...	:[-]	Polinom katsayıları
a	:[m ² /s]	Isı yayılım katsayısı
a _y	:[-]	Dış yüzey, güneş ışıınımı yutuculuk katsayısı
a _v , b _v , ...	:[-]	Fourier katsayıları
c	:[Wh/kg °C], [J/kg°C]	Özgül ısı
c'	:[kg/m ³]	Derişim
D	:[m ² /s]	Malzeme için su buharı difüzyon katsayısı
d	:[m]	Kalınlık
d'	:[%]	Nemlilik oranına bağılı olarak ısı iletkenlik katsayısında, kuru duruma göre, artış oranı
df	:[-]	Sorpsiyon eşsıcaklık eğrisi için eğrilik faktörü $df=\ln(1-\phi_x)/(u_x-u_0)$
e'	:[%]	Pratik nemlilik oranına bağılı olarak, ısı iletkenlik katsayısında, kuru duruma göre, toplam artış oranı
F	:[m ²]	Alan
f	:[-]	Sıcaklık için genlik küçültme faktörü
G _{Y,H}	:[m ³]	Sezonluk, hacimsel yoğuşma suyu miktarı
G _{Y,K}	:[kg]	Sezonluk, kütleel yoğuşma suyu miktarı
G _Y	:[kg/m ²]	Sezonluk, birim alandaki yoğuşma suyu miktarı
g	:[gr/m ² h]	Saatlik yoğuşma suyu miktarı
H	:[h]	Saat (1, 2, 3, ... , 24)
I	:[W/m ²]	Düşey düzlemi etkileyen toplam güneş ışıınımı

i	: [kg/m ²]	Birim alandan, 'difüzyon yolu ile geçen su buharı miktarı
i'	: [kg/m ² h]	Su buharı difüzyon yoğunluğu
l	: [h]	Harmonik analizde zaman aralığı (24 h)
m	: [-]	Kabuktaki katman parçası (Δx) adedi
n	: [-]	Bir malzeme katmanındaki katman parçası (Δx) adedi.
n'	: [-]	Harmonik analizde ele alınan zaman aralığında iklim elemanı için yapılan ölçüm sayısı
nm	: [kg/m ²]	Nem miktarı
P	: [Pa]	Kısmi buhar basıncı, Barometrik basınç
P_s	: [Pa]	Doymuş buhar basıncı
q	: [W/m ² h]	Birim alandan, birim zamanda, geçen ısı miktarı
R_B	: [J/kg °C]	Su buharı gaz sabiti (=461.8 J/kg °C)
r_ϕ	: [-]	Çevrenin güneş ışınlamı yansıtma katsayısı
s	: [m]	Özgül difüzyon direnci ($s=\mu d$)
T	: [°C]	Sıcaklık
T'	: [K]	Mutlak sıcaklık
T_D	: [°C]	Dış hava sıcaklığı
T_E	: [°C]	Solair sıcaklık
T_i	: [°C]	İç hava sıcaklığı
t	: [-]	"t" zamanı
$t+\Delta t$	: [h], [s]	"t" zamanından " Δt zaman aralığı" sonrası
U	: [-]	Harmonik analizde, ölçülen değerlerin aritmetik ortalamadan şaşma miktarı
u	: [-]	Hacimsel malzeme nemliliği
u_0	: [-]	Hacimsel malzeme nemliliği ($\phi=\%0$)
u_{75}	: [-]	Hacimsel malzeme nemliliği ($\phi=\%75$)
u_{KR}	: [-]	Kritik, hacimsel malzeme nemliliği ($\phi=\%100$)
w	: [kg/m ² √h]	Su emicilik katsayısı
$Y(h)$	: [-]	Harmonik analizde zamana bağlı olarak değişen iklim elemanı
Y_o	: [-]	Harmonik analizde ölçülen iklim elemanı değerlerinin aritmetik ortalaması
Δt	: [h], [s]	Zaman aralığı
Δx	: [m]	Katman parçası kalınlığı
1,2,...,j,... .,k,...,m	: [-]	Katman parçaları

α_i	: [W/m ² °C]	İç hava taşınım katsayısı
α_D	: [W/m ² °C]	Dış hava taşınım katsayısı
β_i	: [kg/m ² hPa]	İç su buharı geçiş katsayısı
β_D	: [kg/m ² hPa]	Dış su buharı geçiş katsayısı
γ	: [kg/m ³]	Kuru yoğunluk
δ	: [kg/mhPa]	Su buharı difüzyon katsayısı ($\delta_H/R_B T$)
δ_H	: [m ² /h]	Havanın su buharı difüzyon katsayısı
λ	: [W/m°C]	Isı iletkenlik katsayısı
$\lambda_{10, KURU}$	: [W/m°C]	Kuru durumdaki ısı iletkenlik katsayısı (T=10°C)
λ_H	: [W/m°C]	Isı iletkenlik katsayısı hesap değeri
μ	: [-]	Su buharı difüzyon direnç faktörü
μ_0	: [-]	Su buharı difüzyon direnç faktörü (φ =%0)
μ_{66}	: [-]	Su buharı difüzyon direnç faktörü (φ =%66)
μ_{100}	: [-]	Su buharı difüzyon direnç faktörü (φ =%100)
ν	: [-]	İncelenen harmonik sayısı
φ	: [%], [-]	Bağıl nem oranı
ϕ	: [h]	Sıcaklık için zaman geciktirme

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 5.1.	Buhar difüzyonu etkisini göz önünde tutarak, ısı ve nem ile ilgili performans ölçütleri doğrultusunda, en uygun dış duvar seçeneklerinin belirlenmesi için akış diyagramı.	39
Şekil 5.2.	Dış duvarın, bölündüğü varsayılan, "m" adet, sanal " Δx " katman parçası.	44
Şekil 7.1.	Ortadan ısı yalıtımlı duvarın katmanlaşma detayı.	64
Şekil 7.2.	Dıştan ısı yalıtımlı duvarın katmanlaşma detayı.	64
Şekil 7.3.	İçten ısı yalıtımlı duvarın katmanlaşma detayı.	64
Şekil 7.4.	Ankara: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	76
Şekil 7.5.	Antalya: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	77
Şekil 7.6.	Diyarbakır: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	78
Şekil 7.7.	Erzurum: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	79
Şekil 7.8.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	80
Şekil 7.9.	Ankara: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	86
Şekil 7.10.	Antalya: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	87

Şekil 7.11.	Diyarbakır: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	88
Şekil 7.12.	Erzurum: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	89
Şekil 7.13.	İstanbul: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	90
Şekil 7.14.	Ankara: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	96
Şekil 7.15.	Antalya: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	97
Şekil 7.16.	Diyarbakır: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	98
Şekil 7.17.	Erzurum: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	99
Şekil 7.18.	İstanbul: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.	100
Şekil 7.19.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımı (ocak ayı).	108
Şekil 7.20.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (cam yünü) duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımı (ocak ayı).	109
Şekil 7.21.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın katman parçalarındaki, difüzyon direnç faktörlerinin değişimi (ocak ayı).	110
Şekil 7.22.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (cam yünü) duvarın katman parçalarındaki, difüzyon direnç faktörlerinin değişimi (ocak ayı).	111
Şekil 7.23.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, hacimsel nemlilik oranı dağılımı (ocak ayı).	112
Şekil 7.24.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, sıcaklık dağılımı (ocak ayı).	113

Şekil 7.25.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın dış ve iç yüzeylerindeki 24 saatlik sıcaklık değişimi (ocak ayı).	114
Şekil B.1.	Değişken rejimde, tek boyutlu ısı geçişinin, sonlu farklar yöntemi ile hesaplanmasında, duvarın, bölündüğü varsayılan, "m" adet, sanal " Δx " katman parçası.	125
Şekil C.1.	Değişken rejimde, tek boyutlu buhar difüzyonunun, sonlu farklar yöntemi ile hesaplanmasında, duvarın, bölündüğü varsayılan, "m" adet, sanal " Δx " katman parçası.	128
Şekil D.1.	Dış duvarlarda, buhar difüzyonunun, ısı ve nem ile ilgili performansa etkilerinin belirlenmesi amacı ile ortaya koyulan yaklaşımın, hesaplamalarında kullanılmak üzere geliştirilen ISINEM2 bilgisayar programının akış diyagramı.	131



TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1.	Çeşitli ısı yalıtım malzemelerinin, var olan binalardan alınan örnekler üzerinde yapılan ölçümler ile, gerçek şartların simüle edildiği, laboratuvarda yapılan ölçümlerden, elde edilen, nemlilik değerleri ile DIN 4108, Bölüm 4' te verilen "pratik nemlilik" değerlerinin karşılaştırılması.	32
Tablo 4.2.	Çeşitli yapı malzemelerinin, var olan binalardan alınan örnekler üzerinde yapılan ölçümler ile, gerçek şartların simüle edildiği, laboratuvarlarda yapılan ölçümlerden, elde edilen, nemlilik değerleri ile DIN 4108, Bölüm 4' te verilen "pratik nemlilik" değerlerinin karşılaştırılması	33
Tablo 4.3.	Yapay köpük yapılı ısı yalıtım malzemelerinde hacimsel malzeme nemliliği - ısı iletkenlik katsayıları, ilişkisini veren bağıntıya ait polinom fonksiyonu katsayıları (AP) .	34
Tablo 7.1.	Hesaplamalarda kullanılan, yapı malzemelerinin fiziksel özellikleri.	65
Tablo 7.2.	Ankara: Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	81
Tablo 7.3.	Antalya: Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	82
Tablo 7.4.	Diyarbakır: Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	83
Tablo 7.5.	Erzurum: Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	84
Tablo 7.6.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	85
Tablo 7.7.	Ankara: Dıştan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	91
Tablo 7.8.	Antalya: Dıştan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	92

Tablo 7.9.	Diyarbakır: Dıştan ısı yalıtımlı dış duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	93
Tablo 7.10.	Erzurum: Dıştan ısı yalıtımlı dış duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	94
Tablo 7.11.	İstanbul: Dıştan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	95
Tablo 7.12.	Ankara: İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	101
Tablo 7.13.	Antalya: İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	102
Tablo 7.14.	Diyarbakır: İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	103
Tablo 7.15.	Erzurum: İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	104
Tablo 7.16.	İstanbul: İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.	105
Tablo 7.17.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarda, iç iklim elemanlarındaki değişimlere bağlı olarak, ısı iletkenlik katsayılarındaki değişimler.	107
Tablo 7.18.	İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (cam yünü) duvarda, iç iklim elemanlarındaki değişimlere bağlı olarak, ısı iletkenlik katsayılarındaki değişimler.	107

ÖZET

Binalarda, dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran dış duvarlarda, iki ortam arasındaki kısmi buhar basınç farklarından dolayı, normal şartlar altında, sürekli olarak bir buhar difüzyonu meydana gelmektedir. Böylece buhar difüzyonu, dış duvarlarda nemliliğin en önemli etkeni olarak ortaya çıkmaktadır. Farklı malzeme özelliklerine sahip katmanlardan oluşan dış duvarlarda, buhar geçirgenlik direnci düşük olan katmanlardan "rahat" bir biçimde geçebilen su buharı, buhar geçirgenlik direnci yüksek katmanlar önünde birikebilmektedir. Malzeme nemliliğinin, bazı malzeme özelliklerini değişime uğratması nedeni ile önemli yapısal sorunlara neden olduğu bilinmektedir. Özellikle, buhar difüzyonu sonucu oluşan malzeme nemliliğinin, malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları ve buhar geçirgenlik özelliklerinde meydana gelen artışlar ve bozulmalar sonucu, dış duvarların kendilerinden beklenen ısı ve nem ile ilgili performansı yerine getirememeleri sözkonusu olabilmektedir. Bina yapımı tamamlandıktan sonra, duvarın kendisinden beklenen performansı yerine getirememesi durumunda, bu tür sorunların ortadan kaldırılmasının çok zor, hatta bazı durumlarda olanaksız, olduğu, açıktır. Bu nedenden ötürü bu tür sorunların ortaya çıkıp çıkmayacağını tasarım aşamasında belirlenip, yine bu aşamada gerekli önlemlerin alınması, dış duvarın kendisinden beklenen performansı sürekli olarak karşılayabilmesi açısından, önemlidir.

Bu çalışmada; tasarım aşamasında, farklı dış duvar seçenekleri arasında ısı ve nem ile ilgili performanslarına bağlı olarak bir değerlendirme ve bunun sonucunda bir seçim yapma olanağı veren veya mevcut binaların dış duvarlarının ısı ve nem ile ilgili performanslarının değerlendirilmesinde ve karşılaştırılmasında kullanılabilecek bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. Yaklaşım ile gerçekçi sonuçlar elde edebilmek amacı ile; hesaplamalarda, gerçeği en iyi yansıtacak dış ve iç iklimsel verilerin kullanılması ve dış duvarı oluşturan malzemelerin fiziksel özelliklerinde, zamana ve duvar içinde, çevresel etmenlerden kaynaklanarak, oluşan olaylara bağlı olarak meydana gelen değişimlerin ve bunların buhar difüzyonu ile ısı geçişi üzerindeki etkilerinin göz önünde bulundurulması, ilkelerinden yola çıkılmıştır. Yaklaşımdaki zamana bağlı ve tek boyutlu ısı geçişi ve buhar difüzyonu bağıntılarının çözümünde sonlu farklar yöntemi kullanılmış ve hesaplamalar için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Ortaya koyulan yaklaşım ile dış duvar seçeneklerinin; istenilen zaman aralığındaki, duvar içindeki ve yüzeylerindeki, sıcaklık dağılımı, doymuş buhar basıncı dağılımı, kısmi buhar basıncı dağılımı, buhar difüzyon direnç faktörü dağılımı, bağıl nem oranı dağılımı, malzeme nemliliği oranı dağılımı, ısı iletkenlik katsayılarının değişimi ve duvarda meydana gelen saatlik ısı geçiş miktarı gibi ısı ve nem ile ilgili performans ölçütlerinden yararlanarak karşılaştırıp, seçim yapmak olanaklıdır.

Çalışmanın kapsamında, geliştirilen yaklaşım kullanılarak, ısı yalıtım malzemesinin yeri ve malzemesine bağlı olarak geliştirilen dış duvar seçeneklerinin, Türkiye' nin farklı iklim bölgelerindeki çevresel etmenlere bağlı olarak gösterdikleri ısı ve nem ile ilgili performanslarını ortaya koyan bir uygulama çalışması da yapılmıştır.

SUMMARY

AN APPROACH FOR APPRAISING THE EFFECTS OF WATER VAPOR DIFFUSION ON THE THERMAL AND MOISTURE PERFORMANCE OF EXTERIOR WALLS

Chapter 1: Introduction

Today the built environment became a complex system fulfilling the user's physiological, psychological, social - cultural requirements and the requirements related to the activities of the user, influenced by the natural - artificial, social, cultural environmental factors. Considering the built environment at the building level; it is a system, consisting of subsystems with various functions. Those subsystems are; the structural system, the service systems and the functional building elements. The functional elements, on the other hand, are; the external envelope, floors, stairs, windows and doors and indoor walls. The external envelope consists of external walls, roofs and floors in relation to the external environment. As the most important reason for erecting buildings is 'environmental control', the external envelope, is the most important one among the building elements, from this point of view. The most important external environmental factors are the climatic elements. The external envelope acts in some respects as a physical barrier and in some respects as a filter. In this way some external environmental factors are excluded and others are admitted selectively. Sometimes it is not possible, for the external envelope, with its barrier and filter functions, to keep the internal volume at the conditions that are required and supplementary climatisation is needed. In this relation the external envelope has also the function of preventing energy losses. The behavior shown by the external envelope under those changing internal and external environmental conditions, is the performance of the external envelope.

Since the beginning of the 20th century new building and structural systems are used in building production. In time it has been seen that they had not only advantages but also some disadvantages from the point of view of building physics. Especially external walls, an important part of the external envelope, in steel or reinforced concrete frame buildings, became partitions between external environment and internal volume, without of their earlier load bearing function. Because of this it is an important design criterion that the external wall should be as 'light and thin' as possible for transmitting less load to the structural system. So it is necessary to design an external wall consisting of different layers of various materials, fulfilling different functions. Nearly all building materials may be exposed to moisture during construction and the subsequent life of the external wall, i.e. building. This moisture is transferred through the wall in the form of water or water vapor. The different layers resist the moisture transfer due to their different material properties i.e., resistance factors. Moisture is accumulated in front of

layers with high resistance factors or extraordinary amounts of moisture is captured in the wall due to design or construction failures. As moisture is affecting the thermal and moisture performance of walls, it can cause important defects. After the building is erected it's very expensive or sometimes impossible to remove those defects. So it is very important to prevent those defects in the design stage.

Since defects caused by water vapor diffusion, a kind of moisture transfer, appeared in building construction, many steady state and transient methods have been developed to predict the effects of water vapor diffusion. The most popular among them is the steady state, Glaser graphical method. As the steady state methods assume that there are no daily or seasonal changes in the climatic conditions outdoors it is difficult to obtain actual results from the predictions. There is no such problem in transient methods. Both the steady state and transient prediction methods assume that there are no effects of moisture, caused by damp diffusion, on the properties of materials used in the wall construction. This is another reason for difficulties in obtaining actual results from the predictions. It is possible to design various alternatives of wall construction with different materials. Another problem is the selection of the alternatives from the point of view of thermal and moisture performance.

The aim of this study is to develop an approach in order to appraisal the effects of vapor diffusion on the thermal and moisture performance of external walls for decision making among the designed alternatives, during the design stage or in existing walls. Two important criteria have been used in evaluating the approach :

1. To take into consideration the hourly, daily and seasonal fluctuations of climatic element values,
2. To take into consideration the effects of vapor diffusion on the material properties.

Chapter 2: Effects of Vapor Diffusion on the Thermal and Moisture Performance of External Walls

The thermal performance requirements for external walls are as follows:

- Low heat losses (during the season when heating is needed),
- Low heat gains (during the season when cooling is needed),
- Ability of heat storage,
- Internal surface temperature should be at a desired level,
- Durability against high or low temperatures,
- Durability against thermal movements.

The moisture performance requirements for external walls are as follows:

- To prevent from physical, chemical, electrochemical, biological defects caused by accumulated moisture,
- To prevent from esthetic deterioration caused by accumulated moisture on the wall surfaces.

The thermal and moisture performance of external walls is affected by moisture accumulated in the wall. Moisture comes from different sources into the wall construction:

- Moisture in the air
- Construction moisture
- Precipitation
- Ground water
- Leakage

Moisture is transferred by;

- Diffusion,
- Molecular movement,
- Water movement due to capillary, pressure differences, gravity or thermo-osmosis.

Moisture is fixed in the wall construction either by sorption or as free water.

The main effects of moisture on the wall construction are:

- Decreasing mechanical durability,
- Corrosion of metals.
- Efflorescence,
- Mould and decay,
- Frost damages,
- Increasing heat transfer,
- Decreasing vapor diffusion resistance.

Under normal conditions the main cause of moisture accumulation in the wall construction is water vapor diffusion. The moisture is fixed in the wall mainly by sorption and its most important effects on the external wall performance are increasing heat transfer and decreasing vapor diffusion resistance.

Chapter 3: Factors Causing the Effects of Vapor Diffusion on the Thermal and Moisture Performance of External Walls : Environmental Factors, Wall Properties

The most important environmental factors affecting vapor diffusion are the outdoor and indoor climatic elements:

- Air temperature
- Relative air humidity
- Solar radiation
- Winds

Properties of the external wall are also affecting the vapor diffusion and on the other hand they are affected themselves by the accumulated moisture due to vapor diffusion. Those hygrothermal and optical wall properties are :

- Water vapor diffusion factor
- Capillary suction factor
- Sorption isotherms
- Heat conduction factor
- Specific heat
- Absorptivity ratio for solar radiation

As vapor diffusion is mainly affected by climatic elements and hygrothermal and optical material properties it is important to consider the hourly, daily and seasonal fluctuations of the climatic elements and the interaction between water vapor diffusion and material properties in order to obtain actual results from any simulation method.

Chapter 4: Methods for Prediction of the Effects of Vapor Diffusion on the Thermal and Moisture Performance of External Walls

The water vapor diffusion methods consist of three parts: prediction modeling, environmental conditions, i.e. climatic elements and material properties.

The methods, developed for predicting the effects of water vapor diffusion can be classified under two different types, due to the climatic elements used for prediction. In steady state prediction methods climatic elements like temperature or relative humidity are considered to be constant. Unsteady state or transient methods take daily and seasonal fluctuations of the climatic elements outdoors, into consideration.

There are analytical steady state methods like the "Allgemeine Formel" method and the "Glaser" analytical method and graphical steady state methods like the "Glaser" graphical method and the "Kieper" graphical method. Transient methods for predicting the water vapor diffusion are the "Husseini" method and the "Husseini-Ricken" method.

The most important effect of water vapor diffusion on material properties is the changes in the heat conduction factor value due to moisture content. There are mainly two methods for determination of the heat conduction factor of moist materials: The "Cammerer" method that is also used in DIN 4108 and the "Künzel" method.

As the steady state methods assume that there are no hourly, daily or seasonal fluctuations in the climatic conditions outdoors it is difficult to obtain actual results from those predictions. There is no such problem in transient methods. Both; the steady state and transient prediction methods listed above, assume that there are no effects of moisture, caused by water vapor diffusion, on the properties of materials used in the wall construction. With the "Künzel" method, which uses the moisture content and an additional coefficient together with the thermal conductivity coefficient in dry state, it is possible to calculate the actual thermal conductivity coefficient of moist material.

Chapter 5: An Approach for Appraising the Effects of Water Vapor Diffusion on the Thermal and Moisture Performance of Exterior Walls

The approach consists of three steps: 1. The choice of the climatic conditions outdoors and indoors and the external wall properties, 2. Calculation of the heat and water vapor flux in the wall and its effects on thermal and moisture performance of walls, 3. The choice of one solution from the designed external wall construction alternatives, due to their thermal and moisture performance.

The following properties of each designed external wall construction are needed for appraising the effects of vapor diffusion on the thermal and moisture performance: The thickness and arrangement of the layers, the hygrothermal properties of each layer material, optical properties of the surfaces and orientation of the wall.

Also needed for determination are; the hourly outdoor temperatures, relative humidity and solar radiation values of the climatic region where the building, i.e. the external wall is considered to be

The main calculation steps of the approach are as follows:

- Choice of the layer thickness Δx and time interval Δt ,
- Determination of the temperatures of the surfaces and Δx - layers,
- Determination of the saturated vapor pressure of the surfaces and Δx - layers,
- Determination of the partial vapor pressure of the surfaces and Δx - layers,

- Determination of the partial vapor pressure of the surfaces and Δx - layers,
- Determination of the vapor diffusion resistance factor of each Δx - layer,
- Determination of the vapor flux between the air and the surfaces and between each Δx - layer,
- Determination of the moisture content as a function of vapor diffusion of the surfaces and Δx - layers,
- Distribution of the moisture content above the critical value due to capillary suction coefficient
- Determination of the relative humidity values as a function of moisture content of the surfaces and Δx - layers,
- Determination of the thermal conductivity coefficient of each material layer depending on the moisture content,
- Determination of the heat diffusivity coefficient,
- Determination of the heat flux,

After the effects of water vapor diffusion on thermal and moisture performance have been calculated the external wall construction alternatives can be appraised according to the following performance criteria:

- Water vapor diffusion resistance factor distribution in the wall,
- Moisture distribution in the wall,
- Temperature distribution in the wall,
- Inner surface temperature,
- Thermal conductivity coefficients,
- Heat flux,
- Time lag of the wall construction,
- Reduction of the amplitude of the surface temperatures.

Related to the appraising of alternatives a decision making during the design phase is possible.

Chapter 6: Conclusion

An approach for appraising the effects of water vapor diffusion on the thermal and moisture performance of external walls has been developed. Different from other methods, it takes into consideration; the hourly fluctuations of outdoor climatic elements, i.e. temperature, relative humidity and solar radiation, as well as the interaction between the moisture content, due to water vapor diffusion, and the material properties, i.e. thermal conductivity and water vapor diffusion resistance.

A simulation computer program was also developed for the calculations of the approach.

It is possible to use the approach for appraising wall construction alternatives during the design stage as well as for appraising existing external walls.

Chapter 7: Application of the Approach for Appraising the Effects of Water Vapor Diffusion on the Thermal and Moisture Performance on Various Wall Types under Different Climatic Conditions of Turkey

For the application of the approach; climatic conditions of the five different climate zones of Turkey have been chosen. The indoor climatic conditions were chosen as constant. Three different wall constructions with various placements of the polystrol

thermal insulation and common building materials have been used for the appraisal. The simulation has been carried out, for a time interval of one year.

The main results obtained from the application are as follows:

There is mainly a moisture accumulation on the warm side of the polystrol thermal insulation due to its high water vapor diffusion resistance. Only in the dry - cold climate zone there is a moisture accumulation above the critical moisture content value in the wall construction with a thermal insulation located on the outer surface. The highest heat gains or losses are in walls with a thermal insulation located on the outer surface. There are no significant fluctuations in the thermal conductivity factors due to moisture content.



BÖLÜM 1

GİRİŞ, AMAÇ VE KAPSAM

GİRİŞ

Yapı eylemi, en basit hali ile, insanın kendini doğal çevresel etmenlerden koruyacak bir yapma "çevre yaratma" gereksiniminden, ortaya çıkmıştır. Zamanla değişen şartlar doğrultusunda, yapma çevre, insanların veya genel olarak kullanıcıların, doğal, yapay, sosyal ve kültürel çevresel etmenlerin etkisi altında, fizyolojik, psikolojik, sosyo-kültürel gereksinmelerine ve gerçekleştirdikleri eylemlerden kaynaklanan gereksinmelerine, cevap verebilecek, karmaşık bir sistem haline dönüşmüştür.

Sistemler yaklaşımı çerçevesinde, yapma çevrenin, bina ölçeğinde ele alınması durumunda, binanın yukarıda sıralanan gereksinmelere bağlı olarak, farklı işlevleri üstlenen, alt sistemlerden oluştuğu görülmektedir. Bu alt sistemler; işlevsel yapı elemanları, taşıyıcı sistem ve servis sistemleri olarak sıralanabilir. İşlevsel yapı elemanları, üstlendikleri işlevlere bağlı olarak; dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran "dış duvarlar", "çatılar" ve "dış ortamla ilişkili döşemeler", kullanıcının etkinliklerini gerçekleştirmek amacı ile gereksinim duyduğu yatay düzlemler; "döşemeler", farklı kottaki düzlemler arasında ilişki kuran "merdivenler", iç ortamı gereksinmelere bağlı olarak bölen elemanlar, yani "iç duvarlar", ortamlar arasında görsel ve fiziksel ilişki kuran elemanlar; "pencereler ve kapılar" olarak sıralanabilir. İşlevsel yapı elemanları arasında, dış duvarlar, çatılar ve dış ortamla ilişkili döşemeler, binanın temel görevi olan, kullanıcıları doğal çevresel etmenlerden koruma işlevini yerine getirmeleri açısından, önemli bir yer tutmaktadırlar. Burada söz konusu olan, en önemli, doğal çevresel etmenler ise iklim elemanlarıdır. Bina içinde kullanıcı gereksinmelerine uygun bir ortamın yaratılması ve sürdürülmesinde, dış kabuk olarak da adlandırılan, dış duvarlar, çatılar ve dış ortamla ilişkili döşemeler, bazı çevresel etmenleri tüm olarak, bazılarını ise belirli oranlarda, engelleyen bir işlev üstlenmektedir. Doğaldır ki, yöresel, yıllık ve günlük değişimler gösteren dış iklim elemanlarına bağlı olarak, iç ortamdaki şartların, sürekli olarak, istenilen düzeyde tutulabilmesi, dış kabuğun "engelleyici" işlevi ile olanaklı olmayıp,

yapma enerji sistemlerinin de kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu durumda, dış kabuk, enerji kayıplarını "en aza" indirmek gibi, bir başka işlev de üstlenmektedir. Günümüzde, doğal enerji kaynaklarının; giderek azalıyor olmasından, buna bağlı olarak maliyetlerinin artmasından ve neden oldukları çevre kirliliğinden dolayı, dış kabuğun önemi, daha da artmaktadır. Dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarının, çevresel etmenlerin etkisi ve bu etmenlerdeki değişimlerin etkisi altında kullanılmasında, gösterdikleri davranış, dış kabuğun performansı olarak adlandırılmaktadır.

AMAÇ VE KAPSAM

20. yüzyılın başından itibaren bina üretiminde kullanılmaya başlanan ve bu yüzyılın ikinci yarısından sonra yaygınlık kazanan, yeni yapı ve yapım sistemlerinin, sağladıkları birçok yararın yanı sıra, yapı fiziği açısından bazı sakıncalarının da olduğu, zamanla, ortaya çıkmıştır. Özellikle betonarme ve çelik iskelet binalarda dış kabuğun önemli bir bölümünü oluşturan dış duvarlar, taşıyıcılık görevi yerine, sadece dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran bir bölme elemanı görevini üstlenmiştir. Böylece dış duvarın, taşıyıcı sisteme, olanaklar ölçüsünde, az yük verecek şekilde "hafif" ve "ince" olması önemli bir tasarım ölçütü olmuştur. Ancak bunun sonucu olarak, dış duvarın, çeşitli çevresel etmenlere bağlı olarak işlevini yerine getirebilmesi için, yağma sistemlerde kullanılan homojen ve "kalın" bir duvar yerine, ayrı ayrı işlevleri olan, farklı malzemelerden ve katmanlardan oluşacak şekilde tasarlanması gereği ortaya çıkmıştır. Duvar yapımında kullanılan hemen tüm yapı malzemeleri, az veya çok gözenekli yapıları nedeniyle, çevredeki nemi bünyelerine alma, depolama, taşınmasını sağlama ve tekrar bünyelerinden atma özelliğine sahiptir. Nem taşınma tipleri arasında, olağan koşullarda, sürekli olarak meydana gelen ve en etkili olanı, buhar difüzyonudur. Geleneksel yapı ve yapım sistemlerinde kullanılan, homojen ve "kalın" yağma duvarlarda veya hava ve nem geçişine kolaylıkla izin veren, ahşap iskelet duvarlarda, buhar difüzyonu, hemen hiç bir sorun yaratmamaktadır. Ancak, çok katmanlı duvarlarda kullanılan farklı malzemelerin, farklı nem geçirgenlik özelliklerine sahip olmaları nedeni ile, taşınan nemin bazı katmanlardan "hızlı" bir şekilde geçerken, bazı nem geçirgenlik direnci yüksek katmanların önünde birikmesi söz konusu olabilmektedir. Bundan başka, dış duvar katmanlarında, olağan şartlardaki nemin dışında, çevre şartlarının etkisi ile veya tasarım ve uygulama hatalarından ötürü, olağandışı nem birikimi, yani "yoğuşma" da meydana gelebilmektedir. Bunun sonucunda ise dış duvarın kendisinden beklenen performansı yerine getirememesi söz konusudur. Özellikle, malzeme nemliliğinin, dış duvarın ısı ve nem ile ilgili performansına sakıncalı

etkileri önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bina yapımı tamamlandıktan sonra, duvarın kendisinden beklenen performansı yerine getirememesi durumunda, bu tür sorunların ortadan kaldırılmasının çok zor, hatta bazı durumlarda olanaksız olduğu, açıktır. Bu nedenden ötürü, bu tür sorunların ortaya çıkıp çıkmayacağının, tasarım aşamasında belirlenip, yine bu aşamada gerekli önlemlerin alınması, dış duvarın kendisinden beklenen performansı sürekli olarak yerine getirebilmesi açısından, önemlidir. Tasarım aşamasında, özellikle 20 y.y.'daki teknolojik gelişmelere koşut olarak üretilen yeni yapı malzemelerinin çeşitliliğinin de etkisi ile, temelde aynı işlevi yerine getirebilecek, birçok dış kabuk seçeneğinin geliştirilebilmesi olanaklıdır. Seçenekler arasından, ısı ve nem ile ilgili performans ölçütleri doğrultusunda, bir değerlendirme yapılarak, en uygun olanın seçilmesi, tasarım sürecinin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır.

Buhar difüzyonu ile ilgili yapısal sorunların ortaya çıkmasından sonra, dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarının nem ile ilgili performanslarını, tasarım aşamasında, değerlendirebilmek ve uygun seçenekleri belirleyebilmek amacı ile değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemleri, temel olarak, dış iklim elemanlarının günlük ve yıllık değişimlerini hesaba katıp, katmamalarına bağlı olarak, "sabit rejim" ve "değişken rejim" yöntemleri olarak ele almak olanaklıdır. Bunlar arasında en önemli ve kullanımı yaygın olan 1950' li yıllarda Helmut Glaser tarafından geliştirilen, sabit rejim şartları kullanan, bina kabuğunun ısı geçişi ve buhar difüzyonu karşısındaki davranışını ortaya koyan, grafiksel yöntemdir [1]. Gerek yurt dışında [2], [3], [4], gerekse yurdumuzda [5], [6], Glaser yöntemini esas alan veya bunun dışında [7], sabit rejim yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan başka, dış kabuktaki buhar difüzyonu hesaplamalarında, yukarıda değinilen sabit rejim şartlarını kullanan yöntemlerin yanı sıra, değişken rejim şartlarını kullanan, yöntemler de [8], [9] geliştirilmiştir.

Yukarıda sıralanan, gerek sabit rejim, gerekse değişken rejim şartlarını kullanan yöntemlerde, iklim elemanlarının günlük ve yıllık değişimleri ile ilgili olarak veya kabuğu oluşturan malzemelerin özellikleri ile ilgili olarak, bazı gerçeği tam yansıtmayan, kabuller yapılmaktadır. Bu tür kabuller yapılarak, dış kabuğun nem ile ilgili ve ısı performansının değerlendirilmesinde yeterince duyarlı sonuçlar elde edilememektedir.

Bu çalışmanın amacı, tasarım aşamasında, farklı dış kabuk seçenekleri arasında, buhar difüzyonu nedeni ile biriken nemin etkisindeki ısı ve nem ile ilgili performansına bağlı olarak, bir değerlendirme ve bunun sonucunda bir seçim

yapma olanağı veren veya var olan binaların dış kabuğunun ısı ve nem ilgili performansının değerlendirilmesinde kullanılabilecek, bir yaklaşımın ortaya koyulmasıdır. Geliştirilmesi amaçlanan yaklaşım ile yeterince duyarlı sonuçlar elde edebilmek için iki ilkedan yola çıkılmıştır:

1. Hesaplamalarda, gerçeği en iyi yansıtacak dış ve iç iklimsel verilerin kullanılması,
2. Dış kabuğu oluşturan malzemelerin fiziksel özelliklerinde, çevresel etmenlerden kaynaklanarak, dış kabukta oluşan olaylara ve zamana bağlı olarak meydana gelen değişimlerin göz önünde bulundurulması.

Çalışmada, olağan şartlarda, dış kabukta nem birikmesine neden olan, nem taşınma tipi olarak, buhar difüzyonu ele alınmıştır. Buhar difüzyonunun etkinliğinin, dış kabuğun; atmosfere açık, opak bileşenlerinde, üst düzeyde olması nedeni ile, dış duvarlar, çalışmaya konu edilmiştir. Yine atmosfere açık yapı elemanları olan çatılarda, buhar difüzyonunun yanı sıra, yağışların da, nemlenmede önemli bir etmen olmasından dolayı, bunlar bu çalışma çerçevesinde ele alınmamıştır.

Çalışma kapsamında; dış duvarlarda söz konusu olan ısı ve nem ile ilgili performans gereksinimleri ve ölçütleri, nem taşınma ve depolanma tipleri ile etkileri, buhar difüzyonunun oluşmasında etkili olan çevresel etmenler ile duvar özellikleri incelenmiştir. Buhar difüzyonunun dış duvarlara etkilerinin değerlendirilmesinde bugüne kadar kullanılan yöntemler incelenerek, eksik yönleri irdelenmiştir. Mevcut yöntemlerde, buhar difüzyonunun oluşumunda etkili olan çevresel etmenler ve buhar difüzyonunun karşılıklı etkileşim içinde bulunduğu duvar özellikleri ile ilgili belirlenen eksikleri gidererek, dış duvar seçeneklerinin, ısı ve nem ile ilgili performansının daha duyarlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyan bir yaklaşım ortaya koyulmuştur.

Çalışma kapsamında; yaklaşımdaki ısı ve nem ile ilgili performans ölçütlerinin değerlerinin sayısal olarak belirlenmesinde kullanılmak üzere, dış ve iç iklim elemanlarındaki değişimler ile dış duvarda meydana gelen zamana bağlı, tek yönlü buhar difüzyonu, ısı geçişi ve bunların malzeme özelliklerine etkilerinin, simülasyonunu gerçekleştiren, Fortran dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Sözkonusu bilgisayar simülasyon programı ile, Türkiye' nin farklı iklim bölgelerini temsil eden, Ankara, Antalya, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul (Göztepe) illeri meteorolojik verileri kullanılarak, değişik duvar tiplerinin bir yıl boyunca gösterdikleri, nem ile ilgili ve ısı performansları incelenmiştir. Yapı sektöründe sıkça kullanılan malzemeler ile oluşturulan duvar tiplerinin seçiminde, ısı yalıtımının yeri bir

değişken olarak kullanılmıştır. Böylece; dıştan, içten ve ortadan ısı yalıtımlı duvar tipleri, incelenmek üzere belirlenmiştir.

Çalışmada, dış kabuğun önemli bir bölümünü oluşturan, dış duvarların ele alınmış olması nedeni ile, tüm "dış kabuk" için geçerli olan olayların anlatımında da "dış duvar" terimi kullanılmıştır.



BÖLÜM 2

BUHAR DİFÜZYONUNUN DIŞ DUVAR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Değişik nedenlere bağlı olarak, duvarın bünyesine giren, taşınan ve depolanan nem, dış duvarların performansında değişimlere neden olmaktadır. Duvarlarda, en etkin nem taşınma tipi olan buhar difüzyonu sonucu oluşan nemin, en önemli etkisi ise, duvarların ısı ve nem ile ilgili performansındadır. Aşağıda, dış duvarlarda ısı ve nem ile ilgili performans gereksinimleri ile duvarlarda, nemliliğin nedenleri, taşınma ve depolanma tipleri ile etkileri kısaca ele alınmıştır.

2.1. Dış Duvarlarda Isıl Ve Nem İle İlgili Performans Gereksinimleri

Performans, yapı ürünlerinin içinde bulundukları çevrenin koşulları ve bu koşullarda meydana gelen değişimler altında kullanılmasında, gösterdikleri davranışlardır [10, s.152]. Yapı ürünlerinin işlevsel performans gereksinimleri ise, kullanıcı istekleri, çevresel etmenler, maliyet ve yasa ve yönetmeliklerin çizdiği sınırlar ve sağladığı olanaklar çerçevesinde göstermeleri beklenen performanstır [10, s.152].

Dış kabuğun önemli bir bileşeni olan atmosfer ile ilişkili dış duvarların yerine getirmesi beklenen işlevleri iki farklı hedefe yönelik olarak incelemek olasıdır. Bunlardan ilki, kullanıcı gereksinimlerinin yerine getirilmesine ilişkin hedefler, diğeri ise dış duvarın gerçekleştirilmesi ve kullanım halindeyken meydana gelen olaylara ilişkin hedeflerdir. Yapı üretiminde, yapım sistemi, maliyet, kullanıcının etkinlikleri ile ilgili gereksinimleri ve kullanıcının sosyo - kültürel ve psikolojik gereksinimleri ile ilgili kararlar, yapı veya hacim düzeyinde verildiğinden ötürü, bunlar ile ilgili işlevsel gereksinimler yapı elemanı düzeyinde ikinci planda kalmaktadır [10, s.157]. Böylece dış duvarlar ile ilgili performans gereksinimleri, kullanıcıların doğal - yapay çevresel etmenler sonucu oluşan gereksinimleri ile yine doğal - yapay çevresel etmenlere bağlı olarak oluşan olaylara ilişkin işlevsel gereksinimlerden yola çıkılarak elde edilebilir. Her iki hedefe yönelik işlevsel gereksinimleri ortaya koyan; ısı, su-nem, ses ve yükler, dış duvarların performans gereksinimlerinin tanımlanmasında "öncelikli etmenlerdir". Bölüm 1' de de değinildiği gibi günümüz

şartlarında duvarların ısı performans tüm diğer performans gereksinmelerinin önüne geçmektedir. Bu nedenden dolayı bu çalışmada ısı ve nem ile ilgili gereksinimler birbiri ile ilişkili ve öncelikli olarak ele alınmıştır. Dış duvarlardan ısı ve nem ile ilgili olarak bekelenebilecek performans gereksinimleri aşağıda sıralanmıştır [11], [12] :

Isıl performans gereksinimleri:

- Isı kayıplarını az olması (Isıtma istenen dönemde).
- Isı kazançlarının az olması (Soğutma istenen dönemde).
- Isı depolama özelliği olması.
- İç yüzey sıcaklığının istenen düzeyde tutulabilmesi.
- Yüksek veya düşük sıcaklıklara dayanıklılık.
- Isıl deformasyona dayanıklılık.

Nem ile ilgili performans gereksinimleri :

- Nemin, duvar bünyesinde birikmesi sonucu, duvarın fiziksel, kimyasal, elektrokimyasal, biyolojik performansında değişimlerin, bozulmaların ve hasarların meydana gelmesinin engellenmesi.
- Nemin, duvar yüzeyinde birikerek, görsel bozukluklara neden olmasının engellenmesi.

2.2. Dış Duvarlarda Nemliliğin Nedenleri

Nem, değişik nedenlere bağlı olarak, dış duvarların bünyesine girmekte, değişik etmenlere bağlı olarak taşınmakta ve belirli bir süre depolanmaktadır. Dış duvarın bünyesine giren nemin taşınma tipi, depolanan nemin miktarı ve bünyede kalma süresi, dış duvarı oluşturan malzemelerin fiziksel özelliklerine ve çevresel etmenlere bağlıdır. Burada etkili olan malzeme özellikleri, gözeneklilik oranı ve gözenek tipine bağlı olarak, buhar difüzyon geçirgenliği, su emicilik katsayısı ve sorpsiyon eşsıcaklık eğrileridir. Söz konusu çevresel etmenler ise; havadaki nemin miktarı, ki en yaygın biçimde "bağıl nem oranı" ile tanımlanmaktadır, sıcaklık, güneş ışıınımı, yağış tipi ve miktarı, rüzgar yönü ve hızı, zemin cinsi ve zemin sularıdır.

Nem, bina yapımı sırasında ve öncesinde oluşan koşullara veya yapım sonrasında bina dışındaki ve içindeki koşullara bağlı olarak, değişik yollarla dış duvarların bünyesine ulaşabilmektedir [12]:

- Yapı malzemelerinin yapım öncesi taşınması veya depolanması sırasında, ortamdaki nemin malzeme bünyesine girmesi.
- Yapım sırasında kullanılan suyun, örneğin harç suyunun, dış duvarın bünyesinde birikmesi.
- Yağış sularının dış duvarların dış yüzeyine, doğrudan çarparak veya zemine çarpıp sıçrayarak, duvarın bünyesine girmesi.
- Zemindeki nemin kılcallık ile toprak ile ilişkili dış duvarların bünyesine girmesi .
- Dış ve iç ortamdaki nemin, adsorbsiyon yolu ile dış duvarların yüzeylerinden bünyelerine alınması.
- Dış ve iç ortamdaki, bağıl nem oranındaki ve sıcaklıktaki farklılık sonucu yapı elemanının içinden difüzyon yolu ile geçen buharın, farklı nedenlere bağlı olarak, birikmesi.
- Su yalıtımındaki hasarlar sonucu, dış duvarların bünyesine su girmesi.
- Su tesisatındaki hasarlar sonucu, dış duvarların bünyesine su girmesi.

2.3. Dış Duvarlarda Nemin Taşınma Ve Depolanma Tipleri

Duvar bünyesindeki nem, duvarı oluşturan malzemelerin özelliklerinden, öncelikli olarak gözenek büyüklüğü, tipi ve biçimi ile çevre koşullarına bağlı olarak, farklı tiplerde taşınmaktadır. Kısmi buhar basıncı farklılığı, toplam buhar basıncı farklılığı, sıcaklık farklılığı, su - nem değişim farklılığı, bu farklı nem taşınma tiplerinin ortaya çıkmasına neden olan belli başlı etmenlerdir [13, s.18]. Bu etmenlere bağlı olarak meydana gelen nem taşınma tipleri, moleküler taşınma, difüzyon ve su taşınması olarak sıralanabilir :

Moleküler taşınma; malzeme gözenek çapının, su moleküllerinden daha dar olduğu durumlarda, yani mikro gözeneklerde, meydana gelen bir nem taşınma tipidir. Knudsen moleküler taşınma veya efüzyon olarak da adlandırılmaktadır [13, s.26].

Difüzyon; malzeme gözenek çapının, su molekülerinde daha geniş olduğu durumlarda meydana gelen bir nem taşınma tipidir. İki ortam arasında kısmi buhar basıncı farklılığı olduğu durumlarda meydana gelmektedir [13, s.28].

Su taşınması; suyun, iki farklı ortam arasındaki toplam basınç farklılığı, yer çekimi kuvveti, kılcallık kuvveti veya elektriksel gerilimler nedeni ile taşınmasıdır [13, s.39].

Nem, malzeme özelliklerine ve çevre koşullarına bağlı olarak, dış duvarı oluşturan malzemelerin bünyesinde, sorpsiyon ve kılcallık kuvvetleri nedeni ile depolanmakta veya serbest su olarak birirmektedir [12] :

Sorpsiyon; su moleküllerinin, malzeme gözeneklerinin yüzeyinde, 'van der waals' kuvvetleri nedeni ile, birikmesidir. Bu şekilde adsorbe edilen nemin miktarı ile havanın belirli sıcaklıktaki bağıl nem oranı ile doğrudan bir ilişki söz konusudur. Bu ilişki her malzemeye özgü sorpsiyon eşsıcaklık eğrileri ile ifade edilmektedir. Adsorbe edilen nem miktarı, malzeme gözeneklerinin alanı ile biriken su tabakasının kalınlığına bağlıdır [14, s.178].

Malzeme içinde buhar veya sıvı haldeki nem taşınmasının artması sonucu, nemin adsorpsiyon ile gözenek yüzeylerinde birikmesinin yanı sıra, kılcal gözeneklerde de, kılcallık kuvvetleri nedeni ile, nem depolanmaktadır. Malzeme bünyesine giren su da, serbest olarak, gözeneklerin içinde depolanabilmektedir [13].

2.4. Dış Duvarlarda Nemin Etkileri

Dış duvarlarda yukarıda sıralanan tiplerde taşınan ve biriken nemin; kimyasal, elektro-kimyasal, fiziksel, biyolojik, görsel ve fizyolojik açılardan neden olduğu zararlı etkiler aşağıda sıralanmıştır [12], [15], [16] :

- Malzemelerin mekanik dayanımının azalması.
- Metallerde kimyasal veya elektro-kimyasal korozyon oluşumu.
- Priz geciktirici etki.
- Nem ile birlikte yüzeylere taşınan tuzlar nedeni ile yüzeyde bozulmalar.
- Yüzeylerdeki nemlilik nedeni ile uçan tozların yapışarak kirlenmeye ve görsel bozukluklara neden olması.
- İç ortamdaki havanın nem miktarının artması.
- Küf ve mantar oluşumu.
- Donma sırasındaki hacim artması sonucu malzemelerde çatlamların meydana gelmesi.
- Malzemelerin ısı iletkenliklerinin artması ve buna bağlı olarak duvarın toplam ısı geçirgenlik direncinin azalması .
- Malzemelerin buhar difüzyon dirençlerinin azalması ve buna bağlı olarak duvarda taşınan nem miktarının artması.

Dış duvarlarda, uygun tasarım ve yalıtım önlemleri ve uygulaması ile yağış, sıçrama ve zemin sularının duvar bünyesine alınmasının engellenebileceği açıktır. Yine dış duvarların oluşturulmasında kullanılan yapı malzemelerinin, yapım öncesi taşınması veya depolanması sırasında, adsorbsiyon yolu ile bünyelerine aldıkları nem veya yapım sırasında kullanılan suyun, örneğin harç suyunun, neden olduğu nem, belirli bir süre sonra, çevre koşullarına da bağlı olarak, duvar bünyesini terk etmektedir. Böylece normal şartlar altında dış duvarlardaki nemliliğin en önemli ve sürekli nedeninin buhar difüzyonu sonucu oluşan nem birikmesi olduğu ortaya çıkmaktadır [17].

Buhar difüzyonu sonucu oluşan nemliliğin diğer etkilerinin yanı sıra, dış duvarı oluşturan malzemelerin ısı iletkenliği ve buhar difüzyon direnci üzerinde sürekli bir etkisi olmaktadır. Bunun yanı sıra, günümüzde dış duvarlardan beklenen öncelikli performans; ısı kayıplarının veya kazançlarının, dolayısı ile ısıtma veya soğutma enerjisi harcamalarının ve bunlara bağlı olarak çevre kirliliğine neden olan atıkların ve kullanılan enerjinin maliyetinin düşük olmasıdır. Böylece buhar difüzyonu sonucu oluşan nemliliğin, ısı iletkenliği üzerindeki etkisi önemli bir etmen olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerden ötürü bu çalışmada, dış duvarlarda nemliliğin ana etkeni olarak buhar difüzyonu kabul edilmiştir. Buhar difüzyonunun, dış duvarların nem ile ilgili ve ısı performansına etkileri ise, malzeme nemliliği ve ısı iletkenliklerindeki değişimler çerçevesinde ele alınmıştır.

2.4.1. Nemliliğin, Dış Duvarı Oluşturan Malzemelerin Isı İletkenlik Katsayılarına Etki Etme Biçimi

Malzeme içindeki nem, ısı iletkenliğini üç farklı şekilde etkilemektedir. İlk olarak malzeme gözeneklerindeki, görece kuru havanın yerini neme bırakması, ısı akımını hızlandırmaktadır. Bunun nedeni ise suyun ısı iletkenlik katsayısının havaya göre 25 kat fazla olmasıdır [18]. İkinci olarak su buharı difüzyonu sırasında, nem ile birlikte ısı taşınmasının da meydana gelmesi nedeni ile, toplam ısı geçişi artmaktadır. Üçüncü olarak, suyun hal değişimi sırasında meydana gelen ısı alışverişi nedeni ile, duvar içinde bu olayın meydana geldiği belirli düzlemlerde, sıcaklığın artması veya azalması da, ısı akımının artmasına neden olmaktadır. Adsorbsiyon veya yoğuşma egzotermik, yani ısıveren, bir hal değişimidir. Desorbsiyon veya buharlaşma ise endotermik, yani ısıalan, bir hal değişimidir.

Toplam ısı iletimi göz önünde bulundurulduğunda, su buharı ile taşınan ısı miktarının %1' den az olduğu görülmektedir [19]. Yine, hal değişikliklerine bağlı

olarak meydana gelen sıcaklık farklılıkları sonucu oluşan ısı geçişi, higroskopik nem bölgesinde, ihmal edilebilecek kadar dūřūktūr [20], [21]. Bōylece, ısı iletkenlik katsayısının değişiminde en etkili olan etmenin malzeme gōzeneklerinde biriken nem olduğu ortaya çıkmaktadır.

2.4.2. Nemlilięin, Dıř Duvarı Oluřturan Malzemelerin Buhar Difūzyon Direnç Katsayılarına Etki Etme Biçimi

Dıř duvarları oluřturan yapı malzemelerinin nem geçirgenliklerinin malzeme nemlilięine baęlı olarak deęiřimleri, deneysel çalıřmalarla, ortaya koyulmuřtur [22], [23], [24]. Malzeme nemlilięinin, nem tařınmasının artmasında veya azalmasında etkili olmasının nedeni ise; buhar difūzyonu sırasında, malzeme gōzeneklerinin yūzeylerinde su molekōllerinin birikmesi sonucu, ince bir su tabakası oluřmasıdır. Gōzeneklerdeki baęlı nem oranının yūkselmesi nedeni ile, sorpsiyon eřsıcaklıęı doęrultusunda, malzeme nemlilięi de yūkselir. Buna baęlı olarak gōzenek yūzeylerindeki su tabakası kalınlıęı da artar. Bunun sonucu olarak, su tabakasındaki molekōllerin hareketlilięi de artarak, su buharı yoęunluęunun yūksek olduęu gōzeneklerden, dūřūk olduęu gōzeneklere doęru bir tařınma meydana gelir. Gōzenek yūzeylerindeki tabakanın tōm gōzeneęi dolduracak seviyede kalınlařması sonucunda ise, sıvı halde su tařınması sōz konusu olmaktadır [25].

Sonuç olarak; olağan koşullarda, dış duvarlarda nemliliğin en önemli nedeninin, buhar difūzyonu sonucu oluşan ve sorpsiyon yolu ile depolanan nem olduğu, ortaya çıkmaktadır. Bu nemliliğin ise, duvarların nem ile ilgili ve ısı performansına önemli etkileri olmaktadır.

BÖLÜM 3

BUHAR DİFÜZYONUNUN, MEYDANA GELMESİNE VE DIŞ DUVARLARIN NEM İLE İLGİLİ VE ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNE NEDEN OLAN ETMENLER : ÇEVRESEL ETMENLER VE DUVAR ÖZELLİKLERİ

Buhar difüzyonunun, olağan koşullarda, dış duvarlarda nemliliğin en önemli etkeni olduğuna, önceki bölümde değinilmişti. Dış duvarlarda buhar difüzyonunun nedeni, dış ortam ile iç ortamdaki havanın barındırdığı mutlak nem miktarındaki farklılıklardır. Buhar difüzyonu, havanın barındırdığı mutlak nem miktarına bağlı olarak değişim gösteren kısmi buhar basıncının, yüksek olduğu ortamdandan, daha düşük olduğu ortama doğru, bu farkı dengelemek amacı ile meydana gelmektedir. Su buharının nemli hava içinde oluşturduğu kısmi buhar basıncı ise iklim elemanları ve diğer bazı çevresel etmenlere bağlı olarak değişim gösterdiğine göre, buhar difüzyonunun meydana gelmesinde iklim elemanları en önemli etmenlerdir.

Dış duvar içinde meydana gelen buhar difüzyonu, duvarı oluşturan farklı malzemelerdeki katmanların ortaya koyduğu belirli oranlardaki dirençlerden dolayı kısmen engellenmektedir. Malzeme katmanlarının oluşturduğu bu dirençler, malzeme özelliklerine bağlıdır. Buna karşılık, buhar difüzyonu sonucu dış duvarda biriken nem ise, malzemelerin bazı özelliklerinde değişimlere neden olmaktadır. Malzeme özelliklerinde meydana gelen bu değişimler, duvarın ısı ve nem ile ilgili performansını doğrudan etkilemektedir.

Dış duvarlarda, buhar difüzyonunun meydana gelmesine neden olan çevresel etmenler ile buhar difüzyonu ile karşılıklı etkileşim içinde olan, duvarı oluşturan malzemelerin özellikleri, aşağıda kısaca açıklanmıştır.

3.1. Çevresel Etmenler

Buhar difüzyonunun oluşmasında, öncelikli olarak etkili olan çevresel etmenler; dış ve iç ortamdaki iklim elemanlarıdır. İç ortamdaki iklim elemanlarını, pasif veya aktif

yöntemler ile kontrol altına almak olanaklı olmakla birlikte, dış iklim elemanları, kontrol edilmesi olanaklı olmayan bir özellik göstermektedir.

3.1.1. Dış İklım Elemanları

Dış duvarlarda buhar difüzyonunun meydana gelmesinde en fazla etkili olan dış iklim elemanları; dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, güneş ışıınımı ve rüzgardır. Bu dış iklim elemanlarına ait değerler, meteoroloji istasyonlarında yapılan ölçümlerden elde edilebilmektedir. Çoğu dış iklim elemanlarında olduğu gibi dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve güneş ışıınımı da saatlik ve yıllık değişimler göstermektedir.

3.1.1.1. Dış Hava Sıcaklığı

Dış hava sıcaklığı değerleri, yer yüzeyinin, güneş hareketi ve gök koşullarının etkisi ile, ısınma ve soğumasına bağlı olarak değişerek, 24 saatlik periyotlarla tekrarlanmaktadır [26, s.6]. Dış hava sıcaklığının gün boyunca gösterdiği bu değişim, yaklaşık olarak bir sinüs eğrisi ile tarif edilebilmektedir (bkz. Ek A).

Türkiye' deki meteoroloji istasyonlarında dış hava sıcaklığı, kuru termometre ile, birer saatlik aralıklar ile ölçülmektedir [27].

Havanın barındırabildiği nem miktarı, hava sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Hava sıcaklığı arttıkça barındırılabilen nem miktarı da artmaktadır [14,s.172]. Buhar difüzyonunun meydana gelmesine neden olan kısmi buhar basıncının hava sıcaklığına bağlı olması nedeni ile, dış hava sıcaklığı buhar difüzyonunun oluşmasında önemli bir çevresel etmendir.

3.1.1.2. Dış Hava Nemliliği

Havanın içinde, değişik kaynaklardan buharlaşan su nedeni ile, her zaman belirli miktarda su buharı bulunmaktadır [26, s.13]. İçinde su buharı barındıran hava, "nemli hava" olarak adlandırılmaktadır. Havanın barındırdığı nem miktarı, sıcaklığına bağlıdır. Birim hacimdeki havanın belirli bir sıcaklıkta taşıyabileceği en fazla nem miktarı, "doyma miktarı" ve doyma miktarında nem barındıran hava ise "doymuş hava" olarak adlandırılmaktadır. Hava içinde bulunan nem miktarını, havanın toplam basıncı içinde su buharının oluşturduğu "kısmi basınç", yani "gerçek buhar basıncı" ile tanımlamak olanaklıdır. Doymuş hava içindeki su buharının basıncı ise,

"doymuş buhar basıncı" olarak adlandırılmaktadır. Hava içinde bulunan nemin tanımlanması için kullanılan bir başka yaklaşım da, bağıl nem oranıdır. "Bağıl nem oranı", belirli şartlardaki havanın barındırdığı su buharı miktarının veya bunun oluşturduğu kısmi basıncın, aynı şartlardaki doymuş havanın barındırdığı su buharı miktarına veya doymuş buhar basıncına oranıdır [14, s.171]. Dış hava bağıl nem oranı değerleri de, dış hava sıcaklığında olduğu gibi, 24 saatlik periyotlarla tekrarlanmaktadır. Bağıl nem oranının gün boyunca gösterdiği bu değişim, yaklaşık olarak bir sinüs eğrisi ile tarif edilebilir (bkz. Ek A).

Türkiye' deki meteoroloji istasyonlarında, bağıl nem oranının, her günün, saat 7.00, 14.00 ile 21.00' deki değerleri ölçülmektedir [27].

Buhar difüzyonunun oluşmasının nedeni, ortamlar arasındaki kısmi buhar basıncı farkları olduğuna göre, dış hava nemliliği, buhar difüzyonunun oluşmasında etkili olan en önemli çevresel etmendir.

3.1.1.3. Güneş Işınımı

Yeryüzüne ulaşan, güneşin yaydığı, dalga boyu $0.28 \mu\text{m}$ - $3.0 \mu\text{m}$ arasında değişen elektromanyetik ışıdır [26, s.1]. Toplam güneş ışıdır doğrudan güneş ışıdır ve yaygın gök ışıdır bileşenlerinden oluşmaktadır.

Türkiye' deki meteoroloji istasyonlarında yatay yüzeylerdeki güneş ışıdır miktarı, ışıdırınımın söz konusu olduğu saatlerde, birer saatlik aralıklar ile ölçülmektedir [27].

Dış duvarların yüzeyinde oluşan sıcaklıkta, güneş ışıdırının da önemli etkisi olmaktadır. Duvar yüzeyinde ve duvarın içinde, değişen sıcaklığa bağlı olarak kısmi buhar basınçları da değişerek buhar difüzyonunu yoğunluğu üzerinde etkili olmaktadır.

3.1.1.4. Rüzgar

Rüzgar, yer yüzeyindeki sıcaklık ve basınç farklılıkları ve Dünya' nın dönüşünden dolayı oluşan hava akımlarıdır [26, s.8].

Türkiye' deki meteoroloji istasyonlarında rüzgar yönü ve hızının, her günün saat 7.00, 14.00 ile 21.00' deki değerleri ölçülmektedir [27].

Hava ile duvar yüzeyi arasında meydana gelen ısı taşınımı ve buhar difüzyonu duvar yüzeyinde söz konusu olan hava hareketine yani rüzgar hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Böylece gerek duvar yüzeyindeki sıcaklığa bağlı olarak değişen kısmi buhar basıncı, gerekse hava ile duvar yüzeyi arasında ortaya çıkan buhar difüzyonu ile dış duvarda meydana gelen toplam buhar difüzyonu, rüzgar hızından, etkilenmektedir.

3.1.2. İç İklim Elemanları

Buhar difüzyonuna etki eden belli başlı iç iklim elemanları; iç hava sıcaklığı ve iç hava nemliliğidir. İç hava sıcaklığı, dış duvarın ısı geciktirmesine bağlı olarak, dış hava sıcaklığının değişimi, ısıtma - soğutma sisteminin çalışma süresi, iç ısı kaynaklarına, havalandırma sürelerine v.s. bağlı olarak düzenli olmayan bir değişim göstermektedir. İç bağıl nem oranı ile tanımlanabilen iç hava nemliliği de yukarıda sıralanan sıcaklıkla ilgili etmenlere ek olarak, duvarın buhar geçirgenliğine, iç ortamdaki su buharı üretimine bağlı olarak, düzenli olmayan bir değişim göstermektedir.

Mekarlarda, farklı fonksiyonlara ve kullanıcı gereksinmelerine bağlı olarak, gerek duyulan optimum iç hava sıcaklığı ve iç bağıl nem oranı değerleri söz konusudur. Bu değerleri farklı kaynaklarda verilen listelerden elde etmek olanaklıdır [28, s.3], [29,s.170], [30].

3.2. Duvar Özellikleri

Dış duvarların, genel olarak Bölüm 3.1.' de söz edilen çevresel etmenler etkisi altında, ısı ve nem ile ilgili performans gereksinmelerini karşılayabilmeleri, duvarı oluşturan malzemelerin fiziksel özellikleri ile duvarın diğer bazı özelliklerine bağlıdır.

Malzemelerin özelliklerini iç yapılarına bağlı olarak, mekanik, ısı, nem ile ilgili, optik, akustik, elektro-kimyasal, kimyasal, bio-kimyasal, manyetik-elektriksel, radyasyon, içyapısal özellikler başlıkları altında toplamak olanaklıdır. Bu çalışmanın kapsamı çerçevesinde, dış duvarların ısı ve nem ile ilgili performansını etkileyen malzeme özellikleri üzerinde durulacaktır.

Dış duvarlarda, buhar difüzyonunu etkileyen ve buhar difüzyonu sonucu oluşan nemlilik etkisi ile değerlerinde değişimler meydana gelen duvar özelliklerine aşağıda değinilmiştir.

3.2.1. Duvarı Oluşturan Malzemelerin Nem ile İlgili Özellikleri

Buhar Difüzyon Direnç Faktörü (μ), [-]

Buhar difüzyon direnç faktörü değeri, bir malzeme katmanının buhar difüzyon direncinin, aynı kalınlık ve koşullardaki hava tabakasına göre, kaç kat fazla olduğunu anlatmaktadır. Malzemenin birim alanındaki gözeneklilik oranına, gözenekli yapı nedeni ile difüzyonunun kat ettiği yolun uzamasına ve gözenek kesitlerindeki farklılıklara bağlı olarak ortaya çıkan bu direnç, Krischer tarafından tanımlanmıştır [31, s.182].

Difüzyon direnç faktörü, en başta malzeme nemliliği olmak üzere, sıcaklığa ve barometrik basınca bağlı olarak bir değişim göstermektedir [31, s.186]. Buhar difüzyon direnç faktörü, buhar difüzyonunu doğrudan etkilemektedir.

Kılcal Su Emicilik Katsayısı (w), [$\text{kg}/\text{m}^2\sqrt{\text{h}}$]

Malzemenin, herhangi bir yüzeyi ile ilişki içinde bulunan suyun, bir basınç olmaksızın birim alanından, sürenin karekökü boyunca bünyesine alınarak, kılcalılık ile, herhangi bir yöne iletilen su miktarıdır.

Kılcal su emicilik katsayısı, sıcaklık ile malzeme nemliliğine bağlı bir değişim göstermektedir [32].

Nem Depolama Özelliği

Malzemelerde nem depolanma tipleri Bölüm 2.3.' de sıralanmıştı. Bunlar arasında, olağan koşullarda, malzeme gözeneklerinde nem birikmesi, sorpsiyon nedeni ile gerçekleşmektedir [14, s.178]. Yapı malzemelerinin nemliliği ile bağlı nem oranı arasındaki ilişkiyi gösteren, sorpsiyon eşsıcaklık eğrileri değişik kaynaklarda verilmiştir [33], [34].

Gerek sorpsiyon, gerekse kılcalılık kuvvetleri yolu ile veya serbest su olarak malzeme gözeneklerinde depolanan su-nem, duvar içinde meydana gelen buhar difüzyonunun etkinliğini arttırmaktadır [23].

3.2.2. Duvarı Oluşturan Malzemelerin Isıl Özellikleri

Isı İletkenlik Katsayısı (λ), [W/m°C]

Homojen bir malzemenin, birbirine paralel iki yüzeyi arasında 1 m kalınlık ve 1 K sıcaklık farkı olduğu durumda, birim zamanda (1 saat), birim alanından (1 m²) ısı iletimi ile geçen ısı miktarıdır [14, s. 42]

Isı iletkenlik katsayısı, malzeme nemliliği ile sıcaklığa bağlı olarak değişen değerlere sahiptir [35, s.155]. Duvar içindeki, sıcaklık dağılımını, dolayısı ile kısmi buhar basınç değerlerini etkilemesi nedeni ile, buhar difüzyonunun etkinliğini belirleyen bir malzeme özelliğidir.

Özgül Isı (c), [Wh/kg °C], [J/kg °C]

Bir malzemenin, 1 kg' ın sıcaklığını 1 K yükseltmek için gerekli ısı miktarıdır.

Malzemelerin özgül ısısı, sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir [14, s. 8]. Duvar içindeki, sıcaklık dağılımını, dolayısı ile kısmi buhar basınç değerlerini etkilemesi nedeni ile, buhar difüzyonunun etkinliğini belirleyen bir etmendir.

3.2.3. Duvarı Oluşturan Malzemelerin Optik Özellikleri

Yüzey Güneş Işınımı Yutuculuk Katsayısı (a_y), [-]

Dış yüzeyi oluşturan malzemelerin güneş ışınlarını emme oranıdır. Malzemenin rengi ile pürüzlülüğüne [36] bağlı olarak 0.1 ile 1.0 arası değerler alabilmektedir.

Yüzey emicilik katsayısı, duvar içinde meydana gelen ısı ve nem ile ilgili olaylara ve etkilerine bağlı olarak bir değişim göstermemektedir. Duvar yüzeyinde oluşan sıcaklık ve buna bağlı olarak kısmi buhar basıncı değerlerinde belirleyici olması bakımında, buhar difüzyonunun etkinliğini etkilemektedir.

3.2.4. Dış Duvarların Isıl ve Nem ile İlgili Performansına Etkisi Olan Diğer Duvar Özellikleri

Dış duvarlarda meydana gelen buhar difüzyonunu, malzemelerin fiziksel özelliklerinin yanı sıra duvarın yönü, malzeme katmanlarının kalınlıkları ve malzeme katmanlarının sıralaması gibi duvar özelliklerinden de etkilenmektedir.

Duvar yönü; güneşin hareketine bağlı olarak, duvarın dış yüzeyinin güneş ışıını yutuculuk katsayısı ile birlikte, duvar yüzeyinde, güneş ışıını etkisi ile oluşan sıcaklık üzerinde etkili olmaktadır [37, s.60]. Duvar yüzeylerinde ve içinde oluşan sıcaklık dağılımına bağlı olarak oluşan kısmi buhar basınçları ise buhar difüzyonunun etkinliğini etkilemektedir.

Dış duvarı oluşturan katmanların kalınlıkları; katmanı oluşturan malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ve buhar difüzyon direnç faktörü ile birlikte, gerek katmanların oluşturdıkları ısı iletkenlik dirençlerini gerekse buhar difüzyon dirençlerini etkilemektedir [14, s.186]. Katman kalınlığı artışına koşt olarak, hem ısı iletkenlik direnci hem de buhar difüzyon direnci artmaktadır. Bunun sonucu olarak ise ısı geçişi ile buhar difüzyonu, artan kalınlığa bağlı olarak azalmaktadır. Ayrıca ısı geçişinin azalması ile birlikte, duvar içinde değışen sıcaklık dağılımı ile birlikte kısmi buhar basınçları da değışerek, buhar difüzyon etkinliğini etkilemektedir.

Dış duvarı oluşturan katmanların sıralaması; buhar difüzyonu sonucu oluşan nem birikmesinin, duvarın hangi bölgesinde oluşacağını etkilemektedir [38]. Difüzyon direnci düşük katmanlardan rahat biçimde geçen su buharı, direnci yüksek katmanların önünde birikmektedir. Buhar difüzyon direnci yüksek katmanın duvar içindeki yerine bağlı olarak nem birikmesinin oluştğı bölge de değışmektedir.

Sonuç olarak; sıcaklık, hava nemliliğı, güneş ışıını ve rüzgar gibi iklim elemanları ile duvarların ve duvarları oluşturan malzemelerin fiziksel ve boyutsal özelliklerinin, buhar difüzyonunun oluşmasında ve etkinliğinde önemli etkileri olduğı, ortaya çıkmaktadır. Buhar difüzyonu ile ilgili hesaplamalarda ve değıerlendirmelerde, bu etmenlerin, gerçekçi bir şekilde, göz önünde bulundurulmalarının gerekliliğı, açıktır.

BÖLÜM 4

BUHAR DİFÜZYONUNUN, DIŞ DUVARLARIN NEM İLE İLGİLİ VE ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE, BUGÜNE KADAR, KULLANILAN YÖNTEMLER

Dış duvarlarda buhar difüzyonu nedeni ile ortaya çıkabilecek sorunların tasarım aşamasında belirlenip, gerekli önlemlerin alınmasına olanak tanıyan veya var olan binaların dış duvarlarının bu açıdan değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, özellikle 1950' li yıllardan sonra, çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar; deneysel ve kuramsal yöntemler başlıkları altında toplanabilir [39, s. 76]. Deneysel yöntemler, bu çalışmanın kapsamının dışında olması nedeni ile bunların üzerinde durulmayacaktır.

Bölüm 2' de değinilen, dış duvarlardan beklenen, nem ile ilgili ve ısı performans gereksinmelerinin, duvar tarafından karşılanıp karşılanmadığı, değişik ölçütler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Burada söz konusu olan değerlendirme süreci; buhar difüzyonunun etkinliğinin ve etkilerinin hesaplanması, değerlendirmede kullanılacak ölçütlerin belirlenmesi, ölçüt sınır değerlerinin seçilmesi ve buhar difüzyonu ile ilgili hesaplamalar sonucu, ortaya koyulan durumun, seçilen ölçüt sınır değerlerine göre, istenilen düzeyde olup olmadığının belirlenerek, karar verme veya seçim yapma aşamalarından, oluşmaktadır.

Bölüm 3' te, çevresel etmenler ile duvar özelliklerinin, buhar difüzyonunun oluşumuna ve etkinliğine olan etkilerine değinilmişti. Bu çerçevede, buhar difüzyonunun ısı ve nem ile ilgili performansa etkilerinin hesaplanmasında kullanılan kuramsal yöntemlerin; 1. hesaplama modeli, 2. hesaplamalarda kullanılan çevresel etmenler ve 3. hesaplamalarda kullanılan ve buhar difüzyonu ile karşılıklı etkileşim içinde olan duvar özellikleri, bileşenlerinden oluştuğu düşünülerek ele almak olanaklıdır. Buhar difüzyonu sonucu oluşan nemliliğin ısı iletkenliğine etkisinin önemine, daha önce değinilmişti. Bundan dolayı, buhar difüzyonu ile karşılıklı etkileşim içinde olan duvar özelliklerinden, ısı iletkenliği, ayrı bir önem taşımaktadır. Aşağıda; değerlendirmelerde kullanılan ölçütler ile, kuramsal yöntemlerin üç bileşeni ayrı ayrı ele alınmıştır.

4.1. Buhar Difüzyonunun Nem İle İlgili Ve Isıl Performansa Etkilerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Ölçütler

Buhar difüzyonunun etkilerinin değerlendirilmesi, nem ile ilgili ve ısı performans ölçütleri ile gerçekleştirilmektedir:

4.1.1. Nem ile İlgili Performans Ölçütleri

Buhar difüzyonu sonucu, nem ile ilgili performansta meydana gelen değişimler, bozulmalar ve hasarlar, nemin duvar bünyesinde birikmesinden, kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak, duvar içindeki "nem dağılımı" önemli bir değerlendirme ölçütüdür. Duvardaki nem dağılımı, ancak değişken rejimdeki hesaplama yöntemlerinde, belirlenebilmektedir. Sabit rejim yöntemleri ile ise, ancak "yoğuşma olması" durumunda, nem dağılımı ile kısıtlı bilgi verebilmektedir. Sabit rejim yöntemlerinde kullanılan ölçütler; "yoğuşma olup olmaması", "yoğuşmanın yeri" ve "yoğuşma suyu miktarı" olarak sıralanabilir [2].

Nem dağılımı ile ölçütü ile ilgili sınır değerleri ortaya koyulmamış olmakla birlikte, "yoğuşma" ile ilgili bazı sınır değerleri belirlenmiştir [40]: Sezonluk yoğuşma suyu miktarının buharlaşma miktarından az olması, sezonluk yoğuşma suyu miktarının belirli bir düzeyi aşmaması ($G_v=1.0-0.5 \text{ kg/m}^2$) ve yüzeylerde yoğuşma meydana gelmemesi.

4.1.2. Isıl Performans Ölçütleri

Buhar difüzyonu sonucu oluşan nemin, malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarında meydana getirdiği değişimin hesaplanmasından sonra, bunlardan yararlanarak ısı performans ölçütü olarak kullanılan duvar özelliklerini, tekrar belirlemek olanaklıdır [8,s.56]. Böylece, buhar difüzyonunun ısı performans etkileri, belirlenmektedir. Duvarların opak bileşenlerinde, genel olarak kullanılan ısı performans ölçütleri; "ısı geçirgenlik direnci", "ısı geçirme katsayısı", "duvar içindeki sıcaklık dağılımı", "iç yüzey sıcaklığı", "genlik küçültme faktörü", "zaman geciktirme özelliği", "ısı depolama özelliği", "ısıl genleşme", şeklinde sıralanabilir [41, s.10], [42, s.137].

Yönetmelik ve standartlarda, ısı geçirgenlik direnci ve ısı geçirme katsayısı ile ilgili sınır değerleri verilmektedir [43], [44]. Diğer ölçütler ile ilgili olarak ise, genelde kullanılabilecek, kesin sınır değerleri, verilmemektedir.

4.2. Buhar Difüzyonu Hesaplama Yöntemlerinde Kullanılan Modeller

Kuramsal yöntemler, hesaplamalarda kullanılan çevresel etmenlerin, özelliklerine bağlı olarak "sabit rejimdeki" ve "değişken rejimdeki" yöntemler olarak ele alınabilir. Sabit rejimdeki yöntemlerde, sıcaklık, bağıl nem oranı, güneş ışınlamı v.s. gibi dış iklim elemanlarının, gerçek şartlardaki, zamana bağlı olan değişimleri, göz önünde bulundurulmayıp, bunların sürekli olarak veya belirli dönemler boyunca sabit kaldığı varsayılmaktadır. Değişken rejimdeki yöntemlerde ise bu dış iklim elemanlarının zamana bağlı değişimlerini, belirli oranlarda, göz önünde bulundurmaktadır. İklim elemanlarının zamana bağlı olarak gösterdikleri değişime koşut olarak, duvar içinde meydana gelen buhar difüzyonu da zaman bağılı olarak değişen bir etkinlik göstermektedir.

Kısmi buhar basıncı farklılığı nedeni ile havada oluşan tek yönlü buhar difüzyonu, kuramsal yöntemlerin hesaplama modellerinde; nemli hava, ideal gaz olarak kabul edilerek, 1. Fick Difüzyon Kanunu ile aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [13, s.31] :

$$i' = - \frac{\delta_H}{R_B \cdot T} \cdot \frac{dP}{dx} \quad (4.01)$$

i'	:[kg/m ² h]	Su buharı difüzyonu yoğunluğu
δ_H	:[m ² /h]	Havanın su buharı iletim katsayısı
T	:[°C]	Sıcaklık
R_B	:[J/kg °C]	Su buharı gaz sabiti (=461.8 J/kg °C)
P	:[Pa]	Basınç

Aynı şartlarda, gözenekli malzemelerde meydana gelen buhar difüzyonunda, buhar akımını yavaşlatan bir direnç söz konusu olmaktadır. Bu direnç, Bölüm 3.2' de tanımlanan, difüzyon direnç faktörü yardımı ile anlatılmaktadır.

Gözenekli, homojen malzemelerde, tek yönde meydana gelen buhar difüzyonu ise 4.01 bağıntısı ve her malzemenin buhar difüzyon direnç faktörleri (μ) ile, aşağıdaki gibidir [13, s.61]:

$$i' = - \frac{\delta_H}{R_B \cdot T} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{dP}{dx} \quad (4.02)$$

4.2.1. Sabit Rejimde Hesaplama Yöntemleri

Buhar difüzyonunun etkilerini ortaya koymayı amaçlayan, sabit rejimde, yani dış ve iç iklim elemanlarının sürekli olarak veya belirli dönemler boyunca sabit kaldığını varsayan, analitik, grafiksel ve analitik-grafiksel yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılan ve diğer birçok yöntemle kaynaklık eden Helmut Glaser tarafından, 1950' li yıllarda, geliştirilmiş olan " Glaser Grafik Yöntemi " dir. Aşağıda analitik ve grafik yöntemlerin belli başlıları sıralanmıştır:

4.2.1.1. Analitik Yöntemler

Sabit rejimde duvarların buhar difüzyonu etkisinin belirlenmesinde ve duvarların ısı ve nem ile ilgili performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan analitik yöntemlerin en sık kullanılanları; "Genel Formül Yöntemi" ile "Glaser Analitik Yöntemi" dir.

Genel Formül Yöntemi [45, s.20] :

Yapı elemanı yüzeylerindeki ve tabaka sınırlarındaki sıcaklıkların hesaplanmasından sonra bu düzlemlere ait doymuş buhar basınçları belirlenmektedir. 4.02 denklemi ve yoğuşma olmayan bir yapı elemanında, su buharı difüzyonu etkinliğinin sabit kaldığından yola çıkılarak, elemanın her tabakasındaki basınç farkının özgül difüzyon direnci ($s=\mu d$) ile orantılı olacağı varsayımı ile, yapı elemanı yüzeylerindeki ve tabaka sınırlarındaki kısmi buhar basınçları belirlenmektedir. Yapı elemanı yüzeylerindeki ve katman sınırlarındaki kısmi buhar basıncı değerlerinin, doymuş buhar basıncı değerlerinin üzerine çıkması durumunda, bu noktalarda "yoğuşma" meydana geldiği sonucuna varılmaktadır.

Glaser Analitik Yöntemi [46], [47], [48]:

Yapı elemanı yüzeyindeki ve içindeki sıcaklıkların hesaplanmasından sonra, buna bağlı olarak doymuş buhar basıncı eğrisi belirlenmektedir. 4.02 denkleminin yardımı ile ve yoğuşma olmayan bir yapı elemanında, su buharı difüzyonu etkinliğinin sabit kaldığından yola çıkılarak, elemanın her tabakasındaki basınç farkının özgül difüzyon direnci (s) ile orantılı olacağı varsayılarak, kısmi buhar basıncı eğrisi de belirlendikten sonra doymuş buhar basıncı eğrisi ile karşılaştırılmaktadır. Kısmi buhar basıncının, doymuş buhar basıncının üzerine çıktığı durumlarda, yoğuşma meydana geldiği sonucuna varılarak, yoğuşmanın yapı elemanı içindeki yeri ve yoğuşmanın miktarı belirlenmektedir.

4.2.1.2. Grafik Yöntemler

Sabit rejimde duvarların buhar difüzyonu etkisinin belirlenmesinde ve duvarların ısı ve nem ile ilgili performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan grafiksel yöntemlerin en sık kullanılanları "Glaser Grafik Yöntemi" ile "Kieper Grafik Yöntemi" dir.

Glaser Grafik Yöntemi [1]:

Helmuth Glaser tarafından 1959' da geliştirilen bu yöntemde, gerçek buhar basıncı ve doymuş buhar basıncı eğrilerinin, apsiste özgül difüzyon dirençleri ile ordinatında buhar basınçlarının yer aldığı bir grafik yardımı ile ifade edilmektedir.

Bu yöntemde, kısmi buhar basınç farkları nedeni ile tek yönde buhar difüzyonu olduğu ve diğer nem taşınma tiplerinin etkili olmadığı varsayılan bir modele dayanılmaktadır. Yoğuşma olmayan bir yapı elemanında, su buharı difüzyonu etkinliğinin sabit kaldığından yola çıkılarak, elemanın her tabakasındaki basınç farkının özgül difüzyon direnci ile orantılı olacağı varsayılmaktadır.

Grafiğe, elemanın iç ve dış yüzeylerindeki basınç değerlerini birleştiren kısmi buhar basıncı doğrusu ile doymuş buhar basıncı eğrisinin işlenmesinden sonra, bunlar birbirini kesmiyor ise, elemanda, yoğuşma olmadığı sonucuna varılmaktadır. Kısmi buhar basıncı doğrusu ile doymuş buhar basıncı eğrisinin kesiştiği durumda ise kesitte yoğuşma meydana geldiği ve doymuş buhar basıncı eğrisine çizilecek teğetler yardımı ile, yoğuşmanın kesitin neresinde meydana geldiği, belirlenmektedir.

Yoğuşmanın meydana geldiği, yerdeki kısmi buhar basıncı, ordinattan okunabildiğine göre aşağıdaki bağıntı ile saatlik yoğuşma suyu miktarı da belirlenebilmektedir:

$$g = \frac{P_i - P_x}{\sum_{n=x} \mu \cdot d} - \frac{P_x - P_d}{\sum_{n=d} \mu \cdot d} \quad (4.03)$$

g	:[gr/m ² h]	Saatlik yoğuşma suyu miktarı
P	:[Pa]	Kısmi buhar basıncı
d	:[m]	Kalınlık

Aynı ilkeler doğrultusunda, elemanda meydana gelen kuruma, yani buharlaşma da, belirlenebilmektedir.

Seçilen yoğuşma, buharlaşma, adaptasyon sürelerine bağlı olarak, sezonluk yoğuşma ve buharlaşma miktarları ve yoğuşmanın meydana gelmemesi için elemana eklenmesi gereken difüzyon direncinin belirlenmesi de grafiksel olarak olanaklıdır.

Glaser grafik yönteminin geliştirilmesi yönünde, gerek yurt içinde gerekse yurt dışında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar arasında, Glaser-Moritz düzenlemesi [49], Glaser-Seiffert [45] düzenlemesi, Glaser-Neufert düzenlemesi [4], Glaser-Haferland düzenlemesi [2], Glaser-Neufert-Yücesoy [5] düzenlemesi, sıralanabilir.

Kieper Yöntemi [50], [7]

Kieper, Cammerer, Wagner tarafından 1976' dan geliştirilen yöntem, apsiste elemanın katmanlarına ait ısı geçirgenlik dirençlerinin, ordinatta ise buhar difüzyon dirençlerinin, 0 ile 1 değerleri arasında, oransal olarak ifade edildiği bir grafikten oluşmaktadır.

Bu yöntemde de, gerçek buhar basınç gradyanı nedeni ile tek yönde buhar difüzyonu olduğu ve diğer nem taşınma tiplerinin etkili olmadığı var sayılan bir modele dayanılmaktadır. Yöntem ile, kesitte yoğuşmanın meydana gelip gelmediği belirlenebilmektedir.

4.2.2. Değişken Rejimde Hesaplama Yöntemleri

Buhar difüzyonunun etkilerini ortaya koymayı amaçlayan, değişken rejimde, yani dış iklim elemanlarının zamana bağlı olarak değişimlerini belirli oranlarda göz önünde bulunduran, yöntemler de ortaya koyulmuştur. Bunlar arasında, belli başlıları, olarak "Husseini Yöntemi" ile "Husseni-Ricken Yöntemi" sayılabilir.

Buhar difüzyonunun yanı sıra diğer nem taşınma tiplerini ve ısı geçişini birlikte ele alan, değişken rejimde sayısal hesaplama yöntemleri de geliştirilmiştir. Bunlar

arasında Kießl [51], Kerestecioğlu [52], Kuppke - Pfrommer [53], tarafından geliştirilen yöntemler sıralanabilir. Ancak bu çalışmada, nem taşınmasının, olağan koşullarda, buhar difüzyonu yolu ile gerçekleştiği kabulünden yola çıkıldığı için ve ayrıca da bu yöntemlerde kullanılması gerekli olan malzeme özelliklerine ait değerlerin, genelde yapı fiziği hesaplamalarında kullanılan veriler olmayıp, özel ölçümler sonucu ulaşılabilecek değerler olması nedeni ile, bu yöntemler daha ayrıntılı olarak ele alınmamıştır.

Aşağıda, değişken rejimde, buhar difüzyonunun etkilerini ortaya koymayı amaçlayan, yöntemlerden, "Husseini Yöntemi" ile "Hussemi-Ricken Yöntemi" kısaca tanıtılmıştır.

Husseini Yöntemi [8]:

Bu yöntem ile, homojen, tek tabakalı duvarlarda tek boyutlu buhar difüzyonu ve etkileri, değişken iç ve dış iklimsel veriler ile, belirlenebilmektedir. Yapı malzemelerinin nem depolama özellikleri, sorpsiyon eşsıcaklık eğrileri yardımı ile göz önünde bulundurulmaktadır. Nem taşınma tipi olarak, kısmi buhar basıncı farkı nedeni ile oluşan buhar difüzyonu esas alınmaktadır. Duvarın ayrılmış olduğu varsayılan sanal " Δx " katman parçaları arasındaki su buharı difüzyonu etkinliğinin, " Δt " zamanı boyunca, sabit kaldığından yola çıkılarak, " Δx " katman parçaları arasındaki basınç farkının özgül difüzyon direnci (s) ile orantılı olduğu kabul edilmektedir. Malzeme özelliklerinden yalnızca, buhar difüzyon direnç faktörleri (μ), malzeme nemliliğine bağlı olarak değiştiği varsayılmaktadır. Isı ve nem taşınması birbirinden bağımsız olarak ele alınmaktadır. İstenilen bir dönemin sonunda elemanın, nem ile ilgili performansı, nem dağılımı, ısı performansı, sıcaklık dağılım ölçütü çerçevesinde değerlendirilebilmektedir.

Hussemi-Ricken Yöntemi [9]:

Bu yöntemde, Hussemi tarafından geliştirilen yöntem çok tabakalı duvarlarda da kullanılacak şekilde geliştirilmiştir. Yapı elemanlarının doğrudan su ile ilişkili olduğu veya yapı fiziğinde normal şartlarda söz konusu olan sıcaklıkları aşan sıcaklıklarda kullanılması olanaklı değildir.

4.3. Buhar Difüzyonu Hesaplama Yöntemlerinde Kullanılan İklim Elemanları

Sabit ve değişken rejimdeki, belli başlı hesaplama yöntemlerinde kullanılan, buhar difüzyonunun meydana gelmesinde etkili olan, çevresel etmenler; iç ve dış iklim

elemanlarıdır. Aşağıda, dış hava sıcaklığı (T_D), dış bağıl nem oranı (ϕ_D), güneş ışınlamı yeğlinliğı (I) değeriinin seçimi ve değışim frekansları, sıralanmıştır.

4.3.1. Sabit Rejim Hesaplama Yöntemlerinde Kullanılan İklim Elemanları

Sabit rejimdeki, analitik veya grafiksel hesaplama yöntemlerinde, iklim elemanlarının yıl boyunca veya yıl içindeki belirli dönemler boyunca, sabit kaldığı varsayılmaktadır. Farklı yöntemlerde, hesaplamalarda kullanılan iklim elemanlarının değeri, farklı şekillerde seçilebilmektedir. Yine farklı yöntemlerde kullanılan iklim elemanlarının değeriinin, yıl boyunca, sabit kaldıkları dönemlerin uzunluğu da değışebilmektedir. Genelde yıl boyunca iklim elemanları üç farklı dönemde ele alınmaktadır. Bunlar duvar içinde yoğuşmanın meydana geldiğı, "yoğuşma dönemi", yoğuşan nem miktarının buharlaştığı, "buharlaşıma dönemi", ve her iki olayın da meydana gelmediğı bir "adaptasyon" dönemi.

a) [54], [55]

T_D : Yıllık ortalama sıcaklıkların ortalaması.

ϕ_D : Yıllık ortalama bağıl nem oranlarının ortalaması.

I : Göz önünde tutulmuyor

Dönem : Tüm yıl

b) [55]

T_D : Isıtma dönemi ortalama sıcaklıkların ortalaması.

ϕ_D : Isıtma dönemi ortalama bağıl nem oranlarının ortalaması.

I : Göz önünde tutulmuyor

Dönem : Isıtma dönemi

c) [2]

T_D : Aylık ortalama sıcaklıkların ortalaması.

ϕ_D : Sabit tek bir değeri

I : Göz önünde tutulmuyor

Dönem : Yoğuşma / buharlaşma dönmindeki aylar

d) [39, s.200]

T_D : Yoğuşma / buharlaşma dönemi ortalama sıcaklıkların ortalaması.

φ_D :Yoğuşma / buharlaşma dönemi ortalama bağıl nem oranlarının ort.

I :Göz önünde tutulmuyor

Dönem : Yoğuşma / buharlaşma dönemindeki aylar.

e) [39, s.200]

T_D :Mutlak minimum yoğuşma / buharlaşma dönemindeki ayların ortalama sıcaklıkların ortalaması.

φ_D :Sabit tek bir değer

I :Göz önünde tutulmuyor

Dönem : Yoğuşma / buharlaşma dönmindeki aylar

f) [45,s.55-87]

T_D :Yoğuşma / buharlaşma dönemine ait sabit bir uç değer.

φ_D :Yoğuşma / buharlaşma dönemine ait sabit bir uç değer

I :Göz önünde tutulmuyor

Dönem : Yoğuşma / buharlaşma dönemi.

g) [39, s.200]

T_D :Isı kaybı hesabı sıcaklık değeri.

φ_D :Kış ayları ortalaması.

I :Göz önünde tutulmuyor

Dönem : Kış

h) [39]

T_D :Mutlak minimum yoğuşma / buharlaşma dönemindeki ayların ortalama sıcaklıkların ortalaması.

φ_D :Mutlak maksimum yoğuşma / buharlaşma dönemindeki ayların ortalama bağıl nem oranları ortalaması.

I :Göz önünde tutuluyor

Dönem : Yoğuşma / buharlaşma dönemi.

Duvarların ısı ve nem ile ilgili performanslarının değerlendirilmesinde yukarıda sıralanan yöntemlerin çoğunda kullanılan yoğuşma, adaptasyon, buharlaşma sürelerinin uzunluğunun belirlenmesi de önem taşımaktadır. Türkiye' deki iklim

şartları için de yoğuşma, adaptasyon, buharlaşma sürelerinin uzunluğunun belirlenmesi amacı ile de değişik çalışmalar yapılmıştır [39], [56], [57].

Sabit rejimdeki yöntemlerde, genelde, iç hava sıcaklığı ile iç bağıl nem oranının tüm yıl boyunca sabit kaldığı kabul edilmektedir.

4.3.2. Değişken Rejim Hesaplama Yöntemlerinde Kullanılan İklim Elemanları

Değişken rejimdeki hesaplama yöntemlerinde dış iklimsel elemanlarının, günlük veya yıllık değişimleri belirli oranlarda göz önünde tutulmaktadır.

a) [8]

T_n : Aylık ortalamalardan elde edilen yıllık değişim.
 ϕ_n : Aylık ortalamalardan elde edilen yıllık değişim.
 I : Göz önünde tutulmuyor.

b) [9]

T_n : Aylık ortalamalardan elde edilen yıllık değişim.
 ϕ_n : Aylık ortalamalardan elde edilen yıllık değişim.
 I : Göz önünde tutuluyor.

Buhar difüzyonunun dış duvarların nem ile ilgili ve ısı performansına etkilerinin değerlendirilmesinde, göz önünde bulundurulması gereken iç iklim elemanları; iç hava sıcaklığı ve iç bağıl nem oranıdır. İç hava sıcaklığı ve bağıl nem oranı, değişik etmenlere bağlı olarak, düzenli olmayan bir değişim göstermektedir. Buhar difüzyonu ile ilgili hesaplamalarda her iki iklim elemanı ile ilgili esas olarak iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır:

- İç hava sıcaklığı ile iç bağıl nem oranının tüm yıl boyunca sabit kabul edilmesi.
- İç hava sıcaklığı ile iç bağıl nem oranının kış ayları boyunca sabit kabul edilip, yaz ayları boyunca ise bu değerlerin dış hava sıcaklığı ile dış bağıl neme eşit olduğunun kabul edilmesi.

4.4. Buhar Difüzyonu Sonucu Oluşan Nemliliğin, Dış Duvarın Isıl Performansına Etkilerinin Hesaplanmasında Kullanılan Yöntemler

Duvarlarda meydana gelen buhar difüzyonu ile karşılıklı etkileşim içinde olan duvarların optik, ısı ve nem ile ilgili özellikleri bölüm 3.2' de sıralanmıştı. Bunlar arasında, ısı performans üzerinde oldukça büyük etkisi olan ısı iletkenlik katsayıları (λ) önemli bir yer tutmaktadır. Isı iletkenlik katsayılarının değeri, buhar difüzyonu

sonucu biriken nemin etkisi ile, değişmektedir. Buna karşılık olarak, değişen ısı iletkenlik katsayılarına bağlı olarak değişen sıcaklık dağılımı sonucu değişen kısmi buhar basınçları doğrultusunda, buhar difüzyonunun etkinliği değişebilmektedir.

Dış duvarların ısı ve nem ile ilgili performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan buhar difüzyonu hesaplama yöntemlerinde, dış duvarı oluşturan malzemelerin optik, ısı ve nem ile ilgili özellikleri, sabit ve genelde TS 825 [43], DIN 4108 [40], ASHRAE [58] gibi standart ve yönetmeliklerde verilen "hesap" değerleri olarak kullanılmaktadır.

Buhar difüzyonu sonucu oluşan nemliliğin, ısı iletkenlik katsayılarına ve dolayısı ile ısı performans etkilerinin belirlenebilmesi için, hesaplama modellerinden bağımsız olarak, gerek sabit, gerekse değişken rejimdeki hesaplama modellerinde kullanılabilecek yöntemler geliştirilmiştir.

DIN 4108' de Önerilen Yöntem:

Isı geçişi, dolayısı ile buhar difüzyonu hesaplarında kullanılan ısı iletkenlik katsayıları, kuru durumda ölçülen değerlerin belirli oranda artırılmış halidir. TS 825' te [43], ve ona kaynaklık eden Alman standardı DIN 4108' de [40] verilen malzeme ısı iletkenlik katsayıları, kuru durumda ve +10°C' de ölçülen değerlerin, "pratik nemlilik" oranına bağlı olarak artırılmış şeklindedir. "Pratik nemlilik", insanlar tarafından kullanılan mekanların, dış kabuğunu oluşturan yapı malzemelerinin, yapım sonrası yeterince kuruduktan sonra, %90 olasılık ile aşılmayan, nemlilik oranıdır [40]. "Pratik nemlilik", J.S. Cammerer tarafından, 1937-1943 yılları arasında, kullanılan binalarda yapılan ölçümler sonucu tanımlanmıştır.

Bölüm 4.1' de değinilen sabit rejimdeki hesaplama modelleri ile, bir dış duvarda yoğuşma olması durumunda, yoğuşan suyun, saatlik veya sezonluk, miktarının belirlenmesi olanaklıdır. Belirlenen sezonluk yoğuşma suyu miktarının, yoğuşmanın düzlemsel, yani iki malzeme katmanı sınırında olması durumunda bu iki tabaka tarafından eşit olarak emildiği, yoğuşmanın bölgesel, yani bir katmanın içinde olması durumunda ise bu katman tarafından emildiği varsayılmaktadır. Söz konusu tabakaların, ısı iletkenlik katsayıları hesap değerlerinden yola çıkılarak kuru durumdaki ısı iletkenlik değerleri belirlenmektedir [59, s.25]:

$$\lambda_{10,Kuru} = \frac{\lambda_H}{1 + e'} \quad (4.04)$$

$\lambda_{10, KURU}$	:[W/m°C]	Kuru durumdaki ısı iletkenlik katsayısı (T=10°C)
λ_H	:[W/m°C]	Isı iletkenlik katsayısı hesap değeri
e'	:[%]	Nemlilik oranına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısında kuru duruma göre toplam artış oranı

Emilen yoğuşma suyu miktarına ve söz konusu malzemelerin nemlilik oranına göre ısı iletkenlik katsayısındaki artış oranına (d') göre belirlenen artış oranı ile pratik nemlilik nedeni ile ısı iletkenlik katsayısındaki artış oranı toplanarak yağ durumdaki ısı iletkenlik sayısı belirlenmektedir:

$$\lambda_{Yaş} = \lambda_{10, Kuru} \cdot \left(\frac{G_{Y,K}}{F \cdot d \cdot \gamma} \cdot 100 \cdot d' + 1 + e' \right) \quad (4.05)$$

$$\lambda_{Yaş} = \lambda_{10, Kuru} \cdot \left(\frac{G_{Y,H}}{F \cdot d} \cdot 100 \cdot d' + 1 + e' \right) \quad (4.06)$$

$G_{Y,H}$	:[m³]	Sezonluk, hacimsel yoğuşma suyu miktarı
$G_{Y,K}$	:[kg]	Sezonluk, kütleli yoğuşma suyu miktarı
F	:[m²]	Alan
d'	:[%]	Nemlilik oranına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısında kuru duruma göre artış oranı

Yeni yağ durumdaki ısı iletkenlik katsayıları ile duvarın ısı geçirgenlik direnci (1/A) veya ısı geçirme katsayılarının (k) belirlenip, duvarın buhar difüzyonu nedeni oluşan yoğuşma suyu etkisindeki ısı performansı değerlendirilebilmektedir.

Künzel Tarafından Önerilen Yöntem:

Günümüzde, "pratik nemlilik" kavramı, bağlı olduğu ısıtma ve yapım şekillerinde meydana gelen değişiklikler sonucu, geçerliliğini yitirmeye başlamıştır [60], [18]. Isıtma şekli olarak özellikle bir konutun tüm mekanlarının sürekli ısıtılmasına olanak veren kaloriferli ısıtmaya geçilmesi, yapım şeklinde ise, dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarında ısı yalıtımlarının daha sık kullanılması ve yağış sularının etkisini azaltacak önlemlerin alınması, malzemelerin nemlenmesinde çevresel etmenlerin etkisinin azalmasını sağlamıştır. Tablo 4.1' de duvar içindeki veya teras çatılardaki farklı konumlardaki, farklı kullanım sürelerine sahip, değişik ısı yalıtım

malzemelerinin, belirlenen malzeme nemlilikleri ile bunların "pratik nemlilik" değerleri sıralanmıştır. Tablo 4.2' de ise duvar içindeki veya teras çatılardaki farklı konumlardaki, farklı kullanım sürelerine sahip, değişik yapı malzemelerinin, belirlenen malzeme nemlilikleri ile bunların "pratik nemlilik" değerleri sıralanmıştır. Malzeme nemliliğinin oluşumunda bir malzeme özelliği olan su buharı sorpsiyonu ağırlık kazanmaktadır. Sorpsiyon yolu ile alınan nem miktarı malzemenin cinsine, havanın bağıl nem oranına ve sıcaklığa bağlıdır. Malzemenin nemlilik oranı ile bağıl nem arasındaki denge durumu sorpsiyon eşsıcaklık eğrileri ile anlatılmaktadır. Nemli malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının, higroskopik nemlilik koşulları altında, "pratik nemlilik" yerine sorpsiyon eşsıcaklık eğrilerine dayanan nemlilik değerleri kullanılarak tanımlanması gerçekçi bir yaklaşım olarak önerilmektedir [60].

Malzeme nemliliği ile ısı iletkenliği arasındaki ilişki malzemenin iç yapısına bağlı olarak farklı bağıntılar ile ortaya koyulabilmektedir. Bu ilişkiyi, esas olarak üç farklı grupta toplamak olanaklıdır [61, s.11]:

Yapay Köpük Yapılı Isı Yalıtım Malzemeleri:

Polistrol, poliüretan v.s. gibi köpük esaslı ısı yalıtım malzemelerinde ısı iletkenlik katsayısı ile malzeme nemliliği arasındaki ilişki ikinci dereceden bir polinom fonksiyonu ile tarif edilebilmektedir [61, s.12]:

$$\lambda = AP(0) + AP(1) \cdot u + AP(2) \cdot u^2 \quad (4.07)$$

AP : [-] Polinom katsayıları (bkz.Tablo 4.3.)

u : [%] Malzeme nemliliği

Lifli ve Taneli Yapıdaki Isı Yalıtım Malzemeleri :

Cam yünü, taş yünü v.s. gibi buhar difüzyon direnç faktörü düşük lifli ve taneli yapıdaki ısı yalıtım malzemelerinde de nemlilik sonucu ısı iletkenlik katsayılarında artış meydana gelmekle birlikte, bunun nedeni üzerinde kesin fikir birliğine varılamamıştır. Bu etkinin malzeme içinde depolanan nemden kaynaklanmadığını öne süren araştırmalar [69], olmakla birlikte, aksini ortaya koyan araştırmalar da söz konusudur. Cam yünü ve benzeri lifli malzemelerde, malzeme nemliliğinin, ısı iletkenliğine etkisi (4.08) bağıntısı ile belirlenebilir [70].

Tablo 4.1. Çeşitli ısı yalıtım malzemelerinin, mevcut binalardan alınan örnekler üzerinde yapılan ölçümler (1) ile gerçek şartların simüle edildiği laboratuvarlarda yapılan ölçümlerden (2) elde edilen, nemlilik değerleri ile DIN 4108, Bölüm 4' te [40] verilen "pratik nemlilik" değerlerinin karşılaştırılması.

MALZEME	YOĞUNLUK [kg/m ³]	KALINLIK [m]	KULLANIM SÜRESİ [YIL]	BİNA FONK.	YALITIMIN YERİ	ÖLÇÜM CİNSİ	GERÇEK NEM.		PRATİK NEM.	
							u _H	u _K	u _H	u _K
							[%]	[%]	[%]	[%]
POLİSTROL	24	0.040	7	DEPO	D.* DIŞTAN	1	0.03	1.25		5 [62]
POLİSTROL	19	0.040	4	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.04	2.10		5 [62]
POLİSTROL	15	0.045	6	BÜRO	D.* DIŞTAN	1	0.05	3.34		5 [62]
POLİSTROL	29	0.030	10	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.05	1.72		5 [62]
POLİSTROL	24	0.027	8	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.05	2.08		5 [62]
POLİSTROL	20	0.015	10	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.03	1.50		5 [62]
POLİSTROL	14	0.040	16	SİLO	D.* DIŞTAN	1	0.04	2.85		5 [62]
POLİSTROL	13	0.020	11	DEPO	D.* DIŞTAN	1	0.03	2.31		5 [62]
POLİSTROL	18	0.050	4	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.02	1.11		5 [62]
POLİSTROL	17	0.050	3	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.03	1.76		5 [62]
POLİSTROL	18	0.025	4	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.04	2.22		5 [62]
POLİSTROL	30	0.030	5	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.04	1.33		5 [62]
POLİSTROL	35	0.050	5	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.04	1.14		5 [62]
POLİSTROL	26	0.040	3	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.06	2.30		5 [62]
POLİSTROL	19	0.015	18	KONUT	D.* DIŞTAN	1	0.01	0.58		5 [63]
POLİSTROL	28	0.040	18	KONUT	D.* ORTAD.	1	0.025	0.89		5 [64]
POLİSTROL	22	0.040	18	KONUT	D.* ORTAD.	1	0.018	0.80		5 [64]
POLİSTROL	16	0.025/0.050 0.100			TER. ÇATI	2	0.0014- 0.008	0.09- 0.52		5 [65]
POLİÜRETAN	41	0.080	2		SAND. PAN.	2	0.46	1.12		5 [66]
POLİÜRETAN	41	0.080	2		SAND. PAN.	2	0.20	0.48		5 [66]

Tablo 4.1. Devam

POLİÜRETAN	41	0.080	2		SAND. PAN.	2	0.49	1.19	5	[66]
POLİÜRETAN	41	0.080	2		SAND. PAN.	2	0.43	1.04	5	[66]
CAMYÜNÜ			2	KONUT	D.*ORTAD.	1		0.4- 4.50	5	[66]
CAMYÜNÜ			4	KONUT	D.*ORTAD.	1		0.1- 3.90	5	[66]
CAMYÜNÜ			2	KONUT	D.*ORTAD.	1		0.1- 1.80	5	[66]
CAMYÜNÜ			4	KONUT	D.*ORTAD.	1		< 1	5	[66]

* : dış duvar.

Tablo 4.2. Çeşitli yapı malzemelerinin, mevcut binalardan alınan örnekler üzerinde yapılan ölçümler (1) ile gerçek şartların yaratıldığı laboratuvarlarda yapılan ölçümlerden (2) elde edilen, nemlilik değerleri ile DIN 4108, Bölüm 4' te [40] verilen "pratik nemlilik" değerlerinin karşılaştırılması.

MALZEME	YOĞUNLUK [kg/m ³]	KALINLIK [m]	KULLANIM SÜRESİ [YIL]	BİNA FONK.	ÖLÇÜM CİNSİ	GERÇEK NEM.		PRATİK NEM.	
						u _H	u _K	u _H	u _K
HAFİF BETON				KONUT	1	[%] 2.50	[%] 5	[%] 5	[68]
GAZ BETON				BÜRO/ FABRİKA	1	0.08- 3.50		3.5	[68]
DÜŞEY DEL. TUĞLA	1600 (DOLU KISIM)	0.240	2		2	0.85		1.5	[68]
ISI YALITLM SIVASI	200-300				1	1.50		4	[68]
ISI YALITLM SIVASI	400-600				1	3.50		4	[68]

$$\lambda = 0.036 + 0.0118 \cdot u \quad (4.08)$$

u :[%] Malzeme nemliliği (hacimsel)

Diğer Yapı Malzemeleri:

Yapı malzemelerinde, ısı iletkenlik katsayılarının, malzeme nemliliğine bağlı olarak değiştiği varsayılarak, malzemesinin nemlilik oranına göre ısı iletkenlik katsayısındaki artış oranı d' yardımı ile, aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir [61]:

$$\lambda = \lambda_{10,Kuru} \cdot (1 + (u \cdot d')) \quad (4.09)$$

Tablo 4.3. Yapay köpük yapı ısı yalıtım malzemelerinde hacimsel malzeme nemliliği - ısı iletkenlik katsayıları ilişkisini veren bağıntıya ait polinom fonksiyonu katsayıları (AP) [61].

	γ [kg/m ³]	AP(0)	AP(1)	AP(2)
Polistrol (Genleştirilmiş)	15	3.6795 10 ⁻²	5.8750 10 ⁻⁴	4.8892 10 ⁻⁵
	20	3.6054 10 ⁻²	7.9032 10 ⁻⁴	5.9779 10 ⁻⁵
	30	3.5511 10 ⁻²	1.6120 10 ⁻³	2.6875 10 ⁻⁵
Polistrol (Çekme)	28	3.2000 10 ⁻²	1.0000 10 ⁻³	1.0000 10 ⁻¹³
	32	3.2000 10 ⁻²	8.3333 10 ⁻⁴	5.5556 10 ⁻⁵
	40	2.9009 10 ⁻²	5.7009 10 ⁻⁴	2.9760 10 ⁻⁵
Poliüretan (Blok)	41	2.7000 10 ⁻²	3.3333 10 ⁻⁴	2.6667 10 ⁻⁵
Poliüretan (Yerinde)	37	3.2000 10 ⁻²	2.2316 10 ⁻³	8.6195 10 ⁻⁶
Poliüretan (Yerinde)	80	2.2991 10 ⁻²	1.0299 10 ⁻³	3.0240 10 ⁻⁵
Fenol Reçinesi	65	3.4000 10 ⁻²	6.0174 10 ⁻³	3.4240 10 ⁻⁵

4.5. Yöntemlerin Tartışılması

Var olan yöntemler, hesaplama modelleri ile kullandıkları çevresel etmenler, açısından incelendiğinde, aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır:

Sabit rejimdeki, gerek analitik, gerekse grafik yöntemlerde, çevresel etmenlerden, iklim elemanlarının, sabit olarak seçilmesinden dolayı, gerçekte, özellikle dış koşullarda meydana gelen değişimler ve bunların dış duvarların nem ile ilgili ve ısı performansına etkilerinin değerlendirilmesi, yeterince duyarlı olamamaktadır. Bunun

yanı sıra, yukarıda söz edilen Genel Formül, Glaser Analitik yöntemleri ile Glaser ve Kieper Grafik yöntemlerinde, hem ısı akımıyla ilgili hesaplamalarda, malzemelerin ısı depolama, hem de buhar difüzyonu ile ilgili hesaplamalarda, malzemelerin nem depolama özellikleri, göz ardı edilmektedir. Ayrıca, sabit rejim yöntemlerinde, kullanılabilecek değerlendirme ölçütleri de, yöntemin olanaklarının sınırlı oluşu nedeni ile, kısıtlı miktardadır. Bu nedenlerden dolayı, iklim elemanlarının sabit olarak ele alındığı, sabit rejimdeki yöntemlerin duvarların nem ile ilgili ve ısı performansının değerlendirilmesinde, yeterince duyarlı olamayacakları, sonucuna varılmıştır.

Gerçeğe daha yakın değerlendirme sonuçları elde edebilmek için, buhar difüzyonu hesaplamalarında değişken rejim modellerinin kullanılması gereklidir. Değişken rejimde buhar difüzyonu hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden, Husseinî Yöntemi, iklim elemanlarının, yıllık değişimlerini ve malzemelerin nem depolama özelliklerini göz önünde bulundurması, açılarından, istenilen özellikleri taşımakla birlikte, ancak tek tabakalı dış duvarlarda kullanılması olanaklıdır. Günümüzde, yapı kesiminde, tek tabakalı duvarların hemen hiç uygulanmıyor olması nedeni ile, Husseinî Yönteminin de, dış duvarların nem ile ilgili ve ısı performansının değerlendirilmesi amacına uygun olmadığı ortaya çıkmaktadır.

Husseinî yöntemini, çok tabakalı duvarlara uygulanabilir hale getiren Husseinî-Ricken yöntemi, dış duvarlarda değişken rejimde buhar difüzyonunun hesaplanmasında, model olarak yeterli olduğu, görülmektedir. Ancak, bu yöntemde, malzemelerin buhar difüzyon dirençlerinin (μ), malzeme nemliliğine bağlı olarak değişimleri göz önünde tutulmakla birlikte, ısı geçirgenlik katsayılarının (λ) malzeme nemliliğine bağlı değişimi, göz ardı edilerek, gerçeği tam olarak yansıtmayan ısı geçirgenlik "hesap" değerleri, sabit olarak, kullanılmaktadır. Bundan dolayı, sıcaklıklara bağlı olarak belirlenen, kısmi buhar basıncı, olması gerektiğinden farklı değerlere sahip olduğundan ötürü, nem ile ilgili performans değerlendirilmesi de, duyarlılığını yitirmektedir. Ayrıca yöntemde, dış iklim elemanlarının, yalnızca yıllık olarak gösterdikleri değişimler, hesaba katılmaktadır.

Nemliliğin, ısı iletkenliğine etkilerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler incelendiğinde ise, aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır:

DIN 4108' de önerilen yöntemde, ısı iletkenlik katsayılarının, pek de geçerli olmadığı yukarıda ortaya koyulan "hesap" değerlerinin kullanılmasının yanı sıra, bunların, malzeme nemliliği sonucu, zamana bağlı olarak gösterdiği değişim yok sayılarak, yoğunlaşma dönemi sonunda, aniden yeni yaş durumdaki değerine ulaştığı

ve daha sonra bu değerin sabit kaldığı kabul edilmektedir. Isı iletkenliğindeki artışın hesaplanmasında kullanılan yoğunlaşma suyu miktarının da, Bölüm 4.2.' de sıralanan sabit rejim hesaplama yönteminde yapılan kabuller sonucu, gerçeği tam olarak yansıtmadığı açıktır.

Sonuç olarak, Hussein - Ricken Yöntemi [9] , yukarıda sıralanan, eksiklerinin ve olumsuz yönlerinin giderilerek, yeni bir yaklaşımda hesaplama modeli olarak kullanılabilir özellikler taşımaktadır. Söz konusu hesaplama modeli Ek-C' de verilmiştir. Nemliliğin, ısı iletkenliğine etkilerinin belirlenmesinde, Künz [60] tarafından önerilen yöntemin kullanılmasının, yeterince duyarlı sonuçlar elde edilmesinde avantajlı olacağı, ortaya çıkmaktadır. Hesaplamalarda, yukarıda sıralanan yöntemlerin aksine, iklim elemanlarının, gerek yıllık, gerekse günlük değişimlerinin göz önünde bulundurulması gerekliliği ise, açıktır. Çok yönlü bir değerlendirme için, Bölüm 4.1' de sıralanan değerlendirme ölçütlerinin, olanaklar ölçüsünde, hepsinin kullanılması gereklidir.

BÖLÜM 5

BUHAR DİFÜZYONUNUN DIŞ DUVARLARIN NEM İLE İLGİLİ VE ISIL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

Bölüm 4' te de değinildiği gibi, olağan şartlar altında, dış duvarlarda sürekli olarak, az veya çok miktarda meydana gelen buhar difüzyonunun duvarın ısı ve nem ile ilgili performansına etkilerinin belirlenmesinde kullanılan, değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bunların bir kısmında, hesaplamalarda kullanılan çevresel etmenler ile yapılan kabuller açısından, bir kısmında ise buhar difüzyonu ile, duvarı oluşturan malzemelerin veya bir bütün olarak duvarın özellikleri arasındaki etkileşimi ile ilgili olarak yapılan kabuller açısından, gerçeği tam yansıtmayan sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı dış duvarların ısı ve nem ile ilgili performanslarının değerlendirilmesinde, var olan yöntemlerden daha duyarlı bir yaklaşımın ortaya koyulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

5.1. Yaklaşımın Amacı

Bu çalışmanın amacı; dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran, düşey, atmosfere açık yapı elemanlarında, yani dış duvarlarda, buhar difüzyonunun ısı ve nem ile ilgili performansına etkilerinin değerlendirilmesi için bir yaklaşımın ortaya koyulmasıdır. Isı ve nem ile ilgili performans ölçütlerine bağlı olarak yapılan bu değerlendirme sonucu, tasarım sürecinin bir parçası olarak, geliştirilen farklı dış duvar seçenekleri arasında bir seçim yapma veya var olan binaların dış duvarları arasında bir karşılaştırma yapma olanağı elde edilmektedir. Bu yaklaşımda, buhar difüzyonunun duvarların opak kısımlarında meydana gelmesi nedeni ile, duvarların saydam bileşenleri, ele alınmamaktadır. Geliştirilmesi amaçlanan yaklaşım ile, gerçekçi sonuçlar elde edebilmek amacı ile, iki ilkedan yola çıkılmıştır:

1. Hesaplamalarda, gerçeği en iyi yansıtacak dış ve iç iklimsel verilerin kullanılması,
2. Dış duvarı oluşturan malzemelerin fiziksel özelliklerinde, zamana ve duvar içinde, çevresel etmenlerden kaynaklanarak, meydana gelen ısı geçişi ve buhar difüzyonuna bağlı olarak meydana gelen değişimlerin ve bu değişimlerin yine ısı geçişi ve buhar difüzyonuna etkilerinin göz önünde bulundurulması.

5.2. Yaklaşımın Tanıtılması Ve Adımları

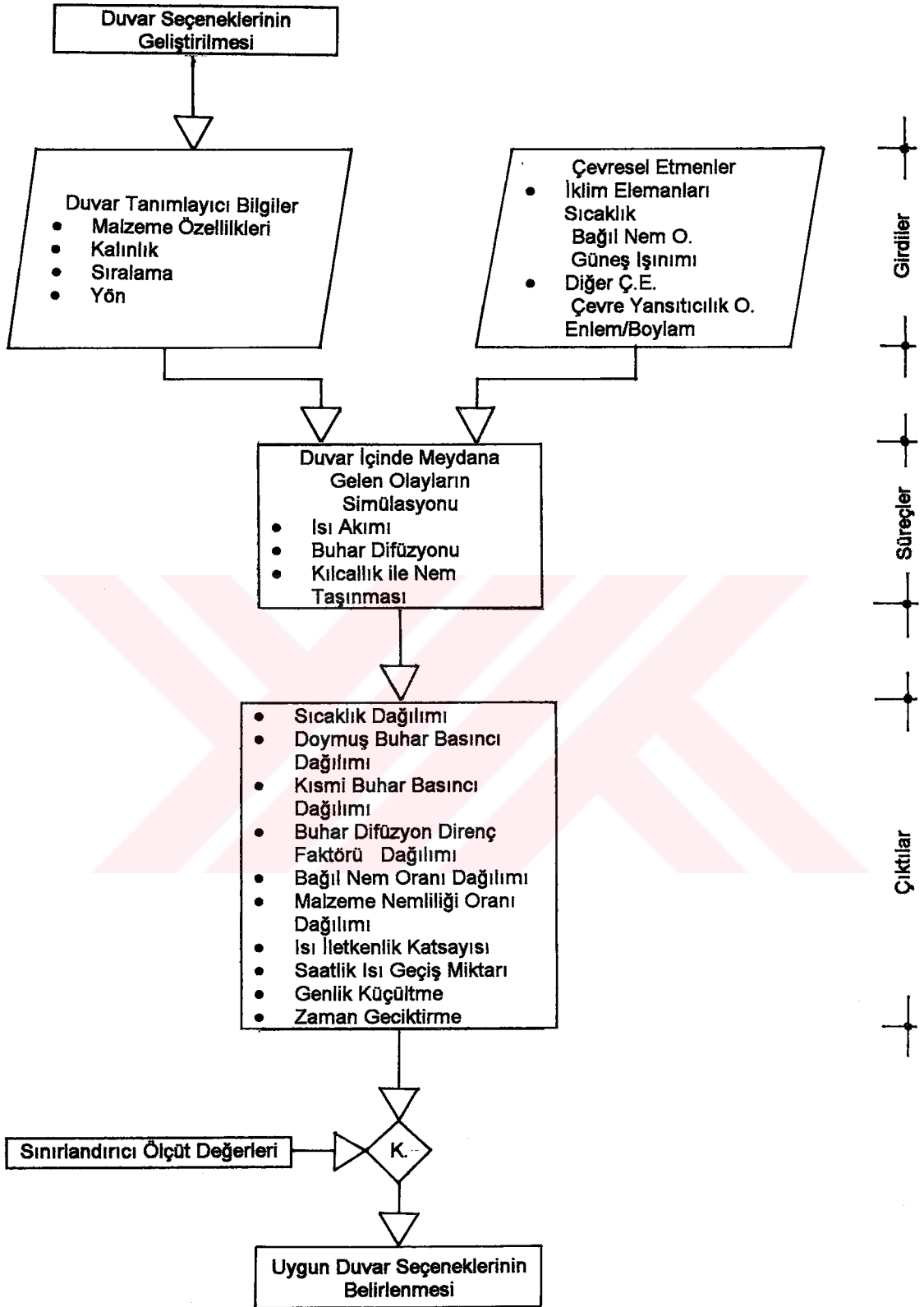
Yaklaşım; 1. duvar seçeneklerinin geliştirilmesi ve duvarları tanımlayıcı özelliklerin derlenmesi, 2. duvarın ait olduğu binanın yer aldığı iklim bölgesine ait dış iklim elemanlarının, iç iklim elemanlarının ve diğer çevresel etmenlerin hesap değerlerinin belirlenmesi, 3. çevresel etmenlerin hesap değerleri ve duvar özelliklerinden yararlanarak değişken rejimde buhar difüzyonunun ve etkilerinin hesaplanması, 4. duvar seçeneklerinin, ısı ve nem ile ilgili performansları doğrultusunda değerlendirilmesi, aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 5.1).

Yaklaşımında, buhar difüzyonu ve onun belirlenmesinde gerekli olan ısı geçişi ile ilgili diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sonlu farkalar yöntemi ile yapılan hesaplamalarda analitik yöntemlerin yetersiz kalması nedeni ile sayısal bir hesaplama yöntemi seçilerek, buna uygun bir bilgisayar simülasyon programı geliştirilmiştir. Burada, iklim elemanları ile diğer çevresel etmenler, duvar seçeneklerini tanımlayan özellikler, girdileri oluşturmaktadır. Çevresel etmenlerin etkisi ve duvar özelliklerine bağlı olarak duvar içinde meydana gelen olaylar, yani ısı geçişi, buhar difüzyonu ve malzeme özelliklerindeki değişimler bu girdilere bağlı olarak söz konusu program tarafından simüle edilmektedir. Duvar içinde meydana gelen buhar difüzyonu sonucu duvar içinde depolanan nemin dağılımı, malzemelerin buhar difüzyon direnç faktörlerinin ve ısı iletkenlik katsayılarının değerleri ile bunlara bağlı olarak belirli bir süre boyunca meydana gelen ısı geçişi gibi nem ile ilgili ve ısı performans değerlendirme ölçütleri ise çıktıları oluşturmaktadır. Simülasyon amaçlı bilgisayar programı ile ayrıntılı bilgi Ek E' de, hesap akış şeması ise Ek D' de verilmiştir.

5.2.1. Dış Duvar Seçeneklerinin Geliştirilmesi ve Duvarı Tanımlayıcı Özelliklerin Derlenmesi

Yaklaşımın ilk adımını, değişik ölçütlere bağlı olarak, dış duvarların opak bileşenlerinin katmanlaşma seçeneklerinin geliştirilmesi ve geliştirilen seçeneklerin fiziksel özelliklerine ait değerlerin ve hesaplamalarda gerekli olan diğer özelliklerine ait değerlerin derlenmesinden oluşmaktadır.

Duvar seçenekleri, çevresel etmenler, yapı ve yapım sistemi, maliyet, estetik ölçütler, yasa ve yönetmelikler gibi etmenler doğrultusunda tasarlanmaktadır. Tasarımda göz önünde tutulan; maliyet, yapı ve yapım sistemine ve estetik



Şekil 5.1. Buhar difüzyonu etkisini göz önünde tutarak, ısı ve nem ile ilgili performans ölçütleri doğrultusunda, en uygun dış duvar seçeneklerinin belirlenmesi için akış diyagramı.

ölçütlerine ilişkin kararlar hacim, bina v.s. gibi, yapı ürünlerinin daha üst düzeyinde, verildiği için burada daha ayrıntılı olarak bunların üzerinde durulmayacaktır. Ancak duvar seçeneklerinin, ısı korunumu yönetmelikleri veya standartları göz önüne alınarak geliştirilmesi, uygun olacaktır.

Dış duvarlarda meydana gelen buhar difüzyonunun ısı ve nem ile ilgili performansa etkilerinin belirlenmesinde yeterince duyarlı sonuçların elde edilmesi, kullanılan çevresel etmenlerin yanı sıra, hesaplamalarda kullanılacak, duvara ait özelliklere de bağlı olduğuna, Bölüm 3.2.' de değinilmişti. Yaklaşımdaki hesaplamalarda gerek duyulan duvar özellikleri; nem ile ilgili malzeme özellikleri, ısı malzeme özellikleri gibi fiziksel özellikler, duvar yüzeyinin optik özellikleri ve duvar ile ilgili diğer bazı boyutsal özellikler olarak sıralabilir. Duvar yapımında sıkça kullanılan bazı malzemelerin özellikleri Tablo 7.1.' de verilmiştir.

5.2.1.1. Duvarı Tanımlayıcı Fiziksel Özellikler

Hesaplamalarda kullanılan, duvarı oluşturan malzemelerin nem ile ilgili özellikleri; kuru durumda ölçülen buhar difüzyon direnç faktörleri (μ_0) ile yaş durumda ölçülen buhar difüzyon direnç faktörleri (μ_{100}), kılcal su emicilik katsayıları (w), her malzemenin sorpsiyon eşsıcaklık eğrilerinden elde edilebilen, % 0 bağıl nem oranındaki hacimsel malzeme nemliliği değerleri (u_0), % 75 bağıl nem oranındaki hacimsel malzeme nemliliği değerleri (u_{75}), % 100 bağıl nem oranındaki kritik hacimsel malzeme nemliliği değerleri (u_{KR}) ve yine her malzemenin sorpsiyon eşsıcaklık eğrileri yardımı ile belirlenen, sorpsiyon eşsıcaklık eğrisi eğim faktörleri (df) olarak sıralanabilir.

Geliştirilen dış duvar seçeneklerini tanımlayan malzemelerin ısı özellikleri; kuru durumda ve laboratuvar şartlarında ölçülen, ısı iletkenlik katsayıları (λ_{KURU}), özgül ısı (c) ve malzeme nemliliğine bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki artış oranlarıdır (d').

Hesaplamalarda kullanılan, duvar seçeneklerinin optik özelliği, dış yüzey rengine ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değişen, dış yüzey güneş ışınımı yutuculuk katsayılarıdır(a_γ).

5.2.1.2. Duvarı Tanımlayıcı Diğer Özellikler

Yaklaşımın hesaplamalarında gerekli olan diğer duvar tanımlayıcı özellikler, duvarı oluşturan malzemelerin, yoğunlukları (γ), kalınlıkları (d), ve katmanların duvar içindeki sıralamaları ile duvar seçeneklerinin, baktıkları yönlerdir.

5.2.2. Çevresel Etmenlerin Hesap Değerlerinin Belirlenmesi

Buhar difüzyonunun oluşmasında en fazla etkili olan çevresel etmenlerin, dış ve iç iklim elemanları olduğu Bölüm 3.1.' de belirtilmişti. İklim elemanlarının yanı sıra hesaplamalarda göz önünde tutulması gereken bir başka çevresel etmen de dış çevre güneş ışıınımı yansıtma katsayısıdır. Geliştirilen yaklaşımda kullanılması önerilen çevresel etmenlerin hesap değerleri aşağıda sıralanmıştır.

5.2.2.1. Dış İklim Elemanları

Hesaplamalarda kullanılan dış iklim elemanları, geliştirilen duvar seçeneklerinin ait olduğu binanın yer aldığı bölgeye en yakın meteoroloji istasyonunda veya ait olduğu iklim bölgesini temsil eden ilin meteoroloji istasyonunda ölçülen değerlerden yararlanılarak elde edilebilmektedir. Buhar difüzyonunun oluşmasında etkili olan dış iklim elemanları; dış hava sıcaklığı, dış bağıl nem oranı, güneş ışıınımı ve rüzgar olarak sıralanabilir.

Dış Hava Sıcaklığı

Dış hava sıcaklık hesap değerleri olarak, saatlik olarak ölçülen değerlerin aylık ortalamalarının, yeterince uzun bir döneme ait ortalamaları kullanılmaktadır. Her ayı temsil eden, bu 24 saate ait ölçülmüş sıcaklık değerleri kullanılarak, dış hava sıcaklığının günlük değişimini tanımlayan eğrinin denklemi harmonik analiz ile EK - A' da açıklandığı şekilde elde edilerek istenilen ana ait değerler hesaplanabilmektedir.

Dış Bağıl Nem Oranı

Dış bağıl nem oranları değeri olarak, saat 7.00, 14.00 ve 21.00' de yapılan ölçümlerin aylık ortalamalarının, yeterince uzun bir döneme ait ortalamaları kullanılmaktadır. Her ayı temsil eden, bu üç saate ait bağıl nem oranı değerleri kullanılarak, dış bağıl nem oranının günlük değişimini tanımlayan eğrinin denklemi harmonik analiz ile EK - A' da açıklandığı şekilde elde edilerek, istenilen ana ait, değerler hesaplanabilmektedir.

Güneş Işınım Yeğİnliği

Yatay düzlemde ölçülen güneş ışıınım yeğİnliklerinin saatlik değİrlerinin aylık ortalamalarının, yeterince uzun bir döneme ait ortalamaları kullanılarak, günlük ortalama değİrler elde edilerek, duvar yüzeyini etkileyen doğrudan, yaygın ve yansımış yeğİnlik değİrleri elde edilmektedir [71, s.101].

Rüzgar

Bu çalışmada, rüzgar hızı sabit kabul edilerek, dış yüzey buhar geçiş sayısının (β_D) hesaplanmasında kullanılan ve değİri rüzgar hızına bağlı olarak değİşen dış hava taşınım katsayısı da ($\alpha_D = 23.26 \text{ W/m}^2\text{°C}$) sabit olarak kullanılmaktadır.

5.2.2.2. İç İklim Elemanları

İç iklim elemanlarının belirlenmesinde iki farklı yaklaşım izlenebilmektedir. Bunlardan ilki, bina içinde tüm yıl boyunca yapma enerji sistemleri kullanılarak iklimlendirme yapıldığı varsayılarak, iç hava sıcaklığı ile iç bağlı nem oranının sabit kabul edildiği yaklaşımdır. Diğeri ise, ısıtma istenen dönemde, iç hava sıcaklığının gereksinim duyulan düzeyde tutacak şekilde, yapma enerji sistemleri kullanılarak bunun yerine getirilmesi, dış hava sıcaklığının, iç ortamda gereksinim duyulan sıcaklığın üzerine çıktığı dönemlerde ise, iç hava sıcaklığının da dış ortam sıcaklığına eşit kabul edildiği yaklaşımdır. Soğuk hava deposu v.s. gibi sürekli aynı iç ortam şartlarının gerçekleştirilmesi gereken durumlarda ise birinci yaklaşımın kullanılması doğru olacaktır.

İç Hava Sıcaklığı

İç ortamda gereksinim duyulan iç hava sıcaklığı, mekanın işlevine ve kullanıcı gereksinimlerine bağlı olarak, değİşim göstermektedir. İşleve bağlı olarak gereksinim duyulan iç bağlı nem oranı değİrleri, Bölüm 3.1.2.' de sıralanan kaynaklardan elde edilebilmektedir.

İç Bağlı Nem Oranı

İç ortamda gereksinim duyulan iç bağlı nem oranı, mekanın işlevine ve kullanıcı gereksinimlerine bağlı olarak, değİşim göstermektedir. İşleve bağlı olarak gereksinim duyulan iç bağlı nem oranı değİrleri Bölüm 3.1.2.' de sıralanan kaynaklardan elde edilebilmektedir.

5.2.2.3. Diğer Çevresel Etmenler

Yatay düzlemde ölçülen güneş ışınım yoğunlukları değerlerinden duvar yüzeyini etkileyen doğrudan, yaygın ve yansımış yoğunluk değerlerinin elde edilebilmesi için, duvarın ait olduğu binanın yer aldığı enlem ve boylam, duvarın baktığı yön ve duvarı etkileyen çevrenin güneş ışınım yansıtıcılık katsayılarına, gereksinim duyulmaktadır.

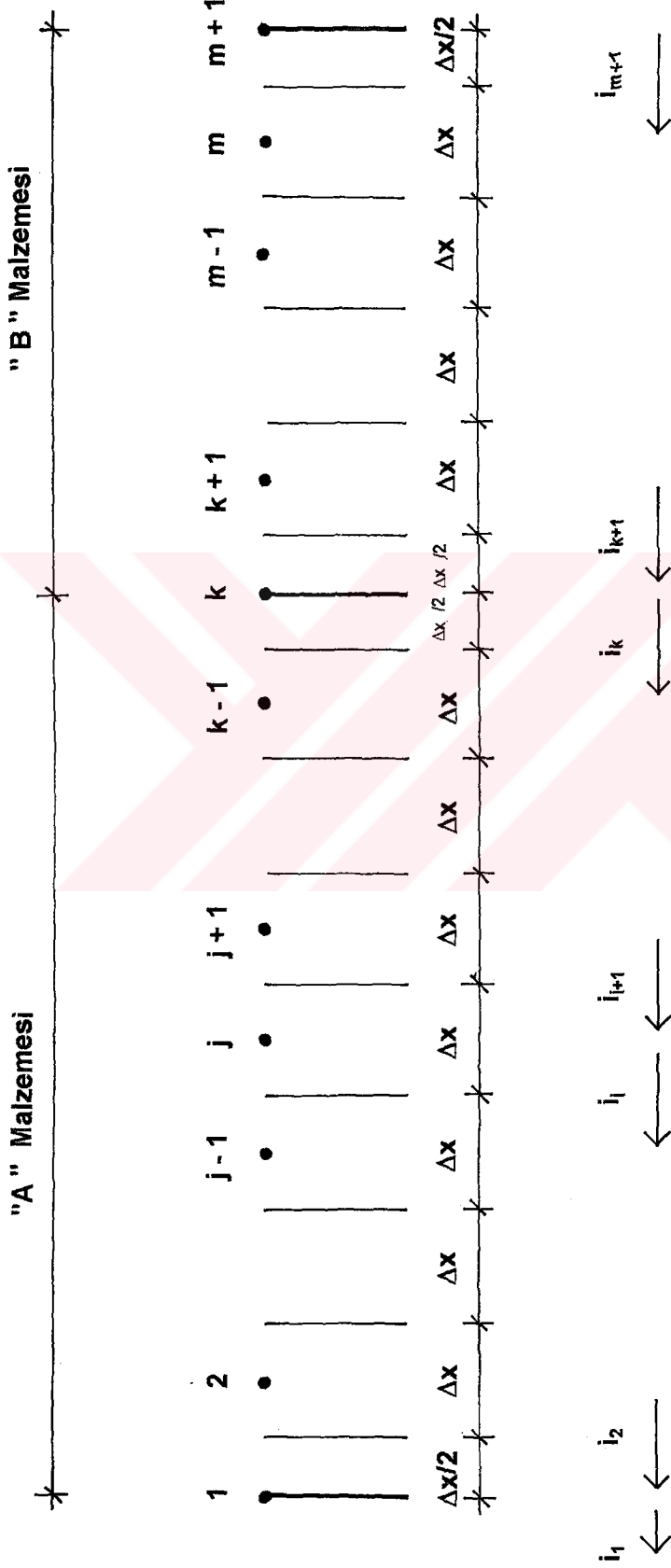
5.2.3. Dış Duvarda Meydana Gelen Buhar Difüzyonu Sonucu Oluşan Nem Dağılımı ve Bunun Duvarın Isıl Özelliklerine Etkilerinin Hesaplanması

Duvarla meydana gelen buhar difüzyonunun hesaplanabilmesi için, buhar difüzyonunun oluşmasına neden olan iç ve dış ortamdaki ve duvar içindeki kısmi buhar basınçlarının belirlenmesi gerekmektedir. Kısmi buhar basıncının sıcaklık ve bağıl nem oranının bir fonksiyonu olması nedeni ile, öncelikle iç ve dış ortam ile duvar içindeki sıcaklık dağılımı belirlenmektedir. Buhar difüzyonu sonucu duvar içindeki nem dağılımı belirlendikten sonra nemliliğe bağlı olarak değişen buhar difüzyon direnç faktörleri ile ısı iletkenlik katsayıları ile duvardan geçen ısı miktarı hesaplanmaktadır. Duvar yüzeylerinde hesaplanan 24 saatlik sıcaklık değişimlerinden yararlanarak da, duvarın zaman geciktirme özelliği ile sıcaklık genlik küçültme faktörü belirlenmektedir.

Duvar içinde meydana gelen ısı geçişi ve buhar difüzyonu, dış hava sıcaklığı ile dış bağıl nem oranlarının günlük ve yıllık değişimlerini göz önünde bulundurabilen, yani değişken rejim şartlarına uygun hesaplama yöntemleri ile hesaplanmaktadır. Gerek ısı akımı, gerekse buhar difüzyonunun hesaplanmasında Ek B ve Ek C' de anlatılan, sonlu farklar yöntemi kullanılmaktadır.

Değişken rejimdeki buhar difüzyonu ve ısı geçişi hesaplamalarında esas alınan sonlu farklar yöntemi gereği dış duvarın m adet " Δx " kalınlığında katman parçasından oluştuğu varsayılmaktadır. Her " Δx " katman parçasının ortasındaki nem ile ilgili ve ısı değerlerinin tüm katman parçasını temsil ettiği kabul edilmektedir (Şekil 5.2). Burada, " Δt " zaman aralığı boyunca sabit şartların geçerli olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Hesaplamalar istenilen süre boyunca tekrarlanmaktadır.

Hesaplama kullanılan adımlar aşağıda hesap akış şemasında ki [Ek D] sırayla anlatılmıştır.



Şekil 5.2. Dış duvarın, bölündüğü varsayılan, "m" adet, sanal " Δx " katman parçası.

5.2.3.1. Katman Parçaları (Δx) ve Zaman Aralıkları (Δt)' nin ve Simülasyon Süresinin Belirlenmesi

Katman parçası kalınlığının (Δx) duvarı oluşturan malzeme katman kalınlıklarının eşit şekilde bölünebileceği bir değer olarak, seçilmelidir. Zaman aralığı (Δt) için, katman parçası kalınlığına bağlı olarak stabilite ölçütleri doğrultusunda belirlenen değerlerin kullanılması gerekmektedir (Ek B).

Simülasyon süresi olarak, " Δt " zaman aralığının katı olmak şartı ile, bir saat, bir gün, bir ay, bir yıl v.s. gibi herhangi bir süre seçilebilmektedir. Ancak dış duvarların yeterince duyarlı bir şekilde değerlendirilebilmesi amacı ile, hesaplamaları en az 12 aylık bir süre için gerçekleştirerek, dış iklim elemanlarının yıl boyunca gösterdikleri değişimin dış duvardaki nem birikmesine etkilerinin tam olarak belirlenmesi gereklidir.

5.2.3.2. Duvar Yüzey ve Katman Parçalarındaki Sıcaklıkların (T) Belirlenmesi

Duvarı oluşturduğu varsayılan (Δx) katmanlarından herhangi birini temsil eden "j" noktasında " $t+\Delta t$ " zamanı için sıcaklık ($T_j^{t+\Delta t}$) aşağıdaki gibi belirlenmektedir (bkz. EK B):

$$T_j^{t+\Delta t} = a \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \cdot (T_{j+1} + T_{j-1}) + \left(1 - \frac{2 \cdot a \cdot \Delta t}{\Delta x^2}\right) \cdot T_j \quad (5.01)$$

a : [m²/s] Isı yayılım katsayısı

Duvarın 1. noktasındaki yani dış yüzeyindeki sıcaklık ($T_1^{t+\Delta t}$), " $t+\Delta t$ " zamanı için, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir :

$$T_1^{t+\Delta t} = \frac{2 \cdot \alpha_D \cdot \Delta t}{\gamma \cdot c \cdot \Delta x} \cdot (T_E - T_1) + 2 \cdot a \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \cdot (T_2 - T_1) + T_1 \quad (5.02)$$

α_D	: [W/m ² °C]	Dış hava taşınım katsayısı
γ	: [kg/m ³]	Kuru yoğunluk
c	: [J/kg °C]	Özgül ısı
T_E	: [°C]	Solair sıcaklık

Aynı bağıntı $m+1$ noktası, yani iç yüzey için de geçerlidir. Solair sıcaklık (T_E) Mackey - Wright yöntemi ile aşağıdaki gibi belirlenmektedir[58, s.26.5] :

$$T_E = T_D + \frac{a_y \cdot I}{\alpha_D} \quad (5.03)$$

T_D	:[°C]	Dış hava sıcaklığı
a_y	:[-]	Dış yüzey yutuculuk katsayısı
I	:[W/m ²]	Düşey düzlemi etkileyen tüm güneş ışınımı

5.2.3.3. Doymuş Buhar Basınçlarının (P_s) Belirlenmesi

"j" noktasında farklı sıcaklıklardaki havanın doymuş buhar basıncı aşağıda verilen bağıntı ile yaklaşık olarak belirlenebilmektedir [71,s.15] :

$$T \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} : P_{s,j} = 133.322 \cdot e^{[18.6686 - 4030.183 / (T + 235)]} \quad (5.04)$$

$$T < 0 \text{ } ^\circ\text{C} : P_{s,j} = 600.17 + 42.23 T + 0.974 T^2 \quad (5.05)$$

5.2.3.4. Kısmi Buhar Basınçlarının (P) Belirlenmesi

5.4 veya 5.5 bağıntıları ile belirlenen "j" noktasına ait doymuş buhar basıncı ($P_{s,j}$) ile bağıl nem oranı (φ_j) değerleri kullanılarak "j" noktasındaki kısmi buhar basıncı (P_j) belirlenmektedir :

$$P_j = P_{s,j} \cdot \varphi_j \quad (5.06)$$

5.2.3.5. Difüzyon Direnç Faktörlerinin (μ) Belirlenmesi

Her " Δx " katman parçasındaki bağıl nem oranları (φ) belirlendikten sonra, bu bağıl neme bağlı olarak " Δx " katmanında " $t + \Delta t$ " zamanında geçerli olan difüzyon direnç faktörü ($\mu(\varphi)$) (bkz. Ek C);

$$\mu(\varphi) = \mu_0 - (\mu_0 - \mu_{100}) \cdot \varphi^{\frac{1}{\ln 65} \ln \frac{\mu_0 - \mu_{66}}{\mu_0 - \mu_{100}}} \quad (5.07)$$

bağıntısı ile belirlenmektedir.

μ_0	:[-]	Su buharı difüzyon direnç faktörü ($\varphi=0\%$)
μ_{65}	:[-]	Su buharı difüzyon direnç faktörü ($\varphi=65\%$)
μ_{100}	:[-]	Su buharı difüzyon direnç faktörü ($\varphi=100\%$)

5.2.3.6. Havadan Duvar Yüzeylerine ve Katman Parçaları Arasında, Birim Alandan, Difüzyon Yolu İle Geçen Buhar Miktarının (i) Belirlenmesi

Hesaplamalarda iki bitişik Δx katman parçasındaki şartların (T , P_s , φ , P), " Δt " zaman aralığı süresince sabit olduğu varsayılmaktadır. Malzeme içindeki herhangi bir "j" katman parçasından "j - 1" e ve "j + 1" katman parçasından "j" ye, Δt zamanı boyunca oluşan buhar difüzyonu miktarı " $i_j^{t+\Delta t}$ " ve " $i_{j+1}^{t+\Delta t}$ ", aşağıdaki bağıntılar ile belirlenebilir (bkz. Ek C):

$$i_j^{t+\Delta t} = \delta \frac{\Delta t}{\mu(\varphi) \cdot \Delta x} (\varphi_j^t \cdot P_{s,j}^t - \varphi_{j-1}^t \cdot P_{s,j-1}^t) \quad (5.08)$$

$$i_{j+1}^{t+\Delta t} = \delta \frac{\Delta t}{\mu(\varphi) \cdot \Delta x} (\varphi_{j+1}^t \cdot P_{s,j+1}^t - \varphi_j^t \cdot P_{s,j}^t) \quad (5.09)$$

Bu bağıntılarda, buhar difüzyon katsayısının , + 10 °C ' deki değeri olan;
 $\delta = 0.675 \cdot 10^{-6}$ kg/mhPa olarak sabit kabul edilmektedir.

Hava ile duvar yüzeyi arasındaki buhar difüzyonunun belirlenmesinde, duvar yüzeyinin önünde olduğu varsayılan hava tabakasının buhar difüzyon direnci göz önünde bulundurulmaktadır. Gerek iç gerekse dış hava tabakasının buhar geçiş katsayısı (β), hava taşınım katsayısına (α), yani hava hızına bağlı olarak, belirlenmektedir [72]:

$$\beta = \frac{3.5}{R_B \cdot T} \cdot \alpha \quad (5.10)$$

R_B :[j/kg °C] Su buharı gaz sabiti (=461.8 j/kg °C)

" Δt " zamanında duvar yüzeyinden (1 noktası) dış havaya geçen, buhar miktarı " $i_1^{t+\Delta t}$ " aşağıdaki şekilde belirlenmektedir (bkz. Ek C):

$$i_1^{t+\Delta t} = \beta \cdot \Delta t \cdot (\varphi_1^t \cdot P_{s,1}^t - \varphi_d^t \cdot P_{s,d}^t) \quad (5.11)$$

Yine " Δt " zamanında 2 noktasından 1' e geçen buhar miktarı " $i_2^{t+\Delta t}$ ",

$$i_2^{t+\Delta t} = \delta \frac{\Delta t}{\mu(\varphi) \cdot \Delta x} (\varphi_2^t \cdot P_{s,2}^t - \varphi_1^t \cdot P_{s,1}^t) \quad (5.12)$$

dır.

Aynı şekilde " $m+1$ " noktası ile iç hava arasında geçen buhar miktarı da belirlenebilir.

"A" ve "B" gibi, iki farklı malzemeden oluşan iki tabakanın sınır düzleminden (k noktası) geçen buhar miktarının belirlenmesi için, "k" katman parçasının, yarısının "A" malzemesinden, " $\Delta x_A/2$ " olarak oluştuğu, diğer yarısının ise B malzemesinden, " $\Delta x_B/2$ " olarak oluştuğu, kabul edilmektedir. " Δt " zamanında "k" noktasından "k-1" e ve "k+1" den "k" ya geçen buhar miktarı aşağıdaki bağıntılar ile belirlenmektedir:

$$i_k^{t+\Delta t} = \delta \frac{\Delta t}{\mu(\varphi) \cdot \Delta x_A} (\varphi_k^t \cdot P_{s,k}^t - \varphi_{k-1}^t \cdot P_{s,k-1}^t) \quad (5.13)$$

$$i_{k+1}^{t+\Delta t} = \delta \frac{\Delta t}{\mu(\varphi) \cdot \Delta x_B} (\varphi_{k+1}^t \cdot P_{s,k+1}^t - \varphi_k^t \cdot P_{s,k}^t) \quad (5.14)$$

5.2.3.7. Buhar Difüzyonu Sonucu, Katman Parçalarında Oluşan Hacimsel Nemlilik Oranının (u) Belirlenmesi

Her " Δx " katman parçasının nemlilik oranı, " Δt " zamanı boyunca, kendinden önceki katman parçasından gelen buhar miktarı ile kendisinden sonrakine geçen buhar miktarının farkı kadar değişir. Malzeme içindeki "j" noktasının " $\Delta t+t$ " zamanındaki hacimsel nemlilik oranı " $u_j^{t+\Delta t}$ ", aşağıdaki gibi belirlenmektedir (bkz. Ek C):

$$u_j^{t+\Delta t} = u_j^t + \frac{i_{j+1}^{t+\Delta t} - i_j^{t+\Delta t}}{\Delta x \cdot \gamma_{SU}} \quad (5.15)$$

Duvar yüzeyindeki (1 ve m+1 noktaları), " $t+\Delta t$ " zamanındaki, hacimsel nemlilik oranı ise;

$$u_1^{t+\Delta t} = u_1^t + \frac{i_2^{t+\Delta t} - i_1^{t+\Delta t}}{0.5 \cdot \Delta x \cdot \gamma_{SU}} \quad (5.16)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

γ_{su}	:[kg/m ³]	Su için yoğunluk
u^t	:[-]	"t" zamanı için hacimsel malzeme nemliliği

İki farklı malzeme sınırındaki "k" noktasında hacimsel malzeme nemliliğindeki değişim (Δi), 5.13 ve 5.14 bağıntıları kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\Delta i = i_{k+1}^{t+\Delta t} - i_k^{t+\Delta t} \quad (5.17)$$

Bu su kütlesi " Δi ", " $\Delta x_A/2$ " ve " $\Delta x_B/2$ " katman parçalarına dağıtılacaktır:

$$\Delta i = \Delta i_A + \Delta i_B \quad (5.18)$$

Su kütlesinin (Δi), hangi oranlarda "A" (Δi_A) ve "B" (Δi_B) malzemelerine dağıtılacağı, "k" noktasındaki bağıl nem oranı (ϕ_k)'nın her iki katman parçasında da ($\Delta x_A/2$ ve $\Delta x_B/2$) değişmediği varsayımından yola çıkılarak bulunmaktadır:

$$\phi_{k,A} = \phi_{k,B} \quad (5.19)$$

" $\Delta x_A/2$ " ve " $\Delta x_B/2$ " katman parçalarındaki bağıl nem oranları ($\phi_{k,A}$, $\phi_{k,B}$) ile malzeme nemliliği arasındaki ilişkiyi gösteren sorpsiyon eşsıcaklık denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\phi_{k,A} = 1 - e^{df_A (u_{0,A} - \frac{\Delta i_A}{0.5 \cdot \Delta x_A \cdot \gamma_{su}} - u_{k,A})} \quad (5.20)$$

$$\phi_{k,B} = 1 - e^{df_B (u_{0,B} - \frac{\Delta i_B}{0.5 \cdot \Delta x_B \cdot \gamma_{su}} - u_{k,B})} \quad (5.21)$$

df : [-] Sorpsiyon eşsıcaklık eğrisi için eğrilik faktörü
 $df = \ln(1 - \phi_x) / (u_x - u_0)$

5.19, 5.20, 5.21, 5.22 bağıntıları kullanılarak " Δt " zamanı boyunca, "A" malzemesinden oluşan, " $\Delta x_A/2$ " katman parçasının nem miktarında meydana gelen artış " $\Delta i_{k,A}$ " belirlenebilir:

$$\Delta i_{k,A} = \frac{df_A \cdot (u_{0,A} - u_{k,A}) - df_B \cdot (u_{0,B} \cdot \frac{i_{k+1}^{t+\Delta t} - i_k^{t+\Delta t}}{0.5 \cdot \Delta x_B \cdot \gamma_{SU}} - u_{k,B})}{\frac{df_A}{0.5 \cdot \Delta x_A \cdot \gamma_{SU}} + \frac{df_B}{0.5 \cdot \Delta x_B \cdot \gamma_{SU}}} \quad (5.22)$$

5.23 denklemi ile " Δt " zamanı boyunca, "B" malzemesinden oluşan, " $\Delta x_B/2$ " katman parçasının nem miktarında meydana gelen artış " $\Delta i_{k,B}$ " belirlendikten sonra "k" katman parçasının " $\Delta x_A/2$ " ve " $\Delta x_B/2$ " kısımlarındaki hacimsel nemlilik oranı hesaplanmaktadır:

$$u_{k,A}^{t+\Delta t} = u_{k,A}^t + \frac{\Delta i_{k,A}}{0.5 \cdot \Delta x_A \cdot \gamma_{SU}} \quad (5.23)$$

$$u_{k,B}^{t+\Delta t} = u_{k,B}^t + \frac{\Delta i_{k,B}}{0.5 \cdot \Delta x_B \cdot \gamma_{SU}} \quad (5.24)$$

Duvarı oluşturan, "A" gibi bir malzeme katmanının, " $t+\Delta t$ " zamanındaki, ortalama hacimsel nemlilik oranı aşağıdaki gibi belirlenmektedir:

$$u_{ort.,A}^{t+\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^n u_A^{t+\Delta t}}{n} \quad (5.25)$$

n : [-] Bir malzeme katmanındaki katman parçası (Δx) adedi.

5.2.3.8. Kritik Malzeme Nemliliğini (u_{KR}) Aşan Nemin Dağıtılması

Bağıl nem oranının $\varphi=99\%$ u aştığı zaman malzeme nemliliği oranı da kritik değerin (u_{KR}) üzerine çıkmış olur. Malzeme nemliliğinin kritik değeri aşması genelde iki farklı malzeme sınırını oluşturan düzlemde, buhar difüzyonu sırasında olağan dışı nem birikimi sonucu, oluşur (Glaser tarafından "düzlemsel yoğuşma" olarak tanımlanan durum). Bu düzlemde biriken fazla nem miktarı, kritik nemlilik

" u_{KR} " değerinin altına düşene dek, kılcallık ile komşu bölgelere taşınır. Kılcallık ile nem taşınımı, difüzyona göre çok daha etkili olduğu için, hesaplamalarda burada bir an için difüzyonun durduğu ve " u_{KR} " in üzerindeki nem miktarının komşu katman parçalarına, bunların su emme katsayıları (w) oranında, dağıtıldığı kabul edilebilir. İki malzeme sınır düzleminde (k noktası) " $t + \Delta t$ " zamanındaki nem miktarı " $nm_k^{t+\Delta t}$ " ve kritik nem miktarı, " $nm_{kr}^{t+\Delta t}$ ", aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$nm_k^{t+\Delta t} = u_k^{t+\Delta t} \cdot 0.5 \cdot \Delta x \cdot \gamma_{SU} \quad (5.26)$$

$$nm_{kr} = u_{kr} \cdot 0.5 \cdot \Delta x \cdot \gamma_{SU} \quad (5.27)$$

" k " katman parçasının, " $\Delta x_A/2$ " ve " $\Delta x_B/2$ ", kısımlarındaki kritik değerin üzerindeki fazla nem miktarı aşağıdaki gibidir:

$$\Delta nm_{FAZLA,k} = nm_k^{t+\Delta t} - nm_{kr} \quad (5.28)$$

Fazla nem miktarı, "A" ve "B" gibi iki farklı malzemeden oluşan komşu katman parçalarına, su emicilik katsayıları oranında (w_A , w_B) dağıtılır:

$$\Delta nm_A = \frac{w_A}{w_A + w_B} \cdot \Delta nm_{FAZLA,k} \quad (5.29)$$

$$\Delta nm_B = \frac{w_B}{w_A + w_B} \cdot \Delta nm_{FAZLA,k} \quad (5.30)$$

Kılcallık ile nem taşınması sonunda, sözkonusu komşu katmanların (k , $k+1$), yeni nemlilik oranları ($u_{k,A,YENI}$; $u_{k+1,A,YENI}$) aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$u_{k,A,YENI} = u_{k,A}^{t+\Delta t} + \frac{\Delta nm_A}{0.5 \cdot \Delta x_A \cdot \gamma_{SU}} \quad (5.31)$$

$$u_{k+1,B,YENI} = u_{k+1,B}^{t+\Delta t} + \frac{\Delta nm_B}{\Delta x_B \cdot \gamma_{SU}} \quad (5.32)$$

" k_A " ve " $k+1_B$ " noktalarının yeni nemlilik oranlarının, kritik nemlilik oranını aşıp aşmadığı kontrol edilerek, aşıyor ise, aynı yöntemle, fazla nem miktarı duvarların iç ve dış yüzeylerine doğru dağıtılmaya devam edilmektedir.

5.2.3.9. Duvar Yüzeyleri ile Katman Parçalarındaki, Bağıl Nem Oranlarının (ϕ) Belirlenmesi

" $t+\Delta t$ " zamanındaki malzeme nemlilik oranı bilinen "j" katman parçasının, " $t+\Delta t$ " zamanındaki bağıl nemlilik oranı aşağıdaki gibi belirlenmektedir (bkz. Ek C):

$$\phi_j^{t+\Delta t} = 1 - e^{\left(\frac{\ln(1-0.75)}{u_{0,j} - u_{75,j}} \right) \cdot (u_{0,j} - u_j^{t+\Delta t})} \quad (5.33)$$

u_0	:[-]	Hacimsel malzeme nemliliği ($\phi=\%0$)
u_{75}	:[-]	Hacimsel malzeme nemliliği ($\phi=\%75$)

5.2.3.10. Duvar Katmanlarını Oluşturan Malzemelerin Isı İletkenlik Katsayılarının (λ) Malzeme Nemliliğine Bağlı Olarak Belirlenmesi

Duvarı oluşturan malzeme katmanlarının " $t+\Delta t$ " zamanında sözkonusu olan ortalama malzeme nemliliğine " $u_{Ort}^{t+\Delta t}$ " bağlı olarak aynı zaman diliminde geçerli olan ısı iletkenlik katsayısı, Bölüm 4'de de açıklandığı gibi, çoğu yapı malzemesi (A) için,

$$\lambda_A^{t+\Delta t} = \lambda_{10,KURU,A} (1 + (u_{Ort,A}^{t+\Delta t} \cdot d'_A)) \quad (5.34)$$

şeklinde belirlenmektedir.

$\lambda_{10,KURU}$	:[W/m°C]	Kuru durumdaki ısı iletkenlik katsayısı ($T=10^\circ\text{C}$)
d'	:[%]	Nemlilik oranına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısında kuru duruma göre artış oranı

Yapay köpük yapılı ısı yalıtım malzemeleri için:

$$\lambda_A^{t+\Delta t} = AP(0) + AP(1) \cdot u_{Ort}^{t+\Delta t} + AP(2) \cdot (u_{Ort}^{t+\Delta t})^2 \quad (5.35)$$

AP	:[-]	Polinom katsayıları
----	--------	---------------------

Lifli ve taneli yapıdaki ısı yalıtım malzemeler için ise aşağıdaki gibi belirlenmektedir:

$$\lambda_A^{t+\Delta t} = 0.036 + 0.0118 \cdot u_{Ort.}^{t+\Delta t} \quad (5.36)$$

5.2.3.11. Isı Yayınım Katsayılarının (a) Hesaplanması

"A" malzemesinin "t+Δt" zamanındaki ısı yayınım katsayısı " $a_A^{t+\Delta t}$ ", 5.35, 5.36, 5.37 bağıntıları ile belirlenen, "t+Δt" zamanına ait ısı iletkenlik katsayısı kullanılarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$a_A^{t+\Delta t} = \frac{\lambda_A^{t+\Delta t}}{\gamma \cdot c} \quad (5.37)$$

c : [J/kg °C] Özgül ısı

5.2.3.12. Birim Alandan, Birim Zamanda Geçen Isı Miktarının (q) Hesaplanması

Dış duvarın birim alanında, bir saat boyunca, duvarın iç yüzeyinde geçen ısı akım (q) miktarı aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$q = \alpha_i \cdot (T_i - T_{iy}) \quad (5.38)$$

T_i : [°C] İç hava sıcaklığı
 T_{iy} : [°C] Duvar iç yüzey sıcaklığı
 α_i : [W/m²°C] İç hava taşınım katsayısı

5.2.3.13. Duvarın Zaman Geciktirme Özelliğinin (φ) Belirlenmesi

24 saat içinde duvarın dış yüzeyinde oluşan en yüksek sıcaklığın saati ($H_{T,1,Max}$) ile, duvarın iç yüzeyinde oluşan en yüksek sıcaklığın saati ($H_{T,m+1,Max}$), arasındaki fark aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir:

$$\phi = H_{T,1,Max} - H_{T,m+1,Max} \quad (5.39)$$

5.2.3.14. Duvarın Genlik Küçültme Faktörünün (f) Belirlenmesi

24 saat içinde duvarın dış yüzeyinde oluşan en yüksek ve en düşük sıcaklıkların farkı (ΔT_1) ile duvarın iç yüzeyinde oluşan en yüksek ve en düşük sıcaklıkların farkından (ΔT_{m+1}) yararlanarak duvarın genlik küçültme faktörü aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir:

$$f = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_{m+1}} \quad (5.40)$$

5.2.4. Buhar Difüzyonu Etkisi Altındaki, Dış Duvar Seçeneklerinin, Isıl ve Nem ile İlgili Performans Ölçütleri Doğrultusunda, Değerlendirilmesi

Yaklaşıkta, dış ve iç iklimsel veriler ile diğer çevresel etmenlerin hesap değerleri ile duvar tanımlayıcı özelliklerin değerleri kullanılarak yapılan buhar difüzyonu hesapları ve buhar difüzyonu sonucu oluşan nem etkisindeki ısı geçişi hesaplamaları ile, stabilite ölçütleri doğrultusunda kararlaştırılan " Δt " zaman aralığının katı olan, herhangi istenen bir sürenin sonunda ve istenilen süre aralıkları ile, duvarın sanal olarak ayrıldığı düşünülen her " Δx " katman parçası ve duvarın her iki yüzeyi için;

- Sıcaklık değerleri [$^{\circ}\text{C}$],
- Malzeme nemlilik oranları [-],
- Buhar difüzyon direnç faktörü değerleri [-],
- Bağıl nem oranları [ϕ],
- Doymuş buhar basınç değerleri [Pa],
- Kısmi buhar basınç değerleri [Pa],

dış duvarı oluşturan her malzeme katmanı için;

- Isı iletkenlik katsayıları [$\text{W/m } ^{\circ}\text{C}$],
- Isı yayılım katsayısı [m^2/san],
- Ortalama malzeme nemlilik oranı [-],

duvarın bir bütün olarak ,

- Birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı [W/m^2],
- Zaman geciktirme değerleri [h],
- Sıcaklık genlik küçültme faktörü değerleri [-],

elde edilebilmektedir.

Buhar difüzyonu sonucu oluşan nemin etkisindeki duvarın, nem ile ilgili performansının değerlendirilmesinde kullanılacak ölçüt, "duvar içindeki nem dağılımıdır". Nem dağılımı, her " Δx " katman parçası ve duvarın her iki yüzeyindeki bağıl nem oranları (ϕ) veya yine her " Δx " katman parçası ve duvarın her iki yüzeyindeki malzeme nemlilik oranları (u), yardımı ile ifade edilmektedir. Nem etkisindeki duvarın, ısı performansının değerlendirilmesinde kullanılacak ölçütler ise; iç yüzey sıcaklığı (T_{m+1}), duvarın bir bütün olarak birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı (q), zaman geciktirme değerleri (ϕ), sıcaklık genlik küçültme faktörü değerleridir (f).

Ölçütlerin, hedeflere bağlı olarak göstermesi beklenen değerleri; çevresel etmenler, ekonomik etmenler, kullanıcı gereksinimleri, zamana ve bina işlevine bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Bu çalışmada belirlenen ısı ve nem ile ilgili ölçütler ile ilgili standart ve yönetmeliklerde, değişken rejim şartlarına uygun sınır değerleri verilmemiştir. Bu çalışmada da kesin sınır değerleri vermek yerine, genel anlamda, dış duvar seçeneklerinin karşılaştırılarak, en uygun seçeneğin seçilmesine yönelik bazı önerilerde bulunulmuştur.

Dış duvar seçeneklerinde bağıl nem oranı dağılımı:

Her " Δx " katman parçasında bağıl nem oranının yıl boyunca hiçbir zaman $\phi = \%100$ ' ün üzerine çıkmaması.

Duvarın iç yüzeyinde bağıl nem oranının yıl boyunca hiçbir zaman $\phi = \%100$ ' ün üzerine çıkmaması.

Dış duvar seçeneklerinin iç yüzey sıcaklığı:

Duvarların iç yüzey sıcaklığının (T_{m+1}), iç hava sıcaklığı (T_i) değerine bağlı olarak belirli değerlerin sınırları içinde kalması. ($T_{m+1} = T_i + \epsilon$, gibi).

Dış duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı (q):

Dış duvarlardan geçen ısı miktarı değerinin, yani ısıtma gerektiren dönemdeki ısı kayıplarının ve ısıtma gerektirmeyen dönemde ısı kazançlarının, "düşük" olması.

Dış duvar seçeneklerinin bir bütün olarak zaman geciktirme değerleri (ϕ):

Duvarların zaman geciktirme faktörünün "büyük" olması. Örneğin; 10 - 14 saat arası.

Dış duvar seçeneklerinin bir bütün olarak sıcaklık genlik küçültme faktörü değerleri (f):

Sıcaklık genlik küçültme faktörü değerlerinin "büyük" olması.

Yaklaşım, geliştirilen farklı duvar seçeneklerinin, yukarıda sıralanan ölçütler doğrultusunda karşılaştırılarak, buhar difüzyonu sonucu oluşan nemliliğin ısı ve nem ile ilgili performanslarına etkilerinin değerlendirilmesi sonucu, en uygun çözümün seçilmesini olanaklı kılmaktadır.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Dış duvarlarda, iç ortam ile dış ortamın kısmi buhar basınç değerlerindeki farka bağlı olarak, su buharı difüzyonu yolu ile, sürekli bir nem taşınması meydana gelmektedir. Olağan koşullarda, diğer nem taşınma tipleri ile taşınan nem miktarı, buhar difüzyonu yolu ile taşınan nem miktarına göre, ihmal edilebilecek derecede düşüktür. Duvar içindeki nemin belirli bir miktarı, duvarı oluşturan, farklı katmanların malzemelerinin sorpsiyon özelliklerine bağlı olarak, depolanmaktadır. Ayrıca, çok katmanlı duvarlarda, buhar difüzyonu ile taşınan nem, buhar difüzyon direnci "düşük" olan malzemelerden oluşan katmanlardan "kolaylıkla" geçerken, buhar difüzyon direnci "yüksek" olan malzemelerden oluşan katmanların önünde birikebilmektedir. Yine çevresel etmenlere bağlı olarak veya tasarım ve uygulama hatalarından dolayı, duvar içinde veya yüzeylerinde, su buharı, "yoğuşarak", birikebilmektedir. Buhar difüzyonu nedeni ile dış duvarlarda, değişik şekillerde depolanan nem, duvarların özelliklerinde değişimlere neden olmaktadır. Bunlar arasında en önemli olanı, nemlilik sonucu, dış duvarların ısı ve nem ile ilgili performansında meydana gelen değişimlerdir.

Bu çalışmada; buhar difüzyonu nedeni ile oluşan nemliliğin, dış duvarların ısı ve nem ile ilgili performansına etkilerini değerlendirerek, tasarım aşamasında, seçenekler arasında seçim yapmaya veya var olan binaların dış duvarlarının karşılaştırılmasına, olanak sağlayan, bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. Geliştirilen, yeni yaklaşımdan; (a) daha önce geliştirilen yöntemler ile karşılaştırarak, getirdiği yenilikler ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar ve (b) sağladığı olanaklar ve kullanılabilirlik alanları ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar ile (c) ileride yapılabilecek çalışmalarda kullanılabilirliği ile ilgili öneriler, aşağıda sıralanmıştır:

a. Yaklaşımın, daha önce geliştirilen yöntemler ile karşılaştırıldığında; hesaplamalarda kullanılan çevresel etmenler açısından, hesaplamalarda ele alınan duvarları oluşturan malzemelerin özellikleri ve bunların buhar difüzyonu ile karşılıklı etkileşimi açısından, hesaplama modeli açısından ve değerlendirmede kullanılan performans ölçütleri açısından, getirdiği yenilikler, kısaca aşağıdaki gibidir:

- Buhar difüzyonunun oluşmasına, dış ortam ile iç ortam arasındaki kısmi buhar basınç farklarının neden olduğuna, daha önce değinilmişti. Kısmi buhar basıncı ise, dış ve iç ortamdaki, sıcaklık, hava nemliliği gibi iklim elemanlarına bağlı olarak değişmektedir. Hesaplamalarda gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için, iklim elemanları ile diğer çevresel etmenlere ait, gerçek şartları en iyi yansıtacak şekilde belirlenen değerlerin kullanılması gerekliliği açıktır. Sabit rejim yöntemlerinde, dış iklim elemanlarının, düzenli olarak gösterdikleri, günlük ve yıllık değişimler gözardı edilerek bunların sürekli olarak veya yılın belirli dönemlerinde sabit kaldıkları varsayılmaktadır. Değişken rejim yöntemlerinde ise, dış iklim elemanlarının, yıllık olarak gösterdikleri değişimler göz önünde bulundurulmakla birlikte, günlük değişimler yok sayılmaktadır. Geliştirilen yeni yaklaşımda; sıcaklık, hava nemliliği, güneş ışıınımı gibi dış iklim elemanlarının gerek günlük, gerekse yıllık olarak gösterdikleri değişimler hesaba katılarak, yeterince duyarlı bir değerlendirme yapabilme olanağı elde edilmiştir.
- Hesaplama sonuçlarının, gerçeği en iyi şekilde yansıtmaları açısından, hesaplamalarda kullanılan iklim elemanlarının yanı sıra, duvarı oluşturan malzemelerin özelliklerinin de, gerçekçi bir şekilde belirlenmesi, büyük önem taşımaktadır. Gerek ısı geçişi, gerekse buhar difüzyonu hesaplamalarında, malzemelerin ısı geçirgenlik özelliği önemli bir etkidir. Diğer yöntemlerde, malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları olarak, kuru durumda belirlenen ısı iletkenlik katsayılarına, "pratik nemlilik" oranında yapılan zamlar sonucu elde edilen "hesap" değerleri kullanılmaktadır. Ancak, günümüzde yapılan araştırmalar, "pratik nemlilik" değerlerinin, gerçekte ölçülen değerlere göre, oldukça yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Yine, bugüne kadar kullanılan yöntemlerde, buhar difüzyonu sonucu oluşan nemliliğin, malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına etkisi, ya tamamen ihmal edilmekte veya ancak yoğunlaşmanın meydana geldiği durumlarda, belirli oranlarda göz önünde tutulmaktadır. Yeni yaklaşımda, "pratik nemlilik" gibi sabit bir değer yerine, duvar içinde, sürekli olarak değişen nem dağılımına bağlı olarak belirlenen ısı iletkenlik katsayıları değerleri kullanılarak, gerek ısı iletkenlik katsayılarının "hesap" değerlerine ilişkin yapılan kabullerin getirdiği, gerekse ısı iletkenlik katsayılarının "sabit" kabul edilmesine ilişkin, değerlendirmenin duyarlılığını azaltan, sorunlar ortadan kaldırılmıştır.
- Buhar difüzyonu ile ısı geçişinin karşılıklı etkileşim içinde bulunduğu bilinmektedir. İncelenen diğer yöntemlerin, hesaplama modellerinde, bu olgunun göz ardı edilerek, genel olarak ısı geçişi ile buhar difüzyonunun

birbirinden bağımsız olarak ele alındığı görülmektedir. Yeni geliştirilen yaklaşımda, malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının, buhar difüzyonu sonucu oluşan nemliliğe bağlı olarak belirlenmektedir. Buhar difüzyonunun oluşmasında birinci neden olan kısmi buhar basınç değerlerinin, belirlenmesinde kullanılan, duvar içindeki sıcaklık dağılımının hesaplanmasında, yine bu ısı iletkenlik katsayılarının kullanılması ile, buhar difüzyonuyla ısı geçişi arasındaki etkileşim, belirli oranda, göz önünde tutulabilmektedir.

- Sabit rejimdeki yöntemlerde, nem ile ilgili performans değerlendirmesi ancak, "yoğuşma" meydana gelip gelmediği, ısı performans değerlendirmesi ise, yoğuşma etkisine bağlı olarak belirlenen, duvarın toplam ısı geçirgenlik direnci veya ısı geçirme katsayısı ve sabit iç yüzey sıcaklığı ölçütleri ile sınırlıdır. Ele alınan değişken rejim yöntemlerinde ise nem ilgili performans değerlendirmesi, zamana bağlı olarak değişen nem dağılımı ile, ısı performans değerlendirmesi ise, zamana bağlı olarak değişen iç yüzey sıcaklığı ile yapılmaktadır. Yeni geliştirilen yaklaşımda, nem ile ilgili performans değerlendirmesi, zamana bağlı olarak değişen, nem dağılımı ölçütü kullanılarak yapılmasının yanı sıra, ısı performans değerlendirmesi, buhar difüzyonu sonucu oluşan nemliliğin etkilerini de göz önünde bulundurarak, zamana bağlı olarak değişen iç yüzey sıcaklığı, birim alandan geçen ısı miktarı, genlik küçültme faktörü, zaman geciktirme özellikleri, ölçütleri ile gerçekleştirilmektedir. Böylece söz konusu olabilecek duvar seçeneklerinin daha fazla ölçüt ile değerlendirerek, daha duyarlı bir seçim yapma olanağı elde edilebilmektedir.

b. Yaklaşımın sağladığı olanaklar ve kullanılabilirlik alanı:

Yaklaşımda, çevresel etmenler ile duvar ve duvarı oluşturan malzemelerin özellikleri, girdiler olarak kullanılarak, duvarın opak bileşeni içerisindeki, zamana bağlı olarak değişen, sıcaklık dağılımı ile nem dağılımı hesaplanabilmektedir. Hesaplamalarda, duvar içindeki herhangi bir noktaya ait bağıl nem oranı ile aynı yere ait malzeme nemliliği arasındaki ilişki, sorpsiyon eşsıcaklık eğrileri ile kurularak, malzemelerin nem depolama özellikleri de hesaba katılmaktadır. Duvar içinde veya yüzeylerinde, nem miktarının, kritik nem miktarı değerinin üzerine çıkan bölümünün, kılcalık yolu ile, nem miktarının daha düşük olduğu bölgelere, taşındığı varsayılmaktadır. Malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları ile buhar difüzyon direnç faktörlerinin değerlerinin, malzeme nemliliğine bağlı olarak gösterdikleri değişimler göz önünde bulundurulmaktadır. Hesaplamalar sonucunda, günlük, aylık veya yıllık gibi istenilen herhangi bir dönemin sonunda oluşan şartlara bağlı olarak, duvarın

nem ile ilgili performansına ve ısı performansına ilişkin ölçütlere ait değerler elde edilebilmektedir. Nem ile ilgili performans ölçütünü, nem dağılımı oluştururken, ısı performans ölçütleri ise; nem dağılımına bağlı olarak belirlenen, iç yüzey sıcaklığı, birim alandan geçen ısı miktarı, genlik küçültme ve zaman geciktirme özelliği, olarak sıralanabilir.

Yaklaşımda; zamana bağlı, tek yönlü, buhar difüzyonu ile ısı geçişinin hesaplanmasında sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için ise bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bilgisayar programı ile ilgili bilgi, Ek E' de verilmiştir.

Geliştirilen yaklaşım, binalarda, olağan durumlarda söz konusu olan, sıcaklık ve nemlilik miktarı şartlarında, kullanılabilmektedir. Yaklaşım, girdileri oluşturan, çevresel etmenler ile duvar özelliklerine ait değerlerin, gerekli olan formata uygun olmak şartı ile, gerekli görüldüğü şekilde seçilmesine olanak tanıyacak esnekliğe sahiptir. Yaklaşım, tasarım aşamasında oluşturulan duvar seçeneklerinin, geliştirilen bilgisayar programı yardımı ile çevre şartlarının ve duvar içindeki olayların simülasyonunun yapılması yolu ile, yukarıda sıralanan ölçütler doğrultusunda, ısı ve nem ile ilgili performansının değerlendirilerek, en uygun olanının seçilmesine olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra var olan binaların duvarlarının da, değişik amaçlar doğrultusunda, yine aynı ölçütler yardımı ile, değerlendirilme olanağı, sağlanmaktadır.

c. Ortaya koyulan yaklaşımın, değerlendirmede esas alınan etmenler veya değerlendirme yapılan yapı ürünü düzeyi, açılarından geliştirilme olanağı vardır:

Yaklaşımda, dış duvarların değerlendirilmesinde, ısı ve nem ile ilgili performans ölçütleri kullanılmıştır. Yaklaşım, dış duvarlarda etkili olan, "ses", "yükler" v.s. gibi diğer çevresel etmenler ile "maliyet", "estetik" gibi etmenler doğrultusunda geliştirilecek ölçütleri de kapsayacak bir yöntemin, parçasını oluşturabilir.

Bu çalışmada, performans değerlendirmesi, dış duvarın opak bileşeni, yani yapı elemanının bir bileşeni, düzeyinde ele alınmıştır. Ancak, binaların ısı ve nem ile ilgili performansı, dış duvarların opak kısımları dışında, saydam bileşenlere, hacim boyutlarına, kullanıcı profiline, iç ısı ve buhar kaynaklarına, yapma enerji sistemlerine v.s. bağlı olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada ortaya koyulan yaklaşım, bu tür tümsel bir değerlendirme yöntemini tamamlayacak nitelikler de taşımaktadır.

BÖLÜM 7

YENİ YAKLAŞIMIN UYGULANMASINA İLİŞKİN ÖRNEKLER

Bu çalışmada, ortaya koyulan yaklaşım ile ilgili, iki de uygulama yapılmıştır. Uygulama çalışmalarından ilki, farklı dış duvar tiplerinin, Türkiye' nin farklı iklim bölgelerinde, gösterdikleri ısı ve nem ile ilgili performanslarının, tasarım sürecinin bir aşaması olarak, değerlendirilmesine, ilişkindir. Diğer uygulamada ise, İstanbul' daki bir binaya ait dış duvar örneği üzerinde, yaklaşımın duyarlılığı ile sağladığı olanakların örneklenmesi, amaçlanmıştır.

7.1. Buhar Difüzyonunun Dış Duvarların Nem İle İlgili Ve Isıl Performansa Etkilerinin Belirlenmesi Amacı İle Ortaya Koyulan Yaklaşımın Türkiye' nin Farklı İklim Bölgelerindeki, Değişik Dış Duvar Tiplerine Uygulanması

Bu uygulama çalışmasının amacı, Türkiye' de, yapı kesiminde yaygın olarak kullanılan dış duvar tiplerinin, farklı iklim bölgelerinde, yıl boyunca, buhar difüzyonu etkisi altında, gösterdikleri ısı ve nem ile ilgili performanslarının belirlenerek, hem binaların tasarım aşamasında genel olarak kullanılabilecek ön bilgiler elde etmek, hem de, yeni yaklaşımın genellenebilir ve uygulanabilir olduğunu, ortaya koymaktır.

Uygulamada, iklim elemanları değerlerinin günlük ve yıllık değişimleri ile bunlara bağlı olarak duvarların içinde, zamana bağlı olarak, meydana gelen olayların simülasyonu, yaklaşım çerçevesinde geliştirilen, bilgisayar programı (bkz. EK E) yardımı ile, İ.T.Ü. Bilgi İşlem Merkezi' nde gerçekleştirilmiştir.

Uygulama çalışmasında izlenen yol, Bölüm 5' te de açıklandığı gibi; incelenecek duvar seçeneklerinin belirlenmesi, çevresel etmenlerin hesaplarda kullanılacak değerlerinin belirlenmesi ve duvarları tanımlayan özelliklere ait bilgilerin derlenmesi, değerlendirme ölçütleri ile sınır değerlerinin seçilmesi ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, aşamalarından oluşmaktadır:

7.1.1. İncelenecek Duvar Seçeneklerinin Geliştirilmesi ve Duvarları Tanımlayıcı Özelliklerin Derlenmesi.

Türkiye' de, rahatça her yerde gözlemlenebileceği gibi, bina yapımında en yaygın olarak kullanılan yapı ve yapım sisteminin; yerinde yapılan, betonarme iskelet sistem olduğu, ortaya çıkmaktadır. Uygulama çalışmasında da, bu tür binalarda kullanılan duvar tipleri, ele alınmıştır.

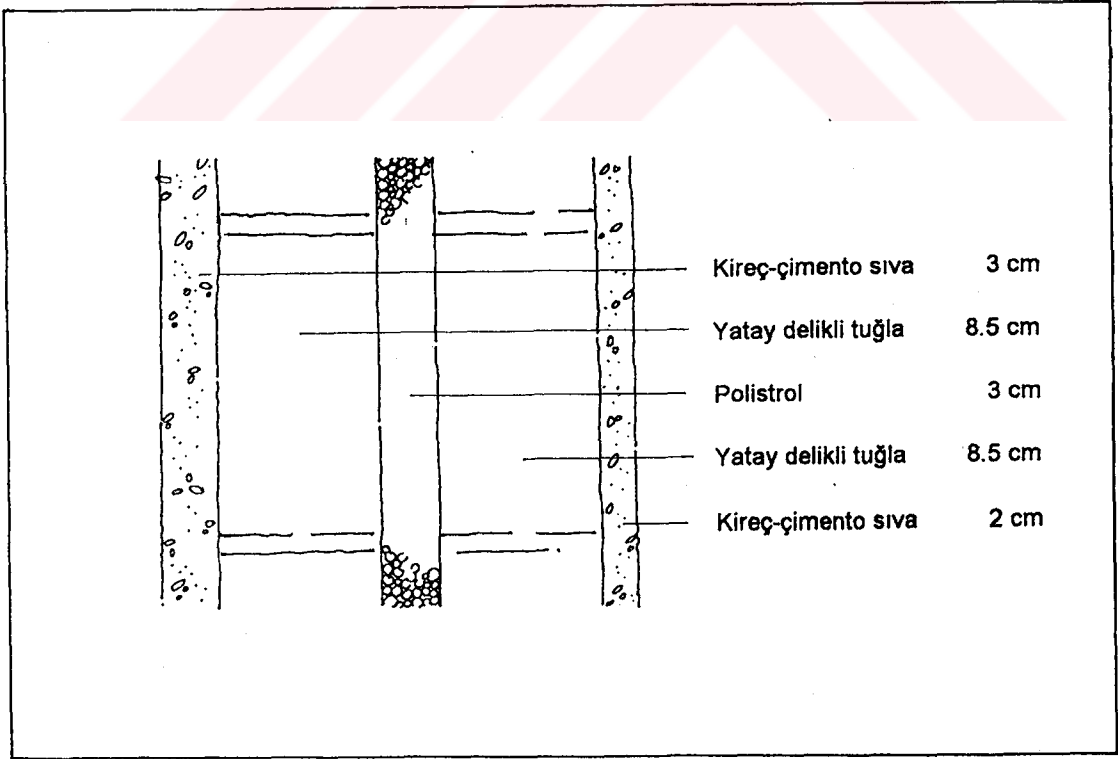
7.1.1.1. İncelenecek Duvar Seçeneklerinin Geliştirilmesi

Özellikle, iskelet taşıyıcılı binalarda dış duvarlardan beklenen performansın ancak çok katmanlı duvarlar tarafından sağlanabildiği konusuna Bölüm 1' de değinilmişti. Genel olarak bakıldığında, bir dış duvarın katmanları; yapı taşlarından oluşan masif kısım, ısı yalıtımı, buhar kesici, havalandırma kanalı, iç ve dış kaplamalar olarak sıralanabilir. Doğaldır ki masif kısım dışındaki diğer tabakaların gerekliliği iç ve dış çevresel etmenler, yapım ve kullanım maliyeti, estetik kriterler v.s. gibi etmenlere bağlıdır. Bu katmanlar; yapı ve kullanıcı sağlığı, kullanıcı konforu, enerji korunumu ve buna bağlı olarak ısıtma - soğutma maliyeti ve çevre temizliği ölçütleri ışığında bakıldığında, ısı yalıtımının, önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Isı yalıtımı katmanının, yapı fiziği kuralları, mekan işlevi, uygulama kolaylığı gibi etmenler doğrultusunda, dış duvarın farklı bölümlerinde yer alması gerekebilir. Isı yalıtımının yeri açısından dış duvarlar; yalın duvarlar, dıştan ısı yalıtımlı duvarlar, içten ısı yalıtımlı duvarlar, ortadan ısı yalıtımlı duvarlar, içten ve dıştan ısı yalıtımlı duvarlar, hafif duvarlar, şeklinde sınıflandırılabilir [73,s.62] .

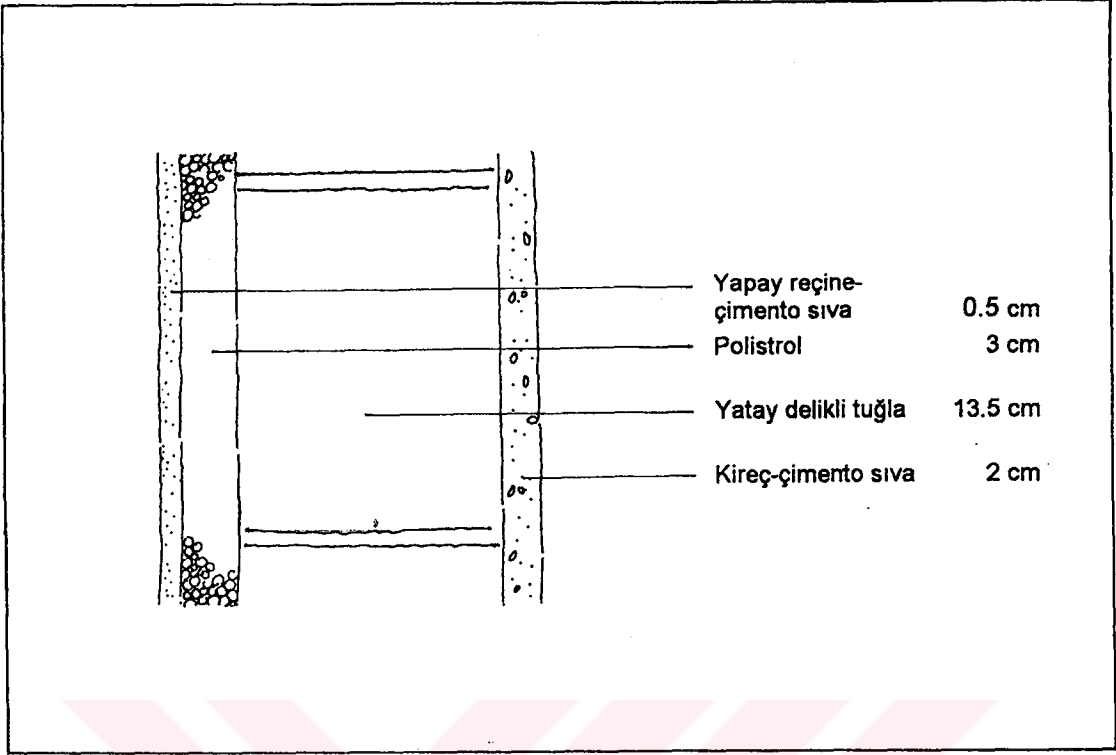
Buhar difüzyonunu ile ilgili sorunlar, Bölüm 1' de belirtildiği gibi, genelde çok katmanlı dış duvarlarda görülmektedir. Bu nedenden ötürü bu çalışmada incelenmek üzere, yukarıda sıralanan duvar tiplerinden; dıştan, içten, ortadan ısı yalıtımlı olanlar, incelenmek üzere seçilmiştir. Böylece buhar difüzyonunun bu duvarların ısı ve nem ilgili performanslarına etkilerinin incelenmesinin yanı sıra, ısı yalıtımının konumunun bunlara etkisinin belirlenmesi, amaçlanmıştır.

Seçilen dış duvar tipleri, yapı sektöründe genelde kullanılan malzemeler ile oluşturulmuştur. Masif kısımları oluşturan yapı taşları olarak, 8.5 cm' lik veya 13.5 cm' lik yatay delikli tuğla, ısı yalıtımı olarak, bloktan kesme, taneli polistrol, dış kaplama olarak, duvar tipine göre, kireç - çimento harçlı siva veya yapay reçine - çimento harçlı siva, iç kaplama olarak da, yine duvar tipine göre, kireç - çimento harçlı siva veya alçı-karton plak seçilmiştir. Ortadan ısı yalıtımlı duvar tipinde; masif kısım, aralarında 3 cm boşluk bırakılarak örülmüş, iki adet 8.5 cm' lik yatay delikli

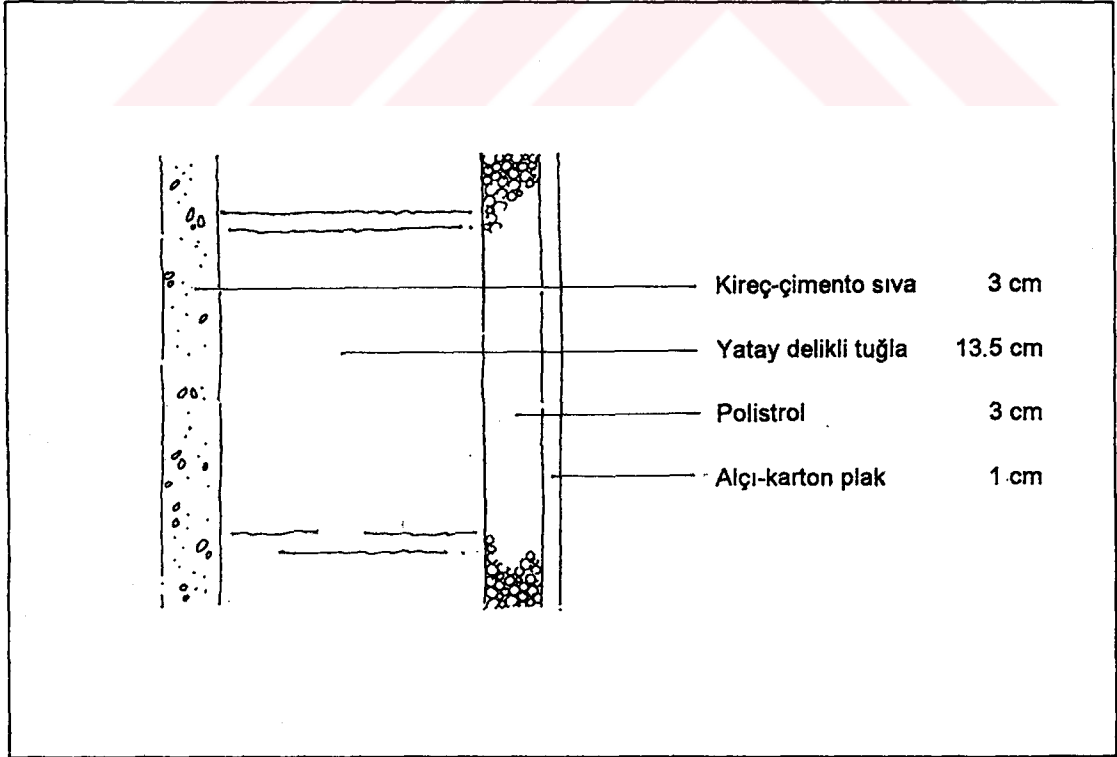
tuğladan iki duvar ile oluşturulmuş ve polistrol ısı yalıtımı bunların arasına serbest olarak yerleştirilmiştir. İç ve dış kaplama olarak kireç - çimento harçlı sıva kullanılmıştır. Dıştan ısı yalıtımlı duvar tipinde; masif kısım, 13.5 cm' lik yatay delikli tuğlalardan oluşturulmuş ve polistrol ısı yalıtımı bunun üzerine, dıştan, özel yapıştırıcı harç ve plastik kılıflı, geniş başlı çiviler ile tespit edilmiştir. Isı yalıtımının üzerine yine özel yapıştırıcı ile plastik sıva taşıyıcı yerleştirilerek yapay reçine - çimento harçlı sıva uygulanmıştır. İç kaplama olarak kireç - çimento harçlı sıva kullanılmıştır. İçten ısı yalıtımlı duvar tipinde; masif kısım, yine 13.5 cm' lik yatay delikli tuğlalardan oluşturulmuş ve polistrol ısı yalıtımı bunun üzerine, içten, özel yapıştırıcı harç ve plastik kılıflı, geniş başlı çiviler ile tespit edilmiştir. İç kaplama olarak ise, ahşap latalara tespit edilen, alçı karton plak kullanılmıştır. Dış kaplama olarak, kireç - çimento harçlı sıva kullanılmıştır. Ortadan ısı yalıtımlı, dıştan ısı yalıtımlı ve içten ısı yalıtımlı dış duvarlara ait katmanlaşma detayları sırasıyla, Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3' de verilmiştir.



Şekil 7.1. Ortadan ısı yalıtımlı dış duvarın katmanlaşma detayı.



Şekil 7.2. Dıştan ısı yalıtımlı duvarın katmanlaşma detayı.



Şekil 7.3. İçten ısı yalıtımlı duvarın katmanlaşma detayı.

Tablo 7.1. Hesaplamalarda kullanılan yapı malzemelerinin fiziksel özellikleri [9], [28], [40], [43].

YOĞUNLUK	DELİKLİ TUĞLA	SIVA KIR-ÇİM.	SIVA YAPAY REÇ-ÇİM.	ALÇI KARTON PLAK	CAMYÜNÜ	POLİSTROL (TANELİ)
γ kg/m ³	900	1800	1000	900	50	15
ISI İLETKENLİK KATSAYISI (HESAP) λ_H W/m°C	0.45	0.87	0.70	0.21	0.04	0.04
ISI İLETKENLİK KATSAYISI (KURU) $\lambda_{10\text{ KURU}}$ W/m°C	0.36	0.62	0.50	0.17	0.036	0.034
NEMLİLİK ORANINA GÖRE λ' DAKİ ARTIŞ d' %	12.5	10	10	12.5	2	2
ÖZGÜL ISI c J/kg°C	920	1050	1050	840	840	1210
ISI YAYINIM KATSAYISI a m ² /s	4.47 10 ⁻⁷	4.13 10 ⁻⁷	5.24 10 ⁻⁷	2.38 10 ⁻⁷	8.57 10 ⁻⁷	20.39 10 ⁻⁷
SU EMİCİLİK KATSAYISI w kg/m ² ·h	8	3	0.4	70	0.01	0.01
MALZEME NEMLİLİĞİ (φ =%0) u_0 -	0.001	0.01	0.0	0.001	0.004	0.0
MALZEME NEMLİLİĞİ (φ =%75) u_{75} -	0.003	0.04	0.02	0.005	0.008	0.002
MALZEME NEMLİLİĞİ (φ =%100) u_{KR} -	0.25	0.12	0.1	0.35	0.1	0.1
SU BUHARI DİFÜZYON DİRENÇ FAKTÖRÜ (Kuru) μ_0 -	6	18	11	13	1	20
SU BUHARI DİFÜZYON DİRENÇ FAKTÖRÜ (Nemli) μ_{100} -	2	4	9	3	0.99	5
SORPSİYON EĞRİSİ, EĞRİLİK FAKTÖRÜ df -	693	46	69	347	347	693

7.1.1.2. Duvar Seçeneklerinin Boyutlandırılması ve Duvarları Tanımlayıcı Bilgilerin Derlenmesi

Duvar seçeneklerini oluşturan katmanlardan, masif kısmın kalınlığı, yukarıda da değinildiği gibi, tuğlaların üretim boyutuna bağlı olarak belirlenmiştir. Kaplama katmanlarını oluşturan, sıvaların kalınlıkları, pratikte uygulanan boyutlara bağlı olarak, alçı karton plakları ise, yine üretim boyutuna bağlı olarak, belirlenmiştir. Isı yalıtımı kalınlığı, şu anda geçerli olan ısı korunumu yönetmeliğinde [44] gerekli görülen ısı geçirgenlik direncini ($1/\Lambda$), tüm ısı bölgelerinde, sağlayacak şekilde, 3 cm olarak, hesaplanmıştır. Duvarları oluşturan katmanların, kalınlıkları ile sıralanmasına ilişkin bilgiler, Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3' de verilmiştir.

Buhar difüzyonu ile ilgili yapısal sorunların, özellikle binaların, güneş ışınımı etkisinin daha az olduğu, "kuzey" yönüne bakan duvarlarında, daha sık ortaya çıktığı bilinmektedir. Bu nedenden dolayı, uygulama çalışmasında ele alınan duvarların da kuzeye yönlendirilmiş oldukları, varsayılmıştır.

Duvar seçeneklerinde kullanılan malzemelerin, ısı ve nem ile ilgili fiziksel özellikleri, değişik kaynaklardan derlenerek veya hesaplanarak, Tablo 7.1' de sıralanmıştır. Duvarın dış kaplamasını oluşturan sıvaların, optik özelliği olan, yüzey güneş ışınımı yutuculuk katsayısı; $a_v=0.7$, olarak seçilmiştir.

Taneli polistrole ait sorpsiyon eşsıcaklık eğrisi, sonuçlardaki duyarlılığı etkilememesinden dolayı, hesaplamaları basitleştirmek amacı ile mineral esaslı malzemelerdeki gibi seçilmiştir.

7.1.2. Çevresel Etmenlerin Hesap Değerlerinin Belirlenmesi

Bölüm 5.2.2.' de değinildiği gibi, hesaplamalarda gerekli olan çevresel etmenler; dış ve iç iklim elemanları ile diğer bazı çevresel etmenlerdir. Bu uygulama çalışmasında, Türkiye' nin farklı iklim bölgelerindeki, dış iklim elemanlarına bağlı olarak, değerlendirme yapılması amaçlandığından, bu bölgelerin ve bunları temsil edebilecek karakteristik illerin seçimi de gerekli olmuştur.

7.1.2.1. İncelenecek Karakteristik İllerin Seçimi

Günümüze kadar Türkiye iklim açısından, farklı ölçütler doğrultusunda, değişik şekillerde bölgelendirilip, bunları temsil edebilecek, karakteristik iller belirlenmiştir.

Bazı çalışmalarda iklim bölgeleri belirlenirken sadece dış hava sıcaklığı kriter olarak seçilmiştir [43], [73], [74], [75]. Diğer bazı çalışmalarda ise, sabit rejim şartlarında belirlenen, yoğunlaşma, buharlaşma ve adaptasyon süreleri, bölgelendirme ölçütü olarak kullanılmıştır [76], [57], [56]. Bu çalışmada, dış duvarlardaki nem dağılımı ile bunun etkileri incelendiğinden dolayı, sadece dış hava sıcaklığının ölçüt olarak kullanıldığı bir bölgelendirmenin kullanılması uygun bulunmamıştır. Aynı zamanda çalışmada sabit rejim şartları kullanılmadığından dolayı, bunu esas alarak geliştirilen, "yoğunlaşma bölgelerinin" de kullanılması yine uygun bulunmamıştır. Bunların yerine, meteoroloji istasyonlarında ölçülen kuru termometre sıcaklığı, bağıl nemlilik oranları ve biyoklimatik grafiklerden yararlanarak "en az sıcak dönem" ve "en sıcak dönem" deki kullanıcı ihtiyaçlarına göre yapılan bir bölgelendirmenin kullanılmasına, karar verilmiştir. Bu ölçütler doğrultusunda Türkiye; serin, ılımlı - nemli, ılımlı - kuru, sıcak - nemli ve sıcak - kuru olmak üzere beş iklim bölgesine ayrılmıştır [77], [78]. Bu bölgelerin iklimsel özelliklerini en iyi yansıtan meteoroloji istasyonları, nüfus özellikleri de göz önünde tutularak, karakteristik iller olarak belirlenmiştir [77], [78] :

Ilımlı - kuru iklim bölgesi	: Ankara
Sıcak - nemli iklim bölgesi	: Antalya
Sıcak - kuru iklim bölgesi	: Diyarbakır
Serin iklim bölgesi	: Erzurum
Ilımlı - nemli iklim bölgesi	: İstanbul

7.1.2.2. Dış İklim Elemanları

Dış duvarlardaki buhar difüzyonu ve etkileri konusunda gerçekçi bir değerlendirme yapabilmek için, dış iklim elemanlarının hesap değerlerinin, olanaklar ölçüsünde gerçeğe yakın olmasına dikkat edilmiştir. Önceki bölümünde sıralanan karakteristik illere ait iklim elemanları, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Arşivi' nden alınan, 1981 - 1990 yılları arasına ait rasat kayıtlarından elde edilmiştir:

Dış hava sıcaklığı:

12 aya ait, 24 saatlik ölçümlerin aylık ortalamalarının, 10 yıllık ortalamaları, belirlenmiştir.

Dış bağıl nem oranı:

12 aya ait, 7.00, 14.00, 21.00 saatlerinde yapılan ölçümlerin aylık ortalamalarının, 10 yıllık ortalamaları belirlenmiştir.

V.C. **W. H. OGRETT**

Güneş ışıınımı:

12 aya ait, yatay düzlemdeki 24 saatlik güneş ışıınımı yeğınliklerinin saatlik değeriilerinin aylık ortalamaları kullanılarak, 10 yıllık ortalamaları belirlenmiştir.

Bu çalışmada ele alınan yapı elemanın, kuzeye bakan bir duvar olmasından ötürü, yatay düzlemde ölçülen güneş ışıınımı yeğınliğı değeri, düşey düzlemi etkileyen saatlik güneş ışıınım yeğınliğı değeriine dönüştürülmüştür [71, s.101-106], [79]. Ayrıca kuzey duvarının direkt güneş ışıınımına maruz kalmadığı varsayılarak, yalnızca yansımış ve yaygın güneş ışıınımları göz önünde tutulmuştur.

Rüzgar:

Rüzgar hızının sabit olarak 2.5 m/s olduğu kabul edilmiştir. Buna bağılı olarak dış hava taşınım katsayısı da $\alpha_d = 23.260 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak sabit alınmıştır [80, s.8].

7.1.2.3. İç iklim Elemanları

Uygulama çalışmasında belirli bir işleve sahip, belirli bir mekan incelenmediğinden ötürü, genel olarak geçerli olabilecek iç iklimsel koşullar seçilme yoluna gidilmiştir. İç mekanda iklimsel konforun sağlanması açısından, iç hava sıcaklığı olarak $T_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ ve iç bağılı nem oranı olarak da $\phi_i = \%50$ değeri kabul edilmiştir. Bu değeriin tüm yıl boyunca, sürekli iklimlendirme yapılarak, sabit kaldıkları varsayılmıştır. İç ortamda hava hızının değışmediğı, buna bağılı olarak da, iç hava taşınım katsayısının ($\alpha_i = 8.14 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$), sabit olduğu kabul edilmiştir.

7.1.2.4. Diğer Çevresel Etmenler

Uygulama çalışmasında, krakteristik illerin enlem ve boylamları kullanılmıştır. Hesaplamalarda, çevrenin güneş ışıınımı yansıtma katsayısı, $r_\zeta = 0.2$ olarak, seçilmiştir.

7.1.3. Duvar Seçeneklerinin Değeriendirilmesi İçin Seçilen Ölçütler ve Ölçütlerin Sınır Değeri

Duvarların nem ile ilgili performansının belirlenmesinde; duvar içindeki ve yüzeylerindeki, bağılı nem oranları (ϕ) ile ifade edilen, nem dağılımı, ölçüt olarak seçilmiştir. Ölçüt sınır değeri; bağılı nem oranının, $\phi = \%100$ ün, yani doyma değeriinin, altında kalması, olarak belirlenmiştir. Duvarların ısıı performansı, ısıı kayıpları ile kazançları açısından ele alınmıştır. Bunların göstergesi olarak ise, birim alandan, birim zamanda, duvar iç yüzeyinden geçen ısıı miktarı (q), uygun bir ölçüt

olarak ortaya çıkmaktadır. Isı kayıpları ve kazançları için, bir sınır değeri belirlenmeyip, ısıtmanın gerekli olduğu dönemlerde, kayıpların en az olduğu, soğutmanın gerekli olduğu dönemlerde, kazançların en az olduğu, dış duvar seçeneğinin belirlenmesi yoluna gidilmiştir.

7.1.4. Uygulama ile İlgili Hesaplamalar

Hesaplamalarda kullanılan sonlu farklar yönteminin gereği olarak, sanal katman parçası kalınlığı; " $\Delta x=0.005\text{m}$ " olarak, zaman aralığı ise " $\Delta t=7.2\text{san.}$ " olarak seçilmiştir. " Δx " ve " Δt " nin seçiminde, duvarları oluşturan katmanların kalınlıkları ile stabilite ölçütü göz önünde tutulmuştur.

Simülasyon süresi olarak, dış iklim elemanlarında yıl boyunca meydana gelen tüm değişimlerin, duvarlarda meydana gelen buhar difüzyonunun etkinliğine, etkilerinin izlenebilmesi amaçlandığı için, "bir yıl" seçilmiştir.

Yukarıda sıralanan, çevresel etmenler ile duvarları tanımlayıcı özellikler, girdi olarak kullanılarak, geliştirilen bilgisayar programı ile, dış iklim elemanlarının değişimleri ile duvarların içinde meydana gelen ısı geçişi ve buhar difüzyonu olaylarının simülasyonu, Bölüm 5.2.3.'deki adımlar izlenerek, birer aylık adımlar ile, bir yıllık bir süre için gerçekleştirilmiştir. Her ayın sonundaki durumu tanımlayan, Bölüm 5.2.4.'te sıralanmış olan, sıcaklık dağılımı, nemlilik oranları, difüzyon direnç faktörleri, ısı iletkenlik katsayıları v.s. gibi bilgiler, bilgisayar programından "çıktı" olarak alınmıştır. Bu bilgiler, aynı zamanda bir sonraki ayın da, söz konusu aya ait iklimsel veriler ile birlikte, girdilerini oluşturmaktadır.

7.1.5. Buhar Difüzyonu Etkisindeki, Dış Duvarların, Türkiye' nin Farklı İklim Bölgelerinde Gösterdikleri Isıl ve Nem ile İlgili Performansın Değerlendirilmesine İlişkin Uygulama Çalışmasının, Sonuçları.

Duvar seçeneklerinin, buhar difüzyonu etkisindeki, ısı ve nem ile ilgili performanslarının değerlendirilmesinde ölçüt olarak seçilen, bağıl nem oranı (φ) dağılımı ile birim alandan, birim zamanda, duvar iç yüzeyinden geçen ısı miktarının (q) her ayın son günündeki değerleri, bilgisayar programından çıktı olarak elde edilmiştir.

Bağıl nem oranının, duvar yüzeylerindeki ve duvar içindeki her katman parçasındaki ($\Delta x=0.005\text{m}$) dağılımı, her duvar tipi ve her karakteristik il için,

hazırlanan grafikler ile anlatılmıştır (Şekil 7.4 - 7.18). Grafiklerin apsisinde, her " Δx " katman parçasını temsil eden noktanın, duvarın dış yüzeyinden uzaklığı (cm) verilmiştir. Ordinatta ise, bağıl nem oranları (%) yer almaktadır. Grafiklerde, şubat ayından başlanarak, her iki ayda bir, sözkonusu ayın sonunda duvarda oluşan bağıl nem oranı dağılımı eğrileri işlenmiştir.

Birim alandan, birim zamanda, duvar iç yüzeyinden geçen ısı miktarlarının, simülasyonun gerçekleştirildiği her ayın, son gününe ait 24 saatlik değerleri, tablolar ile anlatılmıştır (Tablo 7.2 - 7.16). Duvar içindeki bağıl nem oranı dağılımı anlatımına koşut olarak, her duvar tipi ve her karakteristik il için, ısı geçiş miktarlarının, şubat ayından başlanarak, her iki ayda bir sözkonusu olan, değerleri verilmiştir.

Aşağıda, her duvar tipinin, farklı iklim bölgelerinde, buhar difüzyonu etkisinde, ısı ve nem ile ilgili gösterdikleri performansları, kısaca ele alınmıştır:

7.1.5.1. Ortadan Isı Yalıtımlı Duvarların, Bağıl Nem Oranı Dağılımı ve Birim Zamanda, Birim Alandan Geçen Isı Miktarı Ölçütleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi

Bağıl nem oranı (ϕ) dağılımı:

Duvar kesitinde, buhar difüzyonunun iç ortamdan dış ortama yöneldiği dönemlerde (şubat, aralık), polistrol ($\mu=19$) ve çimento - kireç sıva ($\mu=17$) gibi, malzeme katmanlarının sıcak ortama bakan yüzeylerinde, yüksek düzeyde nem depolanmasının sözkonusu olduğu gözükmemektedir. Bunun nedeni, delikli tuğlanın ($\mu=4$), buhar difüzyonuna karşı oluşturduğu görece küçük dirençten dolayı, bu katmandan "rahat" geçebilen buharın, difüzyon dirençleri "yüksek", polistrol ($\mu=19$) ve çimento - kireç sıva ($\mu=17$) gibi malzeme katmanlarında, etkinliğinin azalmasıdır. Bu olgu en açık şekilde; şubat ve aralık aylarında, iç ve dış ortam arasındaki kısmi buhar basıncı farklarının, iklim elemanlarına bağlı olarak, diğer iklim bölgelerine göre daha fazla olduğu, serin iklim bölgesi (Erzurum), (Şekil 7.7), ılımlı - kuru iklim bölgesi (Ankara), (Şekil 7.4) ve sıcak - kuru iklim bölgesinde (Diyarbakır), (Şekil 7.6) göze çarpmaktadır.

Nisan ve ekim aylarında, tüm iklim bölgelerinde (Şekil 7.4 - 7.8), dış ortamdaki kısmi buhar basıncı değerinin artarak, iç ortamdaki değere yaklaşması nedeni ile, buhar difüzyonu, şubat ve aralık aylarına göre etkinliğini yitirmektedir. Buna bağlı olarak, hem polistrol ve çimento - kireç sıva katmanlarının sıcak ortama bakan

yüzeylerinde depolanan nem azalmakta, hem de tüm kesitteki bağıl nem oranı değerleri, genel olarak düşmektedir.

Haziran ve ağustos aylarında, dış ve iç ortamdaki, kısmi buhar basıncı değerlerinin, iklim elemanlarındaki değişimlere koşut olarak, birbirine yakın hale gelmesi sonucu, ılımlı - kuru iklim bölgesi (Ankara), (Şekil 7.4), sıcak - nemli iklim bölgesi (Antalya), (Şekil 7.5), serin iklim bölgesi (Erzurum), (Şekil 7.7) ve ılımlı - nemli iklim bölgesindeki (İstanbul), (Şekil 7.8), ortadan ısı yalıtımlı duvar kesitinde, oldukça eşit bir bağıl nem oranı dağılımı oluştuğu, gözlemlenebilmektedir. Sıcak - kuru iklim bölgesinin karakteristik ili olan Diyarbakır' da (Şekil 7.6), dış iklim elemanlarında meydana gelen değişimlere bağlı olarak, zaman zaman, dış ortamdaki kısmi buhar basıncı değerinin, iç ortamdaki değerin üstüne çıkması nedeni ile, buhar difüzyonu, dış ortamdan iç ortama doğru yönelmektedir.

Yıl boyunca, dış iklim elemanlarının değerlerinde büyük değişimlerin söz konusu olduğu, serin iklim bölgesi (Erzurum), (Şekil 7.7), ılımlı - kuru iklim bölgesi (Ankara), (Şekil 7.4) ve sıcak - kuru iklim bölgesinde (Diyarbakır), (Şekil 7.6), aylık bağıl nem oranı eğrilerinin değişim genliğinin, oldukça büyü olduğu gözlemlenirken, sıcak - nemli iklim bölgesi (Antalya), (Şekil 7.5) ile ılımlı - nemli iklim bölgesinde (İstanbul), (Şekil 7.8) aksi bir durum söz konusudur.

Yıl boyunca, tüm iklim bölgelerinde, rastlanan en yüksek bağıl nem oranı değerinin, serin iklim bölgesindeki (Erzurum) duvarın, polistrol ısı yalıtımı ile iç taraftaki 8.5' luk yatay delikli tuğla duvar gövdesi sınırında, şubat ayı sonunda, yaklaşık % 90 olduğu, gözükmemektedir ki, bu değer %100' lük değeri aşmadığından dolayı söz konusu düzlemde, kritik nemlilik miktarına, ulaşılmamaktadır.

Birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarı (q):

Sözkonusu, ortadan ısı yalıtımlı duvarda, tüm iklim bölgelerinde şubat, nisan, ekim, aralık aylarında ısı kayıpları meydana gelirken, haziran ve ağustos aylarında kazançlar sözkonusu olmaktadır (Tablo 7.2 - Tablo 7.6).

Tüm iklim bölgelerinde, duvar kesitindeki bağıl nem oranı değerlerinin ortalama olarak % 60 - %70 değerleri arasında kalarak, uç değerlere ulaşmaması nedeni ile, malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarında da belirgin artışlar meydana gelmemektedir. Farklı iklim bölgelerindeki, birim zamanda, birim alandan geçen ısı miktarı (q) değerlerindeki değişimler, dış hava sıcaklıklarındaki ve buna bağlı olarak oluşan duvar iç yüzeyi sıcaklıklarına bağlanmalıdır.

7.1.5.2. Dıştan Isı Yalıtımlı Duvarların, Bağlı Nem Oranı Dağılımı ve Birim Zamanda, Birim Alandan Geçen Isı Miktarı Ölçütleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi

Bağlı nem oranı (ϕ) dağılımı:

Duvar kesitinde, ortadan ısı yalıtımlı duvarda olduğu gibi, buhar difüzyonunun iç ortamdan dış ortama yöneldiği dönemlerde (şubat, aralık), polistrol ($\mu=19$) ve çimento - kireç sıvanın ($\mu=17$), sıcak ortama bakan yüzeylerinde, yüksek düzeyde nem depolanmasının sözkonusu olduğu gözükmemektedir. Bunun nedeni, ortadan ısı yalıtımlı duvarda olduğu gibi, delikli tuğlanın ($\mu=4$), buhar difüzyonuna karşı oluşturduğu görece küçük dirençten dolayı, bu katmandan "rahat" geçebilen buharın, difüzyon dirençleri "yüksek", polistrol ($\mu=19$) ve çimento - kireç sıva ($\mu=17$) gibi malzeme katmanlarında, etkinliğinin azalmasıdır. Bundan başka, polistrol ısı yalıtımının dıştan uygulandığı durumda, ortadan uygulandığı duruma göre, iç yüzünde söz konusu olan sıcaklığın ve buna bağlı olarak kısmi buhar basıncının daha düşük olması nedeni ile, bu düzleme doğru oluşan buhar difüzyonu daha da artmaktadır. Buna bağlı olarak dıştan ısı yalıtımlı duvarda, polistrol ısı yalıtımının iç yüzeyinde biriken nem miktarı, ortadan ısı yalıtımlı duvara göre, daha yüksek olmaktadır. Bu olgu en açık şekilde; şubat ve aralık aylarında, iç ve dış ortam arasındaki kısmi buhar basıncı farklarının, iklim elemanlarına bağlı olarak, diğer iklim bölgelerine göre daha fazla olduğu, serin iklim bölgesi (Erzurum), (Şekil 7.12), ılımlı - kuru iklim bölgesi (Ankara), (Şekil 7.9) ve sıcak - kuru iklim bölgesinde (Diyarbakır), (Şekil 7.11), polistrol ısı yalıtımı ile 13,5' luk yatay delikli tuğla duvar gövdesi arasındaki sınırdaki ortaya çıkmaktadır.

Nisan ve ekim ayları için, tüm iklim bölgelerinde (Şekil 7.9 - 7.13), ortadan ısı yalıtımlı duvarda elde edilen bulgular geçerlidir.

Haziran ve ağustos aylarında, dış ve iç ortamdaki, kısmi buhar basıncı değerlerinin, iklim elemanlarındaki değişimlere koşut olarak, birbirine yakın hale gelmesi sonucu, ılımlı - kuru iklim bölgesi (Ankara), (Şekil 7.9), sıcak - nemli iklim bölgesi (Antalya), (Şekil 7.10), serin iklim bölgesi (Erzurum), (Şekil 7.12) ve ılımlı - nemli iklim bölgesindeki (İstanbul), (Şekil 7.13), ortadan ısı yalıtımlı duvar kesitinde olduğu gibi, dıştan ısı yalıtımlı duvarda da, oldukça eşit bir bağlı nem oranı dağılımı oluşmaktadır. Sıcak - kuru iklim bölgesinin karakteristik ili olan Diyarbakır' da (Şekil 7.6), dış iklim elemanlarında meydana gelen değişimlere bağlı olarak, zaman zaman, dış ortamdaki kısmi buhar basıncı değerinin, iç ortamdaki değerin üstüne çıkması nedeni ile, buhar difüzyonu, dış ortamdan iç ortama doğru yönelmektedir.

Yine, sıcak - nemli iklim bölgesi (Antalya), (Şekil 7.10) ile ılımlı - nemli iklim bölgesinde (İstanbul), (Şekil 7.13), dış iklim elemanlarının gün içinde gösterdikleri değişime bağlı olarak, buhar difüzyonunun yön değiştirmesi sonucu, polistrolün orta kısımlarında nem birikirken, dış yüzeylerinde nemlilik azalmaktadır.

Yıl boyunca, aylık bağıl nem oranı eğrilerinin değişim genliği, ortadan ısı yalıtımlı duvardakine benzer bir gelişim göstermektedir.

Yıl boyunca, tüm iklim bölgelerinde rastlanılan en yüksek bağıl nem oranı, serin iklim bölgesindeki (Erzurum) (Şekil 7.12) duvarın, polistrol ısı yalıtımı ile 13,5' luk yatay delikli tuğla duvar gövdesi arasındaki sınırında, şubat' ta meydana gelen % 100' lük değer olduğu gözükmemektedir. Bu %100' lük değer ile söz konusu düzlemde de kritik nemlilik miktarına ulaşılmaktadır. Ancak bu yüksek bağıl nem oranının geri kalan aylarda ortaya çıkmaması, duvar için kalıcı hasarların oluşmayacağını bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarı (q):

Dıştan yalıtımlı duvarda, tüm iklim bölgelerinde şubat, nisan, ekim, aralık aylarında ısı kayıpları meydana gelirken, haziran ve ağustos aylarında ısı kazançları söz konusu olmaktadır (Tablo 7.7 - Tablo 7.11).

Tüm iklim bölgelerinde, duvar kesitindeki bağıl nem oranı değerlerinin, uç değerlere ulaşmaması nedeni ile, malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarında da belirgin artışlar meydana gelmemektedir. Farklı iklim bölgelerindeki, birim zamanda, birim alandan geçen ısı miktarı (q) değerlerindeki değişimler, dış hava sıcaklıklarındaki ve buna bağlı olarak oluşan duvar iç yüzeyi sıcaklıklarına bağlanmalıdır.

7.1.5.3. İçten Isı Yalıtımlı Duvarların, Bağıl Nem Oranı Dağılımı ve Birim Zamanda, Birim Alandan Geçen Isı Miktarı Ölçütleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi

Bağıl nem oranı (ϕ) dağılımı:

Duvar kesitinde, buhar difüzyonunun iç ortamdan dış ortama yöneldiği dönemlerde (şubat, aralık), özellikle buhar difüzyon direnci yüksek ve duvarın "soğuk" dış bölgesinde yer alan çimento - kireç sıvanın ($\mu=17$), sıcak ortama bakan yüzeyinde, görece yüksek düzeyde nem birikmesinin söz konusu olduğu gözlemlenebilmektedir. Bu durum en açık şekilde; serin iklim bölgesi (Erzurum), (Şekil 7.17), ılımlı - kuru iklim bölgesi (Ankara), (Şekil 7.14), sıcak - kuru iklim

bölgesinde (Diyarbakır), (Şekil 7.16) dış sıva ile 13,5' luk yatay delikli tuğla duvar gövdesi arasındaki sınırdaki görülebilmektedir.

Nisan ve ekim aylarında, diğer duvar tiplerinde de, gözlemlenebildiği gibi, tüm iklim bölgelerinde, bağıl nem oranı dağılımı, tüm kesitte, oldukça eşit bir hal almaktadır.

Haziran ve ağustos aylarında, dış ve iç ortamdaki, kısmi buhar basıncı değerlerinin, iklim elemanlarındaki değişimlere koşut olarak, birbirine yakın hale gelmesi ve zaman zaman, dış ortamdaki kısmi buhar basıncı değerinin, iç ortamdaki değer in üstüne çıkması nedeni ile, sıcak - nemli iklim bölgesi (Antalya), (Şekil 7.15), sıcak - kuru iklim bölgesi (Diyarbakır), (Şekil 7.16) ve ılımlı - nemli iklim bölgesindeki (İstanbul), (Şekil 7.18), içten ısı yalıtımlı duvar kesitinde, bazı durumlarda, buhar difüzyonu, dış ortamdan iç ortama doğru yönelmektedir.

Yıl boyunca, aylık bağıl nem oranı eğrilerinin değişim genliği, ortadan ısı yalıtımlı duvardakine benzer bir gelişim göstermektedir.

Yıl boyunca, tüm iklim bölgelerinde, rastlanan en yüksek bağıl nem oranı değerinin, serin iklim bölgesindeki (Erzurum), (Şekil 7.17) duvarın, kireç - çimento dış sıva ile 13,5' luk yatay delikli tuğla duvar gövdesi sınırında, şubat ayı sonunda, yaklaşık olarak % 80 olduğu gözükmemektedir. Bu değer %100' lük değeri aşmadığından dolayı söz konusu düzlemde, kritik nemlilik miktarına, ulaşılmamaktadır.

Birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarı (q):

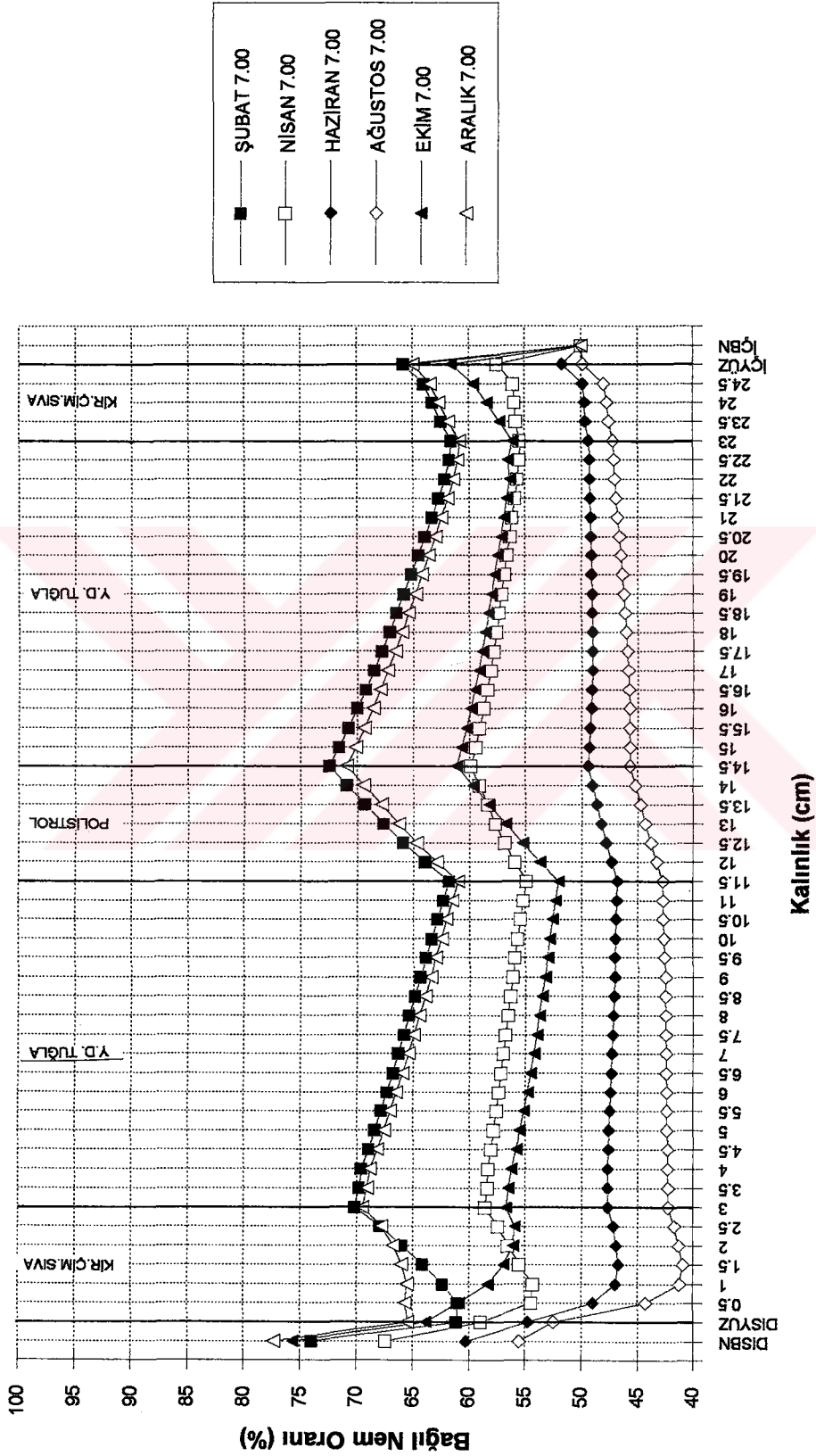
İçten ısı yalıtımlı duvarda, tüm iklim bölgelerinde şubat, nisan, ekim, aralık aylarında ısı kayıpları meydana gelirken, haziran ve ağustos aylarında kazançlar sözkonusu olmaktadır (Tablo 7.12 - Tablo 7.16).

Tüm iklim bölgelerinde, duvar kesitindeki, bağıl nem oranının uç değerlere ulaşmaması nedeni ile, malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarında da belirgin artışlar meydana gelmemektedir. Farklı iklim bölgelerindeki, birim zamanda, birim alandan geçen ısı miktarı (q) değerlerindeki değişimler, dış hava sıcaklıklarındaki ve buna bağlı olarak oluşan duvar iç yüzeyi sıcaklıklarına bağlanmalıdır.

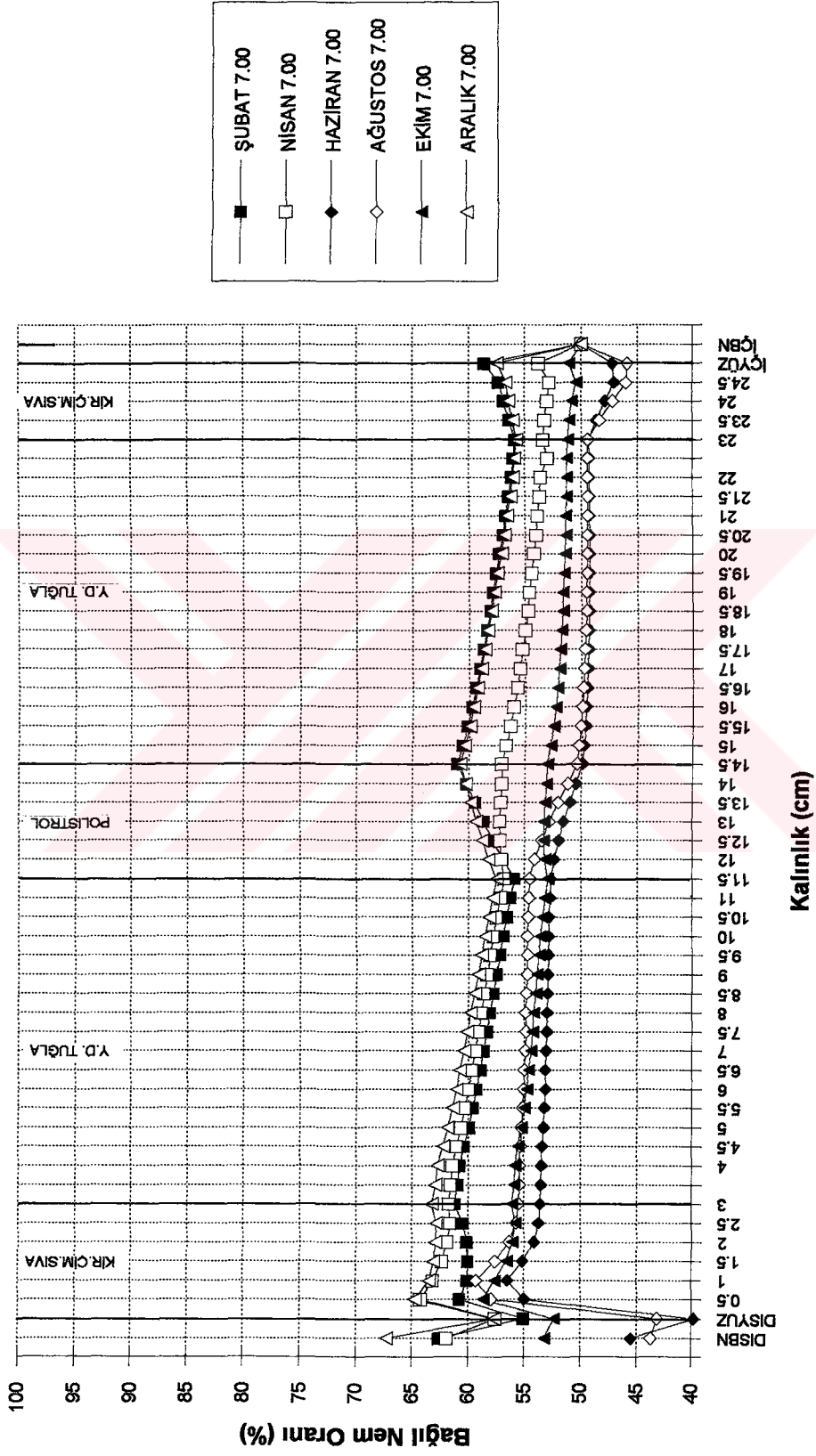
Bu uygulama çalışması çerçevesinde; malzeme nemliliği açısından her üç duvar seçeneğinin gösterdikleri nem ile ilgili performansın farklı olmasına rağmen, seçilen ölçüt sınır değerine ($\varphi \leq 99$) bağlı olarak, tüm iklim bölgelerinde kullanılabilecekleri görülebilmektedir. Burada yalnızca, dıştan ısı yalıtımlı duvarda, serin iklim

bölgesinde (Erzurum), şubat ayında oluşan $\phi=\%100$ ' lük bağıl nem oranı değeri dikkat çekmektedir. Yine bu uygulamada kullanılan çevresel etmenler ve duvar özelliklerine ait değerlere bağlı olarak, içten yalıtımlı duvarların iç yüzey sıcaklıklarının diğer seçeneklere göre daha yüksek olması nedeni ile, iç ortam ile iç yüzey arasındaki ısı geçiş miktarının, ısıtma gerektiren dönemlerde, daha düşük olduğu ortaya çıkmaktadır.

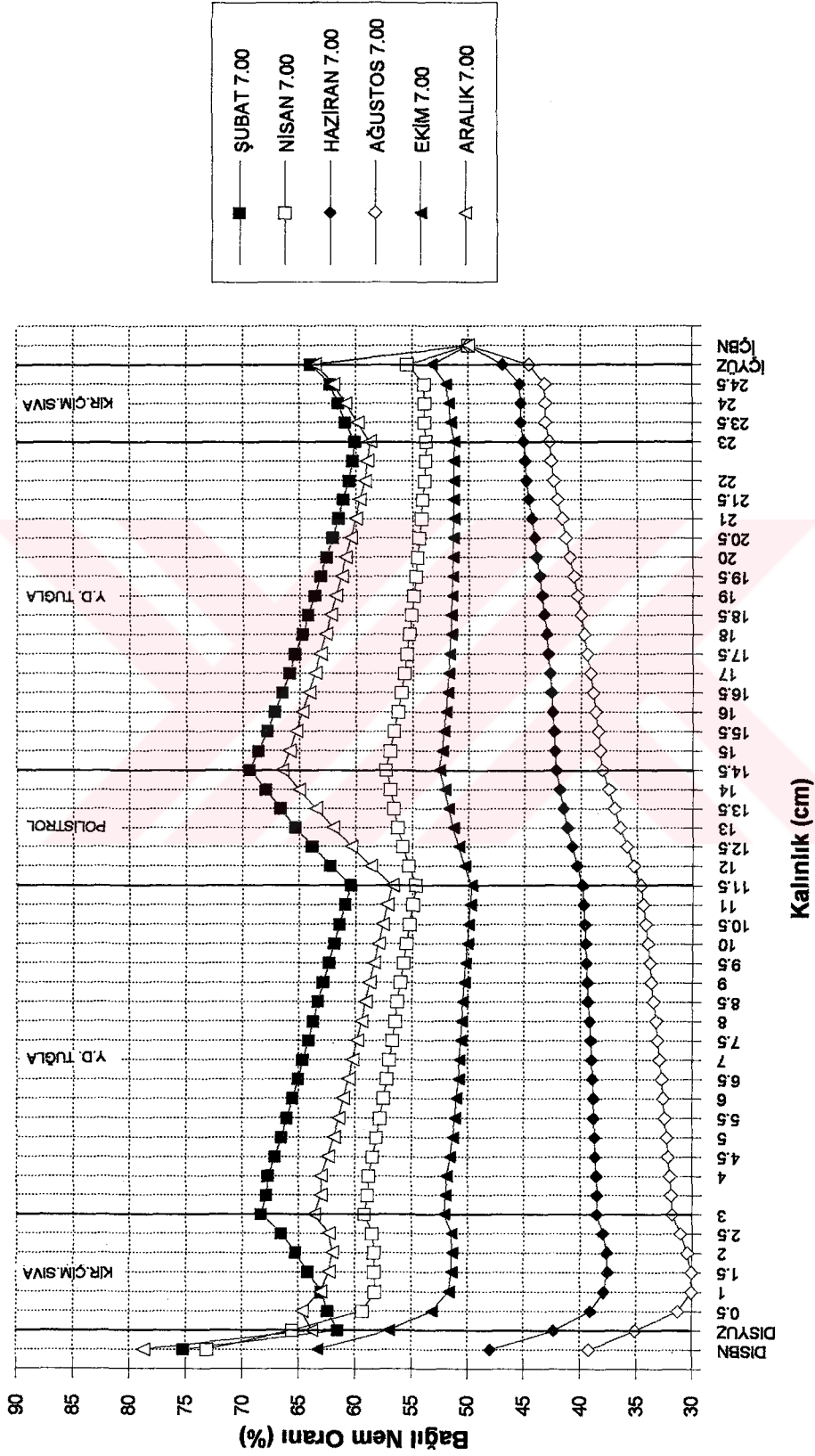




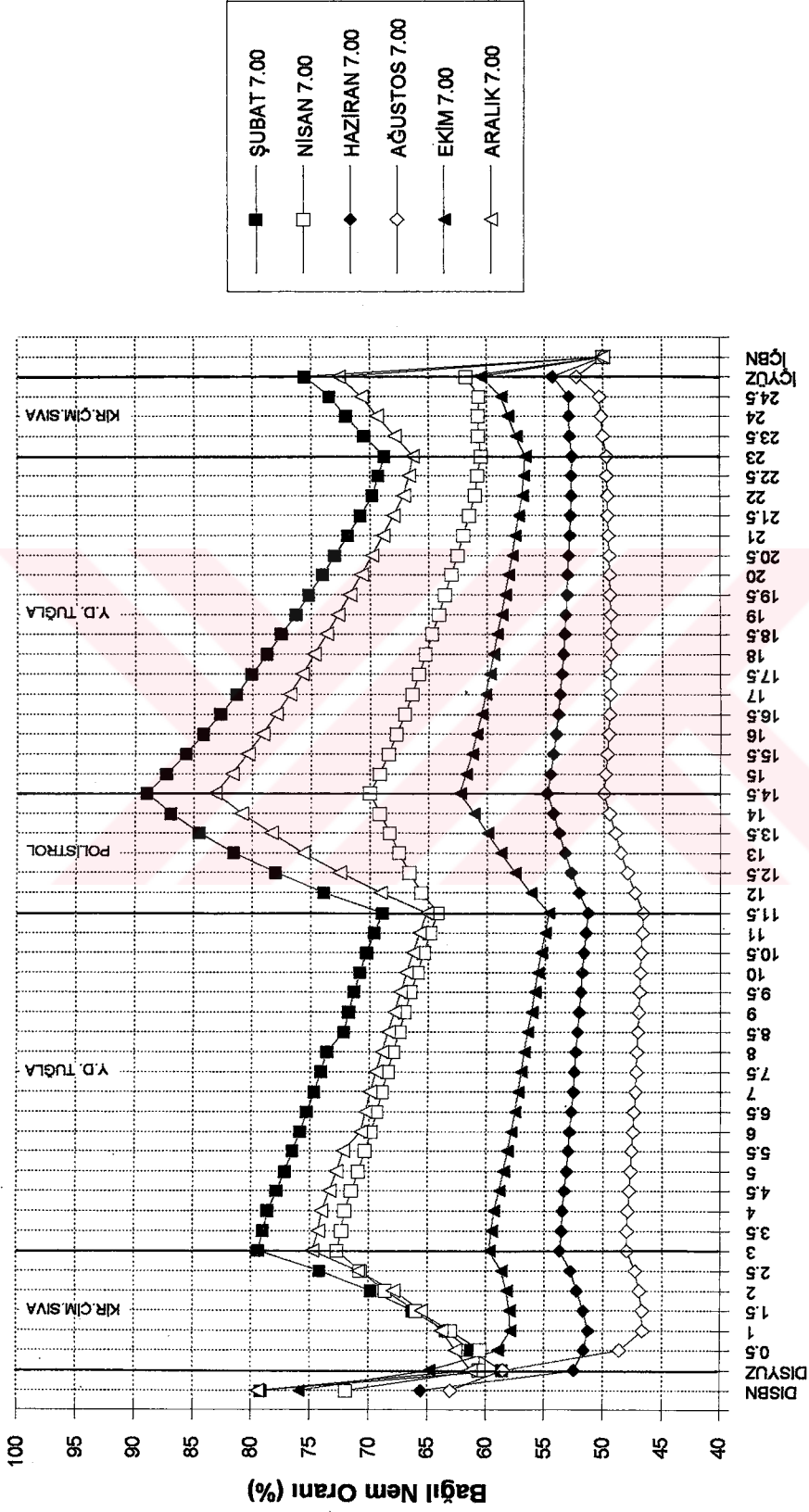
Şekil 7.4. Ankara: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



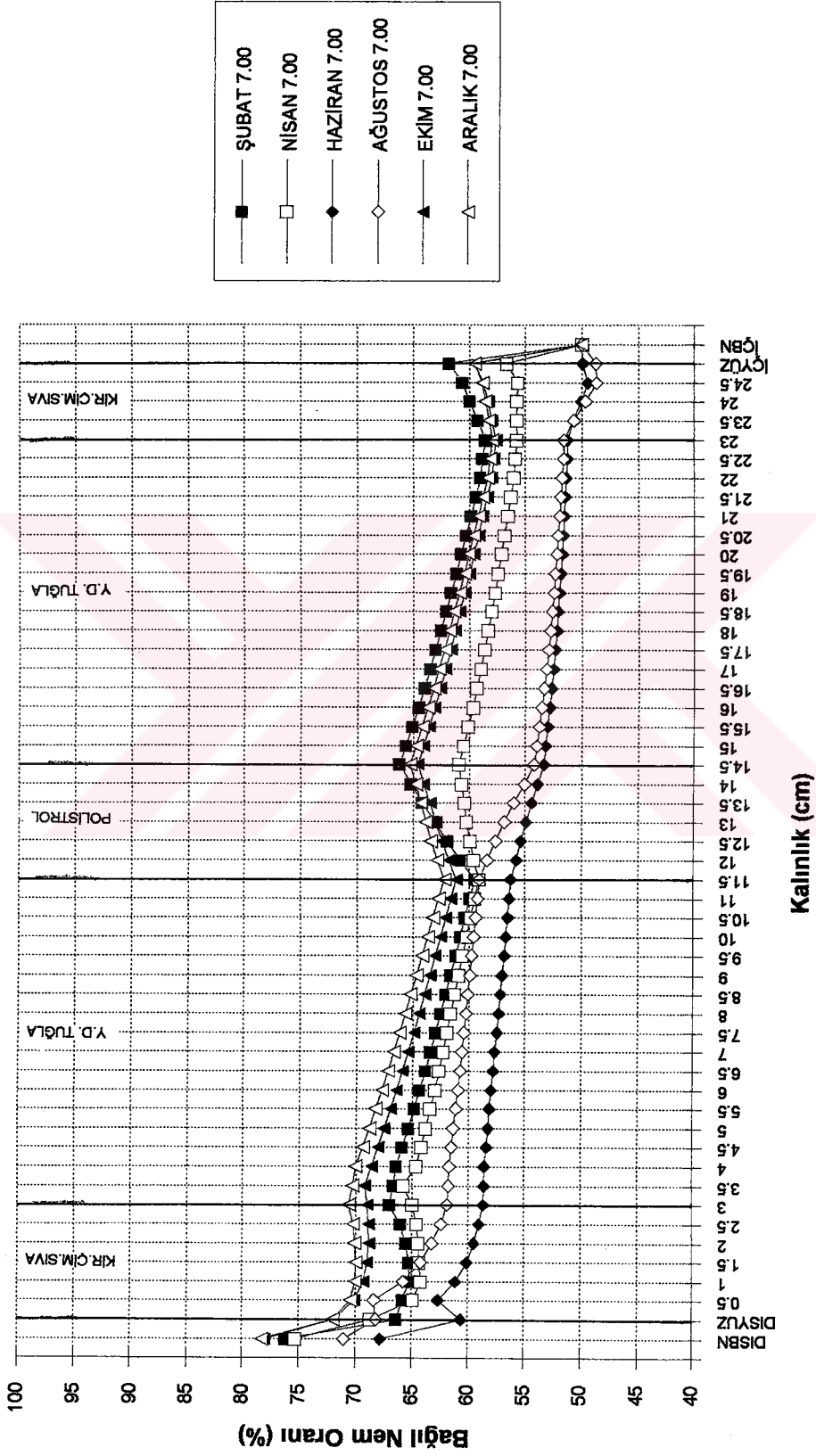
Şekil 7.5. Antalya: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



Şekil 7.6. Diyarbakır: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



Şekil 7.7. Erzurum: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



Şekil 7.8. İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarının, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.

Tablo 7.2. Ankara: Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-32.9119	-13.1451	2.998345	7.439847	-24.1706	-32.1777
2.00	-33.5145	-14.0333	1.843472	6.180516	-24.7582	-32.5452
3.00	-34.0937	-14.9789	0.527133	4.869889	-25.3605	-32.9207
4.00	-34.6416	-15.9494	-0.89081	3.547338	-25.9483	-33.304
5.00	-35.1675	-16.8949	-2.3593	2.247269	-26.5037	-33.6883
6.00	-35.6791	-17.8144	-3.66434	1.061965	-27.0298	-34.0505
7.00	-36.1888	-18.6747	-4.72283	0.00472	-27.571	-34.4123
8.00	-36.691	-19.4085	-5.44521	-0.81231	-28.1534	-34.7637
9.00	-37.1257	-19.9556	-5.83063	-1.34665	-28.7344	-35.0927
10.00	-37.3838	-20.2434	-5.85609	-1.50215	-29.2032	-35.3495
11.00	-37.3668	-20.2151	-5.50434	-1.22132	-29.4481	-35.4624
12.00	-37.0347	-19.8462	-4.81412	-0.51968	-29.4045	-35.3739
13.00	-36.412	-19.157	-3.86816	0.542161	-29.0572	-35.0585
14.00	-35.5747	-18.2088	-2.76061	1.882225	-28.4265	-34.535
15.00	-34.607	-17.0868	-1.57022	3.405619	-27.5686	-33.8562
16.00	-33.6056	-15.8618	-0.37175	5.009249	-26.5725	-33.0999
17.00	-32.6438	-14.6053	0.776166	6.594125	-25.5483	-32.3647
18.00	-31.8468	-13.4078	1.860986	8.06001	-24.5913	-31.7561
19.00	-31.3154	-12.3834	2.901712	9.304435	-23.7965	-31.3419
20.00	-31.0832	-11.6395	3.86953	10.17673	-23.2352	-31.1439
21.00	-31.1228	-11.2838	4.55602	10.48713	-22.9494	-31.1433
22.00	-31.3783	-11.3379	4.770524	10.24119	-22.9531	-31.2871
23.00	-31.8006	-11.7174	4.534035	9.565014	-23.1982	-31.5286
24.00	-32.3394	-12.3554	3.920082	8.594221	-23.6324	-31.8321

Tablo 7.3. Antalya : Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-17.295	-4.33257	12.94716	17.49348	2.442769	-15.5848
2.00	-17.8591	-4.88927	12.30178	16.88799	2.175974	-15.9854
3.00	-18.4801	-5.62333	11.54015	16.06313	1.602512	-16.4515
4.00	-19.1474	-6.52196	10.63853	15.04303	0.751077	-16.9614
5.00	-19.8268	-7.58505	9.549365	13.8366	-0.35635	-17.4801
6.00	-20.4995	-8.74526	8.420706	12.51902	-1.70548	-17.9591
7.00	-21.1755	-9.96906	8.420706	11.13201	-3.20863	-18.4788
8.00	-21.8535	-11.0122	6.468676	9.91975	-4.65365	-19.062
9.00	-22.467	-11.7091	5.714121	9.037264	-5.77846	-19.7204
10.00	-22.8882	-11.9667	5.199409	8.615461	-6.41701	-20.3596
11.00	-23.028	-11.8072	5.037568	8.657437	-6.57164	-20.8488
12.00	-22.8657	-11.3142	5.254806	9.081233	-6.33491	-21.0863
13.00	-22.4154	-10.5779	5.783304	9.796288	-5.79945	-21.0249
14.00	-21.7092	-9.68103	6.521836	10.72113	-5.05893	-20.6663
15.00	-20.7902	-8.69967	7.389047	11.77117	-4.20216	-20.0441
16.00	-19.727	-7.70826	8.333264	12.87624	-3.30203	-19.2273
17.00	-18.6159	-6.76093	9.321199	13.97261	-2.3875	-18.3103
18.00	-17.5739	-5.89323	10.3305	15.01731	-1.49706	-17.4041
19.00	-16.7418	-5.1229	11.37782	16.01209	-0.65892	-16.5621
20.00	-16.2132	-4.48882	12.42338	16.91568	0.129423	-15.8591
21.00	-16.0077	-4.05224	13.22464	17.57185	0.886586	-15.3615
22.00	-16.0859	-3.82221	13.63254	17.93727	1.571833	-15.1085
23.00	-16.3782	-3.79575	13.68458	18.02771	2.106046	-15.0948
24.00	-16.8084	-3.96629	13.43529	17.87393	2.404141	-15.2729

Tablo 7.4. Diyarbakır: Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı

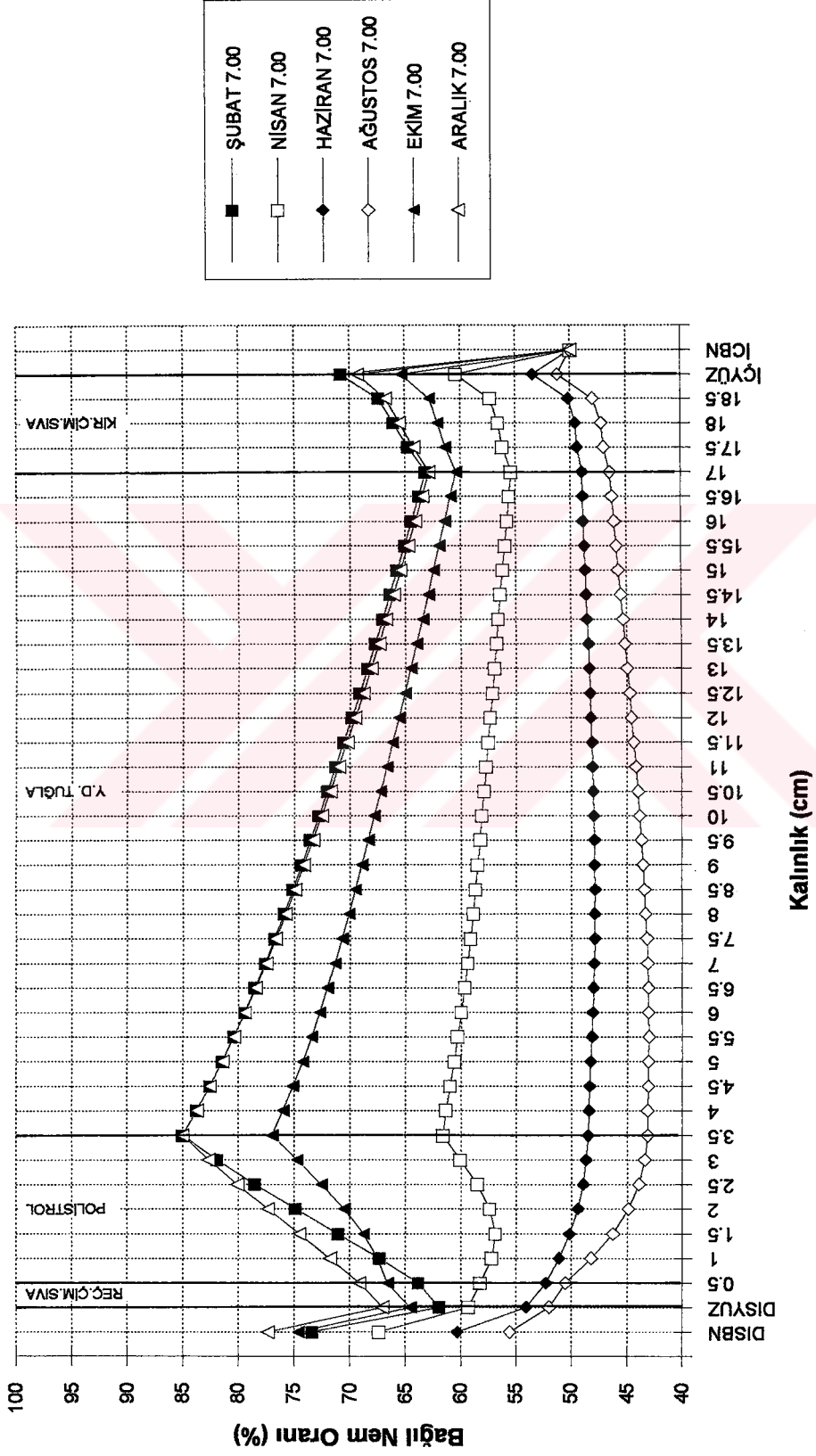
	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q[W/m ²]					
1.00	-28.4812	-7.12498	16.79309	23.88826	-2.81713	-28.7191
2.00	-29.1103	-7.91357	15.63486	22.91647	-3.73787	-29.1659
3.00	-29.7874	-8.90039	14.27816	21.62534	-4.72718	-29.6413
4.00	-30.4979	-10.0453	12.77651	20.12778	-5.69711	-30.1413
5.00	-31.2123	-11.3289	11.12977	18.47894	-6.65846	-30.6535
6.00	-31.8771	-12.6453	9.536572	16.69161	-7.61895	-31.1591
7.00	-32.5448	-13.9812	8.09367	14.90937	-8.70688	-31.6845
8.00	-33.198	-15.1182	6.91644	13.3681	-9.83604	-32.2613
9.00	-33.7789	-15.9204	6.008863	12.16578	-10.8431	-32.8835
10.00	-34.1644	-16.2748	5.422112	11.36973	-11.5794	-33.455
11.00	-34.2475	-16.1485	5.2517	11.07413	-11.9856	-33.8509
12.00	-34.001	-15.5857	5.570042	11.34664	-12.046	-33.9804
13.00	-33.4533	-14.6882	6.363597	12.15422	-11.7282	-33.8089
14.00	-32.653	-13.5874	7.5058	13.34189	-11.0067	-33.3389
15.00	-31.661	-12.4157	8.82959	14.70941	-9.91118	-32.614
16.00	-30.567	-11.25	10.21375	16.11716	-8.5197	-31.7175
17.00	-29.4725	-10.1316	11.61194	17.52976	-6.95929	-30.7581
18.00	-28.4771	-9.09328	13.04317	18.95776	-5.39963	-29.8342
19.00	-27.6853	-8.16236	14.53875	20.39508	-4.0115	-29.0258
20.00	-27.1786	-7.38843	16.06027	21.76918	-2.89215	-28.3991
21.00	-26.9954	-6.82105	17.29215	23.08962	-2.08965	-28.0133
22.00	-27.1076	-6.47141	17.97107	24.03272	-1.65803	-27.8973
23.00	-27.4387	-6.37999	18.07005	24.4816	-1.65667	-28.0266
24.00	-27.9147	-6.59512	17.64514	24.42893	-2.0776	-28.3196

Tablo 7.5. Erzurum: Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

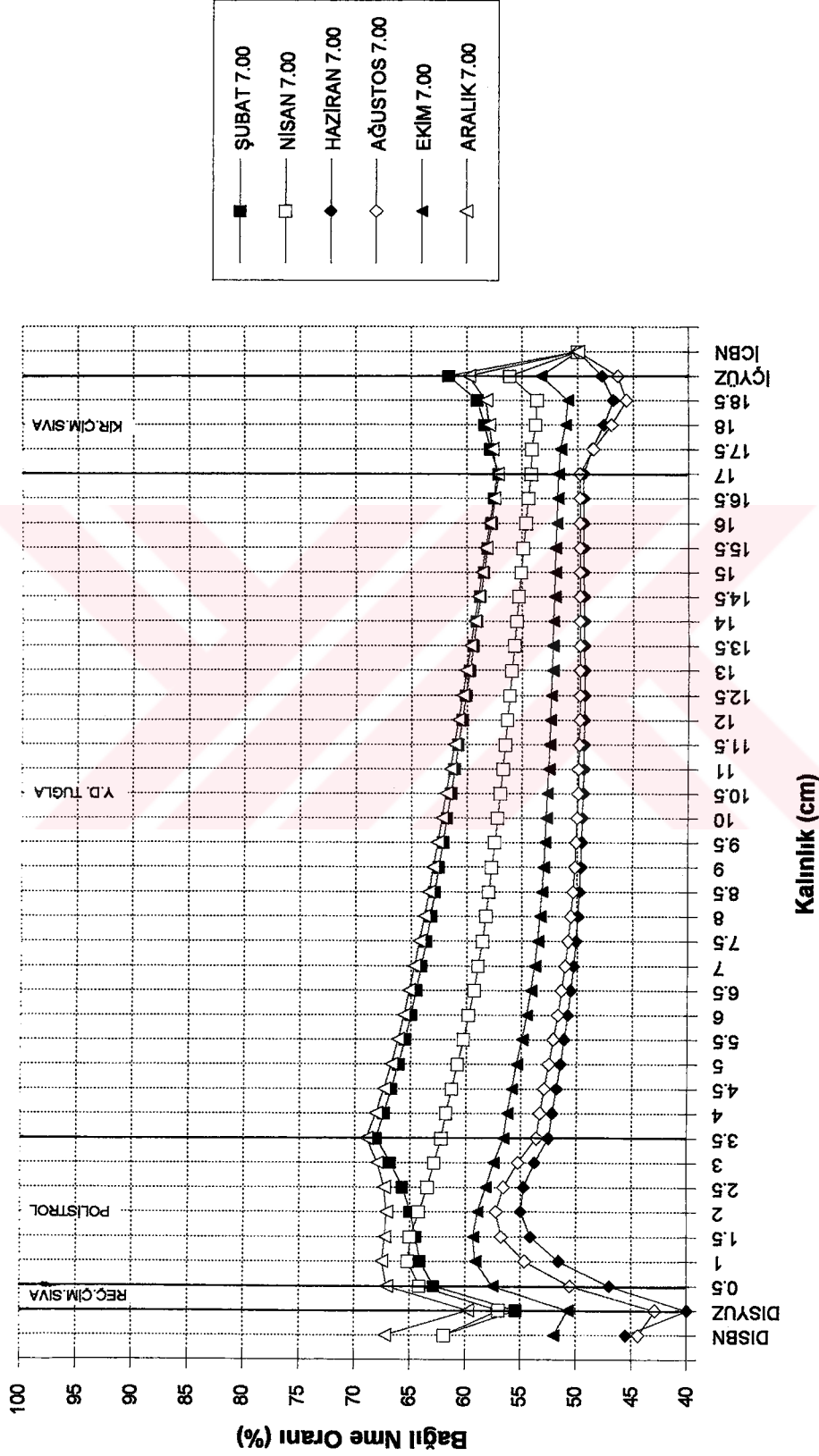
	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-50.6583	-22.7271	-4.18837	2.393832	-20.4656	-46.417
2.00	-51.1784	-23.2629	-5.06527	1.275476	-21.2504	-46.7857
3.00	-51.724	-24.0008	-6.14313	-0.05999	-22.0801	-47.1652
4.00	-52.2804	-24.9117	-7.36185	-1.54761	-22.9135	-47.5528
5.00	-52.8365	-25.945	-8.70712	-3.1659	-23.7345	-47.9414
6.00	-53.3796	-27.053	-10.1098	-4.77152	-24.5227	-48.3139
7.00	-53.9043	-28.1437	-11.3215	-6.28733	-25.3755	-48.7034
8.00	-54.4116	-29.0827	-12.2783	-7.48804	-26.2237	-49.1091
9.00	-54.8694	-29.7629	-13.0267	-8.29985	-26.9627	-49.5053
10.00	-55.1971	-30.077	-13.559	-8.62465	-27.4745	-49.8201
11.00	-55.3065	-29.9984	-13.7867	-8.41301	-27.7167	-49.9912
12.00	-55.1408	-29.5775	-13.6222	-7.70528	-27.686	-49.9917
13.00	-54.6939	-28.9005	-13.0525	-6.62331	-27.3695	-49.8054
14.00	-54.0047	-28.0517	-12.1541	-5.32151	-26.7456	-49.4144
15.00	-53.1431	-27.1148	-11.056	-3.93846	-25.8204	-48.8235
16.00	-52.1957	-26.1677	-9.88994	-2.56288	-24.6491	-48.0917
17.00	-51.2574	-25.2663	-8.745	-1.24095	-23.3403	-47.3291
18.00	-50.4302	-24.4695	-7.62976	-0.00137	-22.0541	-46.6559
19.00	-49.8121	-23.78	-6.49389	1.16605	-20.9493	-46.1427
20.00	-49.4585	-23.1803	-5.32287	2.223917	-20.1098	-45.8089
21.00	-49.3708	-22.7177	-4.25569	3.011387	-19.5568	-45.6492
22.00	-49.5047	-22.4189	-3.5923	3.461139	-19.3111	-45.6524
23.00	-49.7976	-22.3121	-3.3973	3.533924	-19.4009	-45.8048
24.00	-50.1984	-22.4073	-3.60745	3.177451	-19.8132	-46.0759

Tablo 7.6. İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

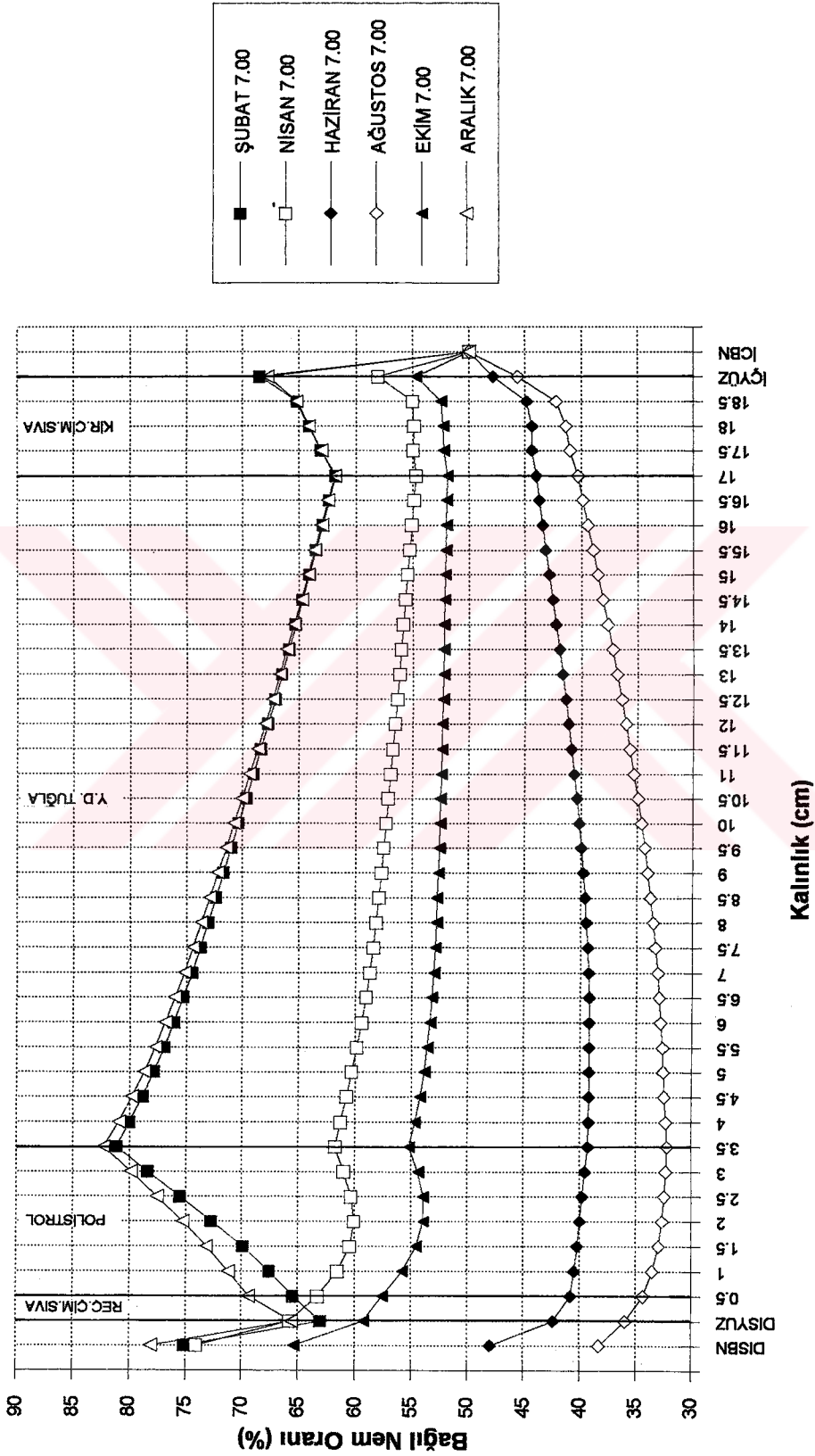
	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-26.255	-12.2165	5.342247	8.373631	-9.0662	-21.4793
2.00	-26.5799	-12.7338	4.555399	7.859789	-10.0047	-21.6378
3.00	-26.8963	-13.4206	3.614782	7.115419	-11.1916	-21.8651
4.00	-25.4699	-14.2308	2.572938	6.187969	-12.4331	-22.1422
5.00	-27.4745	-15.1005	1.493956	5.164011	-13.5655	-22.4477
6.00	-27.7435	-15.963	0.603147	4.124402	-14.5099	-22.761
7.00	-28.0272	-16.7412	-0.0159	3.191859	-15.3263	23.06514
8.00	-28.3304	-17.3247	-0.37734	2.492701	-15.8073	-23.3275
9.00	-28.6156	-17.6519	-0.57582	2.057108	-15.7597	-23.512
10.00	-28.8077	-17.7039	-0.63271	1.897627	-15.1977	-23.5723
11.00	-28.8465	-17.508	-0.51707	2.003947	-14.3024	-23.4888
12.00	-28.7117	-17.1122	-0.19861	2.343777	-13.2609	-23.2764
13.00	-28.4078	-16.5499	0.326415	2.889789	-12.2078	-22.9825
14.00	-27.9637	-15.8494	1.035385	3.61118	-11.282	-22.6538
15.00	-27.4289	-15.0563	1.88297	4.460008	-10.5716	-22.3349
16.00	-26.8639	-14.2455	2.801229	5.351934	-10.0166	-22.064
17.00	-26.3262	-13.4939	3.69328	6.209085	-9.50043	-21.8685
18.00	-25.8709	-12.8618	4.504847	6.946871	-9.03105	-21.7474
19.00	-25.5494	-12.3767	5.217295	7.548404	-8.66178	-21.6609
20.00	-25.3786	-12.0176	5.837583	8.058395	-8.39897	-21.5744
21.00	-25.3605	-11.7877	6.261127	8.43884	-8.2175	-21.4857
22.00	-25.4699	-11.6837	6.396388	8.662785	-8.11764	-21.4158
23.00	-25.6711	-11.7096	6.280503	8.733952	-8.16968	-21.3814
24.00	-25.9459	-11.8792	5.927632	8.652473	-8.46207	-21.39



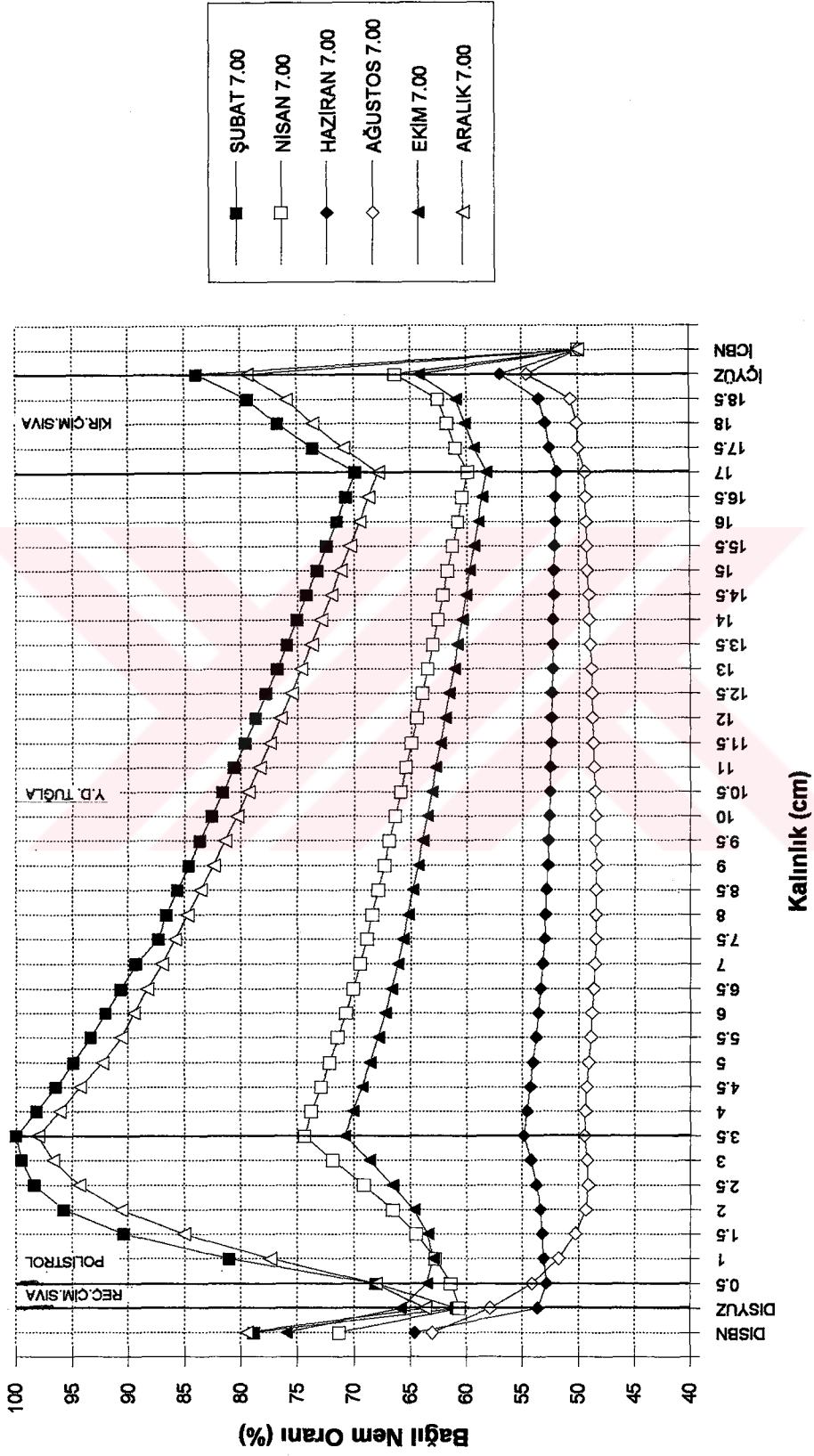
Şekil 7.9. Ankara: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



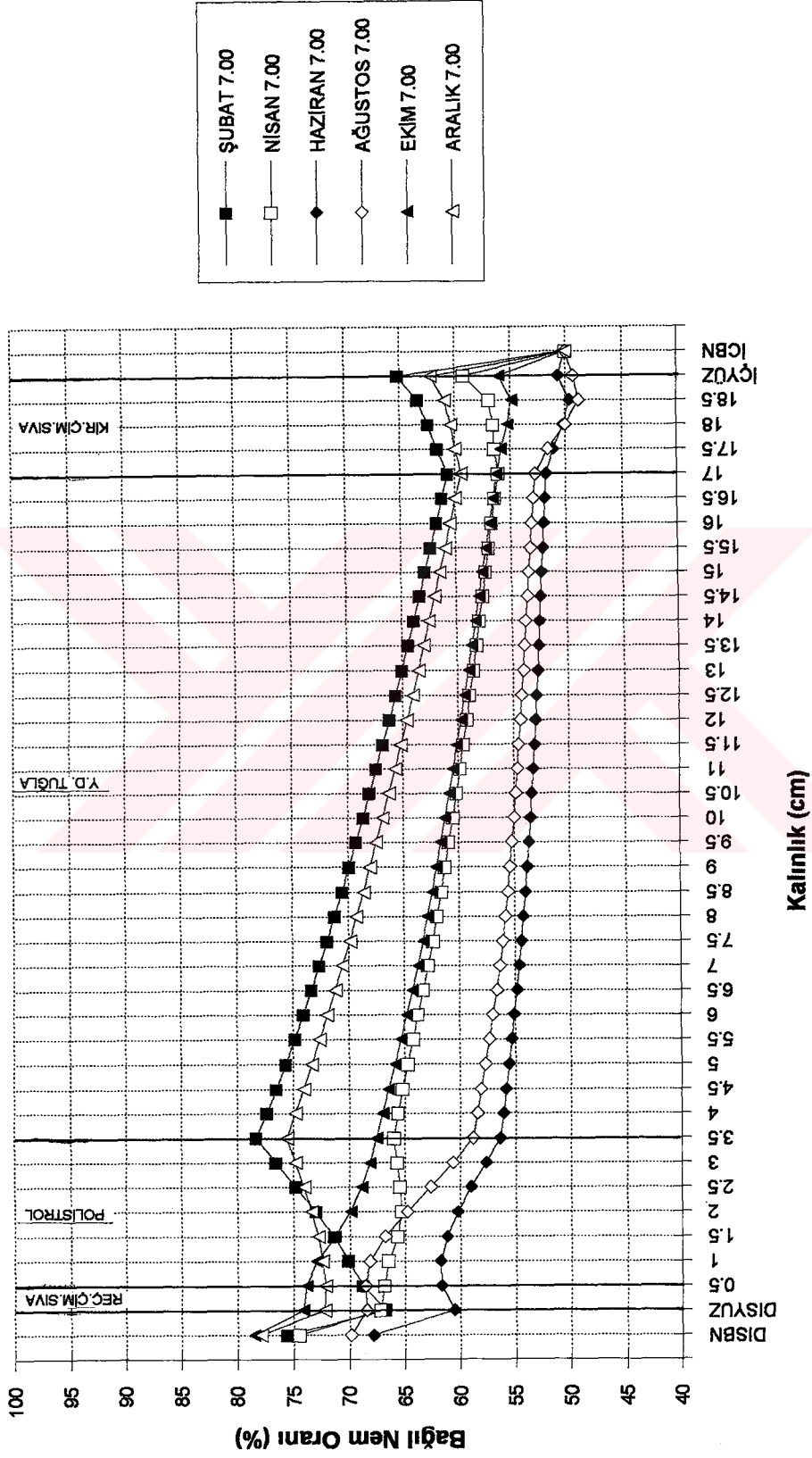
Şekil 7.10. Antalya: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



Şekil 7.11. Diyarbakır: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



Şekil 7.12. Erzurum: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



Şekil 7.13. İstanbul: Dıştan ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.

Tablo 7.7. Ankara: Dıştan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

	ŞUBAT	NISAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-40.8661	-17.7907	1.291126	5.975824	-30.7948	-39.7123
2.00	-41.7706	-19.2888	-0.89143	3.968026	-31.7083	-40.2797
3.00	-42.5526	-20.744	-3.0843	2.055742	-32.524	-40.8228
4.00	-43.2506	-22.0839	-5.2522	0.262448	-33.2249	-41.3522
5.00	-43.9032	-23.2938	-7.23826	-1.37981	-33.8707	-41.8586
6.00	-44.5398	-24.4031	-8.40667	-2.62983	-34.5478	-42.3059
7.00	-46.2015	-25.2734	-8.95976	-3.40959	-35.3617	-42.7419
8.00	-46.6041	-25.8073	-8.99627	-3.77228	-36.1332	-43.1576
9.00	-46.886	-25.8976	-8.51026	-3.52548	-36.5811	-43.4626
10.00	-46.7912	-25.452	-7.44618	-2.53891	-36.5253	-43.5046
11.00	-46.165	-24.4608	-5.8936	-0.90571	-35.9357	-43.1753
12.00	-45.0201	-22.9932	-4.04988	1.194866	-34.8722	-42.4555
13.00	-43.5046	-21.1986	-2.11139	3.596027	-33.4366	-41.4135
14.00	-41.8143	-19.2519	-0.18557	6.128598	-31.771	-40.1742
15.00	-40.1158	-17.2925	1.629341	8.621044	-30.0647	-38.8907
16.00	-38.5345	-15.3876	3.23881	10.93353	-28.51	-37.741
17.00	-37.2167	-13.6739	4.636754	12.92592	-27.259	-36.9081
18.00	-36.3477	-12.3564	5.937321	14.43764	-26.4283	-36.4985
19.00	-36.0732	-11.5833	7.161252	15.32857	-26.075	-36.4975
20.00	-36.3277	-11.5218	7.983747	15.14263	-26.2137	-36.8178
21.00	-36.9519	-12.1926	7.762908	13.94516	-26.8081	-37.3259
22.00	-37.8056	-13.3815	6.748389	12.17038	-27.7243	-37.9063
23.00	-37.8056	-14.7693	5.233814	10.14295	-28.7709	-38.5081
24.00	-39.8497	-16.2832	3.37494	8.04672	-29.8133	-39.1165

Tablo 7.8. Antalya : Dıştan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-22.2651	-5.93508	14.63997	20.71242	2.918729	-19.3115
2.00	-23.2585	-7.23503	13.32139	19.30293	1.497806	-20.1237
3.00	-24.2846	-8.7255	11.88594	17.63707	-0.25524	-20.9541
4.00	-25.2637	-10.4143	10.17413	15.76963	-2.30974	-21.7543
5.00	-26.1714	-12.3151	8.215517	13.68022	-4.65327	-22.4671
6.00	-27.0291	-14.1505	6.791862	11.45271	-6.96327	-23.1164
7.00	-27.9463	-15.5987	5.729896	9.646248	-8.96759	-23.9091
8.00	-28.7127	-16.3279	4.88467	8.463557	-10.0522	-24.8887
9.00	-29.0377	-16.1983	4.409083	8.127206	-10.0935	-25.8525
10.00	-28.7947	-15.3503	4.575644	8.682153	-9.36815	-26.487
11.00	-28.0426	-14.0546	5.431179	9.85839	-8.19018	-26.5971
12.00	-26.8885	-12.5096	6.743297	11.39421	-6.74441	-26.1629
13.00	-25.4136	-10.8553	8.253773	13.13732	-5.18301	-25.2489
14.00	-23.7079	-9.21128	9.80821	14.96266	-3.64559	-23.9555
15.00	-21.9047	-7.67373	11.34986	16.7531	-2.19448	-22.4303
16.00	-20.1744	-6.3041	12.83774	18.42281	-0.84162	-20.8662
17.00	-18.7365	-5.15196	14.28064	19.90831	0.374855	-19.4398
18.00	-17.8337	-4.23693	15.74231	21.19832	1.421792	-18.2509
19.00	-17.5603	-3.50734	17.2211	22.41605	2.369736	-17.3592
20.00	-17.8425	-3.15808	18.30791	23.25121	3.283648	-16.8624
21.00	-18.5199	-3.15981	18.44006	23.47913	4.041804	-16.8132
22.00	-19.4125	-3.4599	17.96634	23.24538	4.460752	-17.1626
23.00	-20.3685	-4.03261	17.08795	22.65651	4.429204	-17.7828
24.00	-21.3156	-4.85983	15.92613	21.83153	3.914369	-18.5275

Tablo 7.9. Diyarbakır: Dıştan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

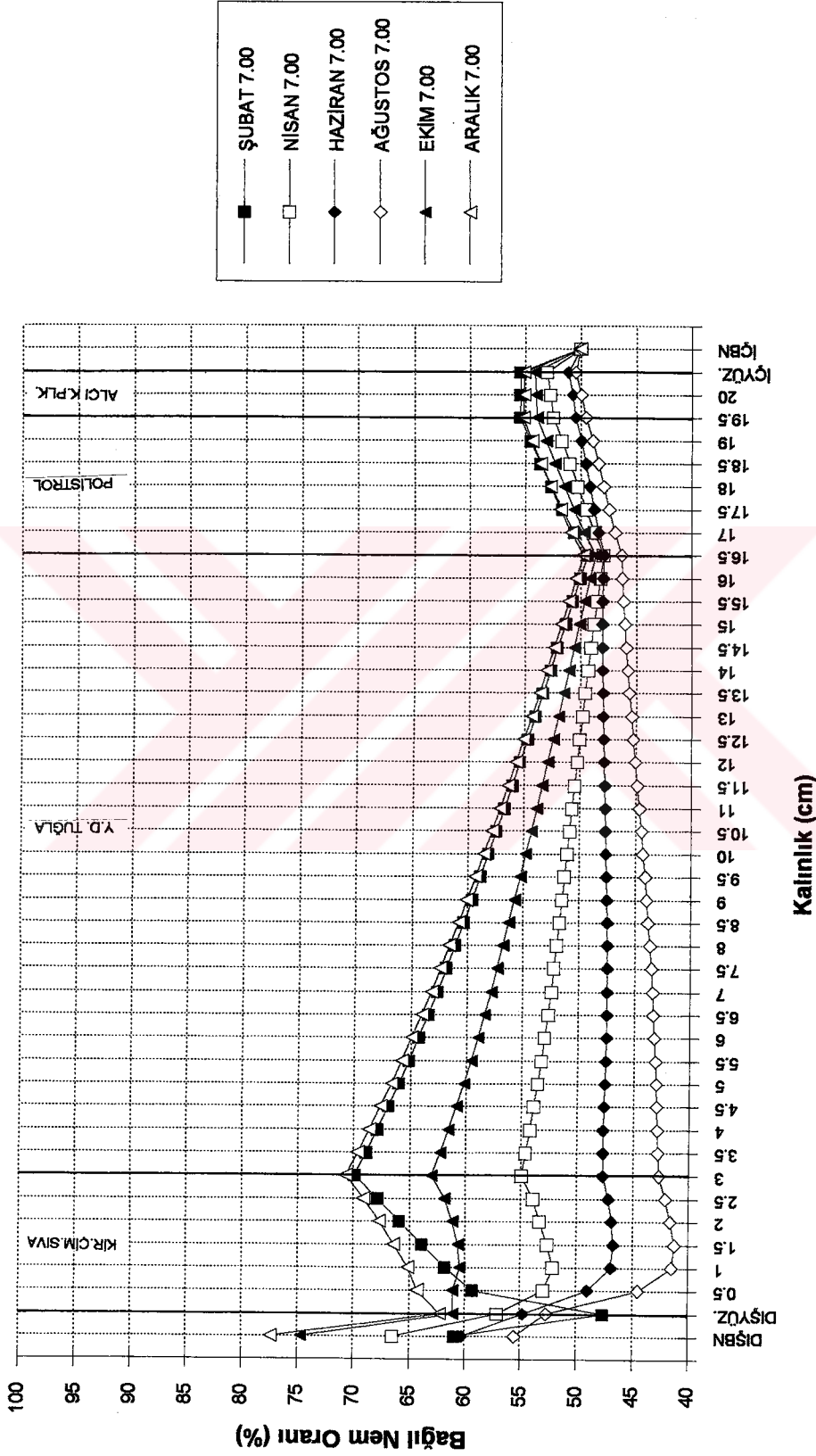
	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-35.7954	-9.05987	18.27625	25.63039	-5.00093	-35.677
2.00	-36.8502	-10.7499	15.90042	23.07669	-6.69448	-36.4387
3.00	-37.9156	-12.5747	13.50187	20.49718	-8.20099	-37.2027
4.00	-38.9503	-14.5182	11.00805	17.83431	-9.54539	-37.9441
5.00	-39.8882	-16.5751	8.434617	15.09469	-10.8951	-38.6331
6.00	-40.7011	-18.6354	6.605676	12.98865	-12.3598	-39.3066
7.00	-41.532	-20.3412	5.318772	11.54338	-14.0039	-40.1259
8.00	-42.2834	-21.4478	4.469447	10.78994	-15.3903	-41.0392
9.00	-42.6795	-21.7873	4.099933	10.80733	-16.1696	-41.795
10.00	-42.4926	-21.2755	4.392439	11.74621	-16.3107	-42.1216
11.00	-41.7098	-20.0225	5.494772	13.57242	-15.9084	-41.9073
12.00	-40.4731	-18.2464	7.352902	15.97843	-14.9461	-41.1715
13.00	-38.9194	-16.2092	9.666373	18.50391	-13.3691	-39.9913
14.00	-37.1604	-14.1757	12.04456	20.83116	-11.2489	-38.4905
15.00	-35.3471	-12.3146	14.2681	22.93424	-8.77059	-36.8577
16.00	-33.6585	-10.6599	16.31712	24.93967	-6.16748	-35.2937
17.00	-32.2563	-9.19314	18.31325	26.92325	-3.73911	-33.9694
18.00	-31.2973	-7.95642	20.39011	28.8754	-1.8087	-32.9777
19.00	-30.8886	-6.9573	22.5462	30.7021	-0.50962	-32.3678
20.00	-31.0633	-6.30982	24.25815	31.93547	0.208915	-32.2138
21.00	-31.7202	-6.03892	24.65921	32.10738	0.32952	-32.5261
22.00	-32.6544	-6.11245	23.99881	31.44238	-0.25189	-33.1971
23.00	-33.6889	-6.60294	22.55304	30.05338	-1.51681	-34.0435
24.00	-34.7415	-7.61895	20.56139	28.04236	-3.20825	-34.8871

Tablo 7.10. Erzurum: Dıştan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

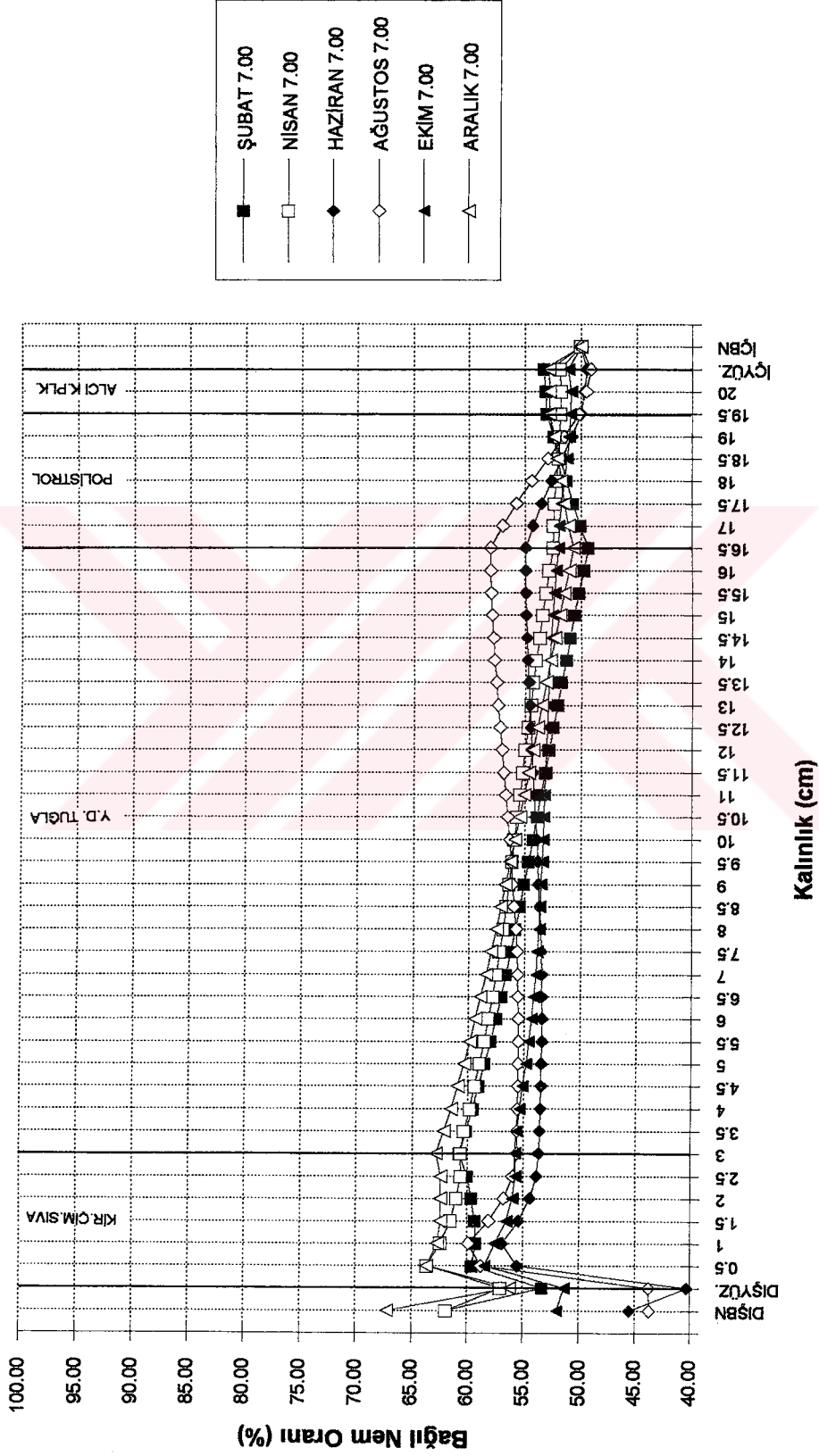
	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-66.3588	-28.5264	-7.10921	2.852651	-26.1615	-57.0294
2.00	-67.3657	-29.9484	-9.09639	0.615195	-27.5584	-57.6254
3.00	-68.3201	-31.5575	-11.1246	-1.73939	-28.8298	-58.2002
4.00	-69.223	-33.2527	-13.2462	-4.12304	-29.9781	-58.757
5.00	-70.0676	-34.9518	-15.3432	-6.5899	-31.0755	-59.2794
6.00	-70.8372	-36.4473	-16.6602	-9.08384	-32.1679	-59.7696
7.00	-68.029	-37.5726	-17.5124	-12.838	-33.3436	-60.3158
8.00	-68.8815	-38.1545	-18.0896	-13.2333	-34.3148	-60.8703
9.00	-69.8855	-38.0204	-18.3483	-13.4069	-34.8104	-61.2681
10.00	-70.5369	-37.2121	-18.0463	-12.9506	-34.7917	-61.3678
11.00	-70.5746	-35.9454	-17.0465	-11.6891	-34.3467	-61.157
12.00	-69.9577	-34.4293	-15.436	-9.74151	-33.4987	-60.6537
13.00	-68.7998	-32.8114	-13.4671	-7.39476	-32.2027	-59.8378
14.00	-67.2888	-31.2158	-11.4462	-4.96317	-30.466	-58.7106
15.00	-65.6337	-29.76	-9.57868	-2.66858	-28.4034	-57.3901
16.00	-64.0358	-28.5289	-7.93978	-0.60066	-26.2241	-56.1077
17.00	-62.6797	-27.5573	-6.4457	1.239953	-24.226	-55.1089
18.00	-61.7516	-26.8166	-4.91038	2.850539	-22.7225	-54.505
19.00	-61.4079	-26.1792	-3.29545	4.291335	-21.8211	-54.2571
20.00	-61.6381	-25.8033	-1.98755	5.612147	-21.4404	-54.2977
21.00	-62.3168	-25.7074	-1.78013	6.323851	-21.535	-54.575
22.00	-63.2509	-25.9203	-2.40451	6.400983	-22.1476	-55.0581
23.00	-64.2758	-26.4786	-3.59255	5.888631	-23.2603	-55.6937
24.00	-65.3195	-27.3588	-5.21518	4.695379	-24.6817	-56.3807

Tablo 7.11. İstanbul: Dıştan ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

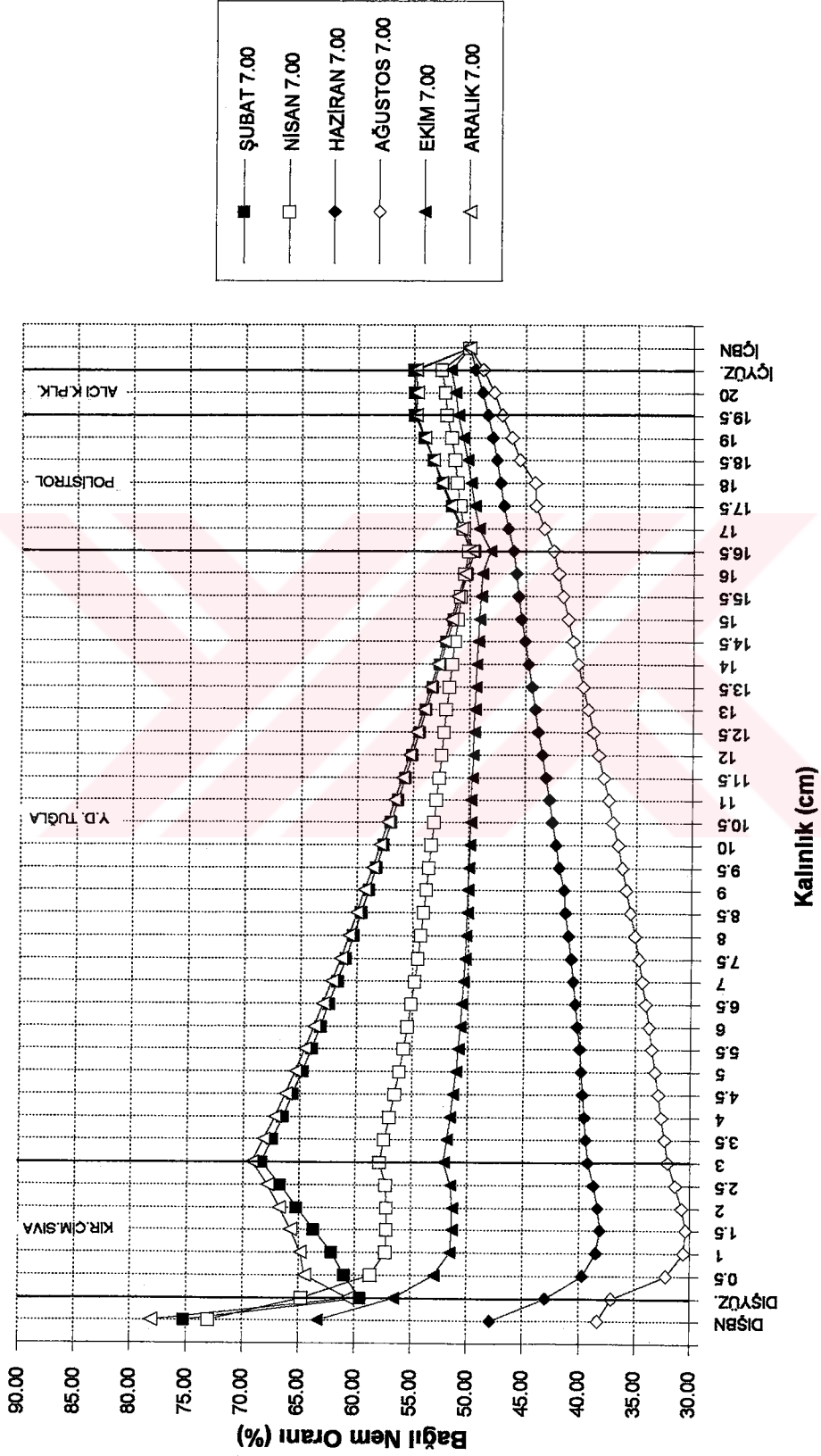
	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-32.2526	-16.0326	4.997201	8.945101	-9.0662	-26.1945
2.00	-32.7426	-17.3224	3.402141	7.457981	-10.0047	-26.6342
3.00	-33.1792	-18.7004	1.738146	5.811996	-11.1916	-27.1173
4.00	-33.5525	-20.0374	0.090298	4.175947	-12.4331	-27.6076
5.00	-33.8762	-21.2387	-1.29448	2.665223	-13.5655	-28.0751
6.00	-34.209	-22.1417	-1.84968	1.565622	-14.5099	-28.4705
7.00	-35.3005	-22.6125	-1.92036	0.992907	-15.3263	-28.783
8.00	-35.6035	-22.597	-1.82621	0.876898	-15.8073	-28.9368
9.00	-35.8236	-22.126	-1.62934	1.204306	-15.7597	-28.8481
10.00	-35.7966	-21.333	-1.62934	1.911538	-15.1977	-28.4891
11.00	-35.4624	-20.336	-0.46205	2.898607	-14.3024	-27.9491
12.00	-34.8497	-19.1795	0.583025	4.112477	-13.2609	-27.3514
13.00	-34.0236	-17.8955	1.87676	5.511044	-12.2078	-26.7814
14.00	-33.0619	-16.5763	3.329852	6.991337	-11.282	-26.2946
15.00	-32.0853	-15.3578	4.808407	8.399095	-10.5716	-25.9495
16.00	-31.1912	-14.3719	6.155054	9.573087	-10.0166	-25.7748
17.00	-30.4681	-13.6987	7.244471	10.41124	-9.50043	-25.7463
18.00	-29.9872	-13.3175	8.093422	10.96842	-9.03105	-25.7374
19.00	-29.8002	-13.0979	8.779036	11.44948	-8.66178	-25.6699
20.00	-29.881	-13.0802	9.242822	11.6851	-8.39897	-25.5652
21.00	-30.1799	-13.2357	9.066202	11.64411	-8.2175	-25.4918
22.00	-30.6332	-13.5751	8.484673	11.39819	-8.11764	-25.4967
23.00	-31.1664	-14.139	7.615848	10.91489	-8.16968	-25.6049
24.00	-31.7186	-14.9557	6.437128	10.11438	-8.46207	-25.8407



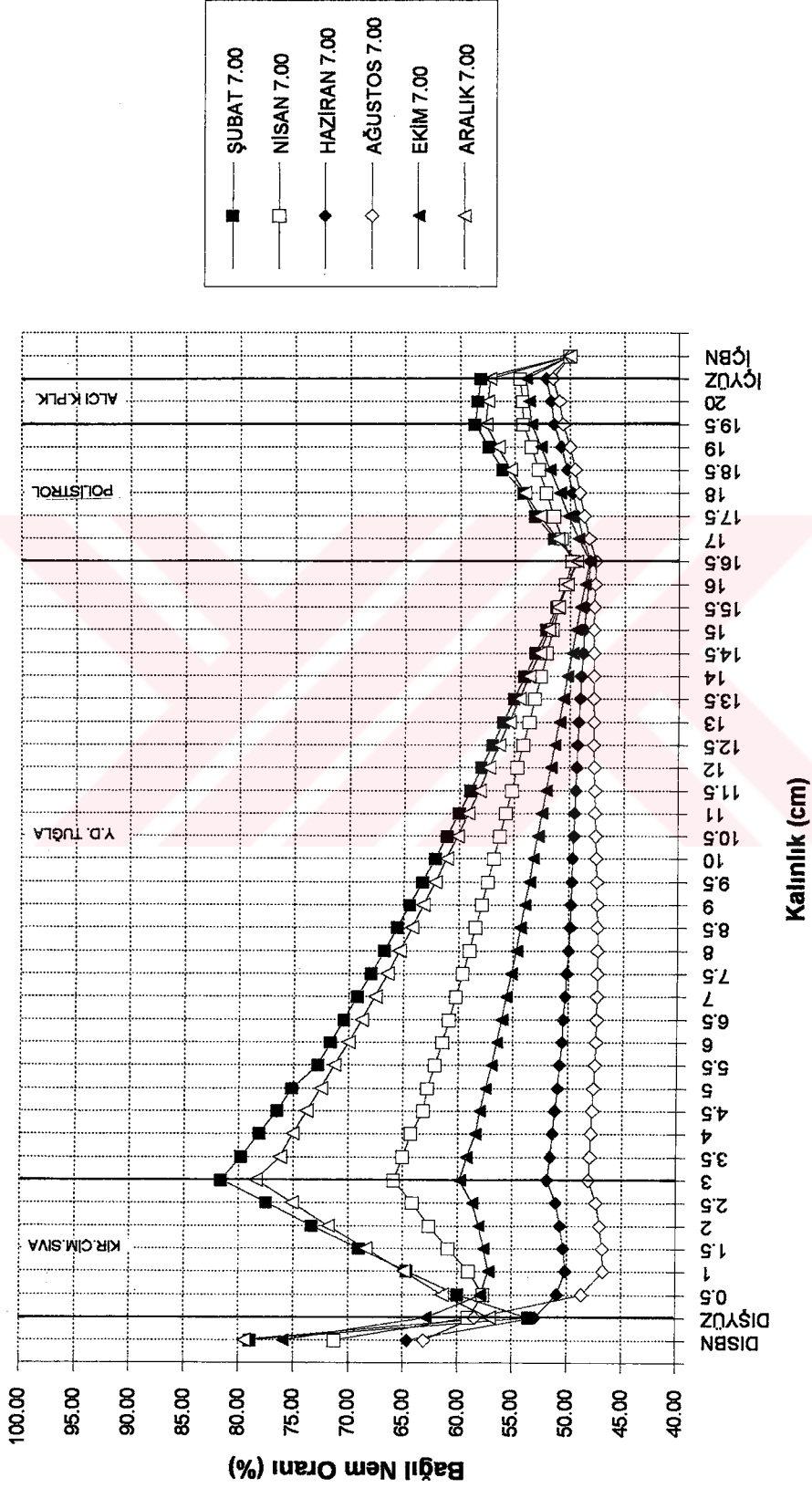
Şekil 7.14. Ankara: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



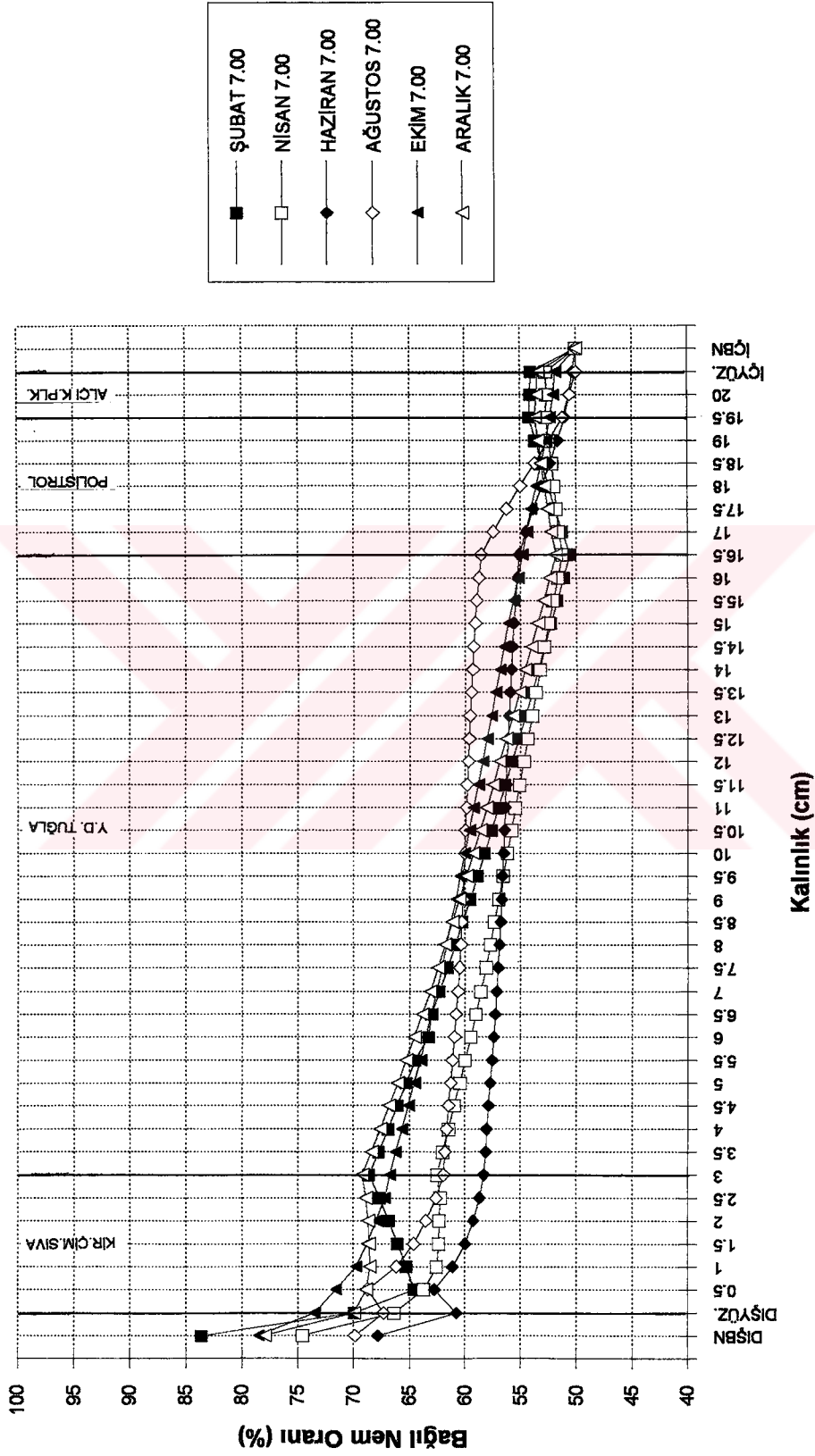
Şekil 7.15. Antalya: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



Şekil 7.16. Duvarbakır: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



Şekil 7.17. Erzurum: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.



Şekil 7.18. İstanbul: İçten ısı yalıtımlı duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımının, yıllık değişimi.

Tablo 7.12. Ankara: İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-12.3412	-5.27331	0.907701	2.238201	-9.09676	-11.8241
2.00	-12.6442	-5.78268	0.178361	1.530721	-9.43075	-12.0246
3.00	-12.8992	-6.27727	-0.56626	0.865471	-9.73058	-12.2094
4.00	-13.1172	-6.73572	-1.2992	0.243942	-9.99117	-12.3839
5.00	-13.3179	-7.13914	-2.00705	-0.32368	-10.2085	-12.5507
6.00	-13.5109	-7.50009	-2.64076	-0.89	-10.4055	-12.7074
7.00	-14.0157	-8.08299	-3.05238	-1.46092	-11.0765	-13.0765
8.00	-14.1245	-8.1164	-2.95015	-1.46415	-11.2801	-13.1803
9.00	-14.2011	-8.12199	-2.83178	-1.45173	-11.4409	-13.2671
10.00	-14.1646	-8.00325	-2.60809	-1.28082	-11.4882	-13.3103
11.00	-13.9494	-7.71981	-2.21522	-0.87727	-11.3748	-13.2753
12.00	-13.5561	-7.26559	-1.66698	-0.26916	-11.0872	-13.1121
13.00	-13.037	-6.68231	-1.03464	0.481176	-10.6528	-12.8241
14.00	-12.4634	-6.02911	-0.38454	1.313483	-10.1095	-12.4361
15.00	-11.8966	-5.36125	0.248289	2.167776	-9.50999	-11.998
16.00	-11.3753	-4.71898	0.82498	2.991389	-8.91777	-11.5575
17.00	-10.9471	-4.12055	1.325904	3.73017	-8.39611	-11.1767
18.00	-10.6708	-3.6282	1.745847	4.351203	-7.9958	-10.9153
19.00	-10.6011	-3.30327	2.129644	4.792012	-7.74726	-10.8094
20.00	-10.7134	-3.19385	2.490465	5.018068	-7.67733	-10.8427
21.00	-10.9565	-3.34016	2.709689	4.871629	-7.7644	-10.9847
22.00	-11.271	-3.70831	2.566852	4.381137	-8.00933	-11.1845
23.00	-11.6247	-4.2065	2.153244	3.70682	-8.35388	-11.3988
24.00	-11.9926	-4.74394	1.581273	2.971144	-8.73234	-11.6132

Tablo 7.13. Antalya : İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-6.55103	-1.50737	4.794744	6.45677	1.257466	-5.63028
2.00	-6.87558	-1.89788	4.332323	6.34222	0.875159	-5.91211
3.00	-7.20684	-2.35409	3.870896	5.87556	0.356597	-6.19455
4.00	-7.54095	-2.86582	3.384503	5.3788	-0.26332	-6.47451
5.00	-7.8547	-3.43555	2.809551	4.88763	-0.97216	-6.73957
6.00	-8.1395	-4.06342	2.158585	4.12223	-1.76112	-6.96588
7.00	-8.87865	-5.27927	1.1935	3.18776	-3.4435	-7.67286
8.00	-9.06186	-5.36597	1.007439	3.00987	-3.62	-7.96313
9.00	-9.19998	-5.38547	0.862738	2.76444	-3.69105	-8.21986
10.00	-9.20147	-5.20612	0.824607	2.8922	-3.52287	-8.43685
11.00	-9.0205	-4.82443	0.99005	2.89976	-3.14876	-8.53435
12.00	-8.68079	-4.31705	1.374469	3.134	-2.65591	-8.46318
13.00	-8.2226	-3.74806	1.89626	3.893	-2.09934	-8.21129
14.00	-7.67174	-3.16652	2.464257	4.3322	-1.53333	-7.81619
15.00	-7.06574	-2.60585	3.021199	5.003	-0.99589	-7.31167
16.00	-6.44259	-2.09884	3.556778	5.544322	-0.50391	-6.75137
17.00	-5.86478	-1.66213	4.061429	6.09883	-0.06061	-6.19642
18.00	-5.40187	-1.3064	4.061429	6.44457	0.327036	-5.71077
19.00	-5.13718	-1.03626	5.012727	7.544321	0.652581	-5.322
20.00	-5.09719	-0.83479	5.490549	8.00023	0.944218	-5.04701
21.00	-5.24897	-0.76921	5.820442	8.39987	1.216478	-4.91709
22.00	-5.52794	-0.81306	5.80827	8.3221	1.436696	-4.94193
23.00	-5.86714	-0.96061	5.584077	8.122	1.534944	-5.10389
24.00	-6.21641	-1.19536	5.232076	7.78892	1.480541	-5.35032

Tablo 7.14. Diyarbakır: İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

	ŞUBAT	NISAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-10.5439	-2.51295	6.201384	8.485293	-1.03675	-10.5605
2.00	-10.901	-3.0761	5.385843	7.622679	-1.67443	-10.8318
3.00	-11.2512	-3.68918	4.564342	6.738329	-2.2536	-11.0888
4.00	-11.5986	-4.32649	3.753645	5.866026	-2.75391	-11.342
5.00	-11.9305	-4.99273	2.926927	4.986768	-3.18478	-11.5788
6.00	-12.2242	-5.67475	2.087663	3.91	-3.61106	-11.796
7.00	-12.9087	-6.93346	0.966451	2.850788	-4.97994	-12.5061
8.00	-13.0927	-7.05245	0.82026	2.768811	-5.33368	-12.7637
9.00	-13.24	-7.10362	0.725614	2.744095	-5.60022	-12.9857
10.00	-13.27	-6.95855	0.740395	2.893391	-5.67761	-13.1305
11.00	-13.11	-6.5668	0.955521	3.322773	-5.56371	-13.13
12.00	-12.7585	-5.97284	1.430238	4.031495	-5.28598	-12.9531
13.00	-12.2712	-5.26512	2.1443	4.913114	-4.84132	-12.6132
14.00	-11.6966	-4.52919	2.990148	5.80827	-4.21184	-12.1426
15.00	-11.0719	-3.85053	3.830156	6.602818	-3.41916	-11.5818
16.00	-10.4494	-3.26067	4.586823	7.297258	-2.53369	-10.9979
17.00	-9.8887	-2.75652	5.264369	7.939778	-1.6312	-10.4605
18.00	-9.44193	-2.32862	5.90453	8.568636	-0.81653	-10.0231
19.00	-9.15898	-1.98755	6.569159	9.180346	-0.19712	-9.71283
20.00	-9.07502	-1.73914	7.2477	9.745239	0.188794	-9.54452
21.00	-9.18209	-1.62947	7.770733	10.09985	0.366906	-9.53298
22.00	-9.45224	-1.63419	7.828986	10.08085	0.339332	-9.6804
23.00	-9.80225	-1.7656	7.515489	9.77356	0.0744	-9.94509
24.00	-10.1764	-2.0581	6.942897	9.228166	-0.41547	-10.2571

Tablo 7.15. Erzurum: İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

	ŞUBAT	NİSAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-18.5138	-8.25539	-1.63269	0.914035	-7.51599	-16.8484
2.00	-18.8031	-8.67309	-2.30577	0.130665	-8.03293	-17.0663
3.00	-19.0753	-9.16917	-2.99524	-0.68239	-8.51051	-17.2612
4.00	-19.3316	-9.71493	-3.67651	-1.48799	-8.9297	-17.4442
5.00	-19.5706	-10.2793	-4.38226	-2.30055	-9.29772	-17.6181
6.00	-19.7877	-10.8325	-5.06167	-3.11696	-9.64414	-17.7794
7.00	-20.3006	-11.7774	-5.79386	-4.30363	-10.6157	-18.2361
8.00	-20.428	-11.8431	-5.88416	-4.36002	-10.8545	-18.3834
9.00	-20.5251	-11.8622	-5.94204	-4.36735	-11.0319	-18.5073
10.00	-20.5374	-11.708	-5.93086	-4.18539	-11.067	-18.5696
11.00	-20.4081	-11.3552	-5.74182	-3.73253	-10.9418	-18.5397
12.00	-20.1188	-10.8677	-5.32685	-3.04517	-10.6873	-18.4085
13.00	-19.6927	-10.3167	-4.71699	-2.21994	-10.3155	-18.1877
14.00	-19.1774	-9.75095	-4.00777	-1.37931	-9.80834	-17.8734
15.00	-18.6307	-9.21252	-3.30042	-0.59855	-9.17302	-17.4662
16.00	-18.1079	-8.73544	-2.66945	0.083715	-8.44182	-17.0077
17.00	-17.6594	-8.34755	-2.13523	0.671585	-7.69459	-16.5786
18.00	-17.335	-8.05529	-1.66586	1.174248	-7.03059	-16.2585
19.00	-17.1825	-7.84327	-1.18369	1.606735	-6.55575	-16.0827
20.00	-17.2047	-7.66951	-0.6778	2.00345	-6.30112	-16.0362
21.00	-17.3724	-7.58405	-0.28592	2.218452	-6.23268	-16.0755
22.00	-17.6285	-7.5915	-0.27822	2.205535	-6.31926	-16.1964
23.00	-17.9195	-7.70366	-0.56141	1.99426	-6.5791	-16.3815
24.00	-18.2169	-7.9286	-1.03265	1.56463	-7.0009	-16.6101

7.2. Buhar Difüzyonunun Dış Duvarların Nem İle İlgili Ve Isıl Performansına Etkilerinin Belirlenmesi Amacı İle Ortaya Koyulan Yaklaşımın, Ilımlı - Nemli İklim Bölgesinde, Ortadan Isı Yalıtımlı Dış Duvar Tiplerine Uygulanması

İkinci uygulama çalışmasında, ortadan ısı yalıtımlı dış duvar seçeneklerinin, ılımlı - nemli iklim bölgesinde, ocak ayındaki, ısı ve nem ile ilgili performansı incelenerek, yaklaşımın duyarlılığı ile sağladığı olanakların örneklenmesi, amaçlanmıştır.

Seçeneklerin geliştirilmesinde, çevresel etmenler ve duvar özelliklerinin seçiminde 7.1. bölümünde sıralanan verilerden yararlanılmıştır. Ancak burada, yaklaşımın, duvar özellikleri ile ilgili duyarlılığının ortaya koymak amacı ile, polistrol ısı yalıtımının yanı sıra cam yünü ısı yalıtımlı bir seçenek de ele alınmıştır. Çevresel etmenler ile ilgili duyarlılığının belirlenmesi amacı ile de, iç ortama ait farklı iklimsel veriler kullanılmıştır. Yaklaşımın olanaklarını ortaya koyulması açısından, değerlendirme ölçütlerine, örnek olabilecek, nem dağılımı, sıcaklık dağılımı, yüzey sıcaklıkları, difüzyon direnç faktörleri ve ısı iletkenlik katsayıları ile ilgili hesaplama sonuçlar verilmiştir.

İstanbul (ılımlı - nemli iklim bölgesi), ocak ayına ait dış iklimsel veriler, fakat üç farklı iç iklimsel veri seçeneği ($T_i=21^{\circ}\text{C}, \varphi_i=\%50$ / $T_i=23^{\circ}\text{C}, \varphi_i=\%60$ / $T_i=25^{\circ}\text{C}, \varphi_i=\%70$) kullanılarak, söz konusu duvarda, köpük esaslı yalıtım malzemesi (polistrol) veya lifli yalıtım malzemesi (cam yünü) seçilmiş olmasına bağlı olarak, ortaya çıkan bağıl nem oranı dağılımı Şekil 7.19 ve 7.20' de, nem miktarına bağlı olarak değişen, buhar difüzyon direnç faktörleri Şekil 7.21 ve 7.22' de ve ısı iletkenlik katsayıları ise Tablo 7.17 ve 7.18' de verilmiştir.

Her iki duvar seçeneğinde, iç ortamdaki kısmi buhar basıncının artışına koşut olarak, difüzyon etkinliğinin arttığı ve buna bağlı olarak kesitteki nem miktarının da yükseldiği görülmektedir. Difüzyon direnci "yüksek" polistrolün iç yüzünde, nem birikmesi meydana gelirken (Şekil 7.19), difüzyon direnci "düşük" cam yünü katmanının, dış yüzünde nem birikmektedir (Şekil 7.20). Duvar içinde artan nem miktarına bağlı olarak, özellikle, polistrol ile çimento - kireç sıva gibi, difüzyon dirençleri "yüksek" katmanların difüzyon direnç faktörlerinde, büyük değişimler, meydana gelmektedir (Şekil 7.21). Buna karşın, difüzyon direnci görece düşük, cam yünü ile yatay delikli tuğla katmanlarının difüzyon direnç faktörlerinde, daha az değişimler, meydana gelmektedir (Şekil 7.22). Duvarda ki nemliliğin artmasına bağlı

Tablo 7. .. İstanbul: İçten ısı yalıtımlı duvarda, birim alandan, birim zamanda geçen ısı miktarı.

	ŞUBAT	NISAN	HAZİRAN	AĞUSTOS	EKİM	ARALIK
Saat	q [W/m ²]					
1.00	-9.75394	-4.57428	1.86819	8.945101	-9.0662	-26.1945
2.00	-9.92161	-4.95572	1.356211	7.457981	-10.0047	-26.6342
3.00	-10.0649	-5.40149	0.807467	5.811996	-11.1916	-27.1173
4.00	-10.1859	-5.86826	0.249034	4.175947	-12.4331	-27.6076
5.00	-10.2855	-6.30808	-0.29549	2.665223	-13.5655	-28.0751
6.00	-10.3844	-6.69051	-0.73046	1.565622	-14.5099	-28.4705
7.00	-10.6692	-7.04847	-0.75878	0.992907	-15.3263	-28.783
8.00	-10.7865	-6.95259	-0.67047	0.876898	-15.8073	-28.9368
9.00	-10.8645	-6.83918	-0.59247	1.204306	-15.7597	-28.8481
10.00	-10.8588	-6.63996	-0.50701	1.911538	-15.1977	-28.4891
11.00	-10.74	-6.35652	-0.35039	2.898607	-14.3024	-27.9491
12.00	-10.5249	-6.01818	-0.0903	4.112477	-13.2609	-27.3514
13.00	-10.2383	-5.6319	0.269652	5.511044	-12.2078	-26.7814
14.00	-9.91081	-5.20823	0.708474	6.991337	-11.282	-26.2946
15.00	-9.57905	-4.78158	1.196605	8.399095	-10.5716	-25.9495
16.00	-9.28083	-4.3984	1.681631	9.573087	-10.0166	-25.7748
17.00	-9.04496	-4.0977	2.109647	10.41124	-9.50043	-25.7463
18.00	-8.89182	-3.91325	2.441899	10.96842	-9.03105	-25.7374
19.00	-8.84996	-3.82978	2.687953	11.44948	-8.66178	-25.6699
20.00	-8.88897	-3.80395	2.876374	11.6851	-8.39897	-25.5652
21.00	-9.00907	-3.82829	2.984807	11.64411	-8.2175	-25.4918
22.00	-9.17874	-3.91586	2.878114	11.39819	-8.11764	-25.4967
23.00	-9.37362	-4.06081	2.63206	10.91489	-8.16968	-25.6049
24.00	-9.56961	-4.2778	2.29869	10.11438	-8.46207	-25.8407

olarak, duvarı oluşturan malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarında da, az veya çok, değişimler oluşmaktadır (Tablo 7.18). Ancak, polistrol ısı yalıtım malzemesinin, ısı iletkenlik katsayısının, kesitte söz konusu olan nem miktarında, etkilenmediği göze çarpmaktadır (Tablo 7.17).

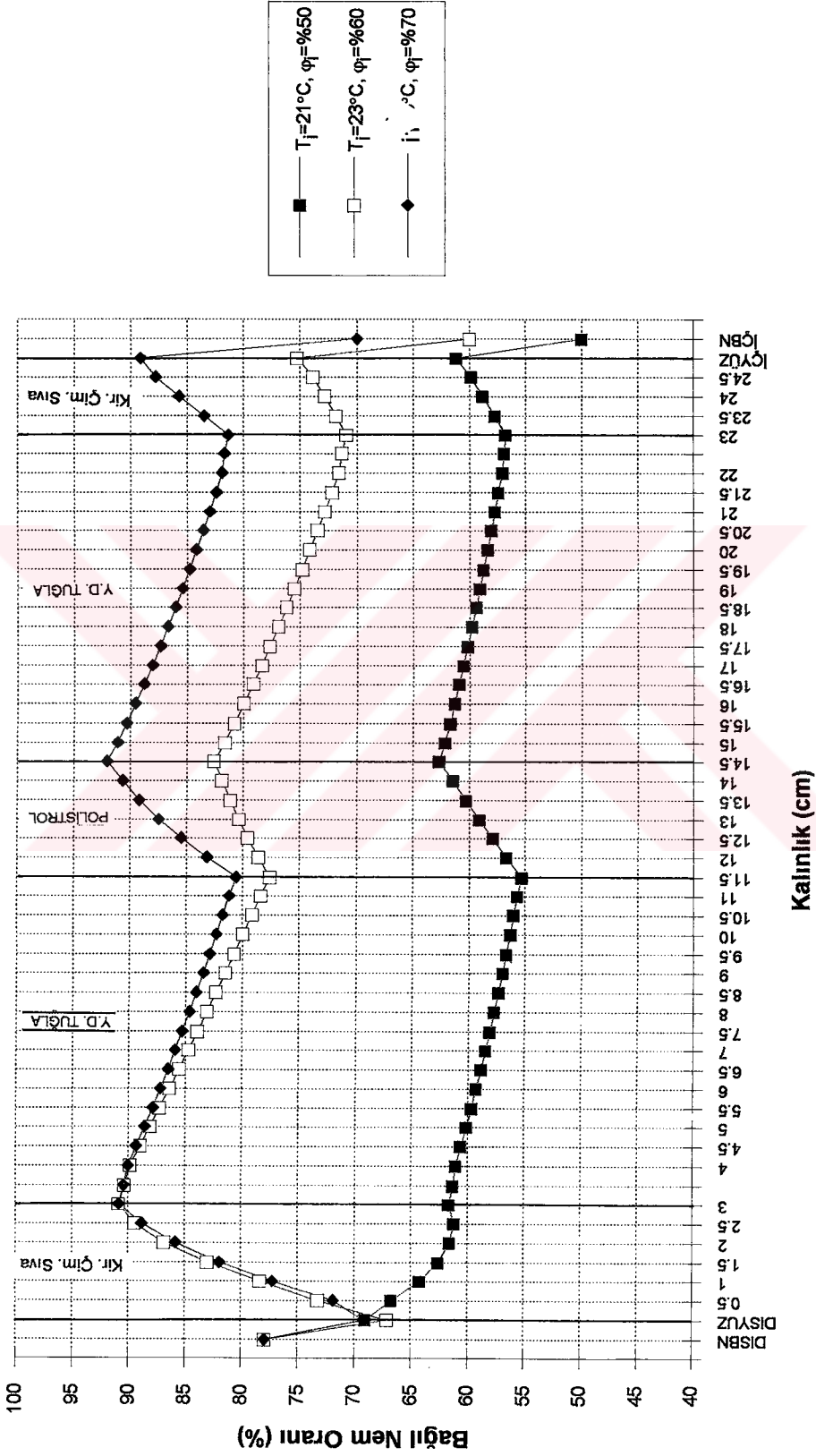
Seçilen ölçütler doğrultusunda, İstanbul' daki, ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarda; ocak ayı sonundaki, hacimsel nemlilik oranı dağılımı, Şekil 7.23' te, ocak ayı sonundaki günün 7.00, 14.00, 21.00 saatlerine ait, sıcaklık dağılımı Şekil 7.24' te, ocak ayı sonundaki güne ait 24 saatlik, iç ve dış yüzey sıcaklıklarının değişimi ise Şekil 7.25' te verilmiştir.

Tablo 7.17. İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarda, iç iklim elemanlarındaki değişimlere bağlı olarak, ısı iletkenlik katsayılarındaki değişimler.

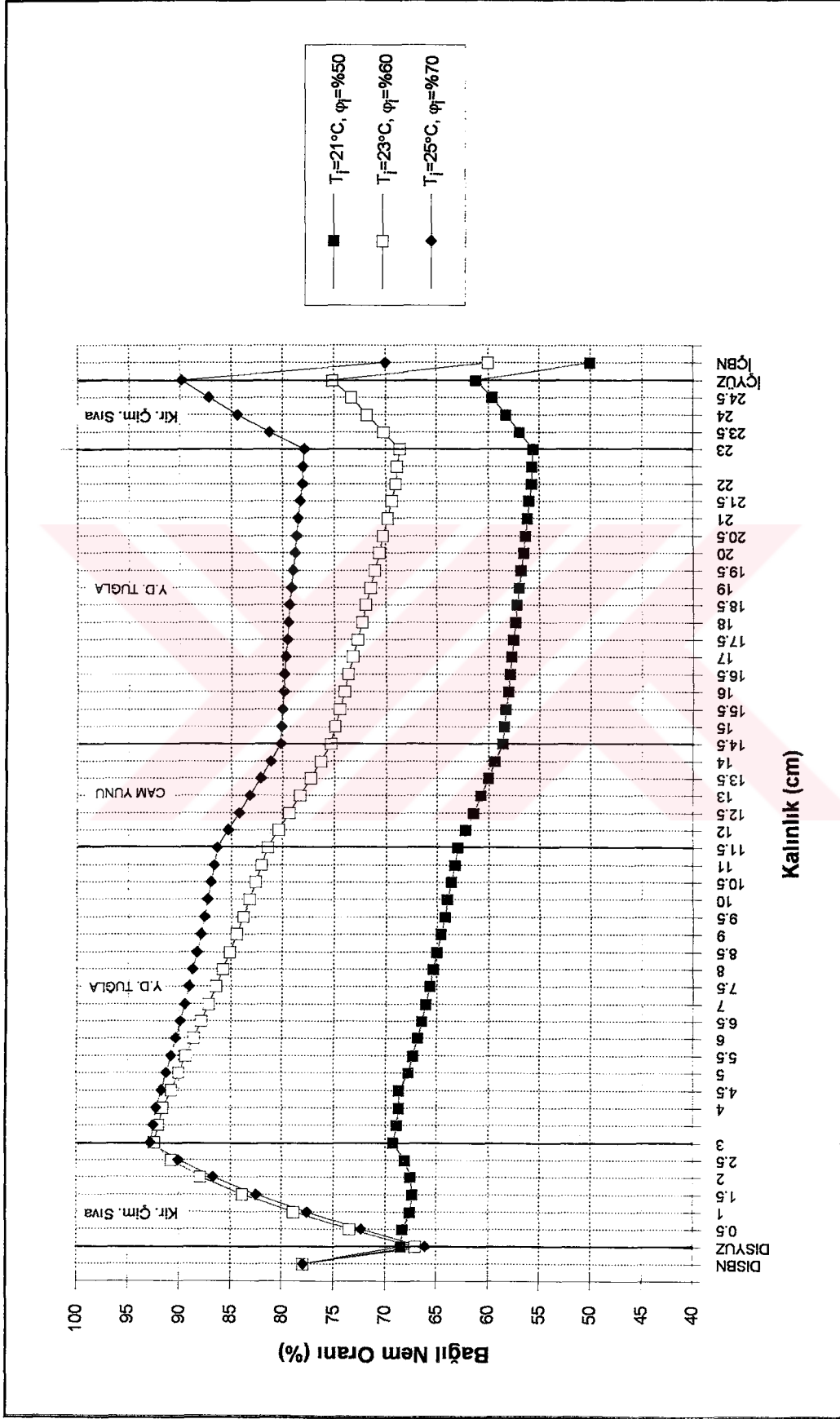
	DIŞ SIVA	Y.D. TUĞLA	POLİSTROL	Y.D. TUĞLA	İÇ SIVA
	λ [W/m ² °C]				
T _i =21°C, ϕ_i =%50	0.8189	0.3675	0.036795	0.3639	0.6385
T _i =23°C, ϕ_i =%60	0.9196	0.3723	0.036795	0.3653	0.6442
T _i =25°C, ϕ_i =%70	0.9136	0.3727	0.036795	0.3667	0.6533

Tablo 7.18. İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (cam yünü) duvarda, iç iklim elemanlarındaki değişimlere bağlı olarak, ısı iletkenlik katsayılarındaki değişimler.

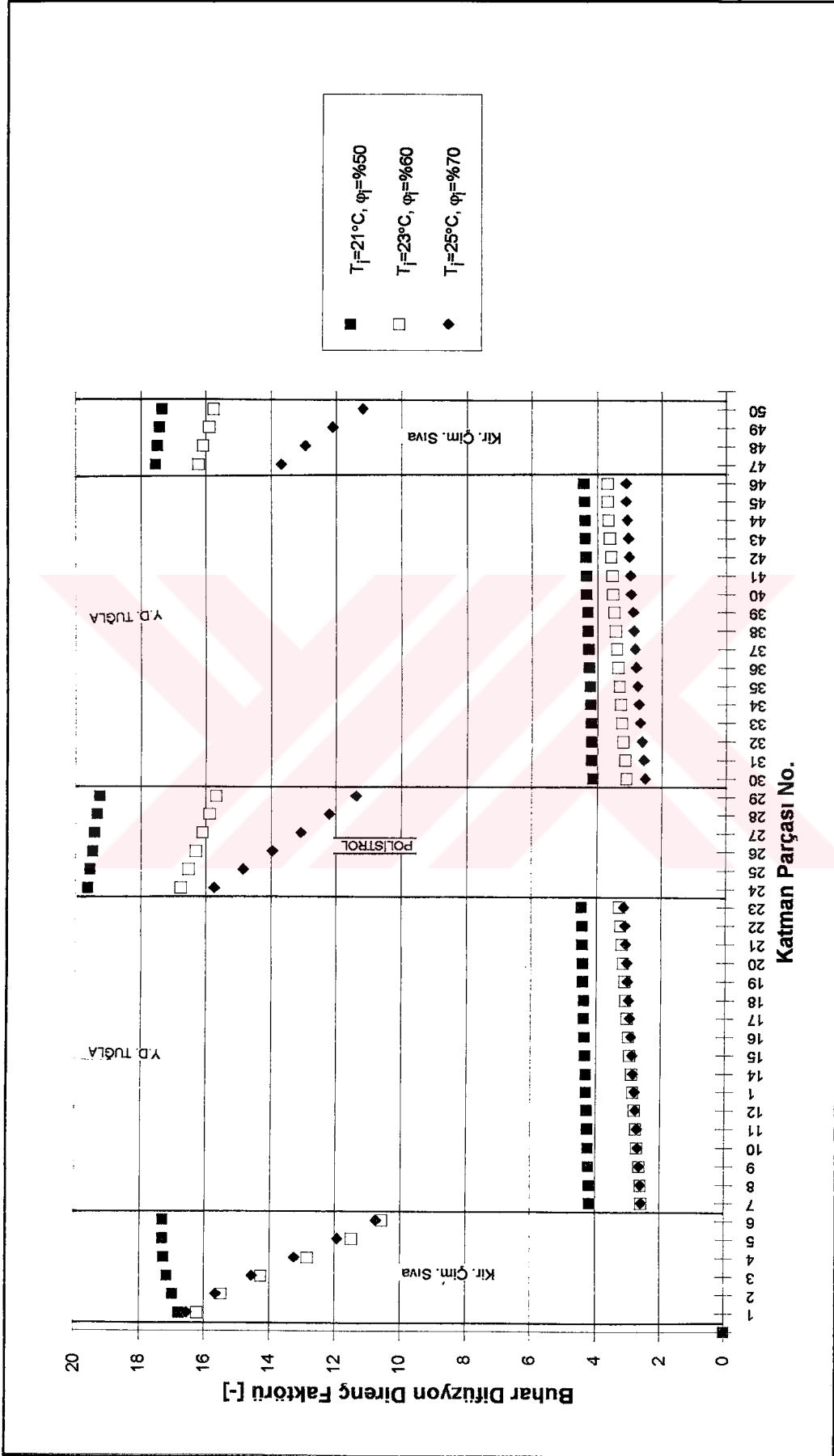
	DIŞ SIVA	Y.D. TUĞLA	CAM YÜNÜ	Y.D. TUĞLA	İÇ SIVA
	λ [W/m ² °C]				
T _i =21°C, ϕ_i =%50	0.8352	0.3685	0.0431	0.3638	0.6383
T _i =23°C, ϕ_i =%60	0.9290	0.3731	0.0461	0.3648	0.6437
T _i =25°C, ϕ_i =%70	0.9228	0.3741	0.0470	0.3656	0.6520



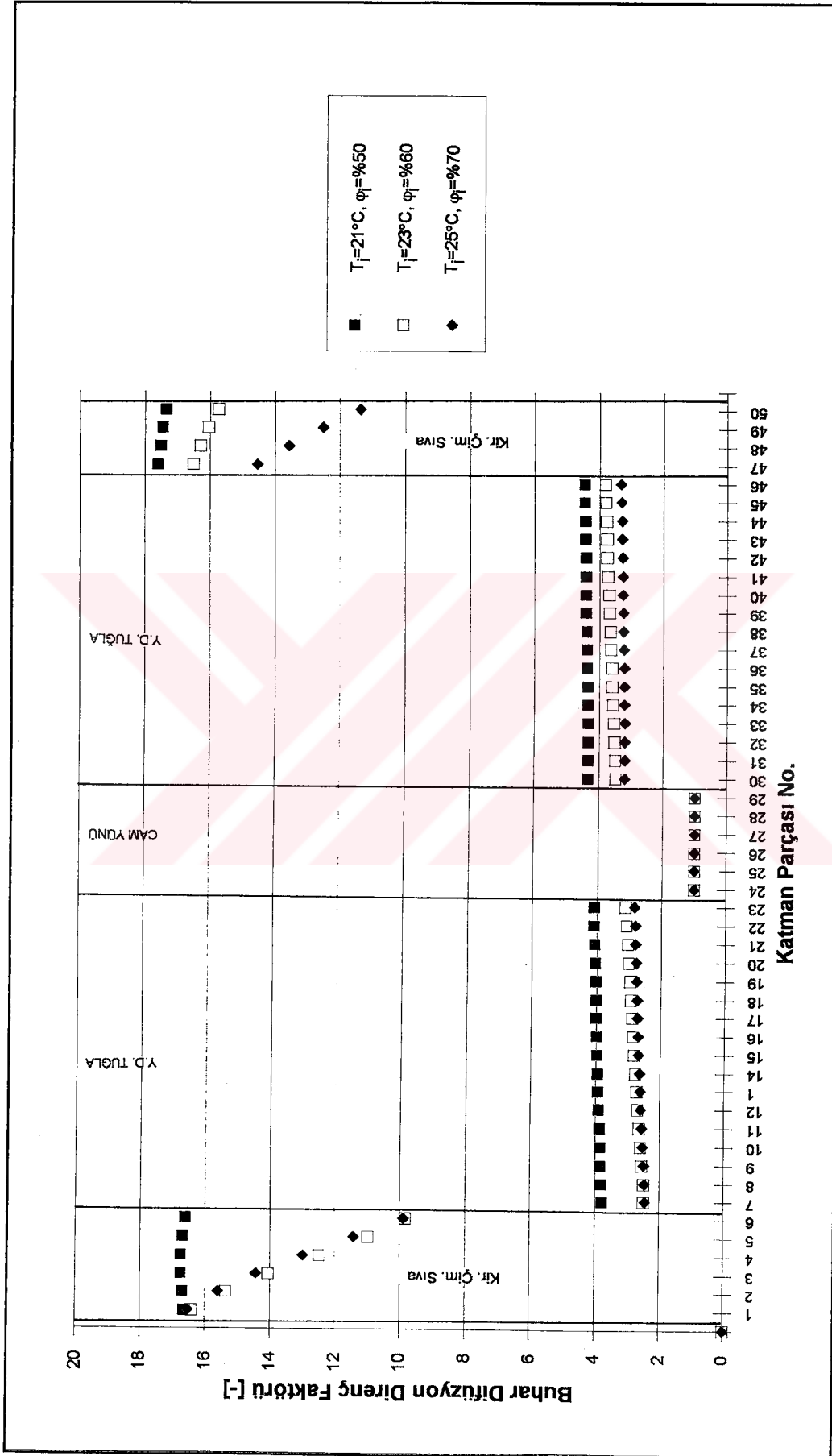
Şekil 7.19. İstanbul ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımı (ocak ayı).



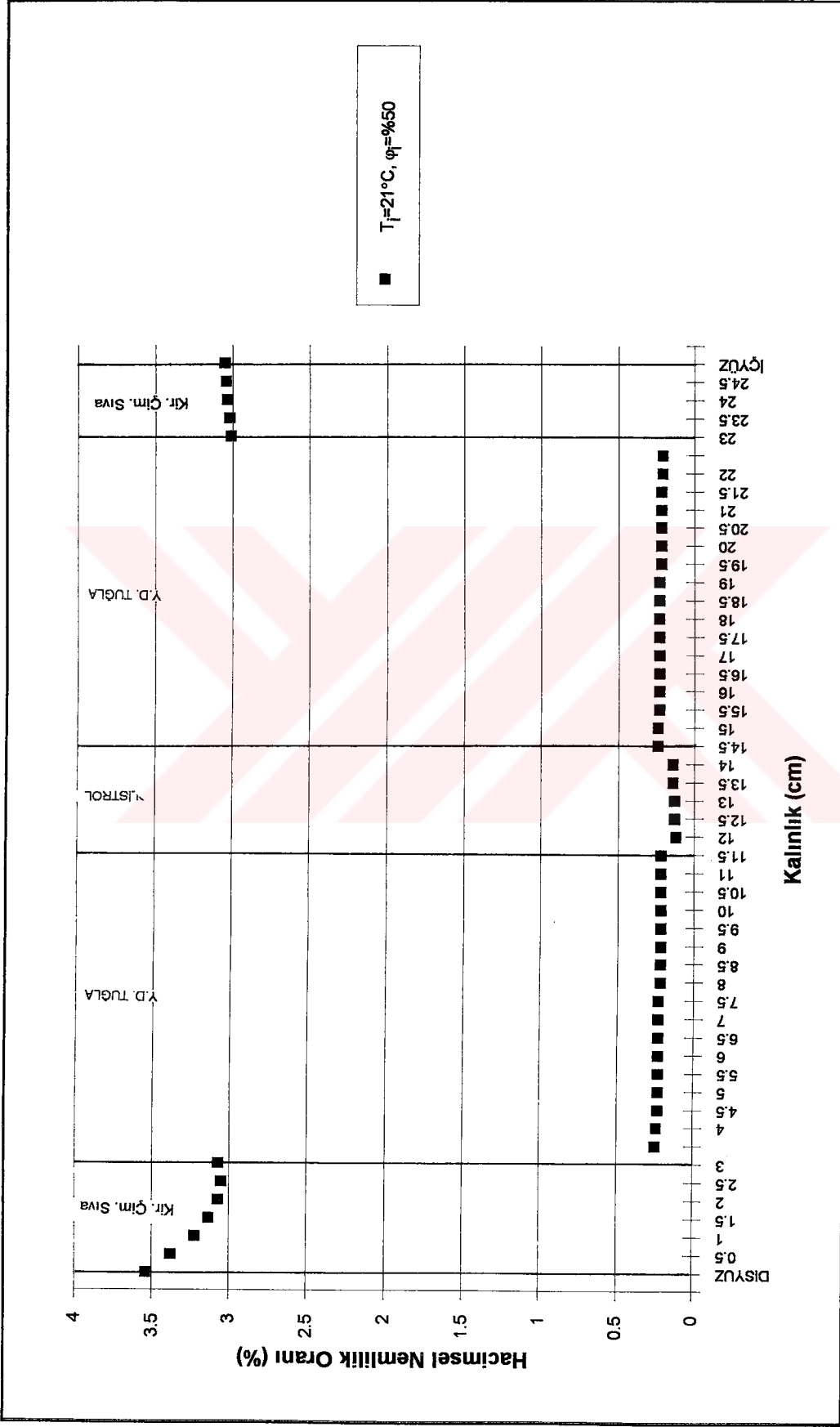
Şekil 7.20. İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (cam yünü) duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, bağıl nem oranı dağılımı (ocak ayı)



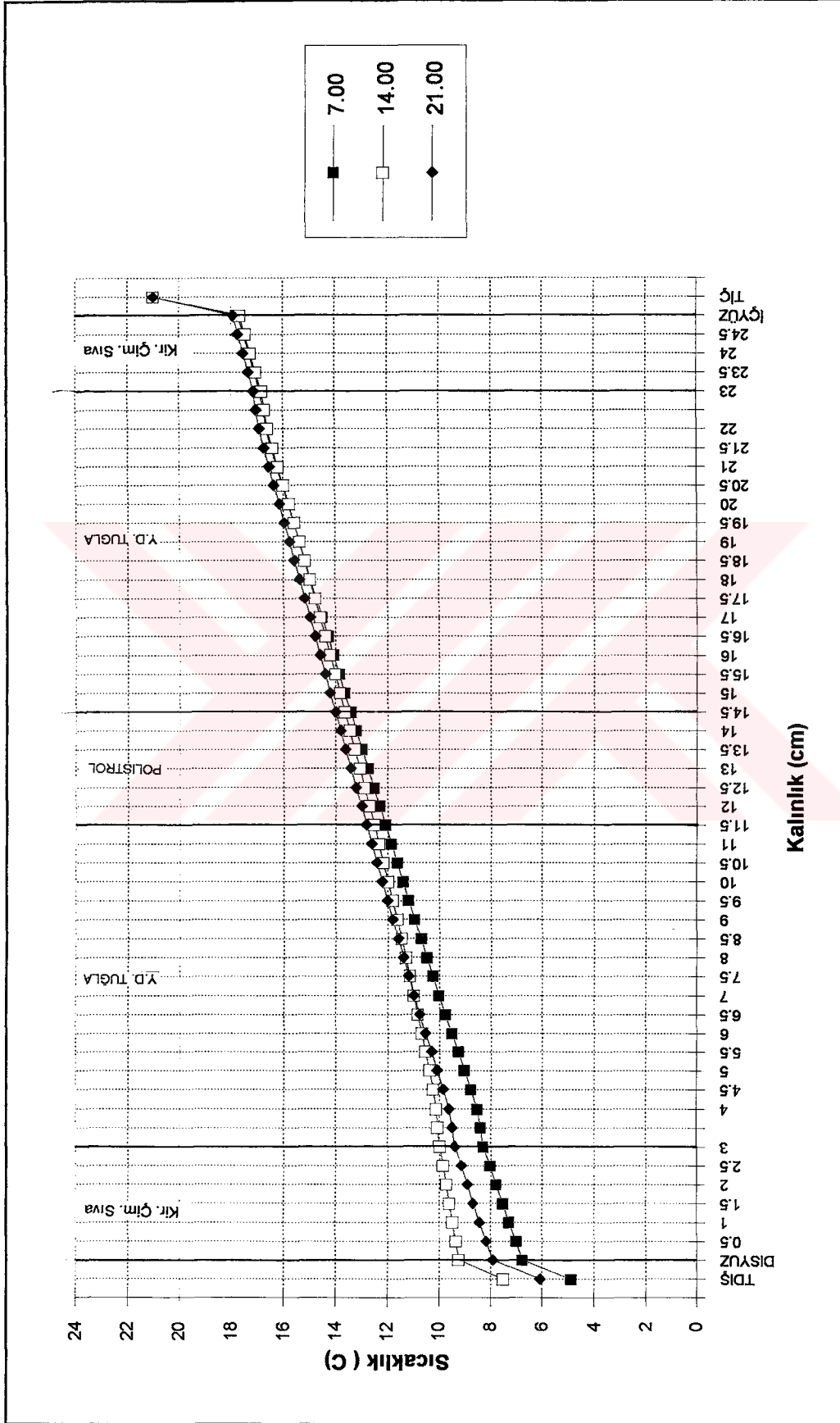
Şekil 7.21. İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın katman parçalarındaki, difüzyon direnç faktörlerinin değişimi (ocak ayı).



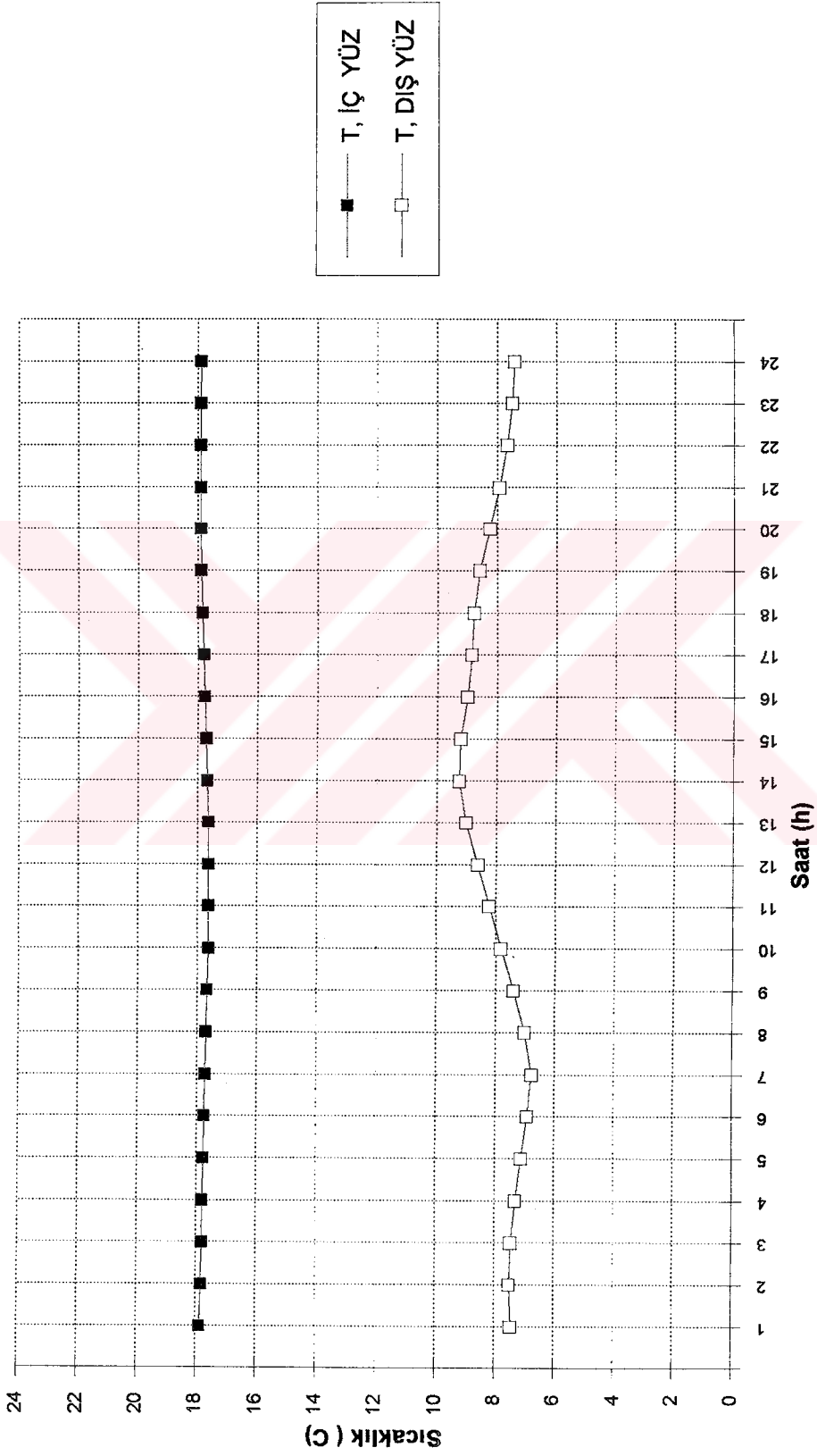
Şekil 7.22. İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (cam yünü) duvarın katman parçalarındaki, difüzyon direnç faktörlerinin değişimi (ocak ayı).



Şekil 7.23. İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, hacimsel nemlilik oranı dağılımı (ocak ayı).



Şekil 7.24. İstanbul: Ortadan ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın yüzeyleri ile katman parçalarındaki, sıcaklık dağılımı (ocak ayı).



Şekil 7.25. İstanbul ısı yalıtımlı (polistrol) duvarın dış ve iç yüzeylerindeki 24 saatlik sıcaklık değişimi (ocak ayı).

KAYNAKLAR

- [1] GLASER, H. , Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen, Kältetechnik 11, Heft 10/59, s. 345 - 349, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1959.
- [2] HAFERLAND, F. , Das Diffusionstechnische Verhalten Mehrschichtiger Außenwände, Bauverlag GmbH, Wiesbaden - Berlin, 1970.
- [3] FEHÉR, J. , Jahresbilanz der Kondensationsfeuchtigkeit in Mehrschichtigen Unbelüfteten Außenwänden, Gesundheits Ingenieur 90, Heft 4/69, s. 123 - 126, Heft 5/69, s. 153 - 155, Oldenbourg Verlag, München, 1969.
- [4] NEUFERT, E. , Styropor - Handbuch , Bauverlag GmbH, Wiesbaden - Berlin, 1967.
- [5] YÜCESOY, L. , Bina Dış Kabuğunda Yoğuşma ve Buharlaşma Miktarları ile Isı İletkenliğine Etkilerinin Belirlenmesi için Grafik Yöntem, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1985.
- [6] ILGAZ, T. , Geliştirilmiş Çizim Metoduyla Rasyonel Dış Duvar, Doçentlik Tezi, Trabzon, 1974.
- [7] MEI, H.T. ; YANG, K.H. , Kieper Method - Moisture Migration Analysis Diagram, Miami International Conference on Alternative Energy Sources (6th, 1983), s.91-98, Hemisphere Publishing Corporation, 1985.
- [8] HUSSEINI, F. , Feuchteverteilung in Porösen Baustoffen Aufgrund Instationärer Wasserdampfdiffusion, Dissertation, Universität Dortmund, 1982.
- [9] RICKEN, D. , Ein Einfaches Berechnungsverfahren für die Instationäre Wasserdampfdiffusion, Bauphysik 13, Heft 2/91, s.33 - 37, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1991.
- [10] ÖZKAN, E. , Yapım Sistemlerinin Seçimi için bir Yöntem, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1976.

- [22] HENS, H. , The Diffusion Resistance of Masonary Work, CIB Meeting - W40, Borås, 1987.
- [23] GALBRAITH, G.H. ; MC LEAN, R.C. , Interstitial Condensation and the Vapour Permeability of Building Materials, Energy and Buildings, Vol. 14, s. 193 - 196, Elsevier Sequoia s.a., Lausanne, 1990.
- [24] BURCH, D.M. ; THOMAS, W.C. ; FANNEY, A.H. , Water Vapour Permeability Measurements of Common Building Materials, CIB Meeting - W40, Lund, 10 - 12 September 1991, KU Leuven Laboratorium Bouwfysica, Leuven - CIB, Rotterdam, 1992.
- [25] GALBRAITH, G.H. ; MC LEAN, R.C. , Realistic Vapour Permeability Values, Building Research and Practice - The Journal of CIB, Vol. 14, Nr. 2/86, s. 96 - 103, E & FN Spon, London, 1986.
- [26] GIVONI, B. , Man, Climate and Architecture, Applied Science Publishers Ltd. , London, 1976.
- [27] ANONİM , T.C. Başbakanlık, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Arşiv Kayıtları, Ankara, 1981-1990.
- [28] ÖZGÜR, Ü. , Yapı Elemanlarına Su Buharı Etkisinin İncelenmesi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul, 1982.
- [29] EICHLER, F. , Bauphysikalische Entwurfslehre, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1972.
- [30] ANONİM , TS 2164 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Ekim 1983.
- [31] KRISCHER, O. , Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Springer Verlag, Berlin, 1963.
- [32] RÜGGENMANN, H., Der Feuchtegehaltsabhängige, Verallgemeinerte Wasseraufnahmekoeffizient von Baustoffen, Gesundheits Ingenieur 111, Heft 2, s. 84-87, Oldenbourg Verlag, München, 1990.
- [33] HANSEN, K.K. , Sorption Isotherms : A Catalog, The Technical University of Denmark, Building Materials Laboratory, Technical Report 126/86, Lyngby, 1986.

- [11] ANONIM , On the Systematic Method for Selecting Building Materials 4th Report : Functional Requirement for Building Elements and Components in Dwellings, Report No. 58, Research Group Of Systematic Method for Selecting Building Materials, Building Research Institute, Ministry of Construction, Tokyo, 1970.

- [12] SAARIMAA, J. , A Morphological Performance Technique Evaluation for Moisture Problems in Buildings, NBS Special Publication 361, Volume 1 : Performance Concept in Buildings, Proceedings of the RILEM-AST-CIB Symposium, May 2-5, (ed.: B.E. Foster), s. 431-438, N.B.S., Gaithersburg, 1972.

- [13] GERTIS, K. ; KIESSL, K. , Feuchtetransport in Baustoffen, Forschungsbericht aus dem Fachbereich Bauwesen, Heft 13, Universität Essen Gesamthochschule, 1980.

- [14] LOHMEYER, G. , Praktische Bauphysik, B.G. Teubner, Stuttgart, 1985.

- [15] ADDLESON, L. ; RICE, C. , Performance of Materials in Buildings, Butterworth Heinemann, Oxford, 1991.

- [16] BUSCH, K. , Bauschäden durch Feuchtigkeit, Deutsche Bauzeitschrift 4/92, s. 545 - 548, Bertelsmann Fachzeitschriften, Gütersloh, 1992.

- [17] GLASER, H. , Wasserdampfdiffusion durch Hygroskopische Baustoffe im Hinblick auf die DIN 4108, Gesundheits Ingenieur 107, Heft 2/86, s. 85 - 96, Oldenbourg Verlag, München, 1986.

- [18] CAMMERER, W.F. , Der Feuchtigkeitseinfluß auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Wärmedämmstoffen, Bauphysik 9, Heft 3/87, s. 259 - 266, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1987.

- [19] KÜNZEL, H. , Zur Frage des Zuschlages auf Messwerte der Wärmeleitfähigkeit zur Ermittlung des Wärmeschutzes von Baukonstruktionen, WKSB - Zeitschrift Sonderausgabe, s. 50 - 53, Grünzweig + Hartmann AG, Ludwigshafen, 1985.

- [20] LANGLAIS, C. , SANDBERG, P.I. , Moisture Effects on Heat Transfer, CIB Meeting - W40, Borås, 1987.

- [21] GERTIS, K. , Die Wärmeleitung in Feuchten Stoffen bei Endo- bzw. Exothermer Phasenänderung der Feuchtigkeit, Gesundheits Ingenieur 93, Heft 12/72, s. 354 - 369, Oldenbourg Verlag, München, 1972.

- [34] BURCH, D.M. ; RICHARDS, R.F. ; THOMAS, W.C. , Sorption Measurements of Common Building Materials, CIB Meeting - W40, Lund, 10 - 12 September 1991, KU Leuven Laboratorium Bouwfysica, Leuven - CIB, Rotterdam, 1992.
- [35] GÖSELE, K. ; SCHÜLE, W. , Schall, Wärme, Feuchtigkeit, Bauverlag GmbH, Wiesbaden - Berlin, 1972.
- [36] TAVİL, A. , Opak Yüzeylerde Güneş Işınımı Etkisinin Yüzey Pürüzlülüğü ile Değişimi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Aralık, 1995.
- [37] HAFERLAND, F. , Das Wärmetechnische Verhalten Mehrschichtiger Außenwände, Bauverlag GmbH, 1970.
- [38] EDELMANN, A., Theoretische Grundlagen über den Feuchtehaushalt von Fassaden und Wänden, Handbuch Bautenschutz - Band 2, (ed.: K. Weinmann), s. 83-99, Expert Verlag, Böblingen, 1992.
- [39] TEZCAN, Y. , Sıcak Yapı Elemanlarının Kondansasyon Kontrolü Hesaplarında Kullanılacak Dış Sınır Şartları ve Peryotların Belirlenmesi için Yeni Bir Metod, Doktora tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1970.
- [40] ANONİM , DIN 4108 : Wärmeschutz im Hochbau, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1981.
- [41] LAMPE, J. , Außen- und Innenwände - Bauphysikalische Kennwerte, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 1981.
- [42] VAN STRAATEN, J.F. , Thermal Performance of Buildings, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1967.
- [43] ANONİM , TS 825 : Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Mart 1989.
- [44] ANONİM , Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'ndan : Bazı Belediyelerin İmar Yönetmeliklerinde Değişiklik Yapılması ve bu Yönetmeliklere Yeni Maddeler Eklenmesi Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, Sayı 18637, s. 5 - 22, 16 Ocak 1985.
- [45] SEIFERT, K. , Wasserdampfdiffusion im Bauwesen, Bauverlag GmbH, Wiesbaden - Berlin, 1967.

- [46] GLASER, H. , Temperatur- und Dampfdruckverlauf in einer Homogenen Wand bei Feuchtigkeitsausscheidung, Kältetechnik 10, Heft 6, s. 174-181, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1958.
- [47] GLASER, H., Vereinfachte Berechnung der Dampfdiffusion durch Geschichtete Wände bei Ausscheidung von Wasser und Eis 1, Kältetechnik 10, Heft 11, s. 358-364, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1958.
- [48] GLASER, H., Vereinfachte Berechnung der Dampfdiffusion durch Geschichtete Wände bei Ausscheidung von Wasser und Eis 2, Kältetechnik 10, Heft 12, s. 386-390, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1958.
- [49] MORITZ, K. , Flachdachhandbuch, Bauverlag GmbH, Wiesbaden - Berlin, 1975.
- [50] TENWOLDE, A. , The Kieper and Moistwall Analysis Methods for Walls, ASHRAE / DOE Conference : Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings 2, 1982, s. 1033 - 1051, ASHRAE, Atlanta, 1983.
- [51] KIESSL, K. , Kapillarer und Dampfförmiger Feuchtetransport in Mehrschichtigen Bauteilen, Dissertation, Universität Gesamthochschule Essen, 1983.
- [52] KERESTECIOĞLU, A. ; GU, L. , Theoretical and Computational Investigation of Simultaneous Heat and Moisture Transfer in Buildings: "Evaporation and Condensation" Theory, ASHRAE Transactions, Vol. 96, Part 1, s. 455 - 464, ASHRAE, Atlanta, 1990.
- [53] KUPKE, C. ; PFROMMER, P. , A Contribution to the Problem of Instationary Water Vapor Diffusion and Capillary Transport in Porous Material, CIB Meeting - W40, Lund, 10 - 12 September 1991, KU Leuven Laboratorium Bouwfysica, Leuven - CIB, Rotterdam, 1992.
- [54] SEIFERT, K. , Durchfeuchtungsmöglichkeiten bei Gebäudewänden, Deutsche Bauzeitung 11/61, s. 1553-1558, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, 1961.
- [55] MORITZ, K. , Richtig und Falsch, Bauverlag GmbH, Wiesbaden - Berlin 1970.
- [56] PEHLEVAN, A. , Türkiye' de Hıgrotermik Koşullar Açısından Dış Duvarlarda Yoğuşma - Buharlaştırma - Adaptasyon Sürelerinin Belirlenmesi, Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Kasım 1986.

- [57] ÖZGÜR, Ü. , Türkiye' de Sıcak Teras Damlarda Yoğuşma - Kuruma Miktar ve Sürelerinin Saptanması, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1981.
- [58] ANONİM , Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, 1989.
- [59] WIESE, G. , Wasserdampfdiffusion , B.G. Teubner, Stuttgart, 1975.
- [60] KÜNZEL, H. , Wie ist der Feuchteinfluß auf die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen unter Heutigen Bedingungen zu Bewerten, Bauphysik 11, Heft 5/89, s. 185 - 190, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1989.
- [61] ACHTZIGER, J. ; CAMMERER, J. , Einfluß des Feuchtegehalts auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen, IRB - Verlag der Fraunhofer Gesellschaft, Stuttgart, 1984.
- [62] KÜNZEL, H.; MAYER, E. , Überprüfung von Außendämmsystemen mit Styropor-Hartschaumplatten, Deutsche Bauzeitschrift 6/76, s.783-784, Bertelsmann Fachzeitschriften Gütersloh, 1976 .
- [63] RIECHE, G., Gutachten über die Langzeitbewährung von Hartschaumplatten aus expandiertem Polystrol (EPS) in Wärmedämmverbundsystemen, Institut für Bautenschutz, Baustoffe und Bauphysik, Fellbach, 1984.
- [64] POHL, W.H. , Gutachten über Styropor - Kerndämmplatten für Zweischaliges Mauerwerk ohne Luftschicht , Institut für Bautechnik und Entwerfen, Fachbereich Architektur, Universität Hannover, 1989.
- [65] TYE, R.P.; BAKER, C.F. , Development of Experimental Data on Cellular Plastic Insulations under Simulated Winter Exposure Conditions, Thermal Insulation : Materials and Systems, ASTM STP 922, (ed.: F.J. Powell; S.L. Mathews), s. 518 - 537, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1987.
- [66] LARSSON, L.E. , Polyurethan Foam Sandwich Panels - Calculation of Internal Condensation under Variable Climatic Conditions - Comparison with Test Results, CIB Meeting - W40, Lund, 10 - 12 September 1991, KU Leuven Laboratorium Bouwfysica, Leuven - CIB, Rotterdam, 1992.
- [67] BUSCH, K. Kerndämmung - Praxiserfahrungen mit zweischaligem Mauerwerk, Baumarkt 2/87, s. 56-51, 1987.

- [68] KÜNZEL, H. , Zusammenhang Zwischen der Feuchtigkeit von Außenbauteilen in der Praxis und den Sorptionseigenschaften der Baustoffe, Bauphysik 4, Heft 3/82, s. 101 - 107, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1982.
- [69] THOMAS, W.C. ; BAL, G.P. ; ONEGA, R.J. , Heat and Moisture Transfer in a Glass Fiber Roof Insulating Material, Thermal Insulation : Materials and Systems for Energy Conservation in the 80's, ASTM STP 789, (ed.: F.A. Govan ; D.M. Greason ; J.D. Mc Allister), s. 582 - 601, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1983.
- [70] DECHOW, F.J. ; EPSTEIN, K.A. , Laboratory and Field Investigations of Moisture Absorption and Its Effect on Thermal Performance of Various Insulations, Thermal Transmission Measurements of Insulations, ASTM STP 660, (ed.: R.P. Tye), s. 234 - 260, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1978.
- [71] YILMAZ, Z. , İklimsel Konforun Sağlanması ve Yoğuşma Kontrolünde Optimum Performans Gösteren Yapı Kabuğunun Hacim Konumuna ve Boyutlarına Bağlı Olarak Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1983.
- [72] ILLIG, W. , Die Größe der Wasserdampfübergangszahl bei Diffusionsvorgängen in Wänden von Wohnungen, Stallungen und Kühlräumen , Gesundheits Ingenieur 72, Heft 7-8/52, s. 124 - 127, Oldenbourg Verlag, München, 1952.
- [73] ILGAZ, T. , Yapı Düşey Dış Kabuklarının Isı Etkilerinden Korunması, Araştırma Projesi, K.T.Ü. Döner sermaye işletmeleri, Trabzon, 1979.
- [74] ÇÖLAŞAN, Ü. E. , Türkiye' nin İklim Rehberi, Başbakanlık Devlet Matbaası, Ankara, 1946.
- [75] SUNGUROĞLU, İ. , Yüzey Özelliklerine Bağlı Olarak Örtüsüz Beton Duvarlarda Rasyonel Kesit Tayini, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi , İstanbul, 1973.
- [76] TEZCAN, Y. , Sınırsal Kondensasyon Etkisi Altında Bulunan Sıcak Yapı Elemanlarında Kondensasyon Kontrolü için Alınacak Tedbirler Yönünden Türkiye'nin Bölgelelendirilmesi, TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü a26, Ankara, 1975.

- [77] ZEREN, L. ; BERKÖZ, E. ; KÜÇÜKDOĞU, M. ; OK, V. ; YILMAZ, Z. , Türkiye' de Yeni Yerleşmeler ve Binalarda Enerji Tasarrufu Amacıyla Bir Mevzuat Modeline İlişkin Çalışma, İ.T.Ü. Çevre ve Şehircilik Uygur Merkezi, İstanbul, 1987.
- [78] ZEREN, L. , Türkiye' de İklimle Dengeli Mimari Uygulama, TÜBİTAK 6. Bilim Kongresi, İzmir, Ekim 1977.
- [79] KILIÇ, A. ; ÖZTÜRK, A. , Güneş Enerjisi, Kipaş, İstanbul, 1983.
- [80] YÜCESOY, L. ,Yapılarda Isı ve Buhar Etkisi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul, 1984.



EKLER

EK A

PERYODİK OLARAK DEĞİŞEN İKLİM ELEMANLARININ, DEĞİŞİM DENKLEMLERİNİN, HARMONİK ANALİZ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Peryodik olarak değişen dış iklim elemanları olan, dış hava sıcaklığı, dolayısıyla sol - air sıcaklık ve dış bağıl nem oranlarının, belirli bir zaman aralığındaki, değişim denklemini harmonik analiz ile elde etmek olanaklıdır [A1,s.107]. Peryodik olarak değişen bir iklim elemanının zamana bağlı sinuzoidal değişimi, Fourier serisi ile aşağıdaki gibidir:

$$Y(h) = Y_{ort} + \sum_{v=1}^n (a_v \cdot \cos \frac{v \cdot h \cdot 2\pi}{l} + b_v \cdot \sin \frac{v \cdot h \cdot 2\pi}{l}) \quad (A.1)$$

Burada a_v ve b_v :

$$a_v = \frac{2}{n} \cdot (U_1 \cdot \cos v \cdot h \cdot \frac{2\pi}{l} + U_2 \cdot \cos v \cdot h \cdot \frac{2\pi}{l} + \dots + U_n \cdot \cos v \cdot h \cdot \frac{2\pi}{l}) \quad (A.2)$$

$$b_v = \frac{2}{n} \cdot (U_1 \cdot \sin v \cdot h \cdot \frac{2\pi}{l} + U_2 \cdot \sin v \cdot h \cdot \frac{2\pi}{l} + \dots + U_n \cdot \sin v \cdot h \cdot \frac{2\pi}{l}) \quad (A.3)$$

$a_v, b_v, \dots$	:[-]	Fourier katsayıları
h	:[-]	Harmonik analizde ölçülen iklim elemanı değerinin ait olduğu saat (1, 2, 3, ... , 24)
l	:[h]	Harmonik analizde zaman aralığı (24 h)
n'	:[-]	Harmonik analizde ele alınan zaman aralığında iklim elemanı için yapılan ölçüm sayısı
U	:[-]	Harmonik analizde ölçülen değerlerin aritmetik ortalamadan şaşma miktarı
$Y(h)$	:[-]	Harmonik analizde zamana bağlı olarak değişen iklim elemanı

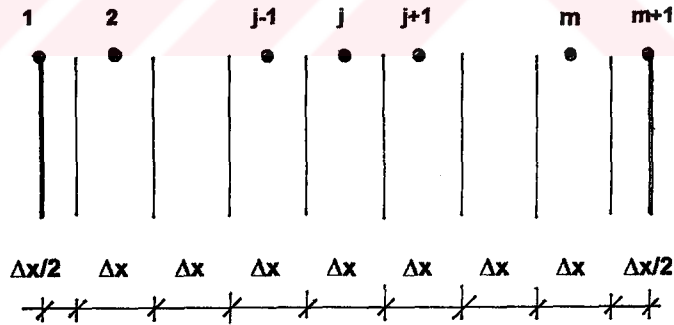
EK B

DEĞİŞKEN REJİMDE, TEK BOYUTLU ISI GEÇİŞİNİN SONLU FARKLAR YAKLAŞIMI İLE HESAPLANMASI

Sayısal yöntemler arasında, en yaygın olarak kullanılan, sonlu farklar yönteminin, Schmidt yaklaşımı ile kullanıldığında, çok tabakalı dış kabuk elemanlarında, değişken rejimde tek boyutlu ısı geçişinin hesaplanmasında, yeterince duyarlı sonuçlar elde edildiği görülmüştür [B1, s.25], [B2].

Bu yöntemde, " T_D " ve " T_i " sıcaklıklarına sahip iki ortamı birbirinden ayıran dış kabuk elemanının " Δx " kalınlığında m adet katman parçasından oluştuğu kabul edilmektedir (Şekil B.1). " x " doğrultusunda ısı geçişini ifade eden diferansiyel denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\Delta^2 T}{\Delta x^2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (B.01)$$

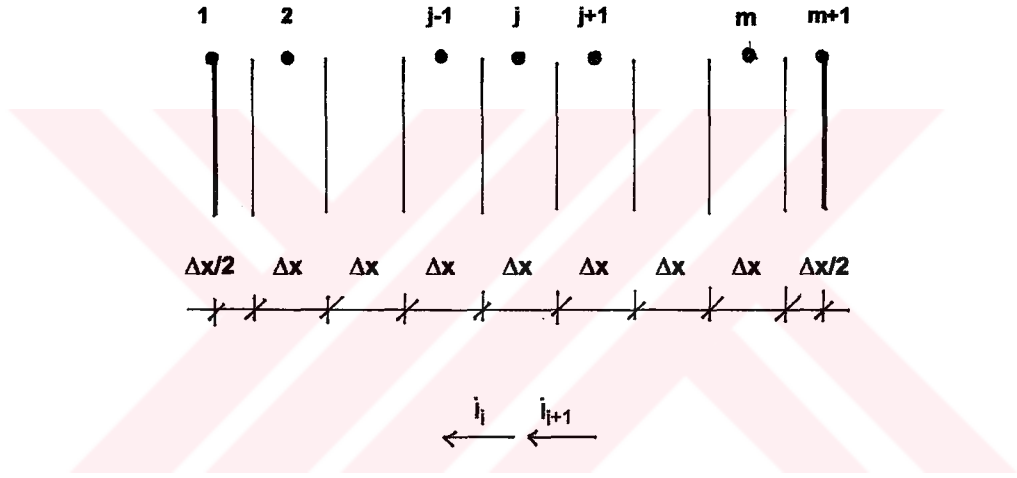


Şekil B.1. Değişken rejimde, tek boyutlu ısı geçişinin, sonlu farklar yöntemi ile hesaplanmasında, duvarın, bölündüğü varsayılan, " m " adet, sanal " Δx " katman parçası.

EK C

DEĞİŞKEN REJİMDE, TEK BOYUTLU BUHAR DİFÜZYONUNUN SONLU FARKLAR YAKLAŞIMI İLE HESAPLANMASI

Çok tabakalı dış kabuk elemanlarında, değişken rejimde tek boyutlu buhar difüzyonunun, Hussein - Ricken Yöntemi [C1] ile hesaplanmasında kullanılan sonlu farklar yöntemi gereği, elemanın " Δx " kalınlığında " m " adet katman parçasından oluştuğu kabul edilmektedir (Şekil C.1)



Şekil C.1. Değişken rejimde, tek boyutlu buhar difüzyonunun, sonlu farklar yöntemi ile hesaplanmasında, duvarın, bölündüğü varsayılan, " m " adet, sanal " Δx " katman parçası.

" j " noktasındaki, " $t+\Delta t$ " zamanındaki, hacimsel nem oranının belirlenmesi için, " j " katman parçasından " $j - 1$ " e ve " $j + 1$ " katman parçasından " j " ye, " Δt " zaman aralığı boyunca geçen su buharı miktarları; " $i_j^{t+\Delta t}$ " ve " $i_{j+1}^{t+\Delta t}$ " nin, aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanması gereklidir:

$$i_j^{t+\Delta t} = \delta \frac{\Delta t}{\mu(\varphi) \cdot \Delta x} (\varphi_j^t \cdot P_{s,j}^t - \varphi_{j-1}^t \cdot P_{s,j-1}^t) \quad (C.01)$$

Y_{ort}	:[-]	Harmonik analizde ölçülen iklim elemanı değerlerinin aritmetik ortalaması
v	:[-]	İncelenen harmonik sayısı

Harmonik analizin üçüncü dereceye ($v = 3$) kadar yapılması yeterince gerçeğe yakın sonuçlar veren bir denklem elde edilmesine olanak vermektedir [A2].

-
- [A1] YILMAZ, Z. , İklimsel Konforun Sağlanması ve Yoğuşma Kontrolünde Optimum Performans Gösteren Yapı Kabuğunun Hacim Konumuna ve Boyutlarına Bağlı Olarak Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1983.
- [A2] HAFLERLAND, F. , Das Wärmetechnische Verhalten Mehrschichtiger Außenwände, Bauverlag GmbH, 1970.

"j" noktasındaki sıcaklık "t+Δt" zamanı için sonlu farklar yaklaşımı ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir [B3, s.272]:

$$\frac{T_{j+1} + T_{j-1} - T_j}{\Delta x^2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{T_j^{t+\Delta t} - 2T_j}{\Delta t} \quad (\text{B.02})$$

T_{j+1}, T_j, T_{j-1} :[°C] t anında, "j+1", "j", "j-1", katman parçalarındaki sıcaklıklar

$T_j^{t+\Delta t}$:[°C] "t" zamanından "Δt zaman aralığı" sonrası için, "j" noktasındaki sıcaklık

a :[m²/san] Isı yayılım katsayısı

Δt :[h] Zaman aralığı

Bu bağıntı $T_j^{t+\Delta t}$ için çözülürse;

$$T_j^{t+\Delta t} = a \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \cdot (T_{j+1} + T_{j-1}) + \left(1 - \frac{2 \cdot a \cdot \Delta t}{\Delta x^2}\right) \cdot T_j \quad (\text{B.03})$$

Bu eşitliğin çözümünde, zaman aralığı "Δt" ve boyut aralığı "Δx" arasında aşağıdaki stabilite ölçütüne uygun bir ilişki olmalıdır :

$$a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2} \quad (\text{B.04})$$

Duvarın 1. noktası yani dış yüzeyi ile dış hava arasındaki ısı geçişi sonlu farklar cinsinden aşağıdaki gibidir [B3,s.274] :

$$\alpha_d \cdot (T_d - T_1) + \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_2 - T_1) = \gamma \cdot c \cdot \frac{\Delta x}{2} \cdot \frac{T_1^{t+\Delta t} - T_1}{\Delta t} \quad (\text{B.05})$$

Bu eşitlik, yüzey sıcaklığı " $T_1^{t+\Delta t}$ " için çözülürse;

$$T_1^{t+\Delta t} = \frac{2 \cdot \alpha_d \cdot \Delta t}{\gamma \cdot c \cdot \Delta x} \cdot (T_d - T_1) + 2 \cdot a \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \cdot (T_2 - T_1) + T_1 \quad (\text{B.06})$$

α_D	:[W/m ² °C]	Dış hava taşınım katsayısı
γ	:[kg/m ³]	Kuru yoğunluk
c	:[J/kg C]	Özgül ısı

eşitliği elde edilir. Aynı bağıntılar m+1 noktası yani, iç yüzey için de geçerlidir. Yüzey sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan bu eşitliklerin çözümünde de zaman aralığı " Δt " ve boyut aralığı " Δx " arasında aşağıdaki stabilite kriterine uygun bir ilişki olmasına dikkat edilmelidir [B3,s.272]:

$$a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \left(1 + \frac{\alpha \cdot \Delta x}{\lambda} \right) \leq \frac{1}{2} \quad (B.07)$$

-
- [B1] YILMAZ, Z. , İklimsel Konforun Sağlanması ve Yoğuşma Kontrolünde Optimum Performans Gösteren Yapı Kabuğunun Hacim Konumuna ve Boyutlarına Bağlı Olarak Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1983.
- [B2] HOLMAN, J.P. , Heat Transfer, Mc Graw - Hill, New York, 1989.
- [B3] INCROPERA, F.P. ; DE WITT, D. , Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, New York, 1990.

$$i_{j+1}^{t+\Delta t} = \delta \frac{\Delta t}{\mu(\varphi) \cdot \Delta x} (\varphi_{j+1}^t \cdot P_{s,j+1}^t - \varphi_j^t \cdot P_{s,j}^t) \quad (C.02)$$

P_s	: [Pa]	t anında, "j+1", "j", "j-1", katman parçalarındaki doymuş buhar basınçları
φ	: [%]	t anında, "j+1", "j", "j-1", katman parçalarındaki bağıl nem oranları
$\mu(\varphi)$	: [-]	Buhar difüzyon direnç faktörü (bağıl nemliliğin fonksiyonu olarak)
δ	: [kg/mhPa]	Su buharı difüzyon katsayısı ($\delta_H/R_B T$)

C.01 ve C.02 bağıntıları kullanılarak, "j" noktasında "t+Δt" zamanındaki hacimsel nemlilik oranı " $u_j^{t+\Delta t}$ ", "t" zamanındaki nemlilik oranından " u_j^t " yararlanarak, aşağıdaki bağıntı ile belirlenebilir:

$$u_j^{t+\Delta t} = u_j^t + \frac{i_{j+1}^{t+\Delta t} - i_j^{t+\Delta t}}{\Delta x \cdot \gamma_{su}} \quad (C.03)$$

γ_{su}	: [kg/m³]	Su için yoğunluk
---------------	-----------	------------------

"j" noktasında "t+Δt" zamanındaki bağıl nem oranı " $\varphi_j^{t+\Delta t}$ " aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir:

$$\varphi_j^{t+\Delta t} = 1 - e^{\left(\frac{\ln(1-0.75)}{u_{0,j} - u_{75,j}} \cdot (u_{0,j} - u_j^{t+\Delta t}) \right)} \quad (C.04)$$

u_0	: [-]	Hacimsel malzeme nemliliği ($\varphi=0\%$)
u_{75}	: [-]	Hacimsel malzeme nemliliği ($\varphi=75\%$)

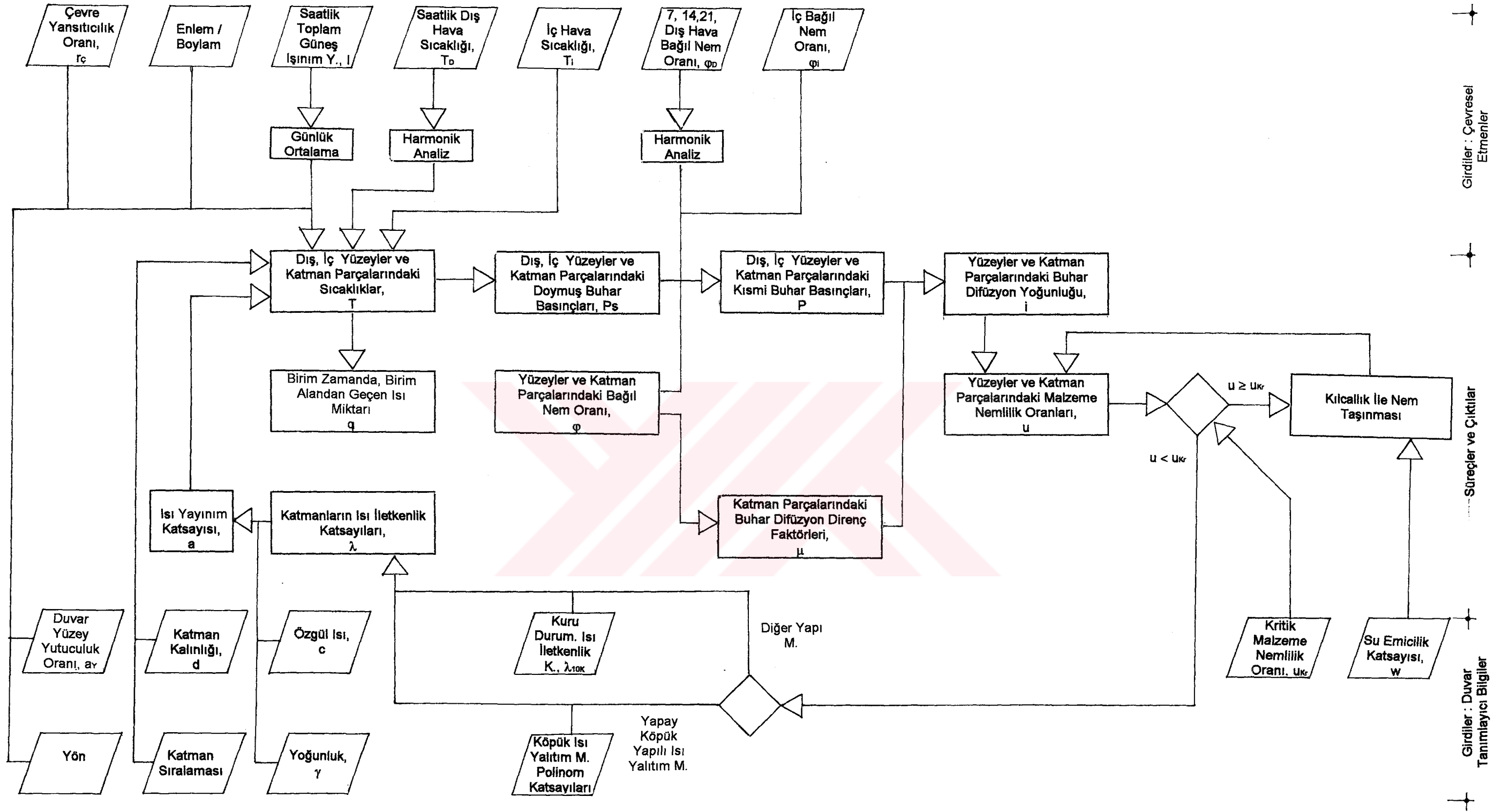
Böylece, bir sonraki zaman adımı için "j" noktası için kısmi buhar basıncı " $P_j^{t+\Delta t}$ " hesaplanabilmektedir:

$$P_j^{t+\Delta t} = \varphi_j^{t+\Delta t} \cdot P_{s,j}^{t+\Delta t} \quad (C.05)$$

Hesaplamalarda, difüzyon direnç faktörü, bağıl nem oranının bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir:

$$\mu(\varphi) = \mu_0 - (\mu_0 - \mu_{100}) \cdot \varphi^{\frac{1}{\ln 65} \ln \frac{\mu_0 - \mu_{85}}{\mu_0 - \mu_{100}}} \quad (\text{C.06})$$

Farklı malzemelerden oluşan iki katman sınırında meydana gelen buhar difüzyonu, bu düzlemde, bağıl nem oranının her iki malzeme için eşit olması gerektiği varsayımından yola çıkılarak, belirlenmektedir.



Girdiler : Çevresel Etmenler

Süreçler ve Çıktılar

Girdiler : Duvar Tanımlayıcı Bilgiler

EK D :

Şekil D.1.

Dış duvarlarda, buhar difüzyonunun, ısı ve nem ile ilgili performansa etkilerinin belirlenmesi amacı ile ortaya koyulan yaklaşımın, hesaplamalarında kullanılmak üzere geliştirilen ISINEM2 bilgisayar programının akış diyagramı.

EK E

BUHAR DİFÜZYONU SONUCU OLUŞAN MALZEME NEMLİLİĞİNİN DIŞ DUVARLARIN ISIL VE NEM İLE İLGİLİ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILABİLECEK YAKLAŞIM İLE İLGİLİ HESAPLAMALARDA KULLANILMAK ÜZERE GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Buhar difüzyonunun, dış duvarların nem ile ilgili ve ısı performansına etkilerinin belirlenmesi amacı ile ortaya koyulan yaklaşımın, Bölüm 5.2.3.' te sıralanan hesap adımlarında kullanılmak üzere, simülasyon amaçlı bir bilgisayar programı, ISINEM2, geliştirilmiştir. ISINEM2' nin geliştirilmesinde, Z. Yılmaz tarafından hazırlanmış olan ISINEM programı [E1] esas alınmıştır. ISINEM programı, dış hava sıcaklığının, aylık ortalama günlük değerlerini ve yapma çevreye ait değişkenlerin değerlerine bağlı olarak, herhengi bir opak kabuk bileşeninin iç yüzey sıcaklığını, hacmin ortalama ışınsal sıcaklığı ve hacimde yapma enerji sistemleri kullanılmadığı durumlarda iç hava sıcaklığında meydana gelen değişimler ile kabuk içindeki sıcaklık ve buna bağlı olarak doymuş buhar basınçlarının periyodik değişimlerini hesaplayabilmektedir. Fortran dilinde yazılmış olan, söz konusu program amaca uygun olarak, geliştirilmiştir.

ISINEM2 Programı; MAIN2 isimli ana program ile HARMO2, HARMON2, ACILAR2, SICAKL2, SOLAR2 ve SABIT2 alt programlarından oluşmaktadır. HARMO2 alt programı ile, dış hava sıcaklığının, harmonik analiz yöntemi ile günlük değişim eğrisi elde edilmektedir. Dış bağıl nem oranının, harmonik analiz yöntemi ile günlük değişim eğrisinin elde edilmesinde kullanılmak üzere, HARMON2 alt programı kullanılmaktadır. ACILAR2, atmosfer dışı ışınlam, güneş doğuş-batış açısı, gün uzunluğu gibi ışınlam hesaplamalarında gerekli olan temel büyüklüklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. SOLAR2 alt programı kullanılarak, aylık ortalama günlük toplam ışınlam miktarlarına bağlı olarak istenilen yön ve eğimlerdeki yapı yüzeyini etkileyen, doğrudan, yaygın ve yansımış ışınlamın günlük değişimini hesaplanmaktadır. HARMO2, HARMON2, ACILAR2, SOLAR2, alt programları kullanılarak, dış atmosfer şartları, iklim elemanlarının günlük ve yıllık değişimleri göz önünde tutularak, gerçekçi bir şekilde simüle edilmektedir. SICAKL2 alt programı, sonlu farklar yaklaşımı ile opak duvar bileşeni içerisinde " Δx " katman parçası aralığı

[E 1] YILMAZ, Z. , İklimsel Konforun Sağlanması ve Yoğuşma Kontrolünde Optimum Performans Gösteren Yapı Kabuğunun Hacim Konumuna ve Boyutlarına Bağlı Olarak Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1983.

ve " Δt " zaman aralığı ile sıcaklıkların, doymuş buhar basınçlarının, kısmi buhar basınçlarının, buhar difüzyonu geçiş miktarları, malzeme nemlilik oranları, difüzyon direnç faktörlerinin ve bağıl nem oranlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra her " Δt " zaman aralığında malzeme nemliliğinin duvar kesitinin herhangi bir " Δx " katman parçasında, kritik malzeme nemliliğini aşıp aşmadığını kontrol ederek, kritik malzeme nemliliğini aşan nem miktarının kılcallık yolu ile komşu katman parçacıklarına taşındığını varsayarak yeni malzeme nemlilik oranlarını hesaplamaktadır. SICAKL2 ile, duvar içinde çevresel etmenlerden kaynaklanarak, meydana gelen olayların simülasyonu gerçekleştirilmektedir. SABIT2, değişik yapı malzemelerinin Tablo 7.1.'de sıralanan özelliklerini içeren bir malzeme kitaplığı içermektedir. Ayrıca bunlardan yola çıkarak, her " Δt " zaman aralığında, ortalama malzeme nemliliğine bağlı olarak değişen ısı iletkenlik katsayıları ile ısı yayılım katsayıları hesaplanmaktadır.

Programın kullanılmasında, ele alınan duvar seçeneğinin özelliklerini içeren ve çevresel etmenler ile ilgili olarak, yılın her ayı ve her ayrı meteoroloji istasyonu için ayrı bir " dışsal etmenler ve duvar tanımlama " girdi dosyası hazırlanmaktadır. Her aya ait simülasyon tamalandıktan sonra, elde edilen çıktılar aynı zamanda bir sonraki ayın girdilerini oluşturmaktadır.

Aşağıda, ISINEM2 programının dökümü verilmiştir:

I S I N E M 2

```

REAL KCAM,MCP,K,L,ICBN,MNE0,MNE50,MNE75,MNEKR,KU,MNEA,MNEB,KBB,
1 MNE
DIMENSION MM(6),SEH(3),AY(2),YON(6,2),B(12),TICYUZ(6),TEC(6)
DIMENSION TCTOP(6),TICYTO(6),TCORT(6),TICTOR(6),T(6,2000),
1 BN(6,2000),DBB(6,90),KBB(6,90),L(6,6),GUNI(24)
DIMENSION TO(6),QQ(6),QD(6),ALF(6),QC(6),SVP(6,500),TIC(6)
DIMENSION DISSI(24),DISBN(24),P(6,90),TICORT(6),TICTOP(6)
COMMON/BLOK0/UZU,GEN,YUK,FC(6),FD(6),PO(6),KSS(6),QEMC(6)
COMMON/BLOK1/MD(6),NN(6,6),BD(6,5),BID(6),BDD(6),XAD(6),XAI(6),
1 DDD(6,6)
COMMON/BLOK2/K(6,6),A(6,6),NMA(6,6),NCA,KCAM,DIF(6,6),MNE(6,90),
1 MNE0(6,6),MNE50(6,6),MNE75(6,6),MNEKR(6,6),DDF(6,90),
1 DDF0(6,6),DDF50(6,6),DDF65(6,6),DDF100(6,6),KU(6,6),
1 SUEK(6,6),AUS(6,6),BUS(6,6),DUS(6,6),CKA(6,6),
1 EFF(6,6),YOG(6,6),OZI(6,6),MNEA(6,90),MNEB(6,90)
COMMON/BLOK3/W,PI,AA(14),BB(6),CC(6),HW,SO,E,D,TG
COMMON/BLOK4/SSG,S(6),TOO(6),SIY(6),SDY(6),ALD(6),CTE(6),
1 SIG(6),TECSOL(6)
COMMON/BLOK5/XORT,X1,YORT,Y1
DATA RO,CP,HI,HD,HZ,DX,DT,BGKI/1.2,0.24,8.14,23.26,5.0,0.005,
1 7.2,2.09E-04/
DATA ALFHA,ALF/0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.0,0.5/
DATA BF/-10.0,-14.3,-9.0,0.0,3.7,0.6,-6.0,-5.8,4.6,14.0,15.4,7.2/
C
READ (5,6) SEH,ENL,BOY,DISDS,N1,N2
6 FORMAT (3A4,3F8.2,2I3)
READ (5,8) NAY,AY,TTOP, SORT,(DISSI(I),I=1,N1),
1 (DISBN(I),I=1,N2),(GUNI(I),I=1,N1)
8 FORMAT (I2,2A4,F5.1,F9.2,12F5.1,12F5.1,3F5.1,1/
1 8F7.2,8F7.2,8F7.2)

```

```

      GTOPL=0.
      DO 111 I=1,24
111  GTOPL=GTOPL+GUNI(I)
      READ (5,10) AZI,TAA,BFA,YUK,NCA,PO,ICBN,TH
      10 FORMAT (4F7.2,I2,8F5.2)
601  CONTINUE
      WRITE (6,101) SEH,AY
101  FORMAT (3A4,2A4,/)
326  WRITE (6,401)
401  FORMAT (10X,'KATMAN SAYISI,DISTAN ICE DOGRU MZ NUMARALARI',/
      1 10X,'MALZEME KALINLIKLARI',/)
      DO 13 I=1,6
      READ (5,122) KS
122  FORMAT (I2)
      READ (5,12,END=801) (YON(I,J),J=1,2),(NMA(I,J),L(I,J),J=1,KS)
      12 FORMAT (2A4,5(I2,F9.4))
      GEN=SQRT(TAA/BFA)
      UZU=GEN*BFA
      WRITE (6,11) (YON(1,J),J=1,2),KS,(NMA(1,J),L(1,J),J=1,KS)
      11 FORMAT ( 2A4,I5,5(I4,F6.4))
      KSS(I)=KS
      ALD(I)=ALF(I)
13  CONTINUE
      DO 14 I=1,6
      IF (PO(I).EQ.0.AND.KSS(I).EQ.1) GO TO 14
      IF (I.EQ.5.OR.I.EQ.6) GO TO 14
14  CONTINUE

```

```

      TSAB=0.
      SAAT=6.
      EKZA=710.
      SURE=EKZA+24.
      PI=4.*ATAN(1.)
      W=PI/12.
      RAD=PI/180.
      V=UZU*GEN*YUK
      MCP=V*RO*CP/DT*3600.
      CALL SABIT(QE,Z,SEH,AY)
      DO 30 I=1,6
      KS=KSS(I)
      BID(I)=HI*DX/K(I,KS)
      IF (I.EQ.6) BID(I)=HZ*DX/K(I,KS)
      BDD(I)=HD*DX/K(I,1)
      XAI(I)=DX/K(I,KS)*2.
      XAD(I)=DX/K(I,1)*2.
      MM(I)=0
      DO 25 M=1,KS
      NN(I,M)=L(I,M)/DX
      BD(I,M)=DX*DX/(A(I,M)*DT)
25  MM(I)=MM(I)+NN(I,M)
30  CONTINUE

```

```

      ME=NAY
      SSA=SAAT-B(ME)/60.-BOY/15.+2.
      CALL HARMO (DISSI,N1,PI,SSA)
      TDIS=X1
      WRITE (6,8888) TDIS
8888 FORMAT (F8.2)
      TORT=XORT
      CALL HARMON (DISBN,N2,PI,SSA)
      BNDIS=Y1
      BNORT=YORT
      IF (TSAB.NE.0.) TDIS=TSAB
      TDSS=TDIS
      DO 40 I=1,6
      TDIS=TDSS
      IF (PO(I).EQ.0.AND.KSS(I).EQ.1) TDIS=TH
      IF (I.EQ.5) TDIS=TH
      IF (I.EQ.6) TDIS=TH
      MD(I)=MM(I)+1
      IF (NAY.GT.1.AND.I.EQ.1) GO TO 40
      M=MD(I)
      DO 50 J=1,M
      BN(I,J)=ICBN
50  T(I,J)=TH

```

```

40 CONTINUE
  DO 73 L1=1,6
    IF (NAY.GT.1.AND.L1.EQ.1) GO TO 73
    J=1
    N=NN(L1,J)
    KS=KSS(L1)
    M=MD(L1)
    M1=M-1
    MNE(L1,1)=MNE50(L1,1)
    MNE(L1,M)=MNE50(L1,KS)
    DO 71 I=2,M1
      IF (I.LE.N) GO TO 72
      J=J+1
      N=N+NN(L1,J)
      MNEA(L1,I)=MNE50(L1,J-1)
      MNEB(L1,I)=MNE50(L1,J)
      GO TO 71
    72 MNE(L1,I)=MNE50(L1,J)
    71 CONTINUE
  73 CONTINUE
    DO 2021 L1=1,6
      IF (NAY.GT.1.AND.L1.EQ.1) GO TO 2021
      J=1
      N=NN(L1,J)+1
      M=MD(L1)
      DO 2020 I=2,M
        IF (I.LE.N) GO TO 2022
        J=J+1
        N=N+NN(L1,J)
    2022 DDF(L1,I)=DDF50(L1,J)
    2020 CONTINUE
    2021 CONTINUE
    2222 FORMAT (F9.3)
      IF (NAY.EQ.1) GO TO 2040
      MD(1)=MM(1)+1
      M=MD(1)
      READ (2,2030,END=2050) (T(1,J),J=1,M)
    2030 FORMAT (/ ,8F6.2/,8F6.2/,8F6.2/,8F6.2/,
      1      8F6.2/,8F6.2/,8F6.2)
      M=MD(1)
    2050 READ (2,2031,END=2051) (BN(1,J),J=1,M)
    2051 READ (2,2031,END=2052) (DDF(1,J),J=1,M)
      KS=KSS(1)
    2052 READ (2,2033,END=2053) (K(1,J),J=1,KS)
    2031 FORMAT (/ , 9F8.2/,9F8.2/,9F8.2/,
      1      9F8.2/,9F8.2/,9F8.2)
    2033 FORMAT (/ , 9F8.4)
    2053 CONTINUE
    909 CONTINUE
      READ (2,911) MNE(1,1)
    911 FORMAT (F8.4)
      READ (2,912)
      MNEA(1,2),MNEB(1,2)
      FORMAT (2F8.4)
      DO 913 J=3,7
        READ (2,914) MNE(1,J)
    914 FORMAT (F8.4)
    913 CONTINUE
      READ (2,912)
      MNEA(1,8),MNEB(1,8) DO 916
      J=9,34
      READ (2,917) MNE(1,J)
    917 FORMAT (F8.4)
    916 CONTINUE
      READ (2,912)
      MNEA(1,35),MNEB(1,35) DO 918
      J=36,39
      READ (2,919,END=918) MNE(1,J)
    919 FORMAT (F8.4)
    918 CONTINUE
    2040 CONTINUE
    2041 CONTINUE
      CALL ACILAR(NAY,ENL,AZI)
      HT=0.
      DO 303 I=1,6

```

OKULU İSTASYON MEHMET

```

TCTOP(I)=0.
TICYTO(I)=0.
303 TICTOP(I)=0.
TYRTOP=0.
100 SAAT=SAAT+DT/3600.
IF (SAAT.GE.24.) SAAT=0.
IF (HT.GT.SURE) GO TO 500
HT=HT+DT/3600.
H=(12.-SAAT)*15.*RAD
TI=TH
SSA=SAAT-B(ME)/60.-BOY/15.+2.
CALL HARMO (DISSI,N1,PI,SSA)
TDIS=X1
BGKD=(3.5/461.8*TDIS)*23.26
TORT=XORT
CALL HARMON (DISBN,N2,PI,SSA)
BNDIS=Y1
BNORT=YORT
IF (TSAB.NE.0.) TDIS=TSAB ISI01360
TDSS=TDIS
QQC=0.
QQD=0.
TICYT=0.
FDT=0.
TICAT=0.
FCAT=0.
CALL SOLAR (SORT,H,Z,HD,HI,GTOPL)
DO 140 I=1,6
TDIS=TDSS
IF (PO(I).EQ.0.AND.KSS(I).EQ.1) TDIS=TH
IF (I.EQ.5) TDIS=TH
IF (I.EQ.6) TDIS=TH
81 SD=SDY(I)
SI=SIY(I)
CALL SICAKL(I,TH,QKAY,SD,SI,TDIS,T,SVP,BN,DBB,DBBI,DBBD,KBB,
1 BGKI,BGKD,ICBN,BNDIS,DT,DX)
KKEP=KCAM
TEC(I)=TDIS+TECSOL(I)
IF (TECSOL(I).EQ.0.) GO TO 82
QC(I)=FC(I)*((TEC(I)-TH)*KCAM-SIG(I))
TIC(I)=(KCAM*(TEC(I)-TH)-SIG(I)+HI*TH)/HI
GO TO 83
82 QC(I)=FC(I)*((TEC(I)-TH)*KKEP-SIG(I))
TIC(I)=(KKEP*(TEC(I)-TH)-SIG(I)+HI*TH)/HI
83 BB1=HI*FD(I)
FARK1=TH-TDSS
FARK2=TH-TTOP
IF (I.EQ.5.AND.FARK1.LT.0.) BB1=HZ*FD(I)
IF (I.EQ.6.AND.FARK2.GT.0.) BB1=HZ*FD(I)
M=MD(I)
QD(I)=BB1*(T(I,M)-TH)
QQC=QQC+QC(I)
QQD=QQD+QD(I)
IF (FC(I).EQ.0.) QC(I)=0.
IF (FC(I).EQ.0.) GO TO 41
QC(I)=QC(I)/FC(I)
41 QD(I)=QD(I)/FD(I)
TICAT=TICAT+TIC(I)*FC(I)
FCAT=FCAT+FC(I)
TICYT=TICYT+T(I,M)*FD(I)
FDT=FDT+FD(I)
TICY=TICYT/FDT
TICYUZ(I)=(TIC(I)*FC(I)+T(I,M)*FD(I))/(FD(I)+FC(I))
TICYR=(TICAT+TICYT)/(FDT+FCAT)
KS=KSS(I)
BID(I)=HI*DX/K(I,KS)
IF (I.EQ.6) BID(I)=HZ*DX/K(I,KS)
BDD(I)=HD*DX/K(I,1)
XAI(I)=DX/K(I,KS)*2.
XAD(I)=DX/K(I,1)*2.
DO 255 M=1,KS
255 BD(I,M)=DX*DX/(A(I,M)*DT)
140 CONTINUE
QEK=QE*(TDIS-TH)
QSO=SSG*ALFHA

```

```

YAZ=YAZ+DT/3600.
IF (YAZ.LT.1.) GO TO 100
IF (HT.LT.EKZA) GO TO 100
SVPDIS=EXP(18.6686-4030.183/(TDSS+235.))
SVPDIS=SVPDIS*13.595
IF (TDSS.LT.0.) SVPDIS=61.6+4.51*TDSS+0.0994*TDSS**2
SVPIC=EXP(18.6686-4030.183/(TH+235.))
SVPIC=SVPIC*13.595
IF (TH.LT.0.) SVPIC=61.6+4.51*TH+0.0994*TH**2
YAZ=0.
WRITE (6,35)
35 FORMAT ('SAAT',2X,'TDIS',2X,'TIC',2X,
1'BNDIS',2X,'BNIC')
M=MD(1)
NSAAT=SAAT
WRITE (6,310)NSAAT,TDSS,TH,BNDIS,ICBN
310 FORMAT ('I6,2F6.2,2F8.4)
WRITE (6,316) (T(1,J),J=1,M)
316 FORMAT ('DISTAN ICE DOGRU SICAKLIK DEGISIMI',
1 / ,8F6.2, / ,8F6.2, / ,8F6.2,
1 / ,8F6.2, / ,8F6.2, / ,8F6.2,
1 / ,8F6.2)
M=MD(2)
M=MD(3)
DO 160 I=4,6
M=MD(I)
160 CONTINUE
DO 800 I=1,6
IF (PO(I).EQ.0.AND.KSS(I).EQ.1) GO TO 800
IF (I.EQ.5) GO TO 800
IF (I.EQ.6) GO TO 800
WRITE (6,502) (YON(I,J),J=1,2),TIC(I)
502 FORMAT ('/22X,2A4,2X,'SAYDAM KABUK BILESENIN IC YUZEY SICAKLIGI=' ISI02210
1 ,F6.2,2X,'DERECE')
WRITE (6,501) (YON(I,J),J=1,2),TICYUZ(I)
501 FORMAT ('/22X,2A4,2X,'DIS KABUK ELEMENIN IC YUZEY SICAKLIGI=',
1 F6.2,2X,'DERECE')
800 CONTINUE
DO 200 I=1,6
KS=KSS(I)
IF (PO(I).EQ.0.AND.KSS(I).EQ.1) GO TO 200
IF (I.EQ.5.OR.I.EQ.6) GO TO 200
M=MD(I)
WRITE (6,204) DBBD,DBBI,(YON(I,J),J=1,2)
WRITE (6,205) (DBB(I,J),J=1,M)
WRITE (6,206) (KBB(I,J),J=1,M)
WRITE (6,207) (BN(I,J),J=1,M)
WRITE (6,208) (DDF(I,J),J=1,M)
WRITE (6,209) (K(I,J),J=1,KS)
204 FORMAT (4X,'DBBD=',F9.2,2X,'DBBI=',F9.2,4X,2A4,/)
205 FORMAT (4X,'DOYMUS BUHAR BASINCLARI',/4X,9F8.2, /4X,9F8.2, /
1 4X,9F8.2, /4X,9F8.2, /4X,9F8.2, /4X,9F8.2, /)
206 FORMAT ('KISMI BUHAR BASINCLARI', / ,9F8.2, / ,9F8.2, /
1 ,9F8.2, / ,9F8.2, / ,9F8.2, / ,9F8.2, /)
207 FORMAT ('BAGIL NEMLILIKLER', / ,9F8.4, / ,9F8.4, /
1 ,9F8.4, / ,9F8.4, / ,9F8.4, / ,9F8.4, /)
208 FORMAT ('DIFUZYON DIRENC FAKTORLERI', / ,9F8.2, / ,9F8.2, /
1 ,9F8.2, / ,9F8.2, / ,9F8.2, / ,9F8.2, /)
209 FORMAT ('ISI ILETKENLIKLERI', / ,7F10.6, /)
WRITE (6,1551)
1551 FORMAT ('MALZEME NEMLILIKLERI', /) KS=KSS(I)
KS=1
N=NN(1,KS)
M=MD(I)
NNN=1

1661 CONTINUE
DO 1221 J=NNN,N
WRITE (6,1331) MNE(I,J)
1331 FORMAT (6F8.4)
1221 CONTINUE
J=N+1
IF (J.EQ.M) GO TO 1552
WRITE (6,1441)
MNEA(I,J),MNEB(I,J)

```

```

1441 FORMAT (2F8.4)
      NNN=NNN+NN(I,KS)+1
      KS=KS+1
      N=N+NN(I,KS)
      GO TO 1661
1552 WRITE (6,1331) MNE(I,M)
      CONTINUE
1331 FORMAT ( 10F8.4,/)
      WRITE (6,1370) QD(I)
1370 FORMAT ('BIRIM ALANDAN SAATLIK ISI AKIM MIKTARI',/,
1      'Q=',F10.6,2X,'W/M2',/)
200 CONTINUE
      IF (HT.LT.SURE) GO TO 100
500 CONTINUE
3601 CONTINUE
      GO TO 601
801 STOP
      END

```

SUBROUTINE ACILAR2(N,ENL,AZI)

```

      DIMENSION AZ(4),NGUN(12)
      COMMON/BLOK3/W,PI,AA(14),BB(6),CC(6),HW,SO,E,D,TG
      DATA NGUN/17,47,75,105,135,162,198,228,258,288,318,344/
      RAD=PI/180.
      E=ENL*RAD
      AZI=AZI+0.0000001
      AZ(1)=(AZI+180.)
      AZ(2)=AZI+90.
      AZ(3)=AZI
      AZ(4)=AZI-90.
      G=NGUN(N)
      GS=4870.8
      D=23.45*RAD*SIN(2.*PI*(284.+G)/365.)
      F=1.+0.033*COS(2.*PI*G/365.)
      GS=24.*F*GS/PI
      DO 10 I=1,4
      A=AZ(I)*RAD
      AA(I)=COS(D)*SIN(A)
      BB(I)=COS(A)*SIN(E)*COS(D)
10 CC(I)=-COS(A)*COS(E)*SIN(D)
      AA(5)=0.
      BB(5)=COS(E)*COS(D)
      CC(5)=SIN(E)*SIN(D)
      HW=ACOS(-CC(5)/BB(5))
      TG=24./PI*HW
      QO=GS*SIN(D)*SIN(E)*(HW-TAN(HW))
      SO=QO/TG/3.6
      RETURN
      END

```

SUBROUTINE SICAKL2(L,TH,QKAY,SD,SI,TD,T,SVP,BN,DBB,DBBI,DBBD,KBB,

```

1      BGKI,BGKD,ICBN,BNDIS,DT,DX)
      REAL ICBN,KBB,MNE0,MNE50,MNE75,MNEKR,KU,MNEA,MNEB,MNE,
1      KCAM,K
      DIMENSION T(6,90),TY(90),SVP(6,90),PY(90),P(6,90),SVPY(90),
1      DDFY(90),BN(6,90),TDBB(6,90),DBB(6,90),KBB(6,90),
1      BDIF(6,90),YMN(90),YMNA(90),
1      YMNB(90),DSU(6,90),ORTN(14)
      COMMON/BLOK1/MD(6),NN(6,6),BD(6,5),BID(6),BDD(6),XAD(6),XAI(6),
1      DDD(6,6)

      COMMON/BLOK2/K(6,6),A(6,6),NMA(6,6),NCA,KCAM,DIF(6,6),MNE(6,90),
1      MNE0(6,6),MNE50(6,6),MNE75(6,6),MNEKR(6,6),DDF(6,90),
1      DDF0(6,6),DDF50(6,6),DDF65(6,6),DDF100(6,6),KU(6,6),
1      SUEK(6,6),AUS(6,6),BUS(6,6),DUS(6,6),CKA(6,6),
1      EFF(6,6),YOG(6,6),OZI(6,6),MNEA(6,90),MNEB(6,90)
      COMMON/BLOK0/UZU,GEN,YUK,FC(6),FD(6),PO(6),KSS(6),QEMC(6)

      TDK=TD
      A1=XAD(L)*SD+2.*BDD(L)*TDK
      A2=BD(L,1)-2.*BDD(L)-2.
      TY(1)=(A1+A2*T(L,1)+2.*T(L,2))/BD(L,1)
2222 FORMAT (F9.3)
41 J=1

```

```

3333 FORMAT (F5.2)
  N=NN(L,J)
  M=MD(L)-1
  DO 60 I=2,M
  IF (I.LE.N) GO TO 50
  J=J+1
  N=N+NN(L,J)
  BO=(BD(L,J)+BD(L,J-1))/2.
  TY(I)=(T(L,I-1)+(BO-2.)*T(L,I)+T(L,I+1))/BO
  GO TO 60
50 TY(I)=(T(L,I-1)+(BD(L,J)-2.)*T(L,I)+T(L,I+1))/BD(L,J)
60 CONTINUE
  I=M
  M=MD(L)
  B1=XAI(L)*SI+2.*BID(L)*THK
  B2=BD(L,J)-2.*BID(L)-2.
  TY(M)=(B1+B2*T(L,M)+2.*T(L,I))/BD(L,J)
43 DO 65 I=1,M
  T(L,I)=TY(I)
  IF (PO(L).EQ.0.AND.KSS(L).EQ.1) GO TO 65
  TDBB(L,I)=T(L,I)+273.15
  DBB(L,I)=133.322*EXP(18.6686-4030.183/(T(L,I)+235.)) IF (T(L,I).LT.0.)
  DBB(L,I)=
  1 600.17+42.23*T(L,I)+0.974*T(L,I)**2
1111 FORMAT (F9.3)
  KBB(L,I)=DBB(L,I)*BN(L,I)
65 CONTINUE
  TDBBI=THK+273.15
  TDBBD=TDK+273.15 DBBI=133.322*EXP(18.6686-
4030.183/(THK+235.)) DBBD=133.322*EXP(18.6686-
4030.183/(TDK+235.)) IF (THK.LT.0.)
  DBBI=600.17+42.23*THK+0.974*THK**2 IF (TDK.LT.0.)
  DBBD=600.17+42.23*TDK+0.974*TDK**2
  IF (PO(L).EQ.0.AND.KSS(L).EQ.1) GO TO 1001
  BNDIY=BNDIS/100
  M=MD(L)
  M1=MD(L)+1 BDIF(L,M1)=BGKI*ABS(ICBN*DBBI-BN(L,M)*DBB(L,M))*(DT/3600.)
  BGKD=0.176288/TDBBD BDIF(L,1)=BGKD*ABS(BNDIY*DBBD-
  BN(L,1)*DBB(L,1))*(DT/3600.) M=MD(L)
  DO 51 I=2,M
51 BDIF(L,I)=0.675E-06*(DT/3600.)*ABS(BN(L,I)*DBB(L,I)-BN(L,I-1)
  1 *DBB(L,I-1))/(DDF(L,I)*DX)
  WRITE (6,2222) BDIF(L,I)
  WRITE (6,2222) BDIF(L,1)
  WRITE (6,2222) BDIF(L,M1)
  M=MD(L)
  KS=KSS(L)
  YMN(1)=MNE(L,1)+(BDIF(L,1)-BDIF(L,2))/(DX*0.5*999.8)
  IF ((BN(L,2)*DBB(L,2)).GT.(BN(L,1)*DBB(L,1)).AND.
  1 (BN(L,1)*DBB(L,1)).GT.(BNDIY*DBBD))
  1 YMN(1)=MNE(L,1)+(BDIF(L,2)-BDIF(L,1))/(DX*0.5*999.8)
  IF ((BN(L,2)*DBB(L,2)).GT.(BN(L,1)*DBB(L,1)).AND.
  1 (BN(L,1)*DBB(L,1)).LT.(BNDIY*DBBD))
  1 YMN(1)=MNE(L,1)+(BDIF(L,2)+BDIF(L,1))/(DX*0.5*999.8)
  IF ((BN(L,2)*DBB(L,2)).LT.(BN(L,1)*DBB(L,1)).AND.
  1 (BN(L,1)*DBB(L,1)).GT.(BNDIY*DBBD))
  1 YMN(1)=MNE(L,1)+(-BDIF(L,2)-BDIF(L,1))/(DX*0.5*999.8) MNE(L,1)=YMN(1)
  YMN(M)=MNE(L,M)+(BDIF(L,M1)-BDIF(L,M))/(DX*0.5*999.8)
  IF ((ICBN*DBBI).LT.(BN(L,M)*DBB(L,M)).AND.(BN(L,M)*DBB(L,M)).LT.
  1 (BN(L,M-1)*DBB(L,M-1)))
  1 YMN(M)=MNE(L,M)+(BDIF(L,M)-BDIF(L,M1))/(DX*0.5*999.8)
  IF ((ICBN*DBBI).GT.(BN(L,M)*DBB(L,M)).AND.(BN(L,M)*DBB(L,M)).LT.
  1 (BN(L,M-1)*DBB(L,M-1)))
  1 YMN(M)=MNE(L,M)+(BDIF(L,M)+BDIF(L,M1))/(DX*0.5*999.8)
  IF ((ICBN*DBBI).LT.(BN(L,M)*DBB(L,M)).AND.(BN(L,M)*DBB(L,M)).GT.
  1 (BN(L,M-1)*DBB(L,M-1)))
  1 YMN(M)=MNE(L,M)+(-BDIF(L,M)-BDIF(L,M1))/(DX*0.5*999.8) MNE(L,M)=YMN(M)
  J=1
  N=NN(L,J)
  M=MD(L)-1
  DO 61 I=2,M
  IF (I.LE.N) GO TO 62
  J=J+1
  N=N+NN(L,J)
  DFA=EFF(L,J-1)

```

```

DFB=EFF(L,J)
AAA=DFA/(0.5*DX*999.8)
BBB=DFB/(0.5*DX*999.8)
IF ((BN(L,I+1)*DBB(L,I+1)).GE.(BN(L,I)*DBB(L,I)).AND.
1 (BN(L,I)*DBB(L,I)).GE.(BN(L,I-1)*DBB(L,I-1))) GO TO 701
IF ((BN(L,I+1)*DBB(L,I+1)).LT.(BN(L,I)*DBB(L,I)).AND.
1 (BN(L,I)*DBB(L,I)).LT.(BN(L,I-1)*DBB(L,I-1))) GO TO 702
IF ((BN(L,I+1)*DBB(L,I+1)).GT.(BN(L,I)*DBB(L,I)).AND.
1 (BN(L,I)*DBB(L,I)).LT.(BN(L,I-1)*DBB(L,I-1))) GO TO 703
IF ((BN(L,I+1)*DBB(L,I+1)).LT.(BN(L,I)*DBB(L,I)).AND.
1 (BN(L,I)*DBB(L,I)).GT.(BN(L,I-1)*DBB(L,I-1))) GO TO 704
701 DELA=(DFA*(MNEO(L,J-1)-MNEA(L,I))-DFB*(MNEO(L,J)-(BDIF(L,I+1)-
1 BDIF(L,I))/(0.5*DX*999.8)-MNEB(L,I)))/(AAA+BBB) DELB=(BDIF(L,I+1)-BDIF(L,I))-DELA
GO TO 705
702 DELA=(DFA*(MNEO(L,J-1)-MNEA(L,I))-DFB*(MNEO(L,J)-(BDIF(L,I+1)+
1 BDIF(L,I))/(0.5*DX*999.8)-MNEB(L,I)))/(AAA+BBB) DELB=(BDIF(L,I)-BDIF(L,I+1))-DELA
GO TO 705
703 DELA=(DFA*(MNEO(L,J-1)-MNEA(L,I))-DFB*(MNEO(L,J)-(BDIF(L,I+1)+
1 BDIF(L,I))/(0.5*DX*999.8)-MNEB(L,I)))/(AAA+BBB) DELB=(BDIF(L,I+1)+BDIF(L,I))-DELA
GO TO 705
704 DELA=(DFA*(MNEO(L,J-1)-MNEA(L,I))-DFB*(MNEO(L,J)-(BDIF(L,I+1)-
1 BDIF(L,I))/(0.5*DX*999.8)-MNEB(L,I)))/(AAA+BBB) DELB=(-BDIF(L,I+1)-BDIF(L,I))+DELA
705 CONTINUE
YMNA(I)=MNEA(L,I)+DELA/(0.5*DX*999.8) YMNB(I)=MNEB(L,I)+DELB/(0.5*DX*999.8)
IF (YMNA(I).LE.MNEKR(L,J-1).AND.YMNB(I).LE.MNEKR(L,J)) GO TO 61
IF (YMNA(I).GT.MNEKR(L,J-1).AND.YMNB(I).LE.MNEKR(L,J)) GO TO 222
IF (YMNA(I).LE.MNEKR(L,J-1).AND.YMNB(I).GT.MNEKR(L,J)) GO TO 333
IF (YMNA(I).GT.MNEKR(L,J-1).AND.YMNB(I).GT.MNEKR(L,J)) GO TO 444
222 SU=YMNA(I)*0.5*DX*999.8
SUKR=MNEKR(L,J-1)*0.5*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
DSU(L,I)=SUEK(L,J)*FAZLA/(SUEK(L,J)+SUEK(L,J-1))
DSU(L,I-1)=SUEK(L,J-1)*FAZLA/(SUEK(L,J)+SUEK(L,J-1))
YMN(I-1)=DSU(L,I-1)/(DX*999.8)+YMN(I-1)
YMNA(I)=MNEKR(L,J-1)
YMNB(I)=DSU(L,I)/(0.5*DX*999.8)+YMNB(I)
GO TO 555
333 SU=YMNB(I)*0.5*DX*999.8
SUKR=MNEKR(L,J)*0.5*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
DSU(L,I)=SUEK(L,J-1)*FAZLA/(SUEK(L,J)+SUEK(L,J-1))
DSU(L,I+1)=SUEK(L,J)*FAZLA/(SUEK(L,J)+SUEK(L,J-1))
YMN(I+1)=DSU(L,I+1)/(DX*999.8)+YMN(I+1)
YMNA(I)=DSU(L,I)/(0.5*DX*999.8)+YMNA(I)
YMNB(I)=MNEKR(L,J)
GO TO 555
444 SU=YMNA(I)*0.5*DX*999.8
SUKR=MNEKR(L,J-1)*0.5*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
YMN(I-1)=FAZLA/(DX*999.8)+YMN(I-1)
YMNA(I)=MNEKR(L,J-1)
SU=YMNB(I)*0.5*DX*999.8
SUKR=MNEKR(L,J)*0.5*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
YMN(I+1)=FAZLA/(DX*999.8)+YMN(I+1)
YMNB(I)=MNEKR(L,J)
555 IF (YMNB(I).GT.MNEKR(L,J)) GO TO 666
IF (YMN(I-1).GT.MNEKR(L,J-1)) GO TO 777
IF (YMN(I+1).GT.MNEKR(L,J)) GO TO 888
IF (YMNA(I).GT.MNEKR(L,J-1)) GO TO 999
IF (YMN(I+2).GT.MNEKR(L,J)) GO TO 998
IF (YMN(I-2).GT.MNEKR(L,J-1)) GO TO 997
IF (YMNB(I).LE.MNEKR(L,J)) GO TO 61
IF (YMN(I-1).LE.MNEKR(L,J-1)) GO TO 61
IF (YMN(I+1).LE.MNEKR(L,J)) GO TO 61
IF (YMNA(I).LE.MNEKR(L,J-1)) GO TO 61
IF (YMN(I+2).LE.MNEKR(L,J)) GO TO 61
IF (YMN(I-2).LE.MNEKR(L,J-1)) GO TO 61
666 SU=YMNB(I)*0.5*DX*999.8
SUKR=MNEKR(L,J)*0.5*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
YMNB(I)=MNEKR(L,J)
YMN(I+1)=FAZLA/(DX*999.8)+YMN(I+1)
GO TO 555
777 SU=YMN(I-1)*DX*999.8

```

```

SUKR=MNEKR(L,J-1)*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
YMN(I-1)=MNEKR(L,J-1)
YMN(I-2)=FAZLA/(DX*999.8)+YMN(I-2)
GO TO 555
888 SU=YMN(I+1)*DX*999.8
SUKR=MNEKR(L,J)*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
YMN(I+1)=MNEKR(L,J)
YMN(I+2)=FAZLA/(DX*999.8)+YMN(I+2)
GO TO 555
999 SU=YMNA(I)*0.5*DX*999.8
SUKR=MNEKR(L,J-1)*0.5*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
YMNA(I)=MNEKR(L,J-1)
YMN(I-1)=FAZLA/(DX*999.8)+YMN(I-1)
GO TO 555
998 SU=YMN(I+2)*DX*999.8
SUKR=MNEKR(L,J)*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
YMN(I+2)=MNEKR(L,J)
YMN(I+3)=FAZLA/(DX*999.8)+YMN(I+3)
GO TO 555
997 SU=YMN(I-2)*DX*999.8
SUKR=MNEKR(L,J-1)*DX*999.8
FAZLA=SU-SUKR
YMN(I-2)=MNEKR(L,J-1)
YMN(I-3)=FAZLA/(DX*999.8)+YMN(I-3)
GO TO 555
62 YMN(I)=MNE(L,I)+(BDIF(L,I+1)-BDIF(L,I))/(DX*999.8)
IF ((BN(L,I+1)*DBB(L,I+1)).LT.(BN(L,I)*DBB(L,I)).AND.
1 (BN(L,I)*DBB(L,I)).LT.(BN(L,I-1)*DBB(L,I-1)))
1 YMN(I)=MNE(L,I)+(BDIF(L,I)-BDIF(L,I+1))/(DX*999.8)
IF ((BN(L,I+1)*DBB(L,I+1)).GT.(BN(L,I)*DBB(L,I)).AND.
1 (BN(L,I)*DBB(L,I)).LT.(BN(L,I-1)*DBB(L,I-1)))
1 YMN(I)=MNE(L,I)+(BDIF(L,I)+BDIF(L,I+1))/(DX*999.8)
IF ((BN(L,I+1)*DBB(L,I+1)).LT.(BN(L,I)*DBB(L,I)).AND.
1 (BN(L,I)*DBB(L,I)).GT.(BN(L,I-1)*DBB(L,I-1)))
1 YMN(I)=MNE(L,I)+(-BDIF(L,I)-BDIF(L,I+1))/(DX*999.8)
MNE(L,I)=YMN(I)
61 CONTINUE
M=MD(L)
KS=KSS(L) BN(L,1)=(1-EXP((-1.386294)*(MNE0(L,J)-
MNE(L,1)))/
1 (MNE0(L,J)-MNE75(L,J))) BN(L,M)=(1-EXP((-
1.386294)*(MNE0(L,J)-MNE(L,M)))/
1 (MNE0(L,J)-MNE75(L,J)))
M=MD(L)-1
J=1
N=NN(L,J)
DO 64 I=2,M
IF (I.LE.N) GO TO 644
J=J+1
N=N+NN(L,J)
MNEA(L,I)=YMNA(I)
MNEB(L,I)=YMNBI(I)
BUY=YMNA(I)
IF (YMNBI(I).GT.YMNA(I)) BUY=YMNBI(I)
BUY0=MNE0(L,J-1)
IF (YMNBI(I).GT.YMNA(I)) BUY0=MNE0(L,J)
BUY75=MNE75(L,J-1)
IF (YMNBI(I).GT.YMNA(I)) BUY75=MNE75(L,J)
BN(L,I)=(1-EXP((-1.386294)*(BUY0-BUY)/(BUY0-BUY75)))
GO TO 64
644 BN(L,I)=(1-EXP((-1.386294)*(MNE0(L,J)-MNE(L,I)))/
1 (MNE0(L,J)-MNE75(L,J)))
64 CONTINUE
J=1
N=NN(L,J)+1
M=MD(L)
DO 1010 I=2,M
IF (I.LE.N) GO TO 1011
J=J+1
N=N+NN(L,J)
1011 DDFY(I)=DDF0(L,J)-AUS(L,J)*((BN(L,I)+BN(L,I-1))/2)**BUS(L,J)

```

```

      DDF(L,I)=DDFY(I)
1010 CONTINUE
      M=1
      N=1
      KS=KSS(L)
      DO 645 J=1,KS
      N=N+NN(L,J)
      TOPL=0
      DO 646 I=M,N
      IF (J.EQ.1.AND.I.EQ.N) MNE(L,I)=MNEA(L,I)
      IF (J.GT.1.AND.I.EQ.M) MNE(L,I)=MNEB(L,I)
      IF (J.EQ.KS.AND.I.EQ.N) GO TO 646
      IF (J.GT.1.AND.I.EQ.N) MNE(L,I)=MNEA(L,I)
646  TOPL=TOPL+MNE(L,I)
      ORTN(J)=TOPL/N
      M=N
      IF (NMA(L,J).EQ.7) GO TO 647
      K(L,J)=KU(L,J)*(1+ORTN(J)*DUS(L,J))
      GO TO 648
647  K(L,J)=4.8892E-5*ORTN(J)**2+5.8750E-4*ORTN(J)+3.6795E-2
648  A(L,J)=K(L,J)/(YOG(L,J)*OZI(L,J))
645  CONTINUE
1001 RETURN
      END

```

SUBROUTINE SOLAR2(SORT,H,Z,HD,HI,GTOPL)

```

      REAL KD,KT,KCAM
      DIMENSION SG(6),R(6)
      COMMON/BLOK0/UZU,GEN,YUK,FC(6),FD(6),PO(6),KSS(6),QEMC(6)
      COMMON/BLOK2/K(6,6),A(6,6),NMA(6,6),NCA,KCAM,DIF(6,6),MNE(6,90),
1      DDF0(6,6),DDF50(6,6),DDF65(6,6),DDF100(6,6),KU(6,6),
1      SUEK(6,6),AUS(6,6),BUS(6,6),DUS(6,6),CKA(6,6),
1      EFF(6,6),YOG(6,6),OZI(6,6),MNEA(6,90),MNEB(6,90)
      COMMON/BLOK3/W,PI,AA(14),BB(6),CC(6),HW,SO,E,D,TG
      COMMON/BLOK4/SSG,S(6),TOO(6),SIY(6),SDY(6),ALD(6),CTE(6),
1      SIG(6),TECSOL(6)
      SORT=GTOPL/TG
      RAD=PI/180.
      ALFA=0.4ISI03210
      ALFS=6.2ISI03220
      IF (ABS(H).GT.HW) GO TO 50
      CTZ=COS(E)*COS(D)*COS(H)+SIN(E)*SIN(D)
      RD=PI/24.*CTZ/(COS(E)*COS(D)*SIN(HW)+HW*SIN(E)*SIN(D))
      DO 10 I=1,5
      IF (PO(I).EQ.0.AND.KSS(I).EQ.1) GO TO 24
      IF (I.EQ.5) GO TO 24
      CTE(I)=AA(I)*SIN(H)+BB(I)*COS(H)+CC(I)
      IF (CTE(I).LT.0.) CTE(I)=0.
      R(I)=CTE(I)/CTZ
      EN=1.526ISI03320
      TE1=ACOS(CTE(I))
      TE2=ASIN(SIN(TE1)/EN)
      RSA=SIN(TE2+TE1)
      RSE=SIN(TE2-TE1)
      RTA=TAN(TE2+TE1)
      RTE=TAN(TE2-TE1)
      RO=(RSE**2/RSA**2+RTE**2/RTA**2)/2.
      TEY1=60.*RAD
      TEY2=ASIN(SIN(TEY1)/EN)
      RSAY=SIN(TEY2+TEY1)
      RSEY=SIN(TEY2-TEY1)
      RTAY=TAN(TEY2+TEY1)
      RTEY=TAN(TEY2-TEY1)
      ROY=(RSEY**2/RSAY**2+RTEY**2/RTAY**2)/2.
      EK=-0.12 ISI03470
      UN=EK/SQRT(1.-SIN(TE1)**2/EN**2)
      UNY=EK/SQRT(1.-SIN(60.*RAD)**2/EN**2)
      GI=EXP(UN)
      GIY=EXP(UNY)
      TO=((1.-RO)**2*GI)/(1.-RO**2*GI**2)
      TOD=((1.-ROY)**2*GIY)/(1.-ROY**2*GIY**2)
      TOO(I)=TO
      ACD=1.-RO-(((1.-RO)**2*GI)/(1.-RO*GI))
      ACY=1.-ROY-(((1.-ROY)**2*GIY)/(1.-ROY*GIY))

```

```

AID=0.
AIY=0.
IF (Z.EQ.1.) GO TO 201
RCD=RO+((RO*GI**2*(1.-RO)**2)/(1.-RO**2*GI**2))
RCY=ROY+((ROY*GIY**2*(1.-ROY)**2)/(1.-ROY**2*GIY**2))
TO=TO*TO/(1.-RCD*RCD)
TOD=TOD*TOD/(1.-RCY*RCY)
TOO(I)=TO
ACD=1.-TO-(RCD+(TO**2*RCD)/(1.-RCD**2))
ACY=1.-TOD-(RCY+(TOD**2*RCY)/(1.-RCY**2))
AID=TO*((1.-(TO+RCD))/(1.-RCD**2))
AIY=TOD*((1.-(TOD+RCY))/(1.-RCY**2))
201 SS=SORT*PI/2.*COS(PI/2.*H/HW)
KT=SORT/SO
KD=1.-1.13*KT
HTOP=SORT*TG
SYG=HTOP*KD
SY=RD*SYG
SD=SS-SY
SS=SS*0.86
SD=SD*0.86
SY=SY*0.86
S(I)=SD*R(I)+SY/2.+0.2*SS/2.
IF (I.EQ.5) S(I)=SS
SG(I)=SD*R(I)*TO+(SY/2.+0.2*SS/2.)*TOD
SIG(I)=SG(I) ISI03820
QEMC(I)=(ACD*SD*R(I)+ACY*(SY/2.+0.2*SS/2.))/(1.+HD/HI)
TECSOL(I)=SD*R(I)*(TO/KCAM+ACD/HD+AID/ALFS)+
1 (SY/2.+0.2*SS/2.)*(TOD/KCAM+ACY/HD+AIY/ALFS)
SG(I)=SG(I)*FC(I)
IF (I.EQ.5) ALFA=0.70
SDY(I)=ALFA*S(I)
GO TO 10
24 TOO(I)=0.
S(I)=0.
QEMC(I)=0.
SG(I)=0.
SDY(I)=0.
SIG(I)=0.
TECSOL(I)=0.
10 CONTINUE
SDY(6)=0.
SSG=0.
DO 30 I=1,4
30 SSG=SSG+SG(I)
DO 40 I=1,6
40 SIY(I)=ALD(I)*SSG/FD(I)
GO TO 70
50 CONTINUE
DO 60 I=1,6
TOO(I)=0.
S(I)=0.
SIY(I)=0.
SDY(I)=0.
QEMC(I)=0.
TECSOL(I)=0.
SIG(I)=0.
60 SG(I)=0.
SSG=0.
70 CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE SABIT2(QE,Z,SEH,AY)

```

REAL KCAM,K,KK,KC,LP,KKK,MN0,MN50,MN75,MNKR,MNE0,MNE50,MNE75,
1 MNEKR,KU
DIMENSION AA(9),KK(9),KC(4),AE(4),LP(6),SEH(3),AY(2),DIFF(9),
1 KKK(9),MN0(9),MN50(9),MN75(9),MNKR(9),DF0(9),
1 DF50(9),DF65(9),DF100(9),SUE(9),DU(9),EF(9),
1 CK(9),YO(9),OZ(9)
COMMON/BLOK0/J,G,Y,FC(6),FD(6),PO(6),KSS(6),QEMC(6)
COMMON/BLOK2/K(6,6),A(6,6),NMA(6,6),NCA,KCAM,DIF(6,6),MNE(6,90)
1 MNE0(6,6),MNE50(6,6),MNE75(6,6),MNEKR(6,6),DDF(6,90),
1 DDF0(6,6),DDF50(6,6),DDF65(6,6),DDF100(6,6),

```

```

1  KU(6,6),SUEK(6,6),AUS(6,6),BUS(6,6),DUS(6,6),
1  CKA(6,6),EFF(6,6),YOG(6,6),OZI(6,6),MNEA(6,90),
1  MNEB(6,90)
DATA AA/7.77E-07,3.23E-07,4.47E-07,4.08E-07,4.13E-07,8.57E-07,
1 16.44E-07,5.24E-07,2.38E-07/
DATA YO/2400.,500.,900.,1600.,1800.,50.,15.,1000.,900./
DATA OZ/960.,1050.,920.,920.,1050.,840.,1500.,1050.,840./
DATA KK/1.79,0.17,0.37,0.60,0.78,0.036,0.037,0.55,0.18/
DATA KKK/1.49,0.14,0.36,0.58,0.62,0.036,0.033,0.5,0.17/
DATA MN0/0.01,0.008,0.001,0.001,0.01,0.004,0.0,0.0,0.001/
DATA MN50/0.02,0.016,0.002,0.0015,0.025,0.006,0.001,0.01,0.003/
DATA MN75/0.03,0.024,0.003,0.002,0.04,0.008,0.002,0.02,0.005/
DATA MNKR/0.09,0.18,0.25,0.10,0.12,0.10,0.10,0.10,0.35/
DATA DF0/150.,11.,6.,20.,18.,1.,20.,11.,13./
DATA DF50/93.,8.7,4.7,19.2,17.8,0.99,19.8,10.3,11.6/
DATA DF65/70.,7.,4.,18.,17.,0.99,19.,10.,10./
DATA DF100/10.,1.,2.,10.,4.,0.99,5.,9.,3./
DATA SUE/1.,7.,8.,5.,3.,0.01,0.01,0.4,70./
DATA DU/10.,12.,12.5,20.,10.,2.,2.,10.,12.5/
DATA EF/63.,87.,693.,1386.,46.,347.,693.,69.,347./
DATA CK/1.,1.,1.,1.,1.,1.,1.,1.,1./
DATA KC/4.5,2.8,5.0,3.4/
DATA AE/3.0,2.5,1.5,1.5/
DO 10 I=1,6
IF (I.GT.4) GO TO 15
FD(I)=U*Y
IF (I.EQ.2.OR.I.EQ.4) FD(I)=G*Y
FC(I)=FD(I)*PO(I)
FD(I)=FD(I)-FC(I)
GO TO 10
15 FD(I)=U*G
FC(I)=0.
10 CONTINUE
KCAM=KC(NCA)
AL=0.
DO 30 I=1,6
KS=KSS(I)
DO 20 J=1,KS
M=NMA(I,J)
A(I,J)=AA(M)
K(I,J)=KK(M)
KU(I,J)=KKK(M)
YOG(I,J)=YO(M)
OZI(I,J)=OZ(M)
MNE0(I,J)=MNE0(M)
MNE50(I,J)=MNE50(M)
MNE75(I,J)=MNE75(M)
MNEKR(I,J)=MNEKR(M)
DDF0(I,J)=DDF0(M)
DDF50(I,J)=DDF50(M)
DDF65(I,J)=DDF65(M)
DDF100(I,J)=DDF100(M)
SUEK(I,J)=SUE(M)
AUS(I,J)=DDF0(I,J)-DDF100(I,J) BUS(I,J)=(1./ALOG(0.65))*ALOG((DDF0(I,J)-DDF65(I,J))/
1  (DDF0(I,J)-DDF100(I,J)))
DUS(I,J)=DU(M)
CKA(I,J)=CK(M)
EFF(I,J)=EF(M)
20 CONTINUE
IF (FC(I).EQ.0.) GO TO 23
CU=FC(I)/1.5
CY=CU+1.
LP(I)=CY*1.5+2.*CU
GO TO 26
23 LP(I)=0.
26 AL=AL+AE(NCA)*LP(I)
30 CONTINUE
QE=1.28*AL
Z=1.
IF (NCA.EQ.2.OR.NCA.EQ.4) Z=2.
RETURN
END

```

SUBROUTINE HARMO2(X,N1,PI,SSA)

```

COMMON/BLOK5/XORT,X1,YORT,Y1
DIMENSION X(24),A(12),D(12),V(12),C(12),TD(24),B(12)
DELT=1.0
TSTOR=X(1)
DO 3 JH=2,N1
3 TSTOR=TSTOR+X(JH)
XORT=TSTOR/FLOAT(N1)
P=N1*DELT
KH=6
S=2.*PI/P
X1=XORT
DO 5 I=1,KH
SS=0.
TSTOR1=X(1)*SIN(SS)
TSTOR2=X(1)*COS(SS)
DO 6 M=2,N1
SS=S*I*(M-1)
TSTOR1=TSTOR1+X(M)*SIN(SS)
6 TSTOR2=TSTOR2+X(M)*COS(SS)
A(I)=2./FLOAT(N1)*TSTOR1
D(I)=2./FLOAT(N1)*TSTOR2
V(I)=A(I)**2+D(I)**2
C(I)=SQRT(V(I))
AA=ABS(A(I))
BB=ABS(D(I))
ACI=ATAN2(AA,BB)
IF (A(I).LT.0.) GO TO 10
IF (D(I).LT.0.) GO TO 11
GO TO 7
11 ACI=6.283185-ACI
GO TO 7
10 IF (D(I).LT.0.) GO TO 12
ACI=3.141593-ACI
GO TO 7
12 ACI=ACI+3.141593
7 CONTINUE
SS=S*I*SSA
X1=X1+C(I)*SIN(SS+ACI)
5 CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE HARMON2 (Y,N2,PI,SSA)

```

COMMON/BLOK5/XORT,X1,YORT,Y1
DIMENSION A(12),D(12),V(12),C(12),B(12),Y(3)
DELT=1.0
TSTOR=Y(1)
DO 3 JH=2,N2
3 TSTOR=TSTOR+Y(JH)
YORT=TSTOR/FLOAT(N2)
S=2.*PI/24
I=1
YFARK1=Y(1)-YORT
YFARK2=Y(2)-YORT
YFARK3=Y(3)-YORT
SC07=7*S*I
SC14=14*S*I
SC21=21*S*I
TS71= YFARK1*SIN(SC07)
TS72= YFARK1*COS(SC07)
TS141= YFARK2*SIN(SC1)
TS142= YFARK2*COS(SC14)
TS211= YFARK3*SIN(SC21)
TS212= YFARK3*COS(SC21)
TSTOR1=TS71+TS141+TS211
TSTOR2=TS72+TS142+TS212
A(I)=2./FLOAT(N2)*TSTOR1
D(I)=2./FLOAT(N2)*TSTOR2
SS=S*I*SSA
SS1=A(I)*SIN(SS)
SS2=D(I)*COS(SS)
Y1=YORT+SS1+SS2
RETURN
END

```

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : M. Cem ALTUN

Baba Adı : Orhan

Uyruğu : T.C.

Doğum Yeri ve Yılı : Paşabahçe, İstanbul, 1.5.1965

Askerlik Hizmeti : Kısa dönem, 14.10.1992-14.12.1992

Yabancı Dil : Almanca, İngilizce

İlk Öğrenim : Neuburg a.d. Donau, Almanya, Schwalbanger G., (1971-1974), Gölcük, Kocaeli, Pirireis İlkokulu (1974-1975)

Orta Öğrenim : İstanbul, Sankt Georg Avusturya Erkek Lisesi, (1975-1982)

Yüksek Öğrenim : İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, (1982-1986)

Yüksek Lisans : İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık-Şehircilik Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı'nda , "Soğuk Hava Depoları" adlı tez, (Haziran 1988)

Mesleki Faaliyet : İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi, (1987)