

172218

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SUYUN YAPI HASARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE
HASARLARIN GİDERİLME YOLLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Tuğba Gülfem BANK
(502031719)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2006**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Necdet TORUNBALCI (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Fevziye AKÖZ (Y.T.Ü)

Hygundur
Arç. Gr. Özlem KANDEMİR
Og

OCAK 2006

İÇİNDEKİLER	iii
ÖNSÖZ	vii
KISALTMALAR	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. MALZEMELERİN YAPILARI ve ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Malzemelerin İç Yapı Özellikleri	3
2.1.1. Atomların Yapısı	4
2.1.2. Atomlar Arası Bağlar	5
2.2. Malzemelerin Fiziksel Özellikleri	7
2.2.1. Birim Hacim Ağırlık – Yoğunluk	7
2.2.2. Katı – Sıvı – Gaz Özellikleri	8
2.2.3. Su ile İlgili Özellikler	8
2.2.3.1. Su Emme	9
2.2.3.2. Islatma Açısı	10
2.2.3.3. Kılcallık	10
2.2.3.4. Buhar Geçirimsizliği	11
2.2.3.5. Şişme ve Büzülme	12
2.2.3.6. Dona Dayanıklılık	13
2.2.3.7. Gözenek Yapısı (Porozite – Komposite)	13
2.3. Yapı Malzemelerinin Nem İle İlgili Özellikleri ve Nem Karşısında Bozulmaları	14
2.3.1. Doğal Taşlar	14
2.3.1.1. Su ve Nem İle İlgili Özellikleri	15
2.3.1.2. Doğal Taşlarda Bozulmalar	15
2.3.2. Gözenekli Yapı Malzemeleri	16
2.3.2.1. Alçı, Kireç, Çimento, Puzolanlar, Harç ve Betonun Su ve Nem İle İlgili Özellikleri	18
2.3.2.2. Pişmiş Toprak Yapı Malzemeleri Su ve Nem İle İlgili Özellikleri	20
2.3.3. Ahşap	20
2.3.3.1. Su ve Nem İle İlgili Özellikleri	21
2.3.3.2. Yapı Ahşabında Çürüme	21

3. YAPIDAKİ SU KAYNAĞININ TANIMI	24
3.1. Suyun Yapıya Gelişi	26
3.2. Suyun Yapıdaki Hareketi	26
3.3. Suyun Yapıda Depolanması	27
3.3.1. Nemliliğin Nedenleri	27
3.3.2. Yeraltından Yükselen Nemin Özelliği	28
3.3.3. Nemin Ölçülmesi	30
3.3.4. Duvarı Oluşturan Malzemelerin Nem İle İlgili Özellikleri	33
4. SUYUN YAPI HASARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	37
4.1 Nemin Duvarlarda Yükselişi	37
4.1.1 Kılcallık Olayı	38
4.1.2 Zemindeki Kılcallık	41
4.2 Yoğuşmanın Özellikleri	42
4.2.1 Bahar – Yaz Yoğuşması	43
4.2.2 Kış Yoğuşması	48
4.2.3 Zeminden Yükselen Nemin Neden Olduğu Yoğuşması	50
4.2.4 Hatalı Peyzaj Mimarisinden Kaynaklanan Hasarlar	53
4.3. Duvarlarda Çiçeklenme	54
4.4. Nemli Duvarlar	55
4.4.1. Su Emicilik Özelliğinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar	56
4.4.2. Buhar Emicilik Özelliğinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar	57
4.4.3. Donma Mukavemet Özelliğinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar	58
4.5. Çok Fazla Nemle Oluşan Sağlıksız Mekanlar	59
5. YAPI MALZEMELERİ ÜZERİNDE YAPILAN SU İLE İLGİLİ LABORATUAR TESTLERİ	65
5.1. Deneysel Prosedürler	65
5.2. Yapı Malzemelerinde Su Emme Deneyi	66
5.3. Yapı Malzemelerinde Kılcallık Deneyi	67
5.4. Nemli Malzemelerde Buharlaşma, Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı Tayini Deneyi	69
6. YAPIDAKİ SUYA KARŞI ESKİ VE YENİ KORUNMA PRENSİPLERİ	71
6.1. Kesit Azalışı, Koch Metodu	71
6.2. Tüm Duvar Kesiti Boyunca Nemin Önlenmesi, Massari Mekanik Metodu	73
6.3. Reçine İle Kılcal Durdurma	73
6.4. Geleneksel Tedavi Yöntemi; Çevresel Hendek	75
6.5. Pseudoscientific Yöntem; Knapen Sifonları	76
6.6. Elektro-osmos İle Kuru Duvarlar	78
6.7. Hava Tabakalı Dış Duvarlar	80
6.8. Yoğuşmaya Karşı Önlemler	83
6.9. Yeraltı – Zemin Drenajı	94
6.10. Bohçalama	98
6.11. Isıtma ve Havalandırma	100
6.11.1. Doğal Havalandırma	101

6.11.2. Yapay Havalandırma	105
7. DENEYSEL ÇALIŞMA	108
7.1. Deneysel Çalışmanın Programlanması	108
7.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler	108
7.2.1. Çimento	109
7.2.2. Kum	109
7.2.3. Kireç	111
7.2.4. Tuğla	112
7.2.5. Katkı Maddeleri	116
7.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar	117
7.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Örneklerin Üretilmesi	117
7.4.1. Tuğla Duvar Numunelerinin Üretimi	118
7.4.2. Dayanım Testi İçin Harç Numunesi Üretimi	120
7.4.3. Buhar Geçirimsizlik Testi Harç Numunesi Üretimi	120
7.4.4. Aderans Testi İçin Harç Numunesi Üretimi	120
7.5. Deneyler	121
7.5.1. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Mekanik Deneyler	121
7.5.1.1. Eğilmede Çekme Tayini Deneyi	121
7.5.1.2. Basınç Deneyi	124
7.5.1.3. Aderans Deneyi	127
7.5.2. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Fiziksel Deneyler	129
7.5.2.1. Buhar Geçirimsizlik Deneyi	129
7.5.3. Tuğla Duvar Numuneleri ve Harç Üzerinde Yapılan Kılcallık Deneyleri	132
8. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve İRDELENMESİ	149
8.1. Deneylerin Değerlendirilmesi	149
8.1.1. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Mekanik Deneylerin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	149
8.1.1.1 Eğilmede Çekme Dayanımının Değerlendirilmesi	150
8.1.1.2 Basınç Dayanımının Değerlendirilmesi	151
8.1.1.3 Aderans Deneyinin Değerlendirilmesi	153
8.1.2. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Fiziksel Deneylerin Değerlendirilmesi	156
8.1.2.1. Buhar Geçirimsizlik Deneyinin Değerlendirilmesi	156
8.1.3. Kılcallık Deneylerinin Değerlendirilmesi	157
8.1.3.1. Tuğlalar Üzerinde Yapılan Kılcallık Deneylerinin Değerlendirilmesi	157
8.1.3.2. Harçların Kılcallık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	158
8.1.3.3. Tuğla Duvar Numuneleri Üzerinde Yapılan Kılcallık Deneylerinin Değerlendirilmesi	159
9. SONUÇLAR	162

KAYNAKLAR

166

ÖZGEÇMİŞ

169



ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek Lisans eğitim sürecim boyunca mimari vizyonumun oluşmasında büyük bir paya sahip olan, yıllardır yaptığı akademik çalışmalardan elde ettiği bilgi birikimini ve tecrübelerini benimle paylaşan ve yol gösteren, bu tez çalışmamda da bana sistemli bir yol çizerek bu eseri ortaya çıkarmamı sağlayan kıymetli hocam Doç. Dr. Mustafa E. KARAGÜLER'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi malzeme laboratuvarında yıllarca emek vermiş ve bu çalışmam sırasında bana yardımlarını esirgemeyen teknisyen İbrahim ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Malzemelerimi temin etmemi sağlayan KAYALAR İNŞ. TİC. ve SAN. A.Ş.'ye teşekkür ederim

Bu tez çalışmam boyunca bana maddi, manevi elinden gelen her türlü desteği veren ve beni her zaman başarı için destekleyen değerli eşim Talip KAYA'ya çok teşekkür ederim.

Beni her zaman ideallerim peşinde koşmaya teşvik eden ve hiçbir şey esirgemedi bana destek olan, hayattaki başarı için eğitimime verdikleri önem ve gösterdikleri titizlik için babam İsmet BANK'a, annem Aslı BANK'a, her zaman birikimine başvurduğum evdeki hocam abim Yük. İnşaat Müh. Tolga BANK'a, ablalarım Uz. Dr. Müjgan MİHMANLI ve Uz. Dr. Şenay AKYILDIZ'a çok teşekkür ederim.

ŞUBAT 2006

T. GÜLFEM BANK

KISALTMALAR

m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
kg	: Kilogram
gr	: Gram
kgf	: Kilogram kuvvet
cm²	: Santimetre kare
cm³	: Santimetre küp
mm²	: Milimetre kare
m³	: Metre küp
lt	: Litre
RH	: Relative humidity (bağıl nem)
C⁰	: Santigrad derece
w	: Watt
v	: Volt
kcal	: Kilo kalori
h	: Saat
dak	: Dakika
N	: Newton
kN	: Kilo newton

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1	Yapı malzemelerinde şişme ve büzülme değerleri..... 12
Tablo 3.2	Kılcallıkla yükselen nem ve yoğuşma olayının farklılıkları 26
Tablo 4.1	Duvarda bulunan tuz çeşitleri 55
Tablo 6.1	Kesiti azaltılan tuğla tarafından emilen su tablosu..... 72
Tablo 6.2	Yoğuşmaya neden olan 18C° altındaki sıcaklık azalış değerleri 87
Tablo 6.3	Duvar yalıtımına karşı çift cam kullanılarak elde edilen ısı tasarrufu değerleri 94
Tablo 6.4	Yapay havalandırmaya maruz kalan nemli duvar yüzeylerinde soğuma değerleri 106
Tablo 7.1	Deneyde kullanılan kumun elek analizi 110
Tablo 7.2	Granülometri eğrisi 111
Tablo 7.3a	Taban tuğla numunelerinin kılcallık deneyi sonuçları..... 114
Tablo 7.3b	Harman tuğla numunelerinin kılcallık deneyi sonuçları..... 115
Tablo 7.4	Deneyde kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları..... 116
Tablo 7.5	Deneyde kullanılan harçların karışım oranları tablosu..... 118
Tablo 7.6	Deneyde kullanılan katkılı harçların karışım oranları tablosu..... 119
Tablo 7.7	7 günlük örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları..... 123
Tablo 7.8	14 günlük örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları..... 123
Tablo 7.9	28 günlük örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları..... 124
Tablo 7.10	7 günlük örneklerin basınç dayanımı deney sonuçları..... 126
Tablo 7.11	14 günlük örneklerin basınç dayanımı deney sonuçları..... 126
Tablo 7.12	28 günlük örneklerin basınç dayanımı deney sonuçları..... 127
Tablo 7.13	Taban tuğlaları ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçları..... 128
Tablo 7.14	Harman tuğlaları ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçları..... 128
Tablo 7.15	Harç ve duvar numunelerinin 28 günlük buhar geçirimsizlik deneyi sonuçları 1..... 130
Tablo 7.16	Harç ve duvar numunelerinin 28 günlük buhar geçirimsizlik deneyi sonuçları 2..... 131
Tablo 7.17	Tuğla duvarlarda kullanılan harçların karışım oranları tablosu..... 133
Tablo 7.18	1:3.5'lük harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları..... 133
Tablo 7.19	1:8:1.5'lük harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları..... 136
Tablo 7.20	1:4'lük harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları..... 138
Tablo 7.21	1:3'lük harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları..... 140

Tablo 7.22	1:3.5'luk karışım oranı ve %0,6 x katkısı içeren harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları.....	143
Tablo 7.23	1:3.5'luk karışım oranı ve %0,6 y katkısı içeren harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları.....	145
Tablo 7.24	1:3.5'luk karışım oranı ve %0,3 x ve %0,3 y katkıları içeren harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları.....	147
Tablo 8.1	Numunelerin oranlarına göre kodlanması.....	149
Tablo 9.1	Karışımların deney sonuçlarına göre etki grafikleri.....	165



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : İyonik bağ oluşumu	5
Şekil 2.2 : Kovalent bağ oluşumu	6
Şekil 2.3 : H ₂ O molekülleri arasında hidrojen köprülerinin oluşması, van der waals bağının oluşumu	7
Şekil 2.4 : Islatma açısı ile açıklanan yüzey ıslanması	10
Şekil 3.1 : Yeni duvarlardaki (I) ve eski duvarlardaki (II) taşlarda nem dağılımı	24
Şekil 3.2 : Yeraltından yükselen ya da havadan gelen nemin tuğla duvarda yayılışı	25
Şekil 3.3 : Bir dizi oda duvarının nem kesiti incelenerek yeraltından yükselen nemin nereden süzüldüğünün tesbiti	29
Şekil 3.4 : Farklı kalınlıktaki duvarlarda nem dağılımı	31
Şekil 3.5 : Yükselme indeksi $I = H_s/d$ duvarın kalınlığına bağlıdır	32
Şekil 3.6 : Nem saldırısı en kısa yolu seçer. A ve B’de malzeme sıvadan daha geçirgen olduğu için nem direk hareket ederken C’de sıva malzemeden daha geçirgen olduğu için nem dolaşarak en uzun yolu takip eder	34
Şekil 3.7 : Bloğun yüksekliği emiş yüksekliğinden (H_s) çok fazla ise malzeme nem ilerleyişine katkıda bulunmaz ve çekirdek daima kuru kalır	34
Şekil 3.8 : Kuru kolona renkli su enjekte edilerek yapılan nemlilik deneyi	35
Şekil 3.9 : Suya oturan kolonlarda su kılcallık etkisi ile yükselirken su kaynağı kesildiğinde yer çekimi etkisi ile tekrar alçalma eğilimindedir	36
Şekil 4.1 : Kılcallık saç teli ya da daha ince gözeneklerden suyun yerçekimi etkisine karşı yükselmesine neden olan fiziksel bir olaydır	38
Şekil 4.2 : Yağan yağmuru emen iki çeşit kılcallık ağı modeli. Soldaki çimento sıvadaki doğal kılcallık ağı, sağdaki ise dekoratif tuğla kaplamasındaki derzlerde oluşan yapay kılcallık ağı	40
Şekil 4.3 : Kılcal yüksekliğin farklı toprak çeşitlerine göre kıyaslanması. Çakılda hiç görülmezken biraz kumlu toprakta, en fazla killi toprakta görülmektedir	41
Şekil 4.4 : Ilıman iklimlerde, bahar-yaz yoğuşması kış ısıtması olmadan bodrumlarda görülür	43
Şekil 4.5 : Hava boşluklarının karşılıklı konumu çok önem taşımaktadır. B Bloğu %22 daha fazla direnç göstermektedir	46
Şekil 4.6 : Eşit hacimde ve ağırlıkta olan iki bloktan katı olan blok, pres edilip geniş hava boşluklarına sahip olan bloktan daha iyi yalıtım sağlar	47
Şekil 4.7 : Knapen’e göre duvarın tabanı yeraltından yükselen havanın yoğuşmasına maruz kalır	51
Şekil 4.8 : Bazı günler barometrik değişimler sonucu yoğuşan hava taş plakaların çevrelerinde görülebilir.....	51

Şekil 4.9	: Yüksekte, kuru toprak üzerine konumlandırılan yapılarda beklenmeyen nem ancak zemindeki havanın yoğunlaşması ile açıklanabilir.....	52
Şekil 4.10	: Nemliliğin önlenmesi için uygun mesafe ve ağaç boyutları.....	53
Şekil 4.11	: Yığma yapılarda harç ve komşu malzeme arasındaki nem içeriği farklılığı.....	62
Şekil 5.1	: Zamana bağlı kılcal su emme deneyi grafiği.....	68
Şekil 5.2	: Taş numunesi ile yapılan kılcallık deneyi.....	69
Şekil 5.3	: Tuğladaki nemin buharlaşma oranını göstermektedir. İlk kuruma evresinde hemen hemen sabit değerler varken ikinci kuruma evresinde ani düşüş görülmektedir.....	70
Şekil 6.1	: Aynı özellikteki tuğlalar emici kesitlerinden küçültülmüştür. Emici kesit yaklaşık 1/3 oranında küçültüldüğünde nem istila hızı da yaklaşık 1/7 oranında azalmıştır.....	71
Şekil 6.2	: Duvarda nemin hariç tutulabilmesi için kılcal olmayan bir malzeme tüm duvar kesiti boyunca yatay olarak yerleştirilmiştir. Bu bariyer aynı zamanda kemer şeklinde de yapılabilir.....	73
Şekil 6.3	: İlk sırada birbirine komşu delikler açılır; ikinci sıradaki delikler ise birinci sıradaki deliklerin üstüne biner böylece kalan malzemeler temizlenir.....	74
Şekil 6.4	: Açık ve kapalı olarak dış çevresel hendeğin iki modeli.....	75
Şekil 6.5	: Nem sadece AB yüzeyinden giremez aynı zamanda temelden BC yüzeyinden de girer.....	76
Şekil 6.6	: Knapen'in atmosferik sifonları.....	77
Şekil 6.7	: I. konumdaki tüpte su tamamen su ile dolarken II. konumdaki tüpte su boşalır yerine tamamen yağ dolar.....	77
Şekil 6.8	: Gözenekli malzeme üzerinden pozitiften negatife elektro-osmos ile su taşınımı	79
Şekil 6.9	: Elektro-osmos'un rutubetli duvarlara uygulamasının basit bir diyagramı	79
Şekil 6.10	: Hava tabakalı duvarlara delik açılmasının hiçbir faydası yoktur. Çünkü nemli hava mekanın içine dolar	80
Şekil 6.11	: Uygun hava tabakalı duvarın üç çeşidi	81
Şekil 6.12	: II no'lu hava tabakalı duvar modeli eski Roma mimarisinde kullanılmış	82
Şekil 6.13	: Restorasyonda delikli tuğla ile yapılan hava boşluklu yapılar yer kaybı tasarrufu açısından en tavsiye edilen modeldir	83
Şekil 6.14	: Kış yoğunlaşmasına bağlı su hareket diyagramı. I. bölge difüzyon ile su buharı geçişi, II. bölge yoğunlaşma bölgesi, III. bölge ise ıslaktan kuruya kılcallık artışı	84
Şekil 6.15	: Hava sıcaklığının yapının termal eylemsiziliğine bağlı olarak aralıklı ısıtmadaki davranışı	86
Şekil 6.16	: İskelet taşıyıcılı yapılarda yoğunlaşma kolonların yer aldığı köşe birleşim noktalarında daha çok açığa çıkar	86
Şekil 6.17	: Yapı yükselen nem istilasına maruz kalırsa ısı kaybı (k katsayısı) artacaktır	89
Şekil 6.18	: Duvar yapısı bir bütün değilse ara yüzey yoğunlaşma yüzeyi örneğin betonarme taşıyıcı elemanlarda kıvrımlar yaparak iç duvar yüzeyine yaklaşır	90
Şekil 6.19	: Yoğuşan nemin sağlam kumtaşı duvardan geçişi	90

Şekil 6.20	: Geçirgen iç sıvalar kış yoğuşması için adeta davetiye çıkarırlar Bitümlü kağıt ya da alüminyum yapraklar hiç kesintisiz olarak uygulanmalıdır	92
Şekil 6.21	: Pencere denizlikleri tuğla hava tabakalı duvarlarda yoğuşmaya karşı iyi korunmalıdır	93
Şekil 6.22	: Toprak altı drenajı	96
Şekil 6.23	: Toprak altı drenajının etkisi I	96
Şekil 6.24	: Toprak altı drenajının etkisi II	96
Şekil 6.25	: Toprak altı drenajının etkisi III	97
Şekil 6.26	: Drenaj sistemini planda düzenlemenin önemi	97
Şekil 6.27	: Bohçalamanın maruz kaldığı kuvvetler	99
Şekil 6.28	: Kütüphanenin yeraltındaki deposunda raflar arası yapay havalandırma şeması	100
Şekil 6.29	: Saatlere göre havanın RH'nın günlük havalandırmaya bağlı olarak değişimini göstermektedir	101
Şekil 6.30	: Havalandırma deliklerinin toplam alanı verimliliğin artması için odanın hacmi ile orantılı olmalıdır	102
Şekil 6.31	: Doğal havalandırma için oynar camlar	103
Şekil 6.32	: Knapen'in doğal havalandırma için delik yerleşim şeması.....	103
Şekil 6.33	: Aynı seviyedeki iki hava kolonu birbirini dengeler ve hava hareket etmez	104
Şekil 6.34	: Dengede olmayan iki kolon havalandırmayı aktifleştirir	105
Şekil 7.1	: Çimentonun yoğunluğunun hesaplanması	109
Şekil 7.2	: Kumun elek analizi	110
Şekil 7.3	: Tuğlaların ebatlanması	112
Şekil 7.4	: Kılcallık hesabı için tuğlaların su içine yerleştirilmesi	113
Şekil 7.5	: Tuğlaların kılcallık yolu ile su emmesi	113
Şekil 7.6	: K1 ve K2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	114
Şekil 7.7	: k1 ve k2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	115
Şekil 7.8	: h1 ve h2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	116
Şekil 7.9	: h3 numunesi su emme, zaman grafiği.....	116
Şekil 7.10	: Harçlara uygulanan yayılma deneyi.....	118
Şekil 7.11	: Duvar numunesi üretimi	119
Şekil 7.12	: 4 x 4 x 16 harç numunelerinin üretimi	120
Şekil 7.13	: Aderans deneyi için numune üretimi	120
Şekil 7.14	: Eğilmede çekme tayini deneyi	121
Şekil 7.15	: Kırılmanın olduğu an	122
Şekil 7.16	: Basınç deneyi.....	125
Şekil 7.17	: Kırılmanın olduğu an	125
Şekil 7.18	: Aderans deneyi düzeneği	127
Şekil 7.19	: Aderans deneyinde harçların tuğladan kopma anı	127
Şekil 7.20	: Desikatörün içindeki numuneler	129
Şekil 7.21	: Buhar geçirimsizlik deneyi	130
Şekil 7.22	: Buhar geçirimsizlik deneyi için örneklerin tartılması	130
Şekil 7.23	: Kılcallık deney düzeneği	132
Şekil 7.24	: Numunelerin tartılması	132
Şekil 7.25	: K1 ve K2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	134
Şekil 7.26	: K3 ve H1 numuneleri su emme, zaman grafikleri	134
Şekil 7.27	: H2 ve H3 numuneleri su emme, zaman grafikleri	134
Şekil 7.28	: T1 ve T2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	135

Şekil 7.29	: T3 numunesi su emme, zaman grafiği	135
Şekil 7.30	: K1 ve K2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	136
Şekil 7.31	: K3 ve H1 numuneleri su emme, zaman grafikleri	136
Şekil 7.32	: H2 ve H3 numuneleri su emme, zaman grafikleri	137
Şekil 7.33	: T1 ve T2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	137
Şekil 7.34	: T3 numunesi su emme, zaman grafiği	137
Şekil 7.35	: K1 ve K2 numuneleri su emme, zaman grafikleri.....	138
Şekil 7.36	: K3 ve H1 numuneleri su emme, zaman grafikleri	139
Şekil 7.37	: H2 ve H3 numuneleri su emme, zaman grafikleri	139
Şekil 7.38	: T1 ve T2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	139
Şekil 7.39	: T3 numunesi su emme, zaman grafiği	140
Şekil 7.40	: K1 ve K2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	141
Şekil 7.41	: K3 ve H1 numuneleri su emme, zaman grafikleri	141
Şekil 7.42	: H2 ve H3 numuneleri su emme, zaman grafikleri	141
Şekil 7.43	: T1 ve T2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	142
Şekil 7.44	: T3 numunesi su emme, zaman grafiği.....	142
Şekil 7.45	: K1 ve K2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	143
Şekil 7.46	: K3 ve H1 numuneleri su emme, zaman grafikleri	143
Şekil 7.47	: H2 ve H3 numuneleri su emme, zaman grafikleri	144
Şekil 7.48	: T1 ve T2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	144
Şekil 7.49	: T3 numunesi su emme, zaman grafiği	144
Şekil 7.50	: K1 ve K2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	145
Şekil 7.51	: K3 ve H1 numuneleri su emme, zaman grafikleri	145
Şekil 7.52	: H2 ve H3 numuneleri su emme, zaman grafikleri	146
Şekil 7.53	: T1 ve T2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	146
Şekil 7.54	: T3 numunesi su emme, zaman grafiği	146
Şekil 7.55	: K1 ve K2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	147
Şekil 7.56	: K3 ve H1 numuneleri su emme, zaman grafikleri	147
Şekil 7.57	: H2 ve H3 numuneleri su emme, zaman grafikleri	148
Şekil 7.58	: T1 ve T2 numuneleri su emme, zaman grafikleri	148
Şekil 7.59	: T3 numunesi su emme, zaman grafiği	148
Şekil 8.1	: 7 günlük eğilmede çekme tayini deneyi sonuçları	150
Şekil 8.2	: 14 günlük eğilmede çekme tayini deneyi sonuçları	150
Şekil 8.3	: 28 günlük eğilmede çekme tayini deneyi sonuçları	150
Şekil 8.4	: 7 günlük basınç deneyinin sonuçları	152
Şekil 8.5	: 14 günlük basınç deneyinin sonuçları	152
Şekil 8.6	: 28 günlük basınç deneyinin sonuçları	152
Şekil 8.7	: Taban tuğlası ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçları	153
Şekil 8.8	: Harman tuğlası ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçları	155
Şekil 8.9	: Buhar difüzyon direnç katsayısı tayini 28 günlük deney sonuçları	156
Şekil 8.10	: Tuğla numuneleri ile yapılan kılcallık deneyi sonuçları	157
Şekil 8.11	: Harç numuneleri ile yapılan 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları	158
Şekil 8.12	: Harman tuğlası ve harçlarla üretilen duvar numuneleri 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları	159
Şekil 8.13	: Taban tuğlası ve harçlarla üretilen duvar numuneleri 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları	160

SEMBOL LİSTESİ

S_a	: Kütlege su emme oranı
S_h	: Hacimce su emme oranı
P	: Ağırlık
D_k	: Kütlege doygunluk katsayısı
D_h	: Hacimce doygunluk katsayısı
S_{ka}	: Kaynar suda kütlege su emme oranı
S_{kh}	: Kaynar suda hacimce su emme oranı
Q	: Birim zamanda geçen su miktarı
P	: Su basıncı
A	: Kesit alanı
k	: Geçirimsizlik katsayısı
e	: Birim alanda emilen su miktarı
t	: zaman
N	: Kılcallık katsayısı
H_s	: Emme yüksekliği
d	: duvar kalınlığı
I	: Yükselme indeksi
R	: Toplam ısı direnç
RH	: Bağlı nem
α	: Isıl iletkenlik katsayısı
δ	: Yoğunluk
V	: Hacim
P	: Porozite
K	: Kompozite
P	: Kırılma anında alınan yük
l	: Mesnet arası açıklık
b	: Genişlik
h	: Yükseklik
$\alpha_{basınc}$	: Basınc dayanımı
$\alpha_{eğilme}$	: Eğilme dayanımı
Δ	: Birim hacim ağırlık
μ	: Buhar difüzyon direnç katsayısı
R	: Korreleasyon katsayısı
$\psi_{dış}$	: Dış koşulların rölatif (göreceli) nem miktarı
$\psi_{iç}$	: İç koşulların rölatif (göreceli) nem miktarı

SUYUN YAPI HASARLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE HASARLARIN GİDERİLME YOLLARI

ÖZET

Yıllar yılı nem binalar için problem olmuş ve neden olmaması gereken yerlerde oluştuğu araştırılmıştır. Bu istenmeyen nemin oluşumu binanın çeşidine, yerleşimine, çevresine, yapım koşullarına ve kullanılan malzemelere bağlı olarak oluşmaktadır.

Yapıyı inşa eden insan neme karşı önlem almak için binanın çürümeye başlamasını beklememelidir. Binada malzemelerin çürümesinin nem ve ıslaklıkla bağlantılı olduğu çok açıktır.

Günümüzde yapı malzemelerinin piyasaya girişiyle geleneksel inşaat tekniklerinden uzaklaşmaktadır. Eski uygulamalardaki olumlu ve olumsuz sonuçlardan ders alınmalı ve bu tecrübelerden faydalanılmalıdır. Geleneksel inşaat tekniklerinden elde edilen tecrübeler de yeni çıkan malzemelerin etkileşimleri karşısında ortaya çıkan problemlerin çözümünde yetersiz kalabilmektedir. Birçok problemin çözümünde birden fazla cevap vardır ve bu cevapların oluşmasında tecrübe, araştırma ve çalışmaların çok faydası vardır. Kullanılan malzemelerin genel özelliklerini incelemek ve nem ile olabilecek problemlere dikkat edilerek malzemeleri göz önünde bulundurmak çok faydalı olur.

Günümüzde istenen çözümlere ulaşmak yolunda geleneksel inşaat bilgisi , geniş tecrübe ve mevcut bilgilerin güncellenmesi gerekmektedir. Ekonomik ve memnun edici çözümlere ulaşmak her zamankinden daha önemlidir. Örneğin suyun ve ya diğer sıvıların buharlaşması ya da havanın rölatif nemi nemden korunma konusunda yardımcı olur. Fizik , kimya konusunda uzman olunması gerekmez de bir takım temel prensipleri bilmek gerekir. Bu prensipler bir takım olayların açıklanmasında bize çok yardımcı ve yol gösterici olur. Bu nedenle de yapılan çalışma yapı fiziği bazında ele alınmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapıp amaçlar belirlendikten sonra ikinci bölümde malzemelerin yapı ve özellikleri özellikle su ile ilgili özellikleri ve nem karşısındaki bozulmaları ortaya konulmuştur. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde suyun yapıya gelişi, yapıda yayılışı ve yapı hasarı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Beşinci bölümde su ile ilgili yapılan laboratuvar testleri belirtildikten sonra altıncı bölümde hasarların giderilme yolları ile ilgili yapılan araştırmalar yer almaktadır. Yedinci bölümde laboratuvar ortamında harç ve duvar numuneleri ile yapılan su ile ilgili deneysel çalışma yer almakta son bölümde de deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar irdelenmektedir.

THE EFFECT OF WATER ON BUILDING DEFECTS AND THE METHODS OF REMEDIAL TREATMENT OF DEFECTS

SUMMARY

Damp has always been a problem and for many years, it has been researched why damp occurs where it shouldn't be the case. Damp occurs involuntary, depending on the type, location, environment, materials and the construction conditions of the building

It's obvious that the damages of materials within the building occurs due to humidity and dampness. For taking precautions against these damages, the constructor should not wait till the building starts to rot.

The use of the conventional construction technics decreases, as contemporary building materials emerge into the market. It's very important to analyse the positive and negative effects of former methods in order not to repeat these failures. But stil, studying the experiences of conventional technics might be insufficient for clarifying the problems with the use of contemporary materials.

For many problems there might not only be one solution. For finding the most effective solution, experiences, resaerches and studies could be very useful, as well as studying the general chracteristics of the materials and regarding the potential problems due to humidity of the material.

Today, it's very essential to achieve the right solutions in an economic and contented way, so there has to be a wide range of experience, conventional construction knowledge, but also existing data has to be updated. For example, the vapourisation of water and other liquids or the relative humidity of air can be very useful for preventing the humidity. Though there is no need for being an expertise in Physics or Chemics, some essential basics of these professions can be used as a guidance for clarifying some unknown aspects. Therefore, this study has been analysed in terms of building physics.

The first part determines the aim of this study as an introduction. The second part deals with the structure and the characteristics of materials, especially related with water and the deformation of these materials due to corrosion and humidity. In the third and fourth part of this study, the entrance of water into the building, the diffusion of water within the building and the effect of water is explained in terms of building hazards. After determining the laboratuary tests with water in the fifth part, the methods to remove tha hazards are explained in the sixth part. Part seven includes the experimental study of water with mortar and wall samples in the laboratory conditions. And last but not least, the eight part brings up the results of the experimental study as a conclusion.

I. GİRİŞ

Binanın yapım aşamasında çok ihtiyaç duyulan su inşaat bitip yapı hayata geçtiği andan itibaren istenmeyen unsur haline gelir. Suyun yapı elemanlarına girmesi önlenmeli ve buna karşı geçirimsiz bir tabaka oluşturulmalıdır. Suyun yapıya giriş yolları ;

- yer altı ve zemin suları,
- yağış suları,
- inşaat sırasında yapı bünyesinde kalan su,
- yapı elemanını çevreleyen havanın rutubeti,
- yapıdaki hasarlar ve yanlış uygulamalarla sızan sular. [1]

Yapım aşamasında kullanılan su, malzemeler normal kuru durumlarına varmadan önce buharlaşmış olmalıdır. Yalnızca yüzeyin kuruması yeterli değildir, malzemenin içinde su kalmamalıdır. Akışkanlık özelliği nedeni ile su yapıda hızla yayılma eğilimindedir. Suyun yapıda yayılışı ise ;

- kılcallık yolu ile,
- basınç hareketi ile su hareketi,
- buhar difüzyonu ile olur.

Yağışlarda duvar içine girebilen su, yağış sonrası dışarı atılabilmeli , duvar kuruyabilmelidir. Yapıya giren suyun çıkışı da sağlanmalıdır. Aksi takdirde suyun yapı bünyesinde tutulması sakıncalıdır. Malzemelerin emicilik özelliği de nemin malzeme içinde tutulmasına yol açar. Bu nedenle yapı elemanının hasar görmesinde elemanı oluşturan malzemelerin nemlenme ile ilgili özellikleri önemlidir. Belirli bir süre direkt olarak suya maruz kalan yapı elemanlarında görülecek hasar ve problemlerin engellenmesi için malzeme özellikleri ve yapı fizikine etkisi bilinmelidir. Su, yapıda pek çok hasarın oluşumunda önemli bir faktördür. Su etki ettiği yüzeyde; çözme, taşıyıcılık etkisi, fiziksel, kimyasal deformasyon yapar. Yapı bünyesinde çeşitli şekillerde giren su, pas, iç gerilim çatlakları, küflenme, çiçeklenme, yoğuşma, boyalarda ve kaplamalarda kabarma ve metallerde korozyona

neden olur. Yapının ömrünü uzatmak için suyun oluşturuğu hasar nedenini tüm ayrıntıları ile inceleyip tüm şartları göz önüne alarak en uygun çözüm önerilmelidir.[2]

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Yapılan çalışmanın amacı, malzemelerin su karşısındaki davranışlarının ve yapıya gelen su kaynaklarının incelenmesi, malzeme özelliklerine ve yanlış uygulamalara bağlı olarak oluşan hasarların belirlenip bu hasarların giderilme yöntemlerinin ortaya konulmasıdır.

Malzemelerin iç yapı özellikleri kısaca ele alındıktan sonra fiziksel özellikleri ile beraber su ile ilgili özelliklerine yer verilmiştir. Yapı malzemelerinin nem ile ilgili özelliklerinin, nem karşısında bozulmalarının bilinmesi yapı elemanı tasarımında büyük önem taşımaktadır. Malzemeler, hatalı kullanımdan ve nem karşısında davranışlarının tam bilinmemesinden dolayı kendilerinden beklenen performansı gösteremezler. Bu durum sağlık şartları, ekonomik şartlar ve bina ömrü açısından olumsuz sonuçlar doğurur.

Suyun yapı elemanı üzerindeki hasarının tedavi edilebilmesi için hasarın kaynağının doğru olarak tesbit edilmesi önem kazanmaktadır. Doğru teşhis beraberinde doğru tedaviyi getirmektedir. Bu anlamda yapılan çalışmada hasar kaynakları belirtilip örnek resimlerle hasarların etki biçimleri açıklanmıştır. Hasar kaynakları belirlendikten sonra, neme karşı en doğru savunma prensipleri, tarihi yapılarda yapılan tedavi yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak anlatılmıştır.

Yapılan çalışmanın son bölümünde literatür araştırması deneysel çalışma ile desteklenmiştir. Amaç duvar ve duvarı oluşturan bileşenlerin katkı maddeleri kullanılarak nem ile ilgili performansını araştırmaktır. Duvarın katkısız ve katkılı olarak gerekli ölçümleri yapıp sonuçlar bölüm 7 ve 8’de karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kullanılan katkı malzemelerin büyük ölçüde kendilerinden beklenen sonuçları verdiği tesbit edilmiştir.

2. MALZEMELERİN YAPILARI VE ÖZELLİKLERİ

Yapının performansı , yapıyı meydana getiren malzemelerin gösterdiği performansa bağlıdır. Malzeme performansı farklı malzemelerin aynı koşullarda ya da aynı malzemelerin farklı koşullarda farklı davranış göstermesi şeklinde açıklanabilir. Yani malzeme performansı malzeme özelliklerinin farklı olması ya da koşulların farklı olmasına göre değişmektedir. Malzemelerin performans özellikleri farklılık göstermektedir. Malzeme özellikleri, bir maddenin enerji kullanmasını gerektiren belirli koşullar altındaki davranışını gösteren büyüklük biçiminde tanımlanmaktadır. Koşulların farklılığı da malzeme performansını farklılaştırır. Malzemeler kullanıldığı yere, ortam şartlarına, tasarım, proje ve detay özelliklerine göre davranışlarında değişiklikler gösterebilir. Bu noktada doğru yerde doğru malzeme kullanımının önemi ortaya çıkmaktadır. Detaylandırma sırasında malzeme özellikleri ve ortamın sahip olduğu şartlar dikkate alınmalıdır. Malzemelerin farklı özelliklere sahip olması ya da farklı koşullar altında bulunması malzemede fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu yapıda hasara yol açmaktadır. Malzemede hasar oluşturan faktörlerin bilinmesi malzeme seçimi açısından önemlidir.[3]

2.1. Malzemelerin İç Yapı Özellikleri

Bohr'un önerdiği atom modelinde bir çekirdek ve onun etrafında dönen elektronlar düşünülmüştür. Çekirdekte elektriksel yükü olmayan nötronlar pozitif yük taşıyan protonlar vardır. Proton ve nötronların ağırlıkları eşittir, elektronların ağırlıkları ihmal edilecek kadar azdır. Elektronların yükü negatiftir ve elektron yükü bürüm kabul edilir. atom elektriksel yük bakımından nötrdür. Yani elektronların toplam negatif yükleri protonlardaki pozitif yüke dengelenir.[4]

Malzemeler bir takım çok küçük partiküllerden oluşur. Bu partiküller ancak güçlü bir mikroskop ile görülebilir. Basit maddeler karbon , oksijen ve ya bakır gibi en küçük parçalar atom olarak adlandırılır. Daha komplike maddeler ise tebeşir , su ve ya bronz gibi ise molekül olarak ifade edilir.

Malzeme özelliklerini oluşturan etkenlerin anlaşılması için atomun genel yapısını ele almak gerekir. Örneğin bir malzemeye gerilim uygulandığı zaman, atomlar arasındaki çekme kuvveti gerilmeye mukavemet eder ve malzemenin şekil değiştirmesine ve ya parçalanmasına engel olur.[4]

2.1.1. Atomların Yapısı

Atomlar bir çekirdek ile bunun etrafında hareket eden elektronlardan oluşur. Elektronlar negatif elektrik yükü taşır. Çekirdek proton ve nötrondan oluşur. Protonun taşıdığı yük elektronunkine eşit fakat zıt işaretlidir. Atom numarası cisimlerin elektron sayısına eşittir. Atom ağırlığı ise çekirdekteki proton ve nötron kütlelerinin toplamına eşittir.[4]

Atom için en önemlisi elektron sayısıdır. En dış yörüngede bulunan valans elektronları malzemelerin mekanik , fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlerler.

Daha komplike maddeler ise tebeşir , su veya bronz gibi ise molekül olarak ifade edilir. Moleküller iki ve ya daha fazla atomdan oluşur. Fakat farklı atomlar da olması gerekmez. Atom ve moleküllerin uzayda kapladığı alanlar başka atom ve ya moleküller tarafından kullanılamaz. Bununla beraber atomlar ve moleküller katı değildirler ayrıca kütle içinde birbirlerine temas etmezler. Malzemelerin en küçük parçaları birbirlerine temas etmemeyi sağlayan gücü barındırırlar. Her malzemenin bu konuyla ilgili kendine has özellikleri vardır. Bir malzemeye ısı verilmesi ya da soğutulması esnasında genleşme ve daralma olur. Bu olay kütledeki hareketi gösterir.[5]

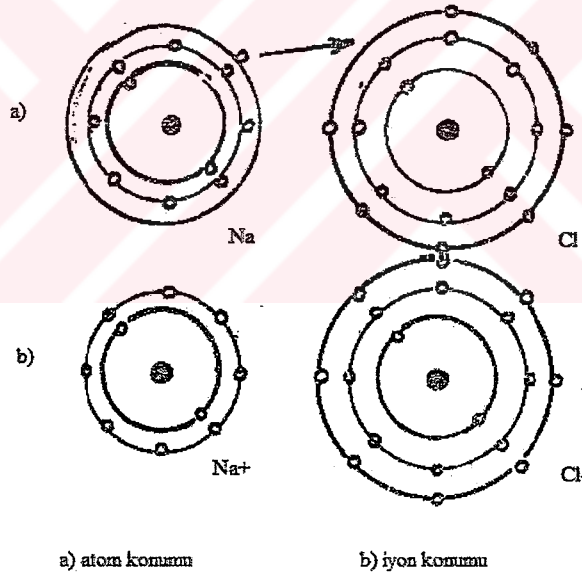
Isı enerji olduğuna göre atom ve moleküllerin de enerji içerdiği sonucuna varılabilir. Her malzemenin sahip olduğu enerji içeriği değişkenlik gösterir. Sıvıların düşük çekme gerilmeleri varken katıların ki oldukça yüksektir. Şu anki bilgilerle herhangi bir malzemenin ısı içeriğini kesin olarak kontrol altına alamasak da malzeme hareket ettiğinde son pozisyonunda ilk pozisyonundaki enerjisini taşır. Atomlar hareket ederken enerjileriyle birlikte hareket ederler. Bir atom pozitif yük olarak nükleus ve negatif yük olarak elektronlardan oluşur. Bir maddeye uygulanan enerji (ısı, elektrik, kimyasal ve ya ışık) nükleus ve elektronlar arasındaki dengeyi bozarak aradaki çekimi değiştirir. Sonuçta malzemenin karakteristik özellikleri değişir.[5]

2.1.2. Atomlar Arası Bağlar

Atomları birbirine bağlayarak maddenin oluşmasına yol açan , atomlar arasındaki çekim kuvvetleridir. Bu bağlar kuvvetli ve zayıf olarak ikiye ayrılırlar. Kuvvetli bağlar ;

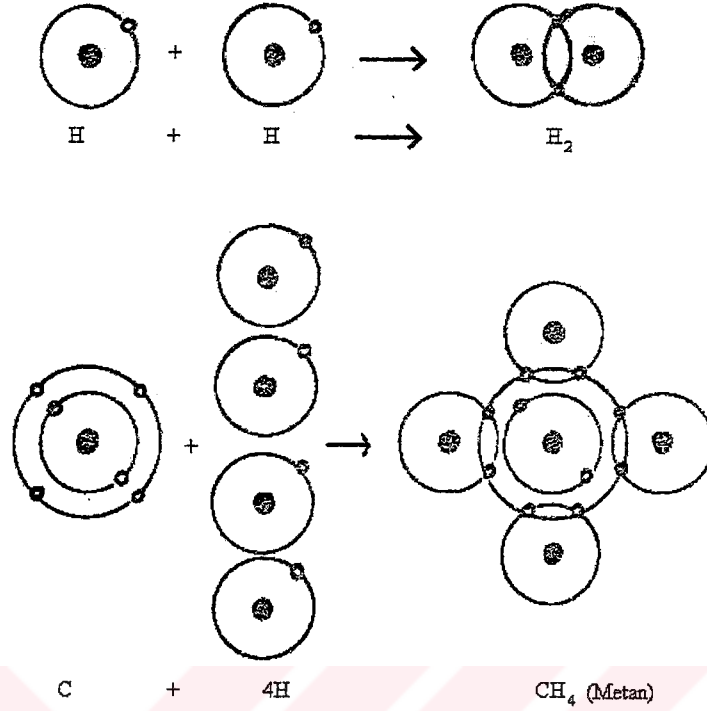
- iyonik bağlar
- kovalent bağlar
- metalik bağlar iken zayıf bağlar ;
- van der waals bağlarıdır.[6]

İyonik bağlar : Bir atom dış kabuğundan bir elektron verirse pozitif olarak yüklenir. Pozitif ion kation olur , Ca^+ , Na^+ gibi , dış kabuğuna elektron alırsa negatif olarak yüklenir. Negatif ion anion olur , Cl^- , O^- gibi. Bu tarz bir elektron alışverişi olunca , meydana gelen pozitif ve negatif yüklü ionlar birbirini çeker ve iyonik bağ meydana gelir (Şekil 2.1).[6]



Şekil 2.1: İyonik bağ oluşumu

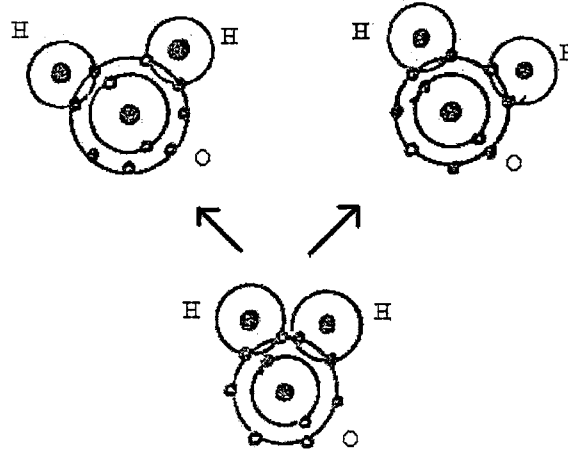
Kovalent bağlar : Atomların kararlı konuma geçme çabaları , komşu atomların elektronlarını paylaşmaları ile olur. Paylaşılan elektronlar artık her iki atoma da aittir ve atomları bağlarlar. Bu tarz bağa kovalent bağ denir. Kovalent bağlı cisimler yüksek mukavemet ve yüksek kaynama ve erime sıcaklıklarına sahiptir.(Şekil 2.2). [6]



Şekil 2.2: Kovalent bağ oluşumu

Metalik bağlar : Metalik bağ, dış kabuğunda az sayıda elektron içeren (≤ 3) metal atomları arasında oluşur. Metal atomları en dıştaki elektronlarını verip pozitif iyon haline geçerler. Serbest halde bulunan elektronlarla pozitif iyonlar arasında meydana gelen elektrostatik kuvvet atomların birleşmesini sağlar. Bu bağ kuvvetleri iyonik ve kovalentte olduğu gibi belirli doğrultulara sahip bulunmamakta, bunun aksine her doğrultuda yayılmaktadır. Bu nedenle metaller kolaylıkla şekil değiştirirler.

Van der Waals bağları : Van der waals bağları, bazı atomların en dıştaki kabuğunun elektronlarla dolu olması halinde ortaya çıkar. Van der waals kuvvetleri zıt işaretli iki kutup arasındaki çekme kuvvetlerinden kaynaklanır. Bu bağların enerjisi kuvvetli bağlardan çok daha düşüktür. (Şekil 2.3).[7]



Şekil 2.3: H_2O molekülleri arasında hidrojen köprülerinin oluşması. Van der waals bağının oluşumu

2.2. Malzemelerin Fiziksel Özellikleri

Yapı malzemesinin fiziksel özellikleri malzemeye özgü bazı karakteristikler , bazı sabitler şeklinde belirlenir. Yapı elemanının ana fonksiyonu bu fiziksel özelliklerin sağlanması ile mümkündür. Örneğin su depolarının sızdırmazlığı. Yapının atmosfer etkilerine dayanması ancak gerekli fiziksel niteliklere sahip olması ile mümkündür. Malzemenin mukavemeti bazı fiziksel özellikler yardımı ile belirlenebilir.

Projelendirmede fiziksel verilerin bilinmesi gerekli ve şarttır.[6]

2.2.1.Yoğunluk, Birim Hacim Ağırlık

Bir malzemenin boşlukları dahil olmak üzere ağırlığının birim hacmine oranına birim hacim ağırlığı denir. Bu değerin küçük olması malzemenin gözenekli olduğu anlamına gelir. Yoğunluk boşluklar çıkarıldıktan sonraki birim hacime isabet eden ağırlıktır.

Yoğunluk, dolu hacme göre hesaplandığında daima birim ağırlıktan büyüktür. Eğer malzemede boşluk yoksa, özgül ağırlıkla birim ağırlık eşit olur. Taş, kiremit, tuğla, beton gibi malzemelerde özgül ağırlık ile birim hacim ağırlığı arasında daima bir fark vardır. Çünkü taş bünyeli cisimlerin yapılarında boşluk vardır.[4]

2.2.2. Katı – Sıvı – Gaz Özellikleri

Maddeyi meydana getiren atom ve moleküller, sıcaklığa bağlı olarak, gaz, sıvı ve katı olmak üzere üç farklı yerleşme düzeyinde bulunabilirler.

Gaz halindeki atom ve moleküller birbirleriyle direkt temas halinde değildir. Rastgele yönlerde, yüksek hızlarda sürekli hareket halindedirler. Atom veya molekülleri bağımsız olarak hareket ettiğinden belli bir boşluğu dolduran gazlar ;

- etraflarına basınç yaparlar ve düşük yoğunluktadırlar,
- kabı dolduracak şekilde yayılırlar, kolaylıkla sıkıştırılırlar,
- birbirleri içinde kolaylıkla yayılırlar ve çarpışmadan doğan etkiler geçici ve elastiktir.[5]

Sıvılar ise ;

- akışkandırlar, yarı düzenli bir yapıları vardır ,
- birbirleri içinde gazlara göre daha fazla yayılırlar,
- yüksek sıcaklıkta partiküller daha aktiftir ve birbiri içinde yayılma oranı (difüzyon), sıcaklık yükselmesi ile artar.

Sıvılar ile gazlar arasındaki en önemli iki fark ;

- sıvılar sıkıştırılmazlar,
- ısıtıldıklarında buharlaşırlar ve soğutulduklarında tekrar sıvı hale dönerler.

Katılarda bağ kuvvetleri nedeni ile atomlar birbirlerine değerler ve dizilişleri oldukça sıktır. Katıları oluşturan atomlar birbirlerine fiziksel bağlarla bağlıdır. Böylelikle bir kuvvet uygulandığında katıyı oluşturan tüm atomlar birbirleriyle yer değiştirirler ve deformasyon etkisi ile boyutları değişir.[7]

2.2.3. Su ile İlgili Özellikler

Su malzemelerde oluşumdan sonra istenmeyen bir maddedir. Malzemeler üzerinde yıkıcı tahrip edici etkisi vardır. Bir yapı elemanının su ile ilgili sorunları yapı elemanının binadaki yerine göre ele alınır. Genellikle su ile doğrudan teması olan yapı elemanları çatılar, duvarlar ve temellerdir. Su, bu tür yapı elemanlarında yapı bünyesine farklı fiziksel yollarla girer.[8]

Temellerde, basınçlı su etkisi ve kılcallık yoluyla; duvar ve çatılarda ıslanma sonucunda ortaya çıkan kılcallıkla; teraslarda ise biriken suyun oluşturduğu basınç etkisiyle yapı elemanları ıslanır.

Duvarlarda ve düz çatılarda içeriden dışarıya doğru akım halinde olan su buharının yoğunlaşması sonucunda elemanın bünyesinde biriken suya bağlı ıslanmalar da bu kapsamda ele alınabilir.

2.2.3.1. Su Emme

Tüm yapı malzemeleri su ile temas ettiklerinde bünye yapılarına bağlı olarak sudan etkilenirler. Su ile temas halinde olan taşlar , bünyelerindeki boşlukların niteliğine göre farklı şekillerde su emerler. Yağmur veya sızıntı suları boşlukları doldururlar. Bu suların donması ve taşıdıkları tuzların kristalleşmesi parçalanmalara yol açar. Boşlukların çapları inceldikçe , buralarda meydana gelecek iç gerilmelerin değerleri de artar , tahribat büyük olur. Dışarıya kapalı boşluklar ise , su emmede rol oynamazlar. Boşlukların niteliklerini belirlemek amacı ile su emme deneyleri de türlü şekillerde yapılır.

- Atmosfer basıncında su emme
- Kaynatma yolu ile su emme
- Yüksek basınç altında su emme [9]

Malzemenin boşluklarına emdiği su miktarının, malzemenin ağırlığına oranının yüzde olarak değeri malzemenin ağırlıkça su emme yüzdesini (S_a) verir. Su emmede malzemenin boşluğu önemli bir etkidir.

S_a = kütlece su emme yüzdesi

S_h = hacimce su emme oranı

P_1 = suya doymuş ağırlığı

P_0 = kuru ağırlığı

$P_1 - P_0$ = emilen suyun ağırlığı

$$S_a = [(P_1 - P_0) / P_0] \times 100 \quad (2.1)$$

D_k = kütlece doygunluk katsayısı

D_h = hacimce doygunluk katsayısı

S_{ka} = kaynar suda kütlece su emme oranı

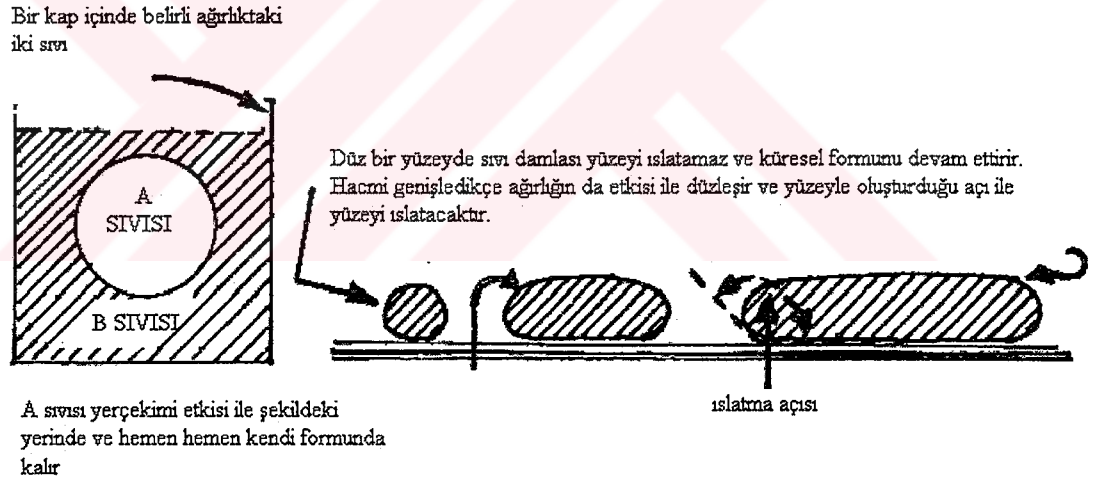
S_{kh} = kaynar suda hacimce su emme oranı [6]

Basınç altında ve kaynar suda yapılan su emme deneylerinde kılcal ve dışarı açık olmayan boşluklar da suyla dolacaktır. S_a/S_{ka} oranına doyma derecesi (satürasyon derecesi) denir ve ne kadarının suyla dolabileceğini, ne kadarının ise yedek (rezerv) kalacağını gösterir. Bu durum malzemede iç gerilmelerin artmasına ve malzemenin parçalanıp dağılmasına neden olabilir.

$D_k = S_k/S_{ka}$ oranı için kabul edilen en büyük değer %80'dir.[10] (2.2)

2.2.3.2. Islatma Açısı

Sıvılar bulundukları kabın şeklini alırlar. Sıvıların kaba değdikleri yerde katı , sıvı ve gaz fazları bir araya gelirler. Bu bölgedeki sıvı molekülleri , katı molekülleri tarafından çekilir ve ya itilirler. Bu itilme veya çekilme olayını ıslatma açısı yardımı ile açıklayabiliriz. (Şekil 2.4). [11]



Şekil 2.4: Islatma açısı ile açıklanan yüzey ıslanması

2.2.3.3. Kılcallık

Sıvının ince borular içinde yerçekimine rağmen yükselme olayına kapilerite (kılcallık) denilir. Yükselme sıvı kolonu ağırlığının emme kuvvetine eşit olmasına kadar sürer. Emme kuvvetinin büyük değerler alması, eğriliğin büyük olmasına bağlıdır, bu ise borunun çapının inceliğine, ıslatma açısının darlığına bağlıdır.

Belli alan ve kalınlıktaki malzemenin iki yüzü arasında su farklı düzeylerde ise, bu ortamlar arasında bir basınç farkı meydana gelir. Bunun sonucunda malzeme içinde

yüksek basınçlı bölgeden alçak basınçlı bölgeye bir su akımı oluşur. Belirtilen şartlar altında birim alandan, birim zamanda geçen su miktarı geçirimsilik katsayısı (k) ile ifade edilir. [7]

$$\text{Darcy kanununa göre; } Q = k \times [(P \times A) / d] \quad (2.3)$$

Q = birim zamanda geçen su miktarı (cm³/sn)

P = su basıncı (cm)

A = kesit alanı (cm²)

k = geçirimsilik katsayısı (cm/sn)

d = malzemenin kalınlığı

Kılcal çatlaklarda su aşağıdan yukarıya yükselir. Çatlakların düzgün olmayan dağılışı düşünülürse, suyun paralel düzlemler halinde yükselemeyeceği anlaşılır. Ancak, alt yüzünden su ile temas ettirilen bir taş numunesi zaman zaman tartılırsa;

$$e = N\sqrt{t} \text{ bağıntısı ortaya çıkar.} \quad (2.4)$$

e, birim alanda emilen su miktarı cm³/cm² = cm

t, zaman sn'dir.

N ise kapilerite katsayısıdır. Birimi ise cm/√sn'dir

Malzemelerin basınçlı su geçirimsiliği, malzemenin gözenekliliğine, taneli malzemelerde ise tane düzeni ve çapına göre değişim gösterir. Doluluk oranı küçük olması halinde geçirimsilik son derece azdır. Boşluklar birbiri ile bağıntılı iken geçirimsilik porozite ile birlikte artar.

Sıvının ince borular içinde yerçekimine rağmen yükselmesine kapilerite (kılcallık) denir. Borunun çapı incelidikçe , ıslatma açısı daralacak suyun yüksekliği artacaktır. Taşlarda 0.5mm'den ince çatlaklara ve boşluklara kılcal çatlak denir. Bu çatlaklarda su aşağıdan yukarıya emilerek yükselir. Çatlakların düzgün olmayan dağılışı düşünülürse , suyun paralel yükselemeyeceği tahmin edilebilir. Yapı göz önüne alındığında kılcallık zemin suyunun çok yükseklerle çıkmasına yol açar. Böylece bina cephesinden yağmur suları emilir ve duvarlar uzun süre nemli kalır. [7]

2.2.3.4. Buhar Geçirimsiliği

Bir malzemenin iki yüzü arasında bir buhar basıncı farkı varsa , cismin bünyesinde bir buhar akımı oluşur. Buhar basıncı , buharın bağıl nemi ile de ifade edilir. Böylece

farklı nem derecelerinin varlığının buhar akımına yol açtığı ortaya çıkar. Sıcaklık derecelerine bağlı olarak farklı değerler gösteren buhar basıncı, yüksek basınçtan alçak basınca yönelik bir akım meydana getirir.

Buhar geçirimsizliği problemi dış duvarlarda , düz çatılarda önem kazanır. Bu elemanlarda sıcaklığın sabit kalmaması , duvar ve ya döşeme içinde buharın yoğunlaşmasına , yani suyun dönüşmesine yol açar. Bu yoğunlaşma çatlaklar , bozulmalar meydana getirir.[9]

2.2.3.5. Şişme ve Büzülme

Şişme olayı, bünyesinde değişik nitelik ve boyutta boşluk içeren malzemelerin ıslanması sonucu hacminin artması olarak tanımlanabilir. Şişme olayının genleşme olayıyla paralelliği; her iki olayda da cismin hacminin ya da boyunun artmasıdır. Farklılığı ise, bu sonuçları doğuran nedenlerin ayrı nedenler olmasıdır. Daha açık bir ifadeyle, genleşmenin nedeni sıcaklığın artması iken şişmenin nedeni cismin suyla ıslanmasıdır. Her ıslanma olayını bir kuruma devresi izleyeceğinden, cisim emdiği suyu kaybedecek ve kuruyacaktır. Aşağıdaki tabloda deney sonuçlarına bağlı olarak elde edilen değerlerin incelenmesinden, genellikle cisimlerin su emdiği zamanki şişme miktarıyla kuruduğundaki büzülme miktarı arasında daima bir fark olduğu sonucu çıkmaktadır. Bu farklılık cismin kuruduğunda daha fazla büzüldüğünü göstermektedir. Nitekim, bu mekanizma dolayısıyla cisimlerde çatlaklar oluşabileceği gibi, mevcut çatlakların daha da genişlemesi olasılığı vardır. Bu mekanizma yakından incelendiğinde, cisim şiştiği sırada mevcut ve gözle görülmeyen çatlakların her iki tarafında bulunan dökülebilir danelerin birbirine yaklaştığı, oluşan basınç nedeniyle bu danelerin döküldüğü saptanmıştır. [10]

Tablo 2.1: Yapı malzemelerinde şişme ve büzülme değerleri

Malzeme	Islanmada Şişme (mm/m)	Kurumada büzülme (mm/m)
300kgf/cm ² 'lik beton	0.14 – 0.16	0.2 ~
180kgf/cm ² 'lik beton	0.16 – 0.19	0.2
Letye betonu (cüruf çimentosundan)	0.17 ~	0.2
Çimento Harcı	0.2 ~	0.3 – 0.45
Melez harç	0.35 ~	0.4 – 0.6
Kireç siva	0.4	0.8 – 1.1
Yapay taş	0.16 – 0.2	0.2 ~
Gre	0.3 – 0.6	0.3 – 0.6
Bazalt	0.35	0.38
Granit	0.06 – 0.2	0.15 – 0.2
Kireç taşı	0.09 – 0.16	0.13 – 0.4

Kuruma devresine geçildiğinde, mevcut olup da önceden gözle görülmeyen kılcal çatlakların görünür hale geldiği, ıslanma – kuruma evrelerinin belli bir süre içinde birbirini izlemesi sonucu, çatlağın artık rahatlıkla görülebildiği ve devamlı bir doku oluşturduğu görülmüştür.

Bu nedenle, bina dış kabuğunu oluşturan strüktürel malzemelerin ya da kaplama malzemelerinin olanak elverdiğince ıslanmaya karşı korunması yönünde önlemler alınması; ya da bu önlemleri yerine getirecek bir tasarım anlayışının ortaya konması gerekecektir. Islanma sonucunda şişme eğilimindeki malzeme ıslandığı için soğuyacağından, şişme sırasındaki hacim büyümesi, soğumadan ileri gelen küçülmeyle dengelenecektir. Bu olay şişme ve genleşmeden oluşan hacim büyümelerinin üst üste binmesine (süperpoze olmasına) engel olacaktır. Benzer olaylar kuruma evresinde de görülür. Islanma sonucu kuruyan cisim, ısıl hacim artışıyla büzülme değerlerinin birbirlerini karşılaması sonucunda en az zarar görecektir. [12]

2.2.3.6. Dona Dayanıklılık

Malzeme boşluklarındaki suyun donması %10 oranında hacim artışına yol açar. Eğer malzemenin boşlukları tamamen su ile dolu ise bu hacim artışını karşılayacak bir hacim mevcut değildir. Meydana gelen buz basınçları malzeme bünyesinde basınç ve çekme gerilmelerine neden olur. Bu gerilmeler çözülme ve tekrar buz olma sırasında malzemeyi yorar. Malzeme bünyesinde tahrip etkisi büyük olan çekme gerilmeleri , tekrarlanması sonucu daha da zararlı olurlar.

Malzemelerin donmaya dayanıklılığı doyma derecesi ile belirlenir. Doyma derecesi, su ile dolu gözenek hacmine oranıdır. Malzemenin donmaya dayanıklılığı, doyma derecesinin %80 veya daha küçük olmasına bağlıdır. [7]

2.2.3.7. Gözenek Yapısı (Porozite – Komposite)

Boşluk değeri ,porozite, malzemede bulunan boşluk hacminin malzemenin tüm hacmine oranına; doluluk değeri, komposite, ise malzemenin dolu kısmının malzemenin tüm hacmine oranına verilen addır. Porozite daima 1’den küçüktür.[10]

$$\text{porozite (boşluk hacmi)} = \text{boşluk hacmi} / \text{malzemenin toplam hacmi} = v/V \quad (2.5)$$

$$\text{kompozite (doluluk oranı)} = \text{dolu hacim} / \text{malzemenin toplam hacmi} = d / V \quad (2.6)$$

Gözenekli malzemelerin özellikleri gözeneklerin şekil, boyut ve dağılımına bağlıdır. Gözenekler değişik şekil ve boyutta olabilir. Malzeme içinde bulunan boşluklar malzemenin birim ağırlığını, su emiciliğini, geçirimsizliğini, donmaya dayanıklılığını, mukavemetini, ısı ve ses yalıtımını önemli derecede etkiler.

Porozitesi büyük olan bir cismin mukavemeti düşük, birim ağırlığı küçük ve dış etkilere dayanıklılığı zayıftır. Böyle bir malzemenin fazla geçirimli olması da beklenir. Ses emiciliği için boşluklu malzemeler seçilmelidir. [13]

2.3. Yapı Malzemelerinin Nem İle İlgili Özellikleri ve Nem Karşısında Bozulmaları

Yapı malzemelerinde su emme, malzemenin su ve su buharı ile ilgili özelliklerine bağlı olarak olur ve taşıyıcılık mukavemetlerinin yitirilmesi, parçalanma hatta don etkisiyle dağılma, eriyebilen tuzların yüzeye sürüklenmesi ile çiçeklenmeler, yüzey erozyonları, nem içeriğindeki değişikliklerle boyutsal hareketler, yüzeysel dekorasyonlarda erime gibi hasarlarla sonuçlanır. [8]

2.3.1. Doğal Taşlar

Yapıda taş kullanımı çok eski dönemlere dayanmaktadır. Yapıda temelden çatıya kadar her aşamada kullanılan taşlar, kullanıldıkları yer, yapının konumu, fonksiyonu gibi bir çok etkene bağlı olarak hemen hemen her türlü nem etkisiyle karşılaşır.

Taşların karşılaştıkları kimyasal, biyolojik ve fazla yük gibi fiziksel etkenler sonucu oluşan bozulmalar, taşın fiziksel özelliklerini bozan ve kimyasal bozulmalara zemin hazırlayan fazla nem sayesinde daha da şiddetlenir.

Taş malzemelerdeki dış etkilere karşı hassaslaşma taşın oluşum aşamasından başlar, yapıda kullanılış aşamalarına kadar çeşitlenerek devam eder. Bu nedenle her taş yapı aynı bozulmaları göstermez. Hatta yapıda yanyana duran taşlardan biri bozulurken diğeri sağlam kalabilir. Bütün doğal malzemeler gibi homojen olmayan bir yapıya sahip olan taşların içindeki taş kristaller dış etkenlere farklı tepki gösterirler. Bu durumda da iç gerilmeler sonucunda çatlaklar meydana gelir. [12]

2.3.1.1. Su ve Nem İle İlgili Özellikleri

Taşların su ile ilgili özellikleri kristal boyut ve formu ile gözenek boyut ve düzenine bağlıdır. porozite arttıkça emilen su miktarının arttığı gözlenebilir. Ancak porozite taşın suya karşı davranışını belirlemek için yeterli bir veri değildir. Su emme miktarı ve hızı taşın porozitesinin yanısıra katmanlaşmasının konumu ve gözeneklerinin boyut ve ilişkisi gibi dokusal özelliklere de bağlıdır.

Doğal taşların yığma yapılarda sahip oldukları pozisyona bağlı olarak kılcal nemlilik yıkıcı etkiye sahiptir. Örneğin kumtaşı cephede kullanıldığında iyi sonuçlar vermesine rağmen duvar kesitinin tabanında bozulmayı hızlandırıcı etkiye sahiptir. Bu bozulmada kumtaşının kimyasal bileşiminin de etkisi vardır. Çimento esaslı, silisli olanlar CO₂ saldırısı ile suda çözünmeye elverişli olan kireçlilere nazaran daha dayanıklıdır. Daha taşların ağırlıkça su emme yüzdesinin S_a %1.8'den büyük olması yapılar için tehlikelidir. Malzemenin gözenek yapısı su transferinin oranını (küçük gözeneklerde hızlı, büyük gözeneklerde daha yavaş) etkiler. Küçük gözeneklerin yoğun olduğu bir poroziteye sahip olan taşlarda, nem tutuculuk ve kılcallık daha fazladır.[7]

Kalkerlerin çoğu gibi yarıklı ve çatlaklı taşlar ile kaba kum ve çakıl gibi ayrık olanlar suyu kolayca geçirirler. Granit gibi oyuksuz ve az gözenekli olanlar (çatlak olmadıkları takdirde) ve killi taşlar suyun geçişine engel olurlar. Kireçtaşı ise suda kolaylıkla çözünür. [14]

2.3.1.2. Doğal Taşlarda Bozulmalar

Islanma – kuruma olayları gözenekli taşların bozulmasında önemli bir yere sahiptir. Gözenekli taşlar ıslandığı zaman genişler ve kuruyunca büzülür. Tekrar eden ıslanma ve kuruma dönüşümü, gözeneklerin duvarlarına önemli bir kuvvet uygular. Bu basınç taşın iç mukavemetini aşınca, taşlarda ufalanma ve kırılma şeklinde hasarlar görülür. Islanma – kuruma işlemine karşı direnç taşların gözenek yapısına, kimyasal özelliklerinden çok mekanik mukavemetine bağlıdır. Düşük porozite ve iyi çekme mukavemeti gösteren malzemeler bu tür bozulmaya daha dayanıklıdır.

Su geçirimsizlik sonucu taşlarda tuz kristallenmesi görülür. Zemin suyu içerdiği ve malzeme içerisinde ilerlediği sırada çözdüğü tuzları buharlaştığı noktaya kadar sürükler, burada suyun buharlaşmasıyla tuzlar kristalleşerek birikirler.

Kristalleşmenin olduğu bölümün gerisinde tuzlar çözünmüş haldedir ve hasar da daha azdır. Bu tuzlar ortamın bağıl nemindeki değişikliklerin boyutuna göre ciddi hasarlara neden olabilirler. Ortamın aniden ısınıp elemanın hızla kuruması, eleman içindeki suların yüzeye ulaşmadan buharlaşması sonucu tuzların yüzey gerisinde birikip gözenek duvarlarında gerilmeler yapmasıyla büyük boyutlarda yüzey erozyonlarına neden olur. Makro gözenekli bir taş kristallenmeye mikro gözeneklilerden daha dirençlidir. [4]

Agregaların emdiği su miktarı, taşın kaynağına, bünye ve gözenek yapısına bağlıdır. Kumların su emmesi genel olarak %2'nin üzerine çıkamamaktadır. Kuru kuma su ilave edilince, kılcallık nedeni ile başlangıçta hacmi artar, bir maksimumdan geçer ve kum tamamen doyunca yani suya gömülünce eski hacmine yaklaşır.[4]

Taşa giren su, donma esnasında hacim genişlemesi dolayısıyla mekanik zorlamalara neden olur. Bu etkinin şiddeti, taşın emdiği su miktarının boşluklara olan oranına yani suyun genişlemek için yeterli derecede boşluk bulup bulamaması ve taşın bu kuvvete karşı göstereceği yapısal mukavemete bağlıdır. Oldukça sert olan taşlar bile geçirgenlikleri oranında donmaya karşı daha fazla direnç gösterirler. Bunun nedeni büyük gözeneklerde buz kristallerinin yapıya zarar vermeden genleşecekleri yeterli alanın mevcut olmasıdır.

Donma olayının tekrar etmesi, taşta kamalama etkisi yapar ve taşı tamamen tahrip edebilir. İnce bir çatlağın arasına dalan su donarak çatlağı genişletir, sıcaklık yükselip don çözülünce, su genişleyen kısma etki eder, tekrar donunca çatlağı bir miktar genişletir ve ilerleyen bir kama rolü oynamış olur. [15]

Kireç taşlarında (CaCO_3), hava kirliliğiyle nemin birleşmesi sonucu oluşan kalsiyum sülfat (CaSO_4) taş yüzeyinde birikip kabuklaşır ve dış etkenler nedeniyle bu kabuğun düşmesiyle büyük yüzey erozyonları meydana gelir. Olayın sürekli tekrarı taşı zamanla tamamen çürütür. Yüzeyde kararmalara neden olan, sülfat ve nitrat üreten bakteriler taş yüzeylerine yerleştiklerinde SO_4 ve NO_4 üretirler. [4]

2.3.2. Gözenekli Yapı Malzemeleri

Gözenekli yapıyı kısaca sıvının nüfuz edebilmesi olarak tanımlanabilir. Bu illa ki akışla ya da kapilerite etkisi ile olmalıdır diye bir durum söz konusu değildir. Zaten bu araştırmanın konusu da değildir. Fakat daha sonra belirtileceği üzere su normalde yukarılara bir zorlama olmadan ya da kapilerite etkisi olmadan yükselemez.

Gözeneği tanımlamak önemlidir, iç molekül boşlukları ile karıştırılmamalıdır. Bu boşluklar başka maddelerle kütleli olarak işgal edilemez.

Yapı malzemelerinin gözenekli ya da gözeneksiz olarak ayrılması temel olarak katı fazın oluşma metoduna bağlıdır. Gözeneksiz malzemeler eriyik fazdan soğutulmuştur. Metaller, camlar ve granitler en belirgin örnekleridir. Bitüm ve plastik de sayılabilir. [12]

Şu durum da vurgulanmıştır ki metal kütleler elektrokimyasal yığılmanın sonucu (ya da galvanizleme, metal kaplama da denilebilir) gözenekli olurlar. Bu nedenledir ki çelik pasının üzeri krom kaplanmıştır. Diğer bir taraftan ahşap , tortu taşları , çok çeşitli tuğla , normal beton ve sıvalar gibi gözenekli malzemeler suyun varlığı halinde kendi katı hallerine sahip olurlar. Su asılı parçacıklar taşır. Öncelikle katı maddelerin şekillenmiş molekülleri çözeltideki malzemeleri taşırlar. Sıkıştırılarak ya da suyun buharlaştırılması ile ya da birleşme ile katı kütle oluşumu gerçekleşir. Bu kimyasal birleşme sonucu buharlaşma meydana gelir ve gazlar buharlaşır.

Buharlaşan gazların yeri gözenek oluşturur.

Suyun en iyi arkadaşları, düzenli tuğlalar, hafif kum taşı, ağır kireç taşı, kireç harcı, çimento harcı, alçı gibi yapı malzemeleridir. Çünkü öncelikle iyi bir ısı yalıtımı sağlarlar. Fakat bu özelliklerini yüksek kılcal emme güçlerinin sonucu olarak rutubetli olmalarından dolayı kaybederler. [15]

Malzemeden su emildiği gibi kolay buharlaşabiliyorsa iyi kılcallıktan söz edilir, kötü kılcallıkta ise, malzemelerde su sadece yüzeyden buharlaşıp merkezde kalır.

Malzeme bünyesindeki su, yapım sonrası iç ve dış etkenlerden kaynaklanabileceği gibi, yapım aşamasında kullanılan sudan da kaynaklanabilir. Farklı malzemeler yan yana gelince küçük gözenekli olanlar büyük gözenekli olanlardan su çekeceklerdir. Malzemelerin kılcallık özellikleri, malzemenin içinden yüzeyine doğru su emme kuvvetini etkiler.[11]

Bünyesinde su bulunduran malzemelerin yanına su geçirimsiz bir malzeme yerleştirilirse, malzeme içindeki nem dışarı çıkamaz ve malzeme içinde kalır.

Suyun cephede akışı, farklı emicilik özelliklerine sahip malzemelerin sıralanmasına bağlıdır ve erozyon sonucu görünüş bozukluklarına, lekelenmelere yol açabilir.

Cephede kullanılan malzemelerin suyu emicilik oranları arasında bir ilişki bulunmalıdır. Emme, emilebilen sıvı miktarının yüzdesidir ve doyma ile sınırlanır. Emme özellikleri malzemenin porozitesi ile ilgilidir, gözenekli malzemelerde emicilik fazladır. Malzemenin emiciliği yüksekse, suyun akış hızı lekelenmeler azalır. Malzemenin eriyebilirlik özelliği arttıkça eğilimi de artar.[16]

2.3.2.1. Alçı, Kireç, Çimento, Puzolanlar, Harç ve Betonun Su ve Nem İle İlgili Özellikleri

Alçının boşluklu yapısı ısı iletkenliğinde olduğu gibi su ile ilişkisinde de etkilidir. Alçının su emiciliği yüksektir ve suya dayanıklılığı iyi değildir. Alçının yüzey gerilimi, suyun yüzey gerilimine karşı koyacak güçte olmadığından, boşluklar kılcal yolla su ve nemi bünyesine alır. Suyun buharlaşarak boşluk meydana getirmesi ise mukavemeti düşürür. Bu bakımdan hava etkilerine açık yerlerde kullanılması tavsiye edilmez.

Kireç suya dayanmaz, çözülür. Yağlı kireç 1 litre suda 1.3 gr erir. Bu yüzden su ile temas eden yapılarda yağlı kireç kullanılmamalıdır. Sıvalarda ise bağlayıcı olarak çimento ile birlikte kullanılır.

Çimentonun su emiciliği düşüktür ve su etkisine karşı mukavemetlidir. Ancak çimento kurudukça sertleşmekte ve büzülmemekte (rötre), ıslandıkça şişmektedir. Rötre nedeniyle meydana gelen çatlaklar, mukavemet düşmesine ve geçirimsizliğe neden olur. Suyla temas eden toplam yüzeyin artması, hidratasyonu hızlandırır ve mukavemeti yükseltir. [5]

Buhar difüzyonuna en fazla imkan veren alçıdır. Alçı, yalnızca yoğuşmayı geçirmekle kalmayıp, aynı zamanda boşlukların da önemli oranda nem ve yoğuşma suyunu absorbe eder. Ortamdan aldığı nemi, nem oranı düşünce tekrar geri vererek nemin dengelenmesini sağlar.

Çimentonun jel boşluklarında bulunan su molekülleri komşu katı yüzlere çekim kuvvetleri ile sıkıca bağlıdır ve bu durumda 0°nin çok altındaki sıcaklıklarda dahi kristalleşip donmazlar ve betona zarar vermezler. Çimento hamurundaki kılcal boşluk sistemi ise, su-çimento oranına, hidratasyon derecesine, çimento cinsine ve katkı maddelerine göre çok değişken ve suyun donması sırasında asıl zararı meydana getiren boşluk sistemidir. Bu boşluklara girebilen su, donmaya başlayınca, jel boşluklarındaki suyu da çekerek hacmini genişletir, çevredeki boşluğa buz basınçları

yapar, buzun arkasındaki henüz donmamış suyu da basınçlar hidrostatik basınç olarak iletir. Kılcal boyuttaki boşluklar içindeki suyun akış hızı çok yavaş olduğu için iç basınçlar yüksek değerlerini uzun süre korurlar. Bu olay arka arkaya tekrarlandıkça, çimento hamurunda çatlaklara, hacim genişlemelerine, yüzey dökülmelerine yol açar. Çimento hamurunda donmaya dayanıklılık, su-çimento hamuruna ve katkı maddelerine bağlıdır. [8]

Harca su girmesi zararlıdır, doğal hava şartları altında bu suyun donup erime aşamaları duvarın patlamasına neden olabilir. Harca giren su, harcın içindeki tuzları da çözer. Bu tuzlar daha sonra duvarın yüzeyine çıkar, kuruma sonrası da kristalleşir. Harcın su tutuculuğu, yüksek rötesi, bağlayıcılık türü ve miktarı su ile doğru orantılıdır. Rötire dolayısıyla meydana gelen çatlaklar geçirimsizliği artırıcı ve mukavemeti düşürücü niteliktedir.[17]

Harçta geçirimsizliği sağlamak için doluluğu artırmak gerekir.Bunun için de granülometri çok önemlidir.

Beton üretimi sırasında meydana gelen rötire nedeniyle meydana gelen çatlaklar sonucu oluşan kılcal boşluklar su geçirimsizliğine neden olur. Beton içindeki boşluk geçirimsizliği etkileyen tek faktör değildir. Geçirimsizlik boşluk miktarından başka boşluk boyutlarına, bunların dağılma şekline ve birbirleriyle bağlantılı olup olmamalarına bağlıdır. Boşluk boyutu arttıkça suyun malzeme içinden geçişi kolaylaşmakta ve geçirimsizlik artmaktadır. Kılcal boşlukların çap ve büyüklüğüne bağlı olarak, yüksek veya düşük basınçlı su geçirimsizliği ve ya su buharı difüzyon kurallarına göre kılcal geçirimsizlik meydana gelir.

Betonun su emiciliğine agregaların su emiciliğinin önemli bir payı vardır. Yüksek su emiciliği istenilen bir özellik değildir, ama hafiflik ve ısı yalıtımı yüksek emiciliğin bir sonucudur. Beton büyük gözeneklere sahipse; ilk su emiciliği yüksek olur. Agregaların ve çimento hamurunun içindeki birbirleriyle bağlantısız hava dolu gözenekler, ses ve su geçirgenliği azaltır.[18]

Beton donup sertleşirken içindeki su miktarında, dolayısıyla da hacminde değişiklikler meydana gelir. Bu olay sadece hava ile temas ederek gerçekleşirse, hacmi küçülür, büzülür, rötire yapar. Priz suyun içindeki meydana gelirse hacim büyür, böylece boyutlarındaki değişiklik zamanla birlikte artmakta ve beton ancak 1 yıl geçtikten sonra boyut bakımından kararlı bir durum almaktadır. [16]

2.3.2.2. Pişmiş Toprak Yapı Malzemeleri Su ve Nem İle İlgili Özellikleri

Su emme özelliği, pişmiş toprak malzemeler arasında boşluklu olanlar için önem kazanır. Emilen su ağırlığının sabit kuru ağırlığa oranı su emme değeridir. Bu büyüklük malzemenin ne oranda boşluklu olduğunu gösterir.

Tuğla hafif, üretimi kolay ve pratik bir malzeme olması nedeni ile bina yapımında sıkça tercih edilen bir malzemedir. Birbirine çok benzer formda ve birim hacim ağırlıkta üretilen tuğlaların su emme kapasiteleri farklılık gösterebilir. Bu durum boşluk oranı aynı olsa bile boşluk yapıları tuğlaların su emme ile ilgili değerlerini değiştirir. Tuğlalardaki bu boşluklar, kil hamurunun hazırlanması sırasında içinde boşluk kalması, tuğla hamuru içine karışan kimyasal maddelerin ısınınca gaz haline gelip uzaklaşması, yapım suyunun buharlaşması gibi nedenlerle oluşur. Donma dayanıklılık özelliği aranan tuğlalarda su emme değerinin düşük olması istenir. Su emme derecesi de kile, üretim metoduna ve yanma ısısına bağlıdır. [19]

Islanma ve su emmeye karşı pişmiş toprak malzemeler sırlı olarak kullanılmalıdır. Su geçirimsizlik tuğla ve kiremitte önem kazanır.

Donmaya dayanıklılık özelliği fayanslar, kiremitler ve fabrika tuğlaları için aranan bir özelliktir. Malzemenin donmaya karşı dayanıklılık göstereceği, yüzeyinin pul pul olmamasından anlaşılır.

Yüksek basınç mukavemeti ve düşük emiciliğe sahip ürünler donma-erime hasarlarına daha dayanıklıdır. Donma tehlikesi en fazla, su emme ve sıcaklık düşmelerinin bir arada olduğu hallerde görülür. [19]

2.3.3. Ahşap

Ahşap çok değişik kullanım alanları içinde istenilen özelliklere sahip doğal bir malzemedir. Kaynağı yenilenebilir tek hammadde olma özelliğiyle günümüzde hala önemini korumaktadır. Hafif bir malzemedir. Çatılarda olduğu gibi, özellikle hareketli yüklerin az olduğu konstrüksiyonlarda beton ve çeliğe oranla daha olumlu sonuçlar verir. Ahşap taşıyıcı sistem elemanlarının hafif oluşu montajda büyük kolaylık sağlar. Ayrıca bu hafiflik sayesinde temellere ulaştırdığı yük de daha az olacaktır. İşçiliği kolaydır ve önemli alet ve makinelere ihtiyaç duymaz. Ahşabın mukavemeti, iklim, arazi, bünyesel kusurları, kesilme yaşı ve cinsine göre değişir. Bu etkenler aynı zamanda bir yapı malzemesi olarak ahşabı tarif ederler.

Ahşabın sakıncalı bir tarafı mukavemetine etki imkanı yoktur. Tabiattan alınan bir malzeme olduğu için mukavemeti de sabittir. [20]

2.3.3.1. Su ve Nem İle İlgili Özellikleri

Ahşap su emici bir malzemedir. (S_a :%15-100). Su emildiği zaman lifleri meydana getiren zincirlerin arası açılır ve böylece hacim büyür yani ahşap şişer. Şişme ve büzülme ahşabın üç yönünde aynı değildir. Lifler yönünde hiçbir değişiklik görülmez. Yoğun ahşap yumuşak ahşaba nazaran daha çok büzülür. [21]

Ahşaptaki nem oranı %30'u geçerse ahşabın mukavemeti sabit kalır. Nemin %20'den az olduğu ahşap kuru, %20-30 arasındaki ahşap yarı kuru, nemin %30'dan fazla olduğu ahşaplar yaş ahşaplar olarak sınıflandırılırlar. Nemle mukavemet ters orantılıdır.

Ahşap higroskopik yapısı nedeniyle havadaki nem bünyesine alabilmekte ve havaya nem verebilmektedir. Nem emdiği zaman genişler (şişme), kuruduğu ya da nem kaybettiği zaman büzülür (rötre). Ahşap kesildikten sonra havadaki nem oranıyla bir denge sağlayıncaya kadar nem kaybetmeye başlar. Kurutularak uygun nem içeriğine getirilir.[21]

Ahşabı uygun nem seviyesine getirmek için yapılan kurutma işlemi yavaş yavaş yapılmalıdır. Ani ısı değişimleri ahşabın çatlamasına sebep olmaktadır. Bu da mukavemeti azaltmaktadır.

- Ahşabın kimyasal yapısını feşkil eden selüloz ve ligninin moleküllerine kimyasal olarak bağlı bulunan bünye suyu kurutma sırasında yok olmaz, miktarı değişmez, sabittir.
- Selülozu absorbsiyon yoluyla elde ettiği su ahşabın şişmesine neden olur ve ahşabın içinde bulunduğu ortamın rutubet derecesi ile ilişkilidir.
- Hücre içlerini ve ya hücre aralarını dolduran su kapilerlik suyu ve ya serbest su adını alır. [18]

2.3.3.2. Yapı Ahşabında Çürüme

Ahşap higroskopik olması nedeniyle nem değişikliklerine karşı oldukça duyarlıdır. Ahşaptaki nem oranı havadaki nem oranına bağlı olarak değişiklikler gösterecektir. Ahşapta, havanın nemliliğindeki ani değişimler sonucu, çeşitli deformasyonlar oluşur.

Ahşaptaki nem dışarı çıkmak isteyecektir. Ancak geçirgen olmayan bir kaplama veya boya kullanmak bu geçişi engelleyecek, nemin tabakanın arkasında birikerek su kabarcıkları oluşturmaya neden olacaktır. Bu arada nemin buhar basıncı, adezyon kaybına ve kabarmalara, tabaka üzerinde doku ve lekelenmelere neden olabilir. Boya tabakasının çatlaması sonucu, çatlaklardan giren su, mantarların gelişmesi için de uygun bir ortam oluşturur. Bunları önlemek için ahşabın nefes almasını sağlayan, su geçirmeyen fakat su buharına engel olmayan boyalar tercih edilmelidir. [2]

- Ahşaptaki tamir ve koruyucu önlemler mantar istilasının devamlılığı ya da bitmesi göz önüne alınarak seçilmelidir.
- Ahşabın empenyesi geçerli bir önlemdir, fakat ahşapta aktif olan mantar saldırısını durdurmaz.
- Her durumda ilk çare nemli ahşabın iyi havalandırılmasıdır. [2]

Aşırı nem (%15 üzeri) basınca karşı dayanımın azalmasına neden olur. Bu sebepten dolayı nemlilikten dolayı ahşap sonbahar ve kışın yaza oranla daha az kullanılır.

Ahşaptaki kendiliğinden gelen mantarların açığa çıkması üç şartın var oluşu ile meydana gelir.

Bunlar; ahşaptaki nem içeriğini %18'in üzerine çıkması, havalandırma eksikliği ve ısının minimumunda oluşudur.

En yaygın bünyesel mantar türü *merulius lacrymens*'tir. Sadece 27°C'nin altındaki sıcaklıklarda yaşayabilirler. Bu mantarlar önemsiz sayılabilecek nemlilik ortamında yaşayabilirler. Hayatta kalmaları için havanın oluşu yeterlidir.

Ahşabın nem oranı %12 ile %15 arasında kaldığı zaman ahşap kuru kabul edilir. Limit konulmak gerekirse yapıda sıkça kullanılan ahşapların sabit nem değeri %12'dir. Ahşap sağlıklı bir atmosferde aşırı bir nem absorbe ettiğinde; yalnız olarak ya da biyolojik faktörlerle birleştiğinde değişik sonuçlar doğurur. Yapıma kadar nem ahşaba zarar verir. Çünkü basınca karşı direncini azaltır. Gerilmeye karşı direnci etkilenmez. Ahşabın en kötü düşmanı mantarlardır.[1]

Mantarların ahşabı istilası için üç durum mevcuttur:

- nem oranı %18 ya da daha fazla ise,
- havalandırma eksikliği,
- mycelium'un gelişmesi için gerekli olan ısı.

Mantar saldırısı ahşabın lignin ve selüloz yapısını bozar. Fakat asla aynı anda ikisini etkilemez. Önce biri daha sonra diğeri etkilense de bu farklı mantarların etkisidir. Sonuç olarak organik asit ve karbonhidratlar açığa çıkar.

Genellikle iyi hava sirkülasyon rutubet varlığına rağmen mantar saldırısını önler. Bu yüzden bünyede var olan mevcut mantarlaşıma nem probleminin göstergesi değildir. Fakat aynı zamanda yetersiz havalandırmanın işaretidir.

Bünyede mevcut olan mantarla mücadele tehlike ahşabın derinliklerine işleyen mycelium gibi selülöz ve ligninin içeriden dışarıya taşınması ve ahşabın dış yapısı bozularak taşıyıcılığının etkilenmesi ve sehim oluşmasıdır.

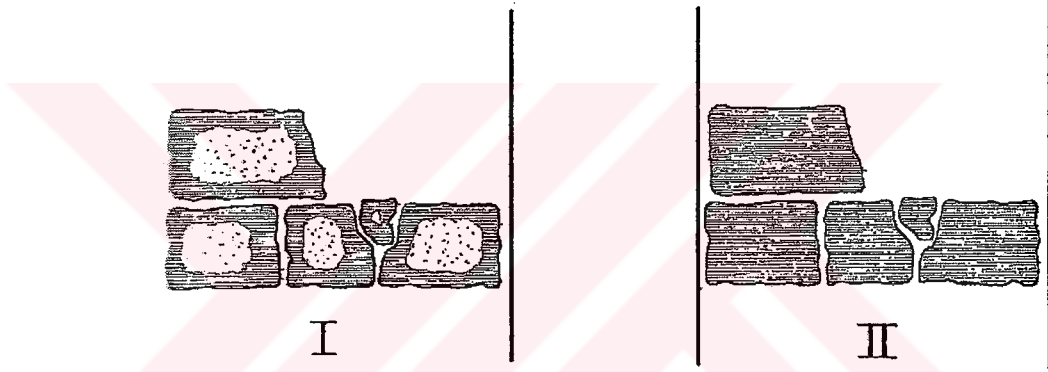
Üç adet kullanışlı tamir metodu vardır:

- bozuk ahşapları kaldırmak,
- emdirilmiş , empreyne edilmiş, kurumuş ahşapla yer değiştirmek,
- çevresel şartları düzenleyerek iyi havalandırma sağlayıp suyun akışına hava sağlamak. [1]

BÖLÜM 3. YAPIDAKİ SU KAYNAĞININ TANIMI

Yapı elemanlarının nemlenmesi temel olarak zemin suyu, yağış suyu ve havadaki su buharı olmak üzere üç kaynağa dayanır.

Yeni yapılarıdaki duvarlarda su daima harç ile yayılır. Bu yüzden tuğla ya da taşın orta kısmı kurudur. Halbuki eski duvarlarda su genelde bütün bina elemanlarına yayılır. (Şekil 3.1)

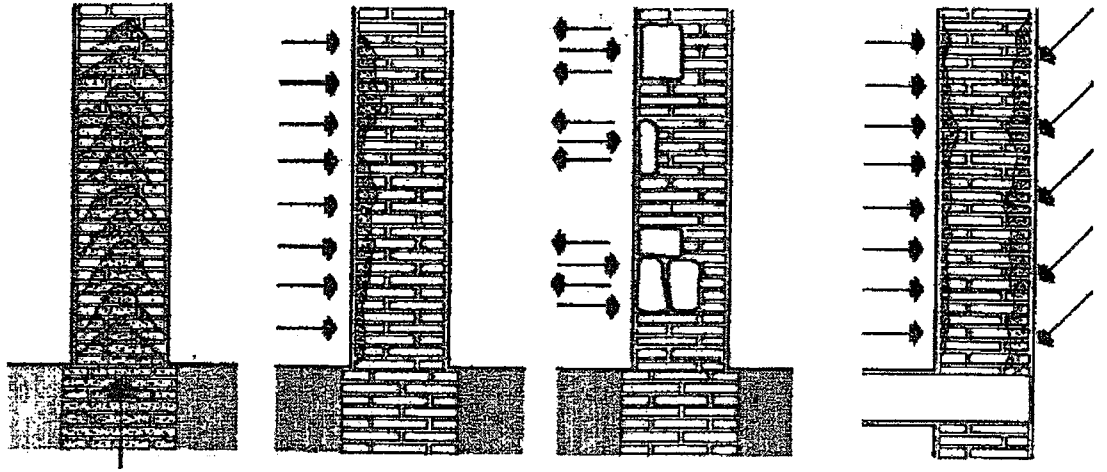


Şekil 3.1: Yeni duvarlardaki (I) ve eski duvarlardaki (II) taşlarda nem dağılımı

Yapı nemi :

- Bütün olarak yeni binanın tamamına yayılır,
- Kendi kendine zaman içinde tüketir.

Belirli yaştaki binalarda kılcallık etkisine neden olan yer altı nemi ve yoğunlaşmaya neden olan havadaki nemin penetrasyonu nedeni ile rutubet oluşabilir. Nemin dağılışı tuğla duvarların çeşitliliğine göre yeraltından yükselen nem ya da havadan gelen nem gibi farklılıklar gösterir. (Şekil 3.2). [1]



Şekil 3.2: Yeraltından yükselen ya da havadan gelen nemin tuğla duvarda yayılışı

Birinci duvar kesitinde nem temelden başarılı bir şekilde çekirdekten kenarlara göre fazla miktarda yükselmektedir. II., III. ve IV. kesitteki duvarlarda ise sıvı formu duvarın iç kısmında depo edilen ve çoksıklıkla görülen nem yoğunlaşması çeşidi görülmektedir. İkinci duvar kesiti homojen bir duvardır örneğin tamamen benzer tuğlalardan yapılmıştır ve hemen hemen döşemeden tavana kadar soğuktur; yoğunlaşma bütünüyle duvarda en alttan en üste kadar depolanmıştır. Üçüncü kesitte duvar heterojendir örneğin eski binalardan alınan eski tuğla ya da taş içermektedir. Bu lekeler sıcaklığa ve çevreye bağlı olarak gelir, giderler. Son olarak en son kesitte ise yağın yağmurdan açığa çıkan nem olayı görülmektedir. Dünyanın her yerindeki mimarlar, mühendisler, müteahhitler, yağmur suyunun duvarlardan içeri girişi konusunda hata yapmaktadırlar. Doğru olan rüzgarla beraber eğik olarak yağın ve biriken yağmur duvarı çok çabuk bir şekilde soğutmaktadır. Bu serinletme duvarın iç kısımlarına kadar ulaşır ve odanın havadan su buharını tutmasına neden olarak odayı neden buharlı bulduğumuzu açıklar. Pencerelerimizdeki, ve duvarlarımızdaki çığ bizi şaşırtmamalıdır.

Kılcallıkla yükselen nem ve yoğunlaşma olayı sürekli birbiri ile karıştırılmaktadır.

Çabuk bir şekilde ikisini birbirinden ayırabilmek için aşağıdaki tablodan yararlanmak mümkündür: (Tablo 3.1). [1]

Tablo 3.1: Kılcallıkla yükselen nem ve yoğuşma olayının farklılıkları

Zeminden Yükselen Nemin 5 Özelliği	Havadan Gelen Nemin 5 Özelliği (yoğuşma)
Mevsime bağlı değildir.	Her yıl aynı mevsimde görülür.
Duvarda çok yükseklerle çıkmaz: 2-3m.	Yapıda herhangi bir yükseklikte bulunur.
Bir kenardan diğerine tüm duvar kesiti boyunca nem emdirilir.	Sadece duvar yüzeyi ıslaktır, fakat sıvı olan su hava pislikleri içerir.
Su zeminden alınır; ya yüzeysel olarak (lağım, su boruları...vs) ya da derin su katmanlarından alınır.	Su havada su buharının soğutulması ile emilir.
Yayılan su drenaj edilerek ya da duvar kesilerek önlenir. Geri dönüşü yoktur.	Çabuk olarak ısıtma ve havalandırma ile önlenir. Aşırı değişkendir.

3.1. Suyun Yapıya Gelişi

Yapıya gelen su kaynakları;

- akan su kaynakları; yağış, servis,
- kılcallık kaynakları; zemin suyu, gözeneklerden emilen su, birbirleriyle temasta olan malzemeler arasındaki su,
- su buharı kaynakları; suyun buharlaşması, insan aktiviteleridir.

Genellikle su ile doğrudan teması olan yapı elemanları çatılar, duvarlar ve temellerdir. Su, bu tür yapı elemanlarında yapı bünyesine farklı fiziksel yollarla girer.

Temellerde, basınçlı su etkisi ve kılcallık yoluyla; duvar ve çatılarda ıslanma sonucunda ortaya çıkan kılcallıkla; teraslarda ise biriken suyun oluşturduğu basınç etkisiyle yapı elemanları ıslanır. [16]

3.2. Suyun Yapıdaki Hareketi

Suyun yapıda yayılışı ise :

- kılcallık yolu ile ,
- basınç hareketi ile su hareketi
- buhar difüzyonu ile olur.

Yağışlarda duvar içine girebilen su, yağış sonrası dışarı atılabilmeli , duvar kuruyabilmelidir. Yapıya giren suyun çıkışı da sağlanmalıdır. Aksi takdirde suyun yapı bünyesinde tutulması sakıncalıdır [16]. Malzemelerin emicilik özelliği de nemin

malzeme içinde tutulmasına yol açar. Bu nedenle yapı elemanının hasar görmesinde elemanı oluşturan malzemelerin nemlenme ile ilgili özellikleri önemlidir. Belirli bir süre direkt olarak suya maruz kalan yapı elemanlarında görülecek hasar ve problemlerin engellenmesi için malzeme özellikleri ve yapı fiziğine etkisi bilinmelidir. Su, yapıda pek çok hasarın oluşumunda önemli bir faktördür. Su etki ettiği yüzeyde; çözme, taşıyıcılık etkisi, fiziksel, kimyasal deformasyon yapar. Yapı bünyesinde çeşitli şekillerde giren su, pas, iç gerilim çatlakları, küflenme, çiçeklenme, boyalarda ve kaplamalarda kabarma ve metallerde korozyona neden olur. [22]

3.3. Suyun Yapıda Depolanması

Duvar bünyesindeki nem, duvarı oluşturan malzemelerin özelliklerinden, öncelikli olarak gözenek büyüklüğü, tipi ve biçimi ile çevre koşullarına bağlı olarak, farklı tiplerde taşınmaktadır.

Nem malzeme özelliklerine ve çevre koşullarına bağlı olarak, dış duvarı oluşturan malzemelerin bünyesinde, absorpsiyon ve kılcallık kuvvetleri nedeni ile depolanmakta veya serbest olarak su birikmektedir.

Absorpsiyon; su moleküllerinin, malzeme gözeneklerinin yüzeyinde van der Waals kuvvetleri nedeni ile, birikmesidir. Bu şekilde emilen nemin miktarı ile havanın belirli sıcaklıktaki bağıl nem oranı ile doğrudan bir ilişki söz konusudur.

Malzeme içinde buhar veya sıvı haldeki nem taşınmasının artması sonucu, nemin absorpsiyon 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. [23]

3.3.1. Nemliliğin Nedenleri

Nem değişik nedenlere bağlı olarak, yapının bünyesine girmekte, değişik etmenlere bağlı olarak taşınmakta ve belirli süre depolanmaktadır. Yapının bünyesine giren nemin taşınma tipi, depolanan nemin miktarı ve bünyede kalma süresi, yapıyı oluşturan malzemelerin fiziksel özelliklerine ve çevresel etmenlere bağlıdır. Burada bahsedilen malzeme özellikleri, gözeneklilik oranı ve gözenek tipine bağlı olarak buhar geçirgenliği, donatı dayanımı, kılcallık özelliğidir. Söz konusu çevresel etmenler

ise, havadaki nemin miktarı, sıcaklık, güneş ışıınımı, yağış tipi ve miktarı, rüzgar yönü ve hızı, zemin cinsi ve zemin sularıdır. [11]

Nem, bina yapımı sırasında ve öncesinde oluşan koşullara veya yapım sonrasında bina dışındaki ve içindeki koşullara bağlı olarak, değişik yollarla dış duvarların bünyesine ulaşabilmektedir. Dış duvarlardaki nemliliğin nedenleri:

- Yapı malzemelerinin yapım öncesi taşınması veya depolanması sırasında ortamdaki nemin malzeme bünyesine girmesi.
- Zemindeki nemin kılcallık ile toprak ile ilişkili olarak dış duvarların bünyesine girmesi.
- Dış ve iç ortamdaki, bağıl nem oranındaki ve sıcaklıktaki farklılık sonucu yapı elemanının içinden difüzyon yolu ile geçen buharın, farklı nedenlere bağlı olarak birikmesi.
- Dış ve iç ortamdaki nemin, absorbsiyon yolu ile dış duvarların yüzeylerinden bünyelerine alınması.
- 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.
- Su yalıtımındaki hasarlar sonucu, dış duvarların bünyesine su girmesi.
- Su tesisatındaki hasarlar sonucu, dış duvarların bünyesine su girmesi. [22]

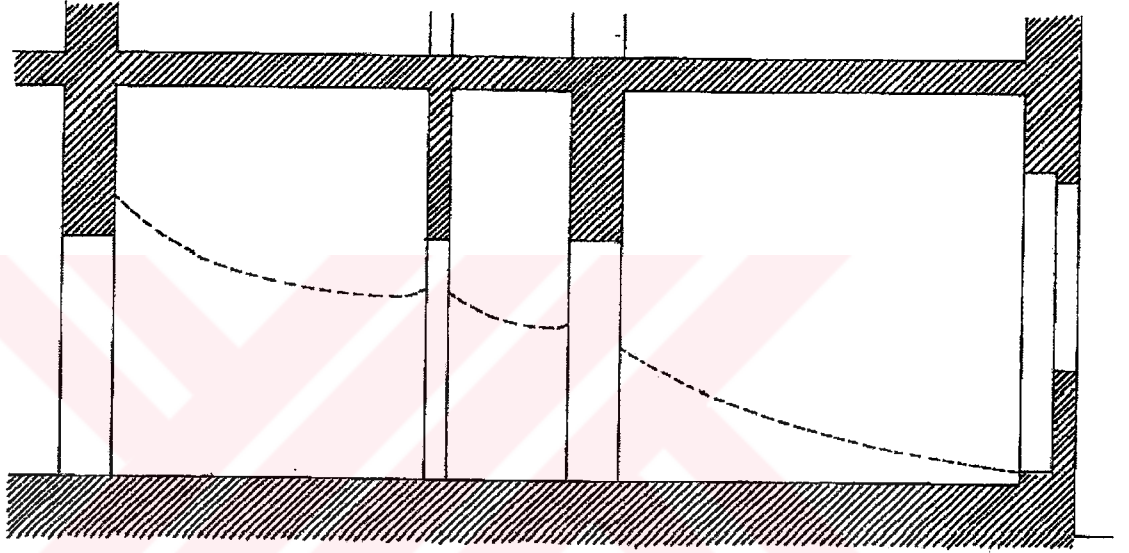
3.3.2. Yeraltından Yükselen Nemin Özelliği

Topraktan yükselen nem üç şekilde ortaya çıkar.

- Yer çekimi etkisi altında süzölen yağış suları, yağış olmayan zamanlarda kapilerite veya ısı etkileriyle zemin suyu seviyesinin üstüne yükselirler. Yapının zemin suyu seviyesi üzerinde kalan bölümleri basınçsız su etkisi altındadır.
- Süzölme bölgesinden gelen sular zemin elemanları arasındaki boşlukları doldurduğu zaman suya doymun bir bölge oluşur. Bu suların yüzeyine yeraltı su seviyesi veya su tablası adı verilir. Bu seviyenin altında kalan elemanlar basınçlı su etkisi altındadır.
- Yağış suları ters eğim veya uzaklaştırma sistemindeki aksaklıklar nedeni ile yapı oturum alanı çevresinde birikebilir. Bunlar da kılcallık etkisi ile yapı malzemesi bünyesine girip yükselir.

Yayılan, dağılan sular kazara ortaya çıkar ve uygun miktardan sonra durur ve kesilir. Yeraltı suyu ise gizli bir akıştır ve yok edilemez. Tamamen her iki durumu da düzeltmek için farklı yaklaşımlar gerekmektedir. Yapıdaki su miktarının belirlenmesinde sistematik bir takım aktiviteler uygulanmaktadır. Bunlar:

- Nemli duvar yanında kuru bölgeler bulunana kadar birçok delikler açılır.
- Kuyu , sarnıç , iç ve dış lağım suyu sızıntılarının kontrolü iyice yapılır.
- Yağmur suyu drenajı ve sokak lağım sisteminin bağlantısının iyi olup olmadığı titizlikle yapılır.



Şekil 3.3: Bir dizi oda duvarının nem kesiti incelenerek yeraltından yükselen nemin nereden süzülüşünün tesbiti

İki tip su kaynağı aşağıdaki özelliklerle birbirinden ayırt edilir :

- Yayılan sudan nemin ayrıştırılması ;
 - sıklıkla binanın bir bölümünde ya da bir parçasında yer almaktadır.(Şekil 3.3)
 - sınırlı sayıdaki grup binaların ya da sadece bir binanın tipik özelliğidir.
 - yıl içinde yükselerek değişir.
- Su seviyesinden çekilen nem ;
 - eğer karkası farklı bir materyalden yapılmamışsa binayı müthiş bir bütünlükle etkiler.
 - maksimum yüksekliğe kuzey ve kuzey – doğuda ulaşır , minimumu güneşte açığa çıkar.

- aynı özellikte , aynı anda ve aynı zeminde yapılan tüm binalar için benzer özelliktedir.
- yıl boyunca boyuna yükselmez. [1]

3.3.3. Nemin Ölçülmesi

Binalardaki rutubetin rahatsız edici varlığı tüm dünyadaki yapılarda görülebilmektedir. Bu durum insanlığın varlığı kadar eskiye dayanmaktadır. Her ne kadar bazı durumlarda nemin varlığı belirsiz ve miktarı şüpheli olsa da çok kolay tespit edilen ölçümler de mevcuttur. En önemlisi duvarın içindeki su miktarının ölçülmesidir.[1]

Massari'ye göre sıvalar nemi belirtmek için güvenilir değildir. Gerçekten eski binalarda sıvalarda oluşan lekeler aktif sızıntının işareti olmaktansa eski olaylardan kalmış olabilir. Yüzey bozulmalarının varlığı genellikle kuruluk ve ıslaklık durumunun değişimli tekrarlanması ile alakalıdır. Bu durum sabit olmayan ısı ve soğuğa maruz kalan dış duvarlarda görülebilir. Aynı zamanda serin ve yüksek bağıl nem içeren havalanamayan iç duvarlarda genellikle hiç yüzey bozulmaları görülmez. Bu nedenle nemin en kötü durumu sıva hiçbir değişiklik göstermez.

Çiçeklenmenin varlığı ya da yokluğu diğer bir faktörle yakından ilgilidir ; göçmen tuzların varlığı. Bir duvar basit olan diğerine göre illa ki daha rutubetli olmak zorunda değil çünkü o daha fazla tuz kristalizasyonunu gösterir.[1]

Küf sıklıkla çekmecelerin içinde , eşyaların arkasında ya da sandıkların arasındaki kısımlarda sınırlanmıştır. Ve odanın diğer bölümlerinde bulunmaz. Küf sadece hava, az miktarda ışık, organik yemek varlığı olduğunda az miktarda nem ister. Bu üç faktör hemen hemen nemden daha önemlidir. Bu yüzden küfün varlığı sırf nemin kaynağı ve miktarı olarak değerlendirilmemelidir.

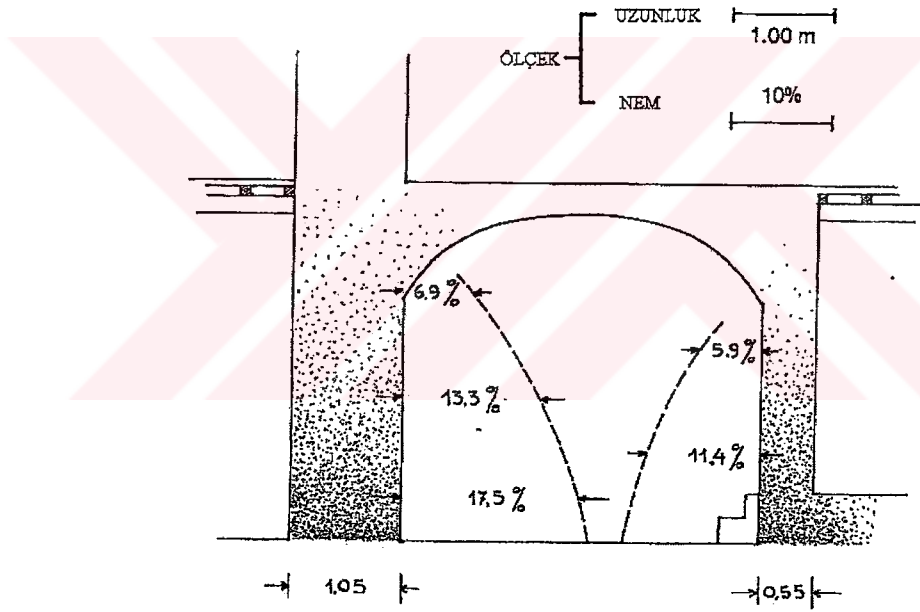
Massari'ye göre su kaynakları ve odanın nem derecesi uygun ölçümlerle tam olarak belirlendiğinde sağlık memurları mekanların yaşamaya elverişli olduğu durumların sınırları ile ilgili topluma karşı sorumlu kararlar vermelidir. Sonuç olarak en etkili yöntem bir sıra geleneksel ve günümüz restorasyon teknikleri arasından seçilebilmelidir.[1]

Nem daima yükselme eğilimindedir. Bu durum yani nemin yükselme eğilimi, yer altı suyuna oturan yapı elemanının kılcallığı ile desteklenir.

Güneydeki nem yüksekliği kuzeydekine göre daha azdır. Bunun nedeni ise güneş etkisidir. Güneş emme yüksekliğini azaltmaktır. Nem her ne yükseklik kazanıyorsa kazansın suyun kılcal kanallar boyunca akarak duvarın içinden geçtiği kabul edilir. Toprak seviyesindeki duvarın yatay kesitinden birim zamanda emilen su miktarı akma oranı ya da emiş kesiti boyunca içeri alınabilecek miktar olarak kabul edilir. Buharlaşarak çıkan aynı miktardaki su emilerek geri gelir. Duvarın buharlaşma yüzeyi herhangi bir nedenle azalırsa nem tekrar yükselmeye başlayacaktır.

Farklı kalınlıktaki duvarlarda, emiş kısmı ve bu yüzden akış oranı kalınlık artışı ile doğru orantılı olarak büyüyecektir. Diğer şartlar aynı kabul edilmekle beraber yüksek emişi dengeleyebilmek için kalın duvar daha büyük bir buharlaşma yüzeyine ihtiyaç duyacaktır. O yüzden daha kalın duvarda daha fazla nem yükselecektir. (Şekil 3.4)

[1]



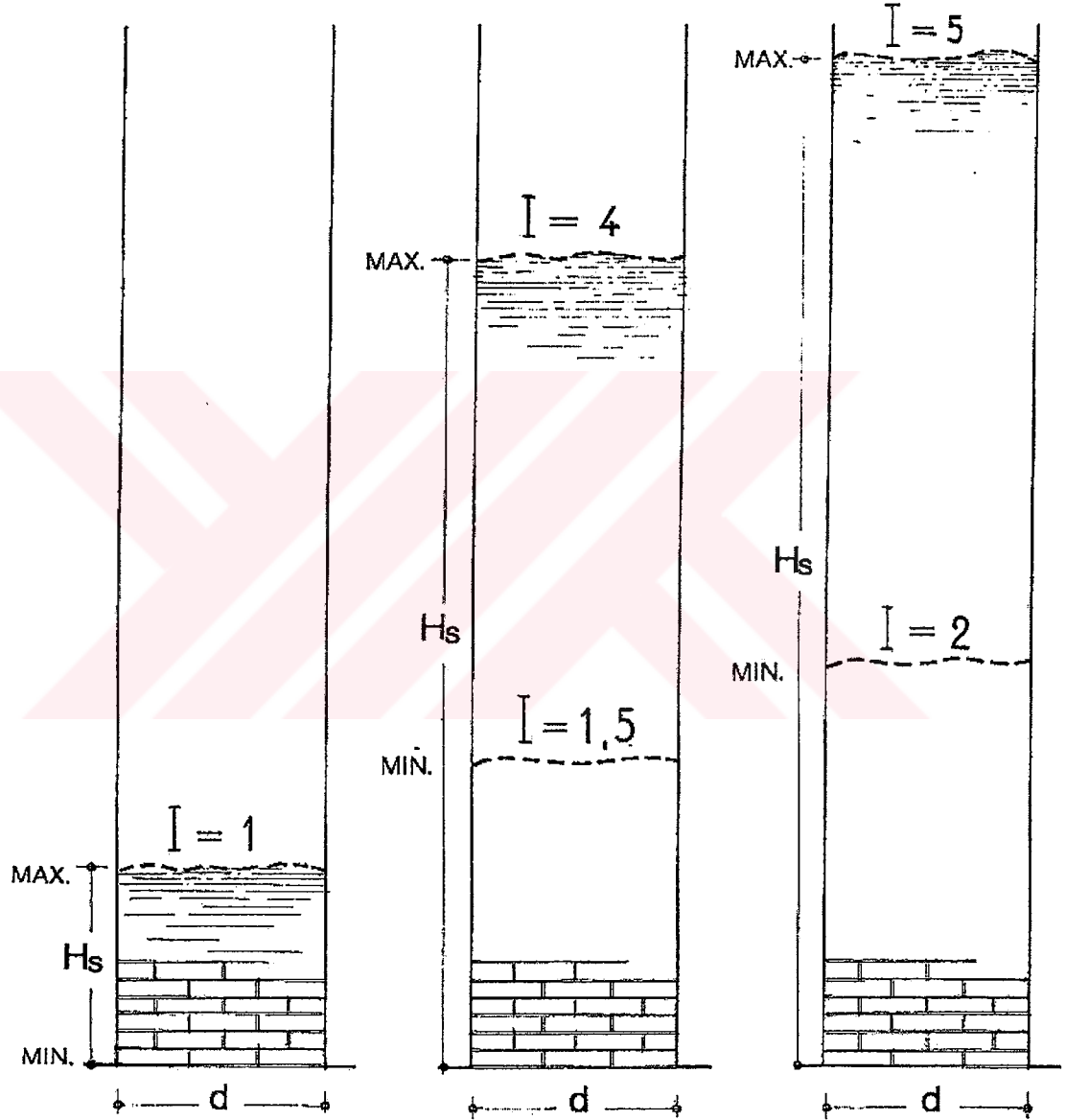
Şekil 3.4: Farklı kalınlıktaki duvarlarda nem dağılımı

Massari'nin Roma'daki rutubetli duvarlarda yaptığı araştırmalara göre buharlaşma yüzeyi ve emme yüzeyi arasındaki ilişki ortalama değer olarak aşağıdaki gibidir:

- serbest sütunlarda (buharlaşma yüzeyi / emme yüzeyi) =2'den - 3'e
- dış yüzeyli dış duvarlar (buharlaşma yüzeyi / emme yüzeyi) =3'den - 8'e
- yük taşıyan iç duvarlar (buharlaşma yüzeyi / emme yüzeyi) =4'den - 10'a

Şekil 3.5 gösterir ki;

- Her tarafını havalandırmaya maruz kalan serbest sütunlarda emme yüksekliği sütunun kalınlığına eşittir. O yüzden tırmanma indeksi 1'e eşittir.
- Dış yüzeyli duvarlarda, emme yüksekliği kalınlığı 1.5 ile 4 kat arasında değişir. B yüzden tırmanma indeksi 1.5 ile 4 arasındadır.
- İç taşıyıcı duvarlarda, tırmanma indeksi 2 ile 5 arasında değişir.



1) $H_s = d$

2) $1.5 d < H_s < 4 d$

3) $2 d < H_s < 5 d$

H_s = emme yüksekliği

d = duvar kalınlığı

Şekil 3.5: Yükselme indeksi $I = H_s/d$ duvarın kalınlığına bağlıdır.

Kettenacker hipotezi:

Güneşin direkt etkisi ile beraber neme doygunluk derecesinin üstünde olan kısımlar bu durumlarını korurken altta kalan kısımlar kurumaya başlar. Kettenacker'in hipotezine göre kuruma olayı farklı şekilde meydana gelir. Deneysel testte özel malzeme kısmen suyun içine bırakılır, bu arada havalandırma ve güneş etkisiyle yüzey buharlaşması görülür. Buharlaşan su miktarı artar ve tankın tabanında absorbe edilen su miktarı da buna bağlı olarak artar. [1]

Aynı şey rutubetli duvarlarda olur. Eğer yüksek buharlaşma oranına sebep olursak, suyun yükselişi ilerlemeyi korumak için devam eder. Kuruma yukarıda başlar ve biter. Aşağıda nem hattı devam eder ve duvar önceki kadar ıslaktır.

Hava yoğuştuğu zaman nem maksimum yüksekliğe ulaşır. Birçok durumda suyun yükselişi bütünüyle duvarın yapısal özelliğine ve malzemesine bağlıdır. Daha iyi ve daha düzenli kılcallıkla nem daha yükseklerle tırmanacaktır.[11]

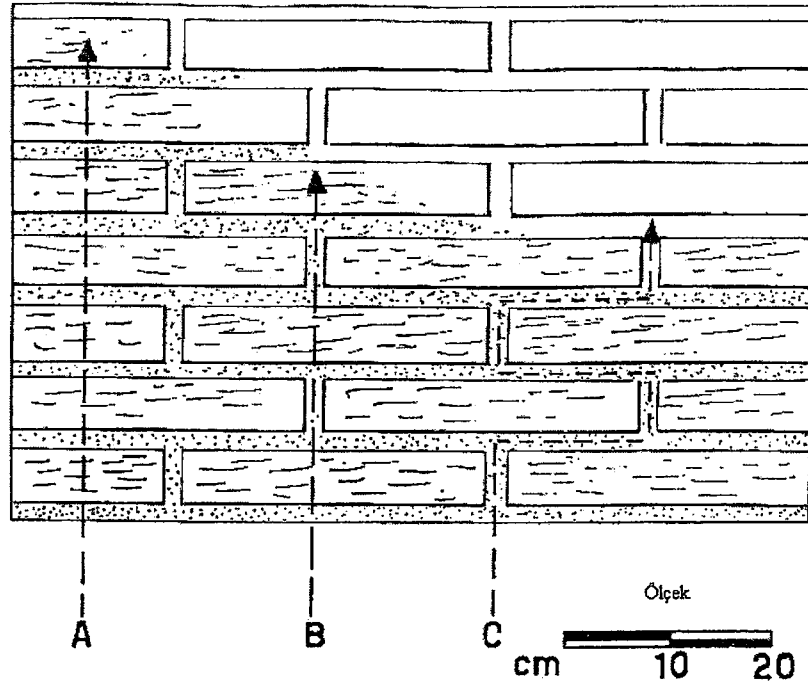
3.3.4. Duvarı Oluşturan Malzemelerin Nem İle İlgili Özellikleri

Laboratuvar testlerinde , aynı boyuttaki yapı malzemelerinin farklı emiş yüksekliklerine ulaştıkları görülmüştür. Bazı yığma yapılarda ortak olan harçlar birleştirici etki de olmasına rağmen her malzeme duvarı kendi özelliğine göre etkiler. Sonuç olarak yapının emme gücü malzemenin emme gücü gibi davranma eğilimi gösterir. Derzler ne kadar ince olursa ki böylece daha az harç kullanılır , duvarın bütünüyle davranışı onun gövde malzemesinin davranışına daha çok benzeyecektir.

Tuğla harçtan 3-5 kat daha fazla emme gücüne sahip olduğundan az harç ve ince derzlerle sağlam yapılmış duvarlarda su ileri ki yıllarda nem saldırısı ile daha yukarılara çıkacaktır.[1]

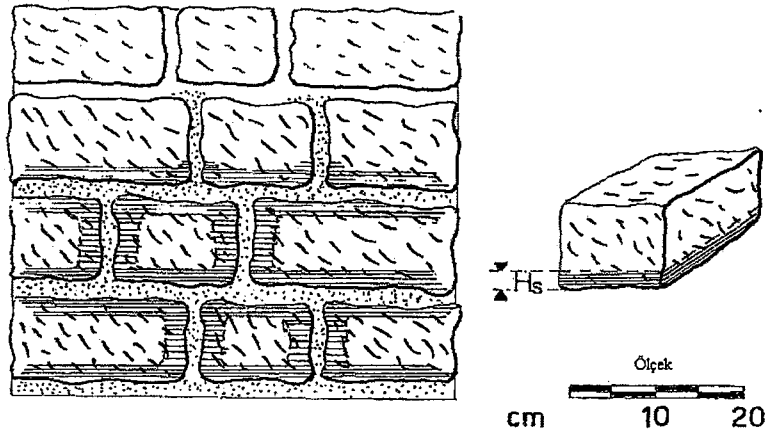
Temel içerik (tuğla , taş) harçla aktif ya da pasif olarak ilişki kurar. Aktif olarak; nemi kendi bünyesinde harç kadar ya da daha fazla taşıyarak, pasif olarak ise; harcın harcadığı nemi alıkoyarak ilişki kurar.

Eğer yapı kılcal olmayan taş içeriyorsa , (çakıl taşı) duvar tabakasının nem saldırısını kabul edişi yavaşlayacaktır. Çünkü nemin yönü emiş gücü yavaş olan harca doğrudur. Nem ilerleyişi her zaman taş duvarlarda tuğla duvarlardan daha yavaştır. Bu yüzden malzemeler arasındaki ilişki kullanılan blokların boyutlarına bağlıdır.(Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Nem saldırısı en kısa yolu seçer. A ve B'de malzeme sıvadan daha geçirgen olduğu için nem direk hareket ederken C'de sıva malzemeden daha geçirgen olduğu için nem dolaşarak en uzun yolu takip eder.

Eğer taş bloğun alt yüzü suya değiyorsa daha sonra blok bütünüyle nemi taşıyarak sırlıslıklam hale gelir. Eğer taş bloğun emme yüksekliği kabul edilebilir bir değere ulaşırsa, blok nemin ilerleyişine izin vermeyecektir.(Şekil 3.7). Çünkü blok nemi harçtan çekme eğilimindedir. Böylelikle çekirdek kısmı kuru kalan bloğun harçla çevrili tümü kenarları neme maruz kalacaktır.



Şekil 3.7: Bloğun yüksekliği emiş yüksekliğinden (H_s) çok fazla ise malzeme nem ilerleyişine katkıda bulunmaz ve çekirdek daima kuru kalır.

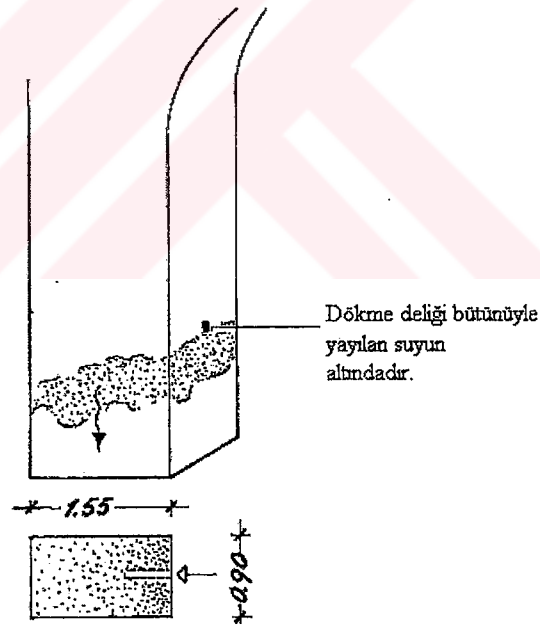
Sonuç olarak aynı malzemenin farklı boyutları farklı emiş özelliği gösterir. Büyük olan nemi reddederken küçük boyutlu olan kabul eder. [1,11]

Nemin yükselişi iki faktöre bağlıdır. Bunlar:

- Zeminden duvara olan sürekli su temini ,
- Harçla çevrilmiş yüksek emiş gücüne sahip yapı malzemeleridir. İki durum da önemlidir.

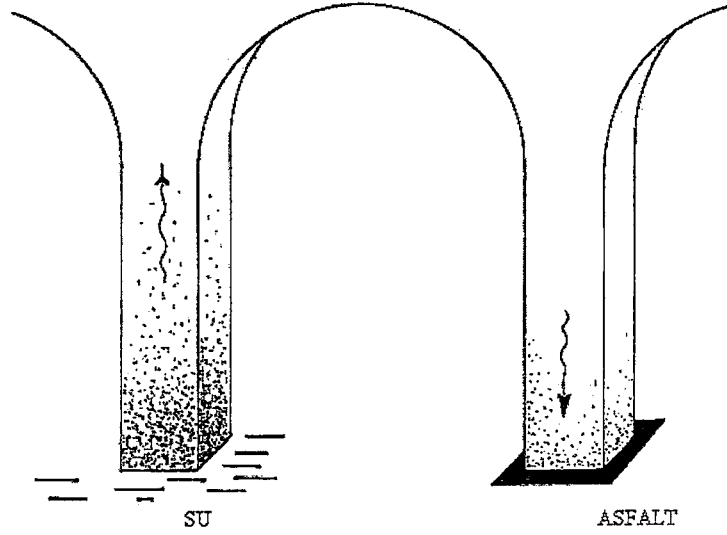
Bu konuda yapılan bir deneye göre birkaç litre renklendirilmiş su yüksek emiş gücüne sahip sarı tuğlalardan yapılmış sütuna enjekte edilmiş. Birbirini izleyen 20 gün için 17-18lt su 60cm yükseklikten yavaş yavaş sütuna verilmiştir. Beş gün sonra kırmızı lekeler yüzeyde görülmeye başlanmıştır ve bu lekeler gitgide yayılmıştır.[24]

Bu yayılma sütunun bütün çevresini sarana kadar devam eder. Nemin bütün sütuna yayılması beklenirken dökme deliği açıldığı için yayılma sadece delikten aşağı doğru olmuştur. Bu basit testten nemin yükseliş esasını teşhis etmek için çıkarılan sonuç; nem daima yükselme eğilimindedir.(Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Kuru kolona renkli su enjekte edilerek yapılan nemlilik deneyi

Yükselen nemin tipik özelliği yer altı suyuna oturan kılcal kolon tarafından güçlendirilir ve sürdürülür. (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Suya oturan kolonlarda su kılcallık etkisi ile yükselirken su kaynağı kesildiğinde yer çekimi etkisi ile tekrar alçalma eğilimindedir.

Duvarı Oluşturan Malzemelere Nemin Etkileri:

Dış duvarlarda taşınan nemin, kimyasal, elektrokimyasal, fiziksel, biyolojik, görsel ve fizyolojik açılardan neden olduğu zararlı etkileri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

- Malzemenin mekanik dayanımının azalması.
- Priz geciktirici etki.
- İç ortamdaki havanın nem miktarının artması.
- Metallerde kimyasal veya elektrokimyasal korozyon oluşumu.
- Donma sırasındaki hacim artışı sonucu malzemelerde çatlamların meydana gelmesi.
- Küf ve mantar oluşumu.
- Yüzeylerdeki nemlilik nedeni ile uçan tozların yapışarak kirlenmeye ve görsel bozukluklara neden olması.
- Nem ile birlikte yüzeylere taşınan tuzlar nedeni ile yüzeyde bozulmalar.
- Malzemelerin ısı iletkenliklerinin artması ve bunun sonucu olarak duvarın toplam ısı geçirgenlik direncinin azalması.
- Malzemelerin buhar difüzyon dirençlerinin azalması ve buna bağlı olarak duvarda taşınan nem miktarının artması. [25]

BÖLÜM 4. SUYUN YAPI HASARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Yapıda kullanılan bütün malzemelerin durabilitesi, bunların suyun etkilerine karşı dirençlerine bağlıdır. Su, yapıda pek çok hasarın oluşumunda önemli bir faktördür. Su etki ettiği yüzeyde; çözme, taşıyıcılık etkisi, fiziksel, kimyasal deformasyon yapar. Yapı bünyesine çeşitli şekillerde giren su, yapı elemanlarında ısı direncinin azalmasına, ısı yalıtım malzemeleri varsa bunların bozulmasına çürüme, pas, iç gerilim çatlakları, küflenme, çiçeklenme, boyalarda ve kaplamalarda kabarma, metallerde korozyona, ahşap gibi organik yapı malzemelerinin çeşitli zararlara uğramasına yol açmaktadır. [15]

4.1. Nemin Duvarlarda Yükselişi

Nem duvarlarda daima yükselme eğilimindedir. Malzeme farklılığına bağlı olarak nem saldırısı farklı boyutlara ulaşmaktadır. Nemin yükselişi genellikle kılcallıkla açıklanır. Kılcallık ile başlayan yükselme yoğunlaşma ile desteklenerek duvarda bir takım bozulmalara ve lekelenmelere neden olur.

Duvar yüzeyinde oluşan farklı şekillerdeki lekeler higroskopik tuzların varlığını gösterir. Eski yapıların tadilatında Bianchini'nin hipotezi birçok durum için uygundur. Onun fikrine göre tekrar kullanılan malzemeler, özellikle taş blokları harç ile sıvanmalı böylelikle gerçek geçirimsiz bir malzeme ile kaplanmış olur. Derz yerleri genel nemin yayılışı ve duvardaki genel nemlilik için önemlidir. Bu şartlar altında bunaltıcı hava esnasında RH'ın yükselişi bu bloklardaki buharlaşmayı yavaşlatmak için yeterli olacaktır. Bu bilgiler kütlesi yavaşça nemli hale gelen eski yapılar için geçerlidir. Aşağıdaki faktörler bu problemin kökünü oluşturmaktadır;

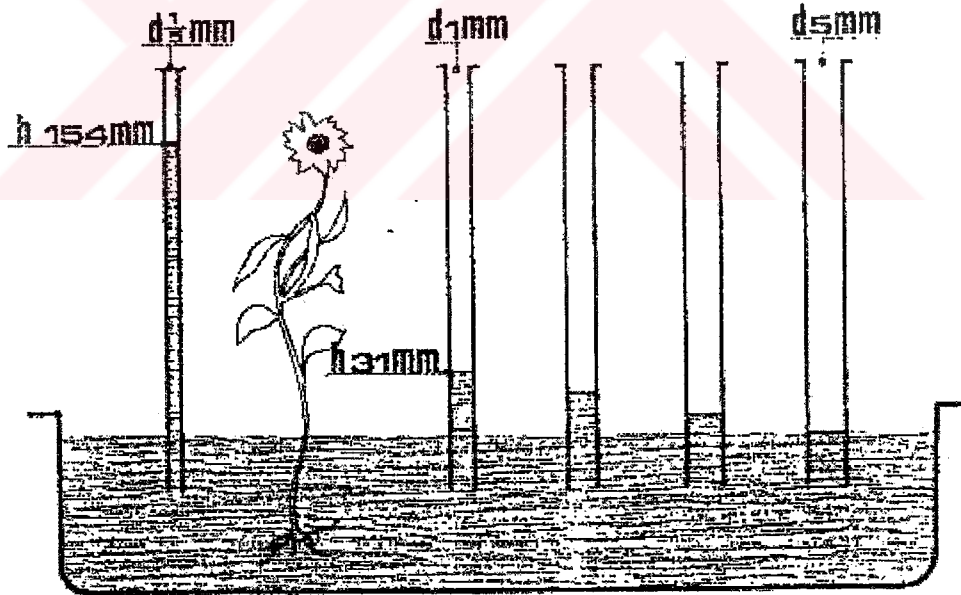
- izolasyonun varlığı higroskopik tuzları depolar,
- metal, taş, çimento ya da yüksek kütledeki ve termal iletkenlikteki duvar malzemelerin varlığı ki çünkü bu tür malzemeler çiğ noktasına duvarın geri kalan kısmından daha çabuk ulaşır,

- hafif nemli duvarlarda daha önceden kullanılan basit tuğlaların ya da taşların varlığı. [25]

Nem lekesi boğucu ve yağmurlu günlerde daha çok açığa çıkar. Yalıtılan malzemelerdeki çeşitli lekeler az miktarda su içerirler. Onların nemi hasardan daha çok göz zevkini bozmaktadır. Bu lekeler genellikle bir işarettir. Az miktarda nemin duvarın bütününe yayıldığını ve higroskopik tuzlar tarafından çekildiğini gösterir. Bu da leke olarak dışarıdan görülmesine neden olmuştur. Nem çeşitliliğinin nedenini aramaktansa nem kaynağını teşhis etmek daha doğrudur. Duvarlardaki hasarların kaynağı genellikle kılcallık, yoğuşma, çiçeklenme, farklı yoğunluktaki malzemelerin kullanılmasıyla oluşan farklı şişme ve büzülmeyle açıklanabilir. [26]

4.1.1. Kılcallık Olayı

Nem kılcallık olayı ile duvara girer ve yayılır. Yerçekimi kuvvetine karşı olan sürekli bir fiziksel olaydır. Kılcallıkta önemli olan tıpkı saç teli kalınlığı gibi çapın uygunluğudur. Su, çapı 1 mm olan bir tüpte 31 mm yükselirken, 0.2mm 'de ise 154mm yükselir. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1: Kılcallık saç teli ya da daha ince gözeneklerden suyun yerçekimi etkisine karşı yükselmesine neden olan fiziksel bir olaydır.

Tuğla duvarlarda nemin ağırlığı (ağırlığın hacimce yüzde olarak ifadesidir) , emdiği suyun miktarı kılcallık kuvvetinin gücünü gösterir.Yapılan araştırmalara göre birçok eski binada nem oranı sıklıkla %30 'lara ulaşmaktadır.Bu demektir ki duvar her m³'ünde yer çekimi kuvvetine karşı 300kg su taşır. [1]

Duvarlardaki kılcallık artışı , zeminden giren suyun tamamının yüzeyden buharlaşan suyun miktarına eşit olduğu anda duracaktır.Kılcallık olayı ayrıca sıcaklıktan da etkilenir ki;

- kılcallık yükselişi sıcaklık düştüğünde hafifçe yükselir,
- sıcaklık düştüğünde yüzey buharlaşması azalır.

Kılcallık aynı zamanda duvarda tuzların varlığı ile de yükselir.Su molekülleri tuz solüsyonunu derişik hale getirmek için harekete geçer. Bu bir osmos olayıdır.

Kılcallık ve osmos olayı birleştiğinde su yukarılara tırmanmaya başlar.Kılcal su, yer kabuğundan tuz ile yüklenmiş olarak gelir ve bazen de tuzları duvar

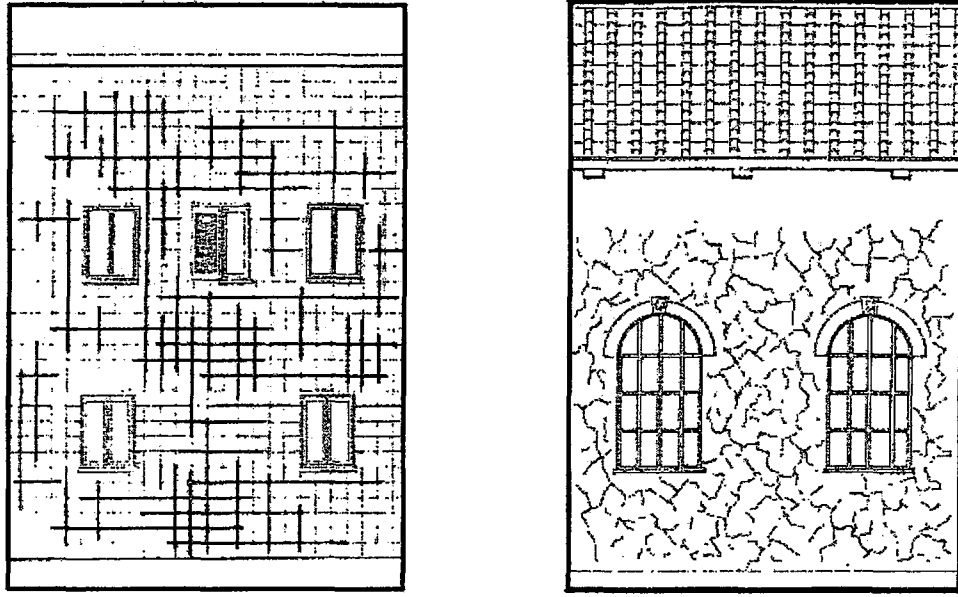
malzemelerinden alır. Bu iki neden aynı malzeme ve aynı teknikte fakat farklı konumlarda yapılan iki bina arasındaki nem penetrasyon (nüfuz) farkını açıklamada yardımcı olmaktadır. Örneğin su duvar içinde çözebileceği maddelerle çok karşılaştığında daha fazla yükselirken az karşılaştığında daha az yükselir.

Bunun yanında nem penetrasyonu sağlık zararlarına neden olmaktadır.Kılcallık olayı bazı duvar bileşenlerinin yok olma süreçlerini körüklemektedir.

Duvardaki kılcallık olayının en tipik işaretleri:

- Sıva yüzeyinin ve harcın bağlayıcılık özelliğinin yıkımı ile birlikte tuzlar içerden dışarı taşınarak yüzeyde çiçeklenme olayının nedenini oluştururlar.
- Kristalleşen tuzlarla beraber meydana gelen basınç etkisi yüzey patlamalarına ve pul pul dökülmelere neden olur.
- Kimyasal onarma teknikleri ile uygulanan bileşenler diğerleri ile uyumsuzluk göstermektedir.
- Don olayından sonra oluşan patlamalar.

Bazı mimarlar bina yapım aşamasında geometrik kılcal ağ oluşturarak bina cephesindeki pencerelerini ona göre şekillendirirler.(Şekil 4.2).[1]



Şekil 4.2: Yağan yağmuru emen iki çeşit kılcallık ağı modeli. Soldaki çimento sıvadaki doğal kılcallık ağı, sağdaki ise dekoratif tuğla kaplamasındaki derzlerde oluşan yapay kılcallık ağı.

İçeride alınacak iki önlem önerilmektedir.

- Birincisi, polistren yalıtım malzemesinin (pahalı olmayan) iç duvarlara yerleştirilmesi.
- İkincisi, gündüz ve gecede iyi ısıtma (havalandırma) sistemi.İyi ısıtmadan kastedilen örneğin radyatör yüzeylerinin kuzeydoğuda %50 artırılması. [1]

Kılcallık olayı şu noktalarla özetlenebilir:

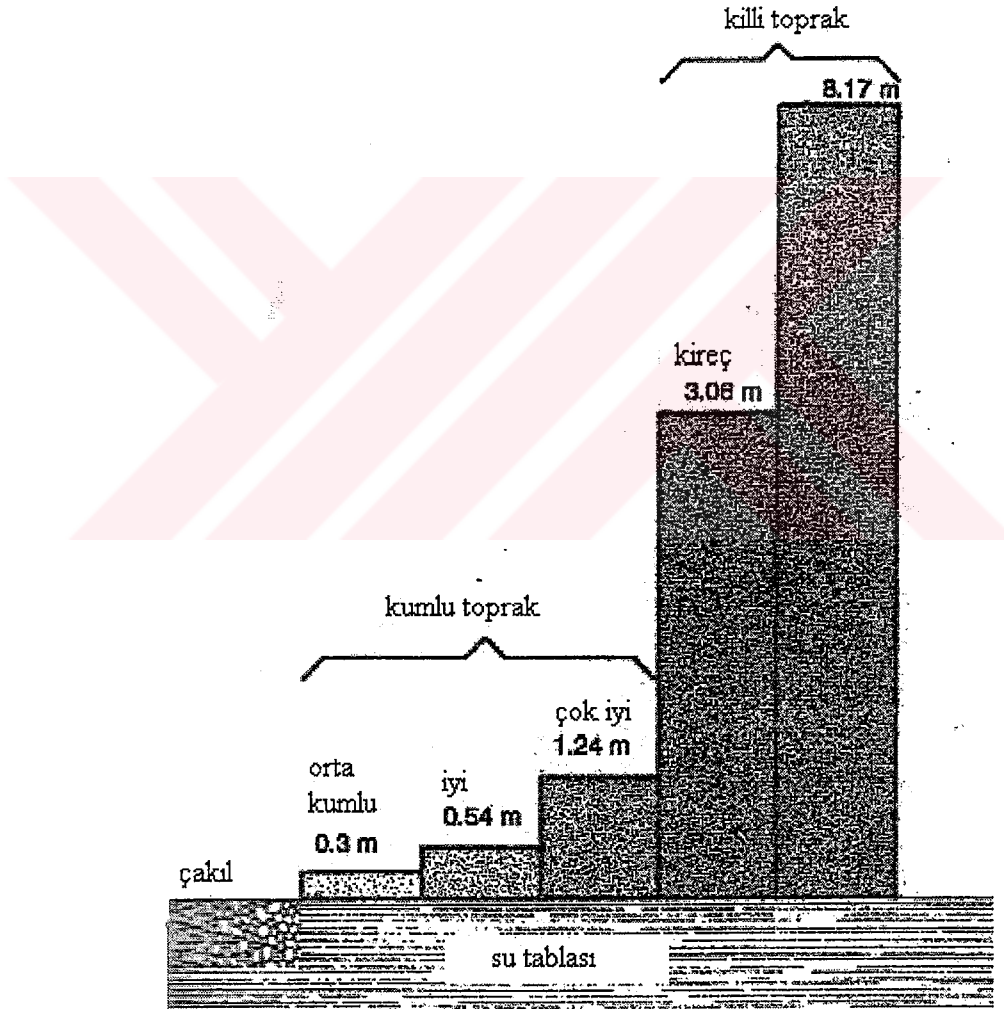
- Kılcallık olayı duvarlarda yerçekimi kuvvetine karşı yer alır ve yüksek kütledeki sıvıları barındırır , bazen duvarın $1m^3$ 'ünde 300 kg suya ulaşır.
- Su ne kadar fazla çözünen madde ile karşılaşırsa o kadar yükselir.
- Su kuzey cephesinin haricinde soğuk duvarlarda daha çok yükselme eğilimindedir.

Bu yüzden kapilarite olayı sabit olarak artmaktadır.Fakat ısı azlığından dolayı buharlaşma olayı azalmaktadır.

- Kılcal nemlilik duvar ayrışması gibi sağlık zararları oluşturmaktan farklı olarak belirli yapı elemanlarında spesifik yıkımlar oluşturur ki bu erozyon olayıdır.
- Çimento yağın yağmurla ilerleyen çatlaklara karşı savunma görevini üstlenmiştir , iki ya da üç yıl sonra kılcallık olayı ile yağmur suyunu duvar boyunca alır. [1]

4.1.2. Zemindeki Kılcallık

Eğer zemin düz ise yağmurun ve eriyen karın az miktarda buharlaşan kısmının haricinde büyük bir kısmı düştüğü yerde emilir. Zemin ne kadar geçirgense su nüfuzu o kadar derin ve hızlı olur. Geçirgenlik kılcallığın tam zıttıdır. Suyun topraktaki geçirgenliği toprağın cinsine bağlıdır. En geçirgen toprak çakıl taşları ve kumdan oluşan topraktır. Toprağı meydana getiren elemanlar arasında fazla mesafe olması geçirgenliği kolaylaştırmaktadır. Çapı 5cm , 1cm ve 1mm'den oluşan çakıl taşları ve ya kumdan oluşan toprağın suyu absorbe edişi de çok hızlı olmaktadır. (Şekil4.3) [1]



Şekil 4.3: Kılcal yüksekliğin farklı toprak çeşitlerine göre kıyaslanması. Çakılda hiç görülmezken biraz kumlu toprakta, en fazla killi toprakta görülmektedir.

Su geçirgen olmayan bir tabaka ile karşılaşınca kadar aşağıya doğru iner. Ne zaman ki bütün bir kaya tabakası , ya da saf kil tabakası ile karşılaştığında birikir ve sıvı bir tabaka oluşturur. Eğer biriken bu su tabakası çok derin değilse zeminden 4-5m aşağıda ise bir süre sonra tekrar toprağın kılcallık etkisi ile yükselir. [1]

4.2. Yoğuşmanın Özellikleri

Yüzeylerde yoğuşan buhar; yapı malzemesinin özelliklerine bağlı olarak veya sıcaklık farkına göre termik difüzyonla malzeme içinde ilerler ve suyun malzemeyi bozan etkilerini gösterir; malzemenin ısı geçirgenlik direncini düşürür, çürütme, pas, iç gerilme çatlaklar, yüzeyde küflenme, boyalarda tekrar kuruma anında kabarıp, dökülmelere neden olur. Havadaki su buharının yoğuşmasıyla yüzeyinde oluşan su damlaları tekrar buharlaşmak için yüzeyi daha da soğutarak enerji toplar ve yoğuşma için tekrar ortam hazırlarlar.

Etkin yağış gören elemanların dış yüzeyleri diğer elemanlardan daha hızlı soğuduğu için ve eğer belirli oranda yağmur penetrasyonuna bağlı olarak elemanın ısı iletim katsayısı da yükseldiği için iç yüzeyleri diğer elemanların iç yüzeylerinden daha soğuk olur. Yağışın kesilmesinin ardından dış yüzey yakınında biriken suyun buharlaşması elemanı daha da soğutarak yoğuşma riskini devam ettirir. Diğer elemanların iç yüzeyleri kuru iken bu elemanın iç yüzeyündeki ıslaklık hatalı bir yaklaşımla yağışın içeri girmesi olarak yorumlanabilir. [27]

Yoğuşma olayı yapı elemanlarının sadece iç yüzeylerine hasar vermekle kalmaz. Gece – gündüz sıcaklık farkları, ani hava sıcaklığı değişiklikleri veya kuzeyde kalan duvarların dış yüzeylerinin sıcaklığının hava sıcaklığından düşük olması gibi nedenlerle dış yüzeylerde de yoğuşmaya neden olur. Bu sorun hava kirliliği ile birleşince temizlenmesi güç lekeler ve kimyasal hasarların ortaya çıkmasına neden olur.

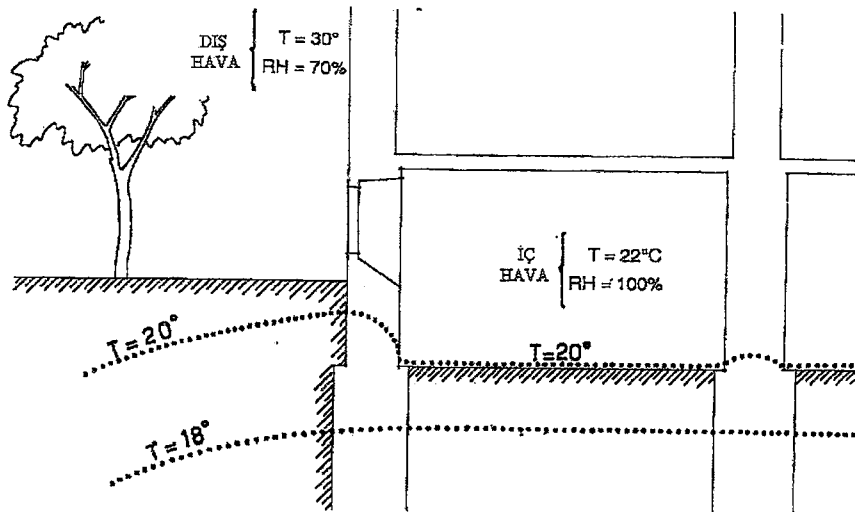
Kondensasyon havanın soğumasından dolayı ve sıcaklık düşüşüne neden olan anlık ve mevsimsel değişimlerle bağlantılı olarak meydana gelir. İki çeşit temel yoğuşma vardır :

- Kış yoğuşması
- Bahar - yaz yoğuşması [1]

4.2.1. Kış Yoğuşması

Kış aylarında havaların ani olarak mevsim normallerinin üzerine çıkması veya inmesi, dış havanın kontrolsüz olarak girdiği, yeterince ısıtılmayan mekanlarda soğuk olan duvarlarda yoğuşmaya neden olur.

Kış kondensasyonu dışarıdaki soğuk havaya karşı yapılan yetersiz yalıtım sonucu oluşur. Yaz kondensasyonunun nedeni ise yeraltında hapis kalan soğuk havadır ve sadece zeminle ilişkili olan depolarda meydana gelir. Sıcak yaz havası ile termal eylemsizlikten dolayı hala soğuk olan duvarlar arasında bir zıtlık oluşmaktadır. Sıcaklıktaki günlük değişimlerin zemine 1m'den fazla nüfuz etmediği bilinmektedir. Fakat sıcaklıktaki yıllık değişimler ilerleyen zamanla çok daha derinlere gider. Yıllık sıcaklık sınırlarındaki gecikme (kış min. yaz maks.) kabaca derinliğin her 25cm'inde 6 gündür. Bu nedenle orta Avrupa 'nın ovalarında Po vadisi , orta Fransa ya da Hungarian ovası ki buralarda ocakta ortalama sıcaklık -2°C en düşük sıcaklıktır ve yeraltına tahminen 3 ay sonra , nisan ortasında 3.3m derinliklere ulaşır. Bu durumda döşemesi cadde seviyesinden 3-4 m aşağıda olan bodrum katlara soğuk nisanda ulaşır ki dış hava hemen hemen sıcaktır ve kolayca yoğuşan nemle yüklüdür. Temmuzda dış hava sıcaklığı 30°C iken bodrumlarda $20-22^{\circ}\text{C}$ olacak ve yaz sıcaklığı ile kıyaslandığında soğuk olacaktır. (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Ilıman iklimlerde, bahar-yaz yoğuşması kış ısıtması olmadan bodrumlarda görülür.

Sonunda ağustos günleri yer altında 3 ay sonra kasımda hissedilecek ki o zamanda dış hava hemen hemen soğumaya başlayacaktır. Sonra da soğuk hava yoğunlaşmayla alakalı olacak şekilde küçük su buharcıkları içerecektir. Yazara göre yoğunlaşma nemin yükselişini engellemektedir. [1]

Duvar yüzeyinin soğuk oluşu suçlu oluşunun temelini teşkil eder çünkü havadan ısıyı çıkarır ve havayı doymunluk seviyesine getirir bu durum havanın ne sıklıkta dışarı ile havalandırıldığına bağlıdır.

Yoğunlaşma ile bir tek savaş yöntemi vardır ; ısı

Hava soğumadan iki yöntemle saklanır :

- Yalıtımla ki bu sayede ısı dağılımına karşı direnç sağlanır.
- Isıtma hem kış hem yaz için genel bir çaredir.

Fakat buharlaşan yüzeylerde olduğu gibi statik havanın çevreden nemi çekmesi istenmez. Gerçekten her ne zaman buharlaşan su ve buharlaşma nedeni ısı olduğunda, sabit sıcaklıkta statik hava doymun hale gelme eğilimindedir. Bu durum bazen zemin katlarda ve bodrumlarda bulunur ki buralardaki döşeme ve duvarlar başka çeşit nem saldırısına maruz kalırlar; yükselen nem.

Bodrumlarda kış ısıtması dışında bile sıcak döşemenin nemi havaya geçer ; hava doymun hale geldiğinde yoğunlaşma daha sonra duvarların üst kısmında , kemerlerde , pencere camlarında ve yapının en soğuk kısımlarında depolanır.

Kışın hava, ılık bölümlerden soğuk bölümlerin yüzeylerine suyun sürekli geçişi için araç görevi görür. Alttaki zeminden ve üstteki havadan dolayı bütün çevre aşırı nemli hale gelir. Sadece yüzey kondensasyonu olduğunda nem kendini iki farklı yolla gösterir ve bu dokunduğu yüzeyin dış yapısına bağlıdır. Geçirgen olmayan yüzeyleri ıslatır (metal , mermer , seramik , çimento sıva , boya) ve yüzey geçirgense sıva , kireç sıva , tuğla ve kiremit gibi yüzeyleri lekeler. [24]

İyi bir ısı iletkenliği cisimlerin yüzeylerinde çok sık olan birşeydir. Böylece ısıyı depo etmezler , hemen dağıtırlar , ısı yoğunlaşma ile özgür kalır , kendileri ise soğuk kalır. Bu yüzden kışın ılık , nemli rüzgar olduğunda metallerle yoğunlaşan su tabakası bulmak taşlara göre daha kolaydır. Taşlar arasında , yüksek ağırlıkta yoğunlukta olanlarda daha fazla yoğunlaşma görülür. Örneğin bazalt , granit , mermer , merdiven basamak ve rıhtlarında sıklıkla görülür. Yıllar yılı , yoğunlaşma örtüsü , soğuk kiliselerde mermer yüzeylerin yıkımına neden olmuştur.

Kondensasyon var olduğunda , yığma yapının ya da yapının hangi bölgesinde yetersiz termal (ısı) koruma ve aşırı ısı dağılımı ile yoğuşmanın provoke edildiğini tespit etmek önemlidir. En fazla açığa çıkan kısımlar :

- Kış kondensasyonu için çatılar ve dış duvarlar
- Bütün kondensasyonlar için üstü açık depo döşemeleri
- Bahar ve yaz kondensasyonu için direkt zemin üstündeki döşemeler , bütün dolgu duvarları. [24]

Sağlık nedenlerinden dolayı , **toplam termal direnç /m 1** ya da **0.8** 'in altına inmemelidir. Duvarın toplam termal direnci genellikle R ile ifade edilir. R toplam iletme katsayısı K 'nın (ısıtma teknolojisinde kullanılır) tersidir.

Yapının çeşidini araştırdıktan sonra (tuğla , kum taşı , blok , betonarme , etc) duvarın , çatının ve döşemenin toplam termal direnci değerlendirmek için ve m ile ifade edilen gerçek kalınlıkla bir formül geliştirilmiştir.

$$R = 1/\alpha + D/\lambda \quad (4.1)$$

R = Toplam ısı direnç $m^2.h.C^\circ / kcal$ ya da $m^2.C^\circ / W$ ile ifade edilir.[1]

α_1 : iç havadaki ısının iç duvara giriş katsayısı ; ısının düşey ya da yukarı geçişlerinde genellikle 7'ye , ısının aşağı geçişlerinde odadaki havadan döşemeye geçişlerinde 5'e eşittir.

α_2 : dış duvar yüzeyinden dış havaya yayma katsayısı ; genellikle normal havalandırma şartlarında 20'ye eşittir. Fakat dış duvar 40 km/h ya da daha yüksek hıza sahip rüzgarlara maruz kalırsa bu değer 50'lere de ulaşabilir.

$\alpha_1 \alpha_2 \dots$ = homojen olmayan , farklı malzemelerle yapılan duvarların , iç ısı iletkenlik katsayısı

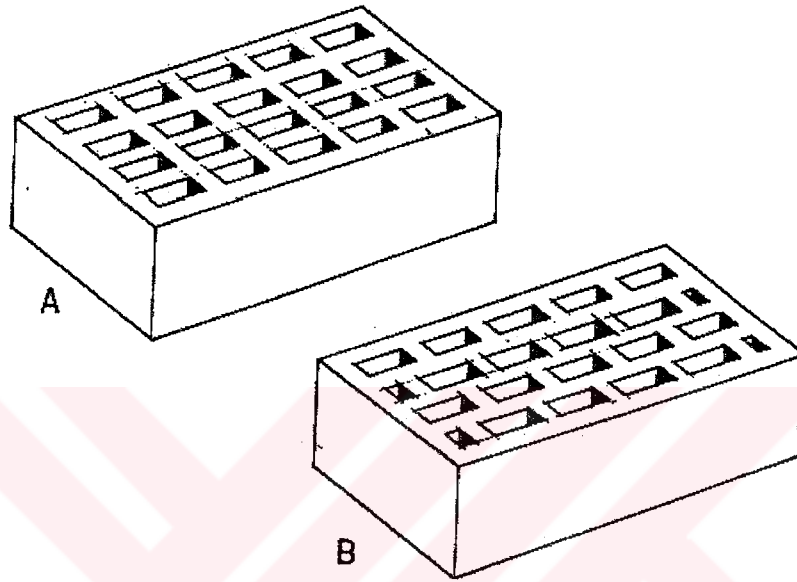
$D_1 D_2 = m$ ile ifade edilen çeşitli tabakaların kalınlıkları

Örneğin sıva içeren genel tuğla duvarın direnci ($\lambda=0.7$) , 0.55m kalınlıkta ,

$$\begin{aligned} R &= 1/7 + 0.55/0.7 + 1/20 \\ &= 0.14 + 0.79 + 0.05 \\ &= 0.98 \approx 1 \text{ m}^2\text{hC}^\circ/\text{kcal} \end{aligned}$$

Yukarıdaki formülün doğru uygulanabilmesi için duvar tabakalarının düşey ve homojen olması gerekir. (sıva , tuğla , hava , etc) Her tabakanın termal direnci kalınlıkla birlikte artar. Hava tabakası istisnadır , onun direnci 4-6cm kalınlıkta

Termal yalıtımlı yapı malzemeleri teknolojileri bütünüyle hava boşluklarının büyük ya da küçük dikkatlice birleşimine dayanır. (Şekil 4.5).

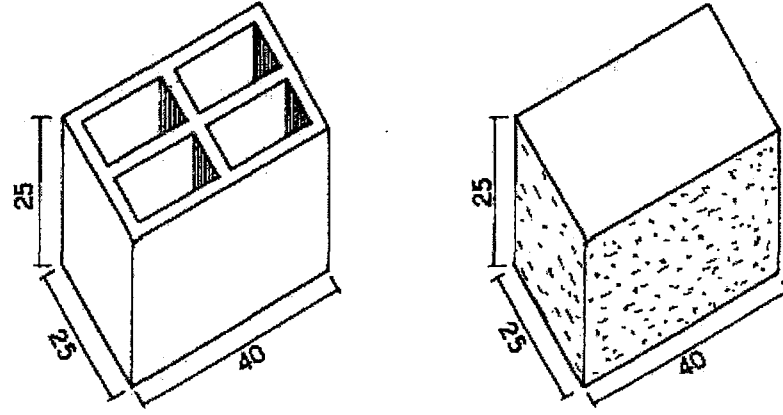


Şekil 4.5: Hava boşluklarının karşılıklı konumu çok önem taşımaktadır. B Bloğu %22 daha fazla direnç göstermektedir.

Tuğla üretiminde önemli gelişme yatay hava hücreli , boşluklu tuğlaların üretimi ile olmuştur. Sonra bloklardaki düşey boşlukları izleyen delikli tuğlalar üretilmiştir. Tuğlalar bu deliklerle hafifletilmişlerdir. [1]

Brezilya ve İsviçre’de 12 tarihi yapının (betonarme taşıyıcı sistem olmadan) dış duvarları bütün olarak 38cm kalınlıkta temelden çatıya tamamıyla delikli tuğladan inşa edilmiştir. Tek bir kalınlığa sahip olmak ısı koruma açısından da bütünlüğe neden olur. Bu yapı delikli tuğla için bir zaferdir.

İnce kalınlıklarda kullanılan gözeneksiz malzemeler şaibelidir çünkü yalıtım özellikleri yoktur. Malzeme seçerken akıllarda sahip olunması gereken kriter aynı görüntüdeki belirli yapı elemanlarında hafif ve gözenekli olan pres edilmiş ve sıkıştırılmış olandan daha iyi ısı yalıtımı sağladığıdır. Hafif ve gözenekli olanda ısıl direnç geniş deliklerle sağlanır.(Şekil 4.6).



Şekil 4.6: Eşit hacimde ve ağırlıkta olan iki bloktan katı olan blok, pres edilip geniş hava boşluklarına sahip olan bloktan daha iyi yalıtım sağlar.

Formül 4.1'den anlaşıldığı gibi herhangi bir tabakanın ısı koruması kalınlığı ile orantılı , iç termal iletkenlik katsayısı ile ters orantılıdır. Malzeme iletkenliği yüksekse ısıya ve soğuğa karşı koruyuculuğu daha az etkilidir. Yunan alfabesindeki λ (lambda) ile iç iletkenlik ifade edilir. Pratikte tüm malzemeler bünyelerinde bir miktar su bulundurur ve bu su onların termal iletkenliklerini kuru halin teorik durumu ile ilgili olarak artırır. [1]

Dış duvarlar sözde kuru olsa bile , iç duvarlara nazaran daha çok nem içerirler ve daha yüksek λ 'a sahiptirler. Duvarlar ve malzemeler su ile doyurulduklarında (nemin yükselişi , çatı sızıntısı , kış yoğuşması , yağmur sızıntısı) λ önemi hiçbir değeri yoktur. Çünkü mekan sağlıksız hale gelmiştir. Aynı zamanda doymuş malzemelerde termal iletkenlik endüstride (özellikle buzdolabı) önemlidir fakat yapıda önemli değildir. Şu da unutulmamalıdır ki herhangi bir yapı elemanının λ değeri üniversite ya da endüstri laboratuvarlarından tamamen kurutulmuş malzemelere , laboratuvar standartlarına uygun olarak yapılan ölçümlerle elde edilir. Böylece figürlerdeki , tablolardaki değerler pratik λ değerini ifade eder. [28]

Gözenekli betonda belirli ağırlıkta örneğin 800kg/m^3 sahip olunan değerler 0.36 ve 0.42 değerleri iç duvarda mı yoksa dış duvarda mı yer aldığına bağlıdır. λ değeri kuru durumlarda çok daha alçaktır. Sonuç olarak çok çeşit panellerin ve iç kaplamaların yoğuşmaya karşı önlem olarak kullanılması bina restorasyonunda önerilir. Mineral yün (kaya ya da cam) yarı rijit panellerde önemli bir yalıtım ürünüdür. Fakat eğer nemli duvarlarla ilişki içinde olursa su emer. Böylece bitümlü

kağıtla ya da polietilen kılıfla korunması gerekir ki sıradışı ısı korunmaları kaybolmasın.

Paneller plaka ya da sıvalarla korunmalıdır. Eğer iki yüzey arasında hava basıncından bir farklılık varsa bu durum hava hareketi arasında ısı kaybına neden olacaktır.

Massari'ye göre sirocco beading dışarıdaki boğucu havanın soğuk mekanlara girdiği geçici bir kış olayıdır. Su tanecikleri döşemede depolanır. Sıklıkla apartmanların girişlerinde görülür. Zemin katların açık alanlarında üretilirler. Özellikle bu katlar kalın set duvarlarla korunuyorsa mekanlar yüksek termal eylemsizliklerinden dolayı soğuk kalırlar. Üç durum bu olayın kışın meydana gelmesine yardım eder:

- Isı yetersizliği
- Kalın duvarlar. Yapı ve konumlarından dolayı soğukturlar. Kuzeye maruz kalanlar, açık alandakiler, dar sokaklarda yer alanlar...vs.
- Havadaki ani değişimler ki buna barometik depresyon da denilebilir. Şiddetli soğuk dönemin ardından gelen sıcaklıklar.

Bu kış olayı meydana geldikten 3-4 gün sonra sona erer. Fakat kalıcı etkiler bırakabilir. Ilık deniz rüzgarlarına maruz kalan sahil ya da akdeniz bölgelerinde daha sık görülür. Örneğin sıvanmış duvarlarda ağır bir yoğunlaşma belli miktarda su sağlar. Mermerde, boyada ve su geçirmez yüzeyde yoğunlaşma şiddetli çiy olarak görülür. Daha sonra dere gibi aşağı doğru akar ve zeminde toplanır. [1]

4.2.2. Bahar – Yaz Yoğuşması

Bahar aylarında, dışarda hava oldukça fazla su buharı kaldıracak, fakat yapıyı ısıtamayacaktır. Mutlak nemliliği oldukça yüksek olan fakat sıcaklık nedeniyle kuru hissedilen dış hava mekana girdikten sonra soğur, taşıdığı buharın fazlasını soğuk, hava hareketinin az olduğu yüzeylere bırakır. Bu durum yağışsız havalarda bile tavandan damlayan sularla kendini gösterir.

Yapı elemanları, dış hava ısındığında hatta yazın ilerlemesiyle genel olarak yapı dahi ısındığında kuzeye yönelme, çevredeki ağaçların veya yapıların gölgesinde kalma, zeminden yükselen su etkisinde kalma nedenleriyle yaz aylarında da ısınmazlar ve iç yüzeyleri çiy noktası sıcaklığının altında kalır ve yüzeysel yoğunlaşma problemi ortaya çıkar.

Hava sıcaklığı 20C° olan ve RH %70 olan güzel bir Mayıs günü ele alalım. Eğer bu hava bodruma girerse 16C°'ye soğur ve RH'ı %90'lara çıkar ve tam olarak hasar verici seviyeye gelir. RH'daki bu değişim hava sıcaklığındaki azalmadan kaynaklanır. Bağıl nem (hava buharı ağırlığının havanın m³'ne oranı) tam olarak aynı kalır. [28]

Nemli yapılarda nem için kaynak olmamasına rağmen hava senenin belirli dönemlerinde doygunluktan uzaktır. Hem buharlaşan duvar yüzeyleri, hem kalabalık insan toplulukları, gaz tüketimi hem de zayıf hava değişimi mevcuttur. Gerçekten havalandırma tüm bu olumsuzluklarla ve mekanın sağlıksız durumu ile savaşılabilecek bir faktördür. Bu durumda da nem dış hava ile gelir ama yoğunlaşmaya ulaşamaz. Bu duruma 'bahar ve yaz yoğunlaşmasına eğilim' denilir. Bu durum genelde bahar görülür binalar tüm kış boyunca kuru, soğuk, güneşsiz ve bazıları kuzeye maruz kalmıştır. Ayrıcı kalın duvarlar (eski yapılarda) yer altı yerleşiminden dolayı yüksek termal eylemsizliğe sahiptirler. Her bahar aynı manzara tekrar eder. Küf lekeleri, romatizma şikayetleri, depo görevlilerin depoladıkları malzemelerle ilgili kuru kalma endişeleri ortaya çıkar. [25]

Bu nem geçicidir. İç duvar yapısını etkilemez çünkü genelde yoğunlaşmaz. Fakat mekanı birkaç ay sağlıksız yapmak için yeterlidir. Sahte yoğunlaşma olarak da adlandırabileceğimiz bu durum şu üç şekilde anlaşılır :

- Havanın durumu doygunluğa yakınsa (%80 ve üzeri)
- Duvarın kalınlığı normalse
- Mekanlar yılın geri kalanı sağlıklı görüldüğü halde her yılın belirli dönemlerinde erken bahardan geç yazıya kadar olayın mevsimsel tekrarlanması.

Aşağıdaki 6 çevresel durum bu olayın görünmesine yardımcı olur;

- alt bodrum, zemin katlar ve bodrumların konumu,
- eksik ya da çok az miktarda kış ısıtması,
- güneşsiz konum ya da kuzeye maruz kalma,
- az hava değişimi,
- çok kalın duvarlar böylelikle önemli bir termal eylemsizliğe sahip olurlar,
- döşeme direk olarak zemine oturursa olay meydana gelir.

Bahar – yaz yoğunlaşması için tüm bu altı şartın olması şart değildir. Üç-dört tanesi hatta bazen ikisi bile yeterli olmaktadır. Havalandırmanın artması bu probleme karşı

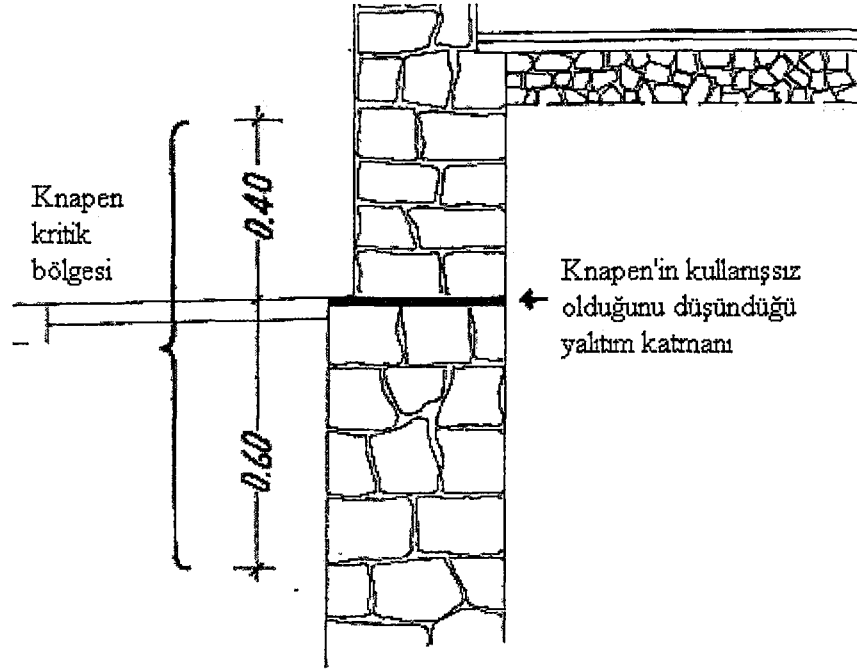
etkili değildir. Çünkü her hava kütlesi soğumak için vakit bulursa bu, ortama daha fazla nem ekler. Yeni havanın, soğuk duvarların ve bodrum katın neden olduğu sıcaklık düşüşlerine katlanabilmesi için yeterince kuru olması gerekir. Örneğin yukarıdaki örneğe dönersek eğer 20C° ve RH'ı %70 yerine %50 olan dış hava bodruma girerse 16C°'ye olan sıcaklık düşüşüne karşı koyabilir. Herhangi bir sağlıklı ortam oluşmaz çünkü RH sadece %65'lere yükselecektir ki bu da sağlık açısından optimum bir durumdur.

Kuruma ve havalandırma için ticari ürünler kullanılabilir. Bu ürünler higroskopik (nem çeker) özellikteki silika jel, lityum klorit (LiCl) ya da diğer tuzlara dayanır. Günün birkaç saati için, fan nemli havayı higroskopik malzemeler arasından çeker ve nemli havada arkada kalır. [29]

4.2.3 Zeminden Yükselen Nemin Neden Olduğu Yoğuşma

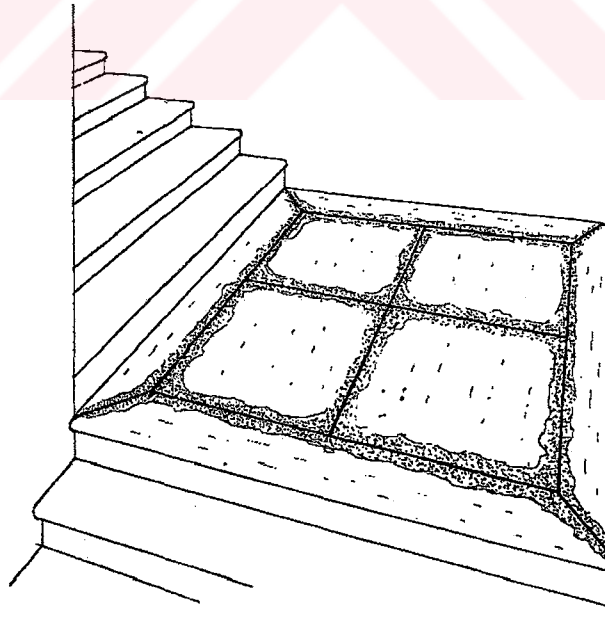
Zemin suyunun yağmur suyunun filtresi sonucu açığa çıktığı teorisinin aksine bazı bilimadamları bu suyun yeraltı havasındaki su buharının yoğuşması sonucu açığa çıktığını ifade ederler. Gerçekten de bazı dağ tepelerinde çıkan su kaynağının sebebi, zeminin jeolojik yapısının ve zemin tabakaları ile ilişkisinde suyun çıkış imkansızlığı düşünüldüğünde, daha iyi açıklanmaktadır.

Duvar nemine benzer olarak Knapen yükselen nemin su kılcallığı ile sağlandığı fikrine önem vermektedir. Hemen hemen her evde bulunan duvar tabanı boyunca yer alan nemle ilgilenir. Daha önce zemine sabitlediği kazıkla tespit ettiği kritik bölgeden bahsetmektedir. Bu bölge barometrik değişimler sırasında çiğ noktasına ulaşıldığında direkt olarak yoğuşmaya maruz kalmaktadır. Ilık, pis hava 12C°'de şehir toprağından ayrılır ve çimento, asfalt ve taş kaplamaların altında blok edilir ve daha sonra duvar içine süzülür. Kışın duvarın taban alanı ile ilişkili olarak, çiğ noktasına soğur, bu olay yazın geceleyin ısı düşüşlerinde de gerçekleşir fakat çok önemli değildir. Bu kritik bölge ortalama toprak seviyesinden 60cm aşağıda ve 40cm yukarıda yer alarak birçok yapıda görülebilir. (Şekil4.7) [1]



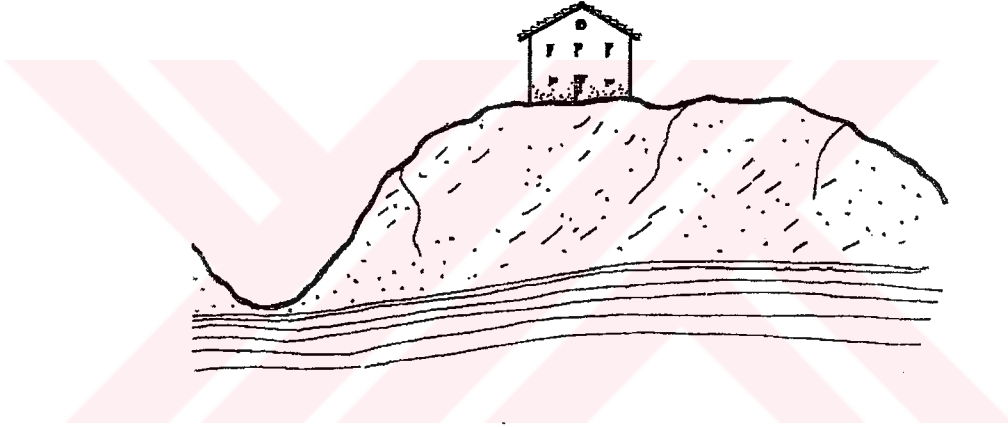
Şekil 4.7: Knapen'e göre duvarın tabanı yeraltından yükselen havanın yoğunlaşmasına maruz kalır. Yerin 60cm aşağısı ve 40cm yukarısı kritik bölge olarak tanımlanır.

Yoğuşma mermer tablalarda, taş bahçelerdeki taş kaplamalarda, bahçelerde, açık hol ve verandalarda sıklıkla görülür. Bu olay sabahın erken saatlerinde tablaların ve taşların orta kısmı kuru, kenar ve ek yerleri ise ıslak olarak görülür.(Şekil 4.8) [1].



Şekil 4.8: Bazı günler barometrik değişimler sonucu yoğunlaşan hava taş plakaların çevrelerinde görülebilir.

Nehir ya da deniz şeridi boyunca yerleşen şehirlerde zemin su tablası seviyesinden çok uzak değildir. Böylece suya yakın toprakta nemlilik gözlenmekte bu durum da toprağın gevşek olmasına neden olmaktadır. Gevşek toprağın porozitesi %50 kabul edilirse toprağın her m^3 'ünde yarım m^3 hava bulunmaktadır. Birçok faktör bu havanın yükselmesine neden olmaktadır. Bunlardan en önemlileri, barometrik değişimler, dışarı ile sıcaklık farklılıkları, evlerin içindeki aşırı sıcaklıklar, kışın iyi ısıtılan bodrumlar zemin altındaki havayı çekme eğilimi gösterirler. Diğer bir taraftan hava topraktan barometrik değişimlerin etkisi ile ayrıldığında ve soğuk bir çevreye girdiğinde yoğunlaşma oluşacaktır. Bu olay yapı neminin açıklanamayan durumlarına da ışık tutmaktadır. Örneğin dağ tepelerinde kuru toprak üzerinde bulunan yapılar buralardaki kaynak sularının etkisi ile nem problemi ile karşılaşır.(Şekil 4.9) [1]



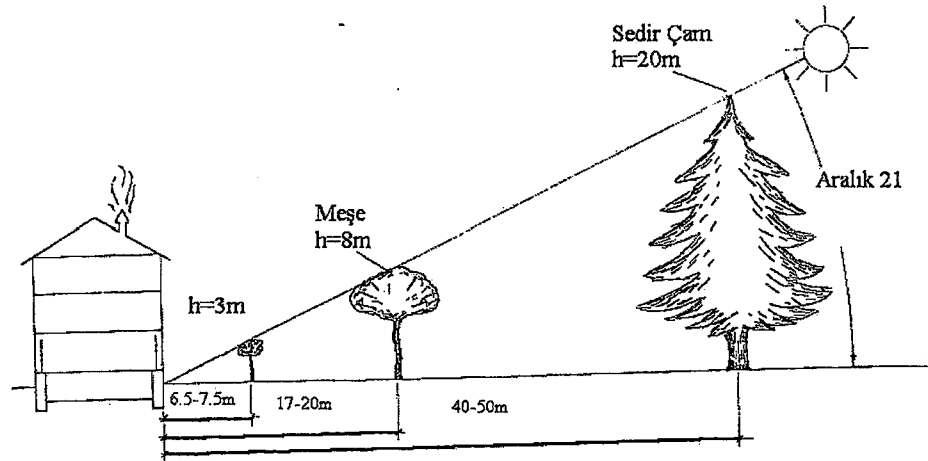
Şekil 4.9: Yüksekte, kuru toprak üzerine konumlandırılan yapılarda beklenmeyen nem ancak zemindeki havanın yoğunlaşması ile açıklanabilir.

Yeraltı kondensasyonunun özellikleri:

- Barometrik değişimler sırasında üretilir ve bundan dolayı aralıklı nem kaynağı oluşur.
- Yeraltı odaları ve bodrumlarda görülen bir özelliktir.
- Yapı boyunca ya da yapı grubunun aynı bölgesi boyunca bir bütündür.
- Yeraltı yoğunlaşması kumlu, çakıllı, pozzolanik topraklarda uygunken kayalık ve kompakt killi topraklarda uygun değildir.
- Ilıman iklimlerde yazın görülme eğilimindedir. Normal yoğunlaşmadan farklı olarak sıcak bölgelerde kışları meydana gelir. [11]

4.2.4. Hatalı Peyzaj Mimarisinden Kaynaklanan Yoğuşma

Evlerin, apartmanların, büyük kamu binalarının, okulların ve hastanelerin çevresine düşünülmeden dikilen ağaçlar daha sonra problem olarak karşımıza çıkar. Başlarda ince, zarif olan bitkiler yıllar geçtikçe kocaman olur ve dallarını pencerelerden içeri sokar, zeminden aldıkları nemi binalara taşırlar ve ışığı keserek karanlık mekanlara neden olurlar. Bu ağaçlar kesilebilirler fakat tutucu çevreciler buna büyük tepki gösterirler. En iyi çözüm uzun ağaçları özellikle daima yeşil olanları evin yakınlara dikmemek gerekir. Çevreyi yeşillendirmek için fidanlığa gidildiğinde genellikle çam, sedir gibi hem pahalı hem de son derece ağır ağaçlar önerilir. Binanın yakınına dikilen bu kocaman ağaçlar nem problemine neden olmaktadır. Yapılan bir araştırmaya göre binaların güney kısımlarına dikilen ağaçlar 15 yıl sonra yetersiz ısınmaya neden olmuş ve özellikle bodrum kattaki odaları sağlıksız ve küflü hale getirmiştir. Hasarı belirlemek için bir takım ölçümler yapılabilir. Bina yakınındaki ağaç ve onun 3 – 4m ilerisi alınır. Bir koni meydana getirilir. Ağacın altındaki gölgelik alan, güneş alan kısım ve zeminin yarım metre altı ele alınır. Eğer gölge kısımdaki sıcaklık güneş alan kısımdan $3C^0$ veya daha fazla düşük sıcaklıkta ise ağacın meydana getirdiği sıcaklık düşüşü evin neminde de etkili olmaktadır. Tek çare ağacı kesmektir. Aşağıdaki şekilde güneş ışığından maksimum faydalanabilmek için binaya ne kadar mesafede kaç m yükseklikte ağaç dikilmesi gerektiği ifade edilmiştir. (Şekil 4.10) [1].



Şekil 4.10: Nemliliğin önlenmesi için uygun mesafe ve ağaç boyutları

4.3. Duvarlarda Çiçeklenme

Eski rutubetli duvarlardaki gözenekli sıvalarda kuru ve ıslak yüzeyler arasındaki hasar çizgisi genellikle yüzey bozulmaları ile belirlenir. Bunun sebebi tuzların oluşturduğu basınçla oluşan yüzeysel parçalanmalardır. Tuzlar kuruma döneminde kılcal damarlarda kristalize olur ve sıvı karışımla yer değiştirir. Diğer bir ifade ile ayırma çizgisinin değişimi gelişen çiçeklenme olayının oluşturduğu bol çiçek zinciri ile tanımlanır.

Çiçeklenme tuğla yüzeylerinde genelde nadir görülür ve sadece belirli tuğlalarda açığa çıkarken diğerlerinde görülmez. Nem tuzların çözülmesini sağlayan en önemli araçtır. Hareket eden tuzların bıraktığı beyaz leke düzenli miktarda artar ve nemin bittiği yere kadar devam eder. Çiçeklenmenin temel bileşeni magnezyum sülfattır ($Mg(SO_4)$). En hareketli olan tuzdur. Ayrıca kalsiyum ve sodyum sülfatları da mevcuttur. Kloritler deniz kaynaklı olmadıkça nadiren bulunurlar.

Şiddetli fakat nadiren görülen tuğladaki yüzeysel çiçeklenme karışımında kullanılan kumun ya da suyun kalitesine bağlanabilir. Bu karışım temel olarak sadece kalsiyum sülfat ve bazen de önemsiz miktarda kalsiyum karbonat eklenerek blok haline gelir ve sülfatlar çözülmez yapılır. Çiçeklenme kuru duvarlarda ve sütunlarda yağmur etkisi ile ıslanma sonucu da görülebilir. Onun varlığı duvarda nem olduğunun delili değildir.

Çiçeklenmenin sonucu olarak boya, sıva gibi bitiş malzemeleri yüzeyle olan adezyonlarını kaybederler. Çiçeklenmeye neden olan tuzlar malzeme bünyesinde bulunabileceği gibi, topraktan gelen suyun içinde de bulunabilir. Tuzlar yüzeyde beyaz lekelerle sebep olurlar.

Yüzeyin yeterince su geçirimsiz bir sıva ya da tabaka ile örtülmemiş olması, suyun cepheden duvarın içine sızmasına neden olur. Duvar bünyesindeki suyun burada çözdüğü tuzlar kristalize olurken önemli bir hacim artışı olur. Tuzlar sıva tabakası altında çöker ve şişer. Duvarla bağımsız kabukların oluşmasına ve dökülmesine neden olur. [25]

Çözülebilir tuzlar tuğla, taş ve ya harcın orijinal bileşenlerinde mevcuttur ya da yükselen nemle beraber topraktan alınır. En baştaki durumda tuzun miktarı belirli iken daha sonraki durumlarda belirsizdir. (Tablo 4.1) [1].

Tablo 4.1: Duvarda bulunan tuz çeşitleri

Suda çok çözünen	magnezyum sülfat
	sodyum sülfat
Çok fazla çözünmeyen	kalsiyum sülfat
Su sadece belirli miktarda CO ₂	kalsiyum karbonat
İçeriğinde çözünenler	

Nitrojen ve klorun dış etkisi ile şekillenen tuzlar

Suda çözünebilir	potasyum nitrat
Çok çözünebilir	sodyum nitrat
	kalsiyum nitrat
	(deniz havasından) kalsiyum klorit

Çiçeklenme, erozyon ve kümelenme çözülmüş tuzların hareketinin sonucudur. Bu hareket iki farklı olayın nedenidir; birincisi kılcallık, sıvı nemli alanlarda kuru kılcal yüzeylere hareket eder. İkincisi ise difüzyon, tuzun sıvı içindeki moleküler hareketidir. Daha hassas olarak sıvının konsantre olan yerinden daha az yoğun, seyrek olan bölümüne hareketidir. Bu göçün nedenleri karıştırılmaktadır. İkisinden hangisi olduğunu açıklamak çok da kolay değildir, kapilerite mi, difüzyon mu? Ki bu ikisi de çiçeklenme, erozyon ve kümelenme hasarlarını açıklamakta sorumludur. [25]

4.4. Nemli Duvarlar

Yapıda su ile ilgili hasarlar çok katmanlı duvar tiplerinde daha sık görülmektedir. İç ve dış ortamı ayıran dış duvarlar çok yönlü etkilere maruz kalmakta ve bu anlamda onlardan birçok fonksiyonu karşılamaları beklenmektedir. Eski yapılarda dış duvarlar bölücülük özelliğinin yanında taşıyıcılık özelliğine de sahip olduklarından kalın yapılmaktaydı. Bu yüzden içeride oluşan az miktarda yoğunlaşma dışarıya ulaşmadan

mevsim değişimleri ile kurumakta ve yok olmaktaydı Günümüzde gelişen yapıım teknolojileri ile birlikte duvarların taşıyıcılık özelliği kalkmış sadece bölücülük özelliği kalmıştır. Böylelikle o kalın duvar kesitleri yerine daha ince duvar modelleri ortaya çıkmıştır. Duvar bünyesinde farklı yoğunlukta malzemeler kullanılmaktadır. Böylelikle duvarlardaki nem problemi daha fazla önem kazanmaktadır. Bu malzemelerden herhangi biri çığ noktasına ulaştığında yoğunlaşma meydana gelmektedir. Duvarı oluşturan malzemelerin duvarda doğru sıralanması ve kendilerinden beklenen performansı en iyi şekilde karşılamaları beklenmektedir. Katmanlı yapıda olan dış duvarın farklı malzeme özelliklerinden kaynaklanan hasarlar aşağıda sıralanmıştır. [11]

4.4.1. Su Emicilik Özelliğinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar

Malzeme bünyesindeki su, yapıım sonrası iç ve dış etkenlerden kaynaklanabileceği gibi, yapıım aşamasında kullanılan sudan da kaynaklanabilir. Farklı malzemeler yan yana gelince küçük gözenekli olanlar büyük gözenekli olanlardan su çekecektir. Bünyesinde su bulunduran malzemelerin yanına su geçirimsiz bir malzeme yerleştirilirse, malzeme içindeki nem dışarı çıkamaz ve malzeme içinde kalır. Malzemelerde nemlilik, ısı geçirgenlik direncinin azalmasına, ısı yalıtım malzemelerinin bozulmasına, çürümelere, küflenmelere, iç gerilim çatlaklarına, kabarmalara, metallerde korozyon gibi hasarlara neden olur. [23]

Cephede malzemelerin farklı su emicilik özelliklerine sahip olmaları, görünüş bozukluklarına yol açar. Bu bozulma faktörlerinden biri, suyun malzeme yüzeyleri üzerinde akışıdır. Suyun malzeme yüzeyleri üzerinde akışı kontrol edilmediği zaman yüzeyde lekeler oluşur.

Suyun cephede akışı, farklı emicilik özelliklerine sahip malzemelerin sıralanmasına bağlıdır ve erozyon sonucu görünüş bozukluklarına, lekelenmelere yol açar. Cephede kullanılan malzemelerin suyu emicilik oranları arasında bir ilişki bulunmalıdır.

Emme, emilebilen sıvı miktarının yüzdesidir ve doyma ile sınırlıdır. Emme özellikleri malzemenin porozitesi ile ilgilidir. Gözenekli malzemelerde emicilik fazladır. Malzemenin emiciliği yüksekse, suyun akış hızı ve lekelenmeler azalır. [27]

4.4.2. Buhar Emicilik Özelliğinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar

Buhar difuzyonu, yapı elemanının her iki tarafındaki buhar basınç farkından oluşan su buharı hareketidir. Buhar difuzyonu olayı kesitteki malzemelerin buhar geçirgenlik özelliklerine, ortam sıcaklığına, ortam ile eleman yüzey sıcaklık farkına ve yüzeydeki nem hareketlerine göre değişmektedir.

Belirli bir sıcaklık derecesinde havanın taşıyabileceği su buharı miktarı bellidir. Bu buharın yaptığı basınca doymuş buhar basıncı, havada bulunan su buharı miktarının doymuş su buharı miktarına oranına bağlı nem denir. Ortamın bağlı nemi sıcaklık arttıkça düşer, sıcaklık azaldıkça bağlı nem fazlalaşır, %100 değerine vardığı zaman havanın taşıma kapasitesinin üstündeki su buharı su şeklinde yoğunlaşır. Buhar, yüzeyde doyma sıcaklığına rastlarsa, bir miktarı yoğunlaşarak yüzeyde terlemeyi meydana getirir, geri kalan buhar malzeme içine girer. Eğer buhar yüzeyde doyma sıcaklığına rastlamazsa, terlemeye uğramadan malzeme içine girer.

Su buharının içeriden dışarıya hareketi sırasında eğer yapının dış bölümü doymuşsa, iç yoğunlaşma kaçınılmazdır. Çünkü yapıda doymuş bir tabaka buhar kesici görevi yapar ve buhar serbestçe dışarı çıkamaz.

Malzeme bünyesine giren ve yoğunlaşan buhar, malzemenin nemliliğini artırır. Isı yalıtım malzemesinin değerini düşürdüğü gibi, ıslanma neticesinde şişme, büzülme, küflenme ve kabarma gibi bozulmalara, akış yönünde çiçeklenmelere, sıva kaplamasının kabarıp dökülmesine, kışın donarak malzemelerin çatlamasına neden olmaktadır.

Nemlenen kabuk elemanı iç ortam konforunu olumsuz etkiler. Kesit ıslanmadan etkilenmeyecek malzemelerden oluşsa bile, yoğunlaşan suyun buharlaşmak istemesi sonucu oluşan kuvvetler kesitin buhar difuzyon direnci yüksek katmanlarını zorlayarak hasarlara neden olabilir. [27]

Malzemeler nemlenme sonucu şekil ve hacim değişikliklerine uğrarlar. Malzemeler arasındaki farklı nem hareketleri, aynı ısısal hareketlerde olduğu gibi gerilmelere, çatlamalara, deformasyonlara ve bağlayıcılığın yok olmasına yol açabilir. Özellikle rötre olayının gerçekleştiği malzemelerde, nemle ilgili gerilmeler kaçınılmazdır.

Birbirine yapışmış iki malzeme ya da zemin kaplama malzemesi gibi farklı nem hareketlerine sahip malzemelerde çatlamalar ve kırılmalar görülebilir. Farklı

hareketlerden kaynaklanan kırılmalar, özellikle farklı hareketlere sahip malzemeler (tuğla ve beton gibi) üzerine kesintisiz uygulanan sıvalarda görülmektedir.

Farklı nem hareketlerinden kaynaklanan çatlaklar pişmiş toprak malzemelerden yapılan döşeme kaplamalarında da görülür. Kaplama- zeminin farklı hareketleri ve hareketteki kısıtlama, kaplamanın zemine adezyonunun çimento ile sağlanmasından kaynaklanmaktadır.

Duvar bünyesinde istenmeyen kesitlerde veya istenmeyen miktarda yoğuşma, elemanın nemlenmesine neden olur ve nemlenmeden kaynaklanan olaylar dizisini başlatır. Bu, duvarın tüm niteliklerinin olumsuz yönde etkilenmesi ve bünyeyi tahrip edici hasarların oluşması demektir.

Duvarları oluşturan malzemelerden buharın kolay geçmesi yani duvarın nefes alması istenir. Ancak, yapı dış duvarlarının seramik, metal gibi buhar geçirmeyen malzemelerle kaplanmaları, ısı geçirgenlik dirençleri, buhar difüzyon dirençleri yüksek olduğu için, soğuk dönemde ısı kayıplarının olduğu bölgelerde iç ortamdan dış ortama doğru olan su buharı akımı düşük direnç bölgelerini geçerken, bu malzemelere ulaştığında bir dirençle karşılaşacak, sıcaklığın azalması ile duvar iç kesitinde yoğuşma olasılığı artacaktır. Su buharının dışarı atılmayıp bu geçirimsiz tabaka altında yoğuşarak birikmesi, kaplamalarda çatlamalara, kabarmalara ve soğuk havalarda ise donarak kaplamaların dökülmesine neden olur. Buhar yoğuşmadan geçirimsiz boya altında toplanırsa, boyayı kabartır ve sonra patlatarak dışarı çıkar.

Buhar geçirgenliği düşük olan sıvalarda nem oranının ve sıcaklığın değişmesi sonucu buhar, sıva kaplaması altında yoğuşarak birikir ve genleşme sonucu çatlamalara neden olur.

Buharlaşmanın hızlı olmadığı kesitlerde veya dış duvar kaplamasının buharı iyi geçirmediği durumlarda, suda bulunan tuzlar duvar içinde dış kabuğa yakın yerlerde çöker ve şişer. Bu tuzlar yüzeylere basınç uygulayarak kaplamanın altında bağlantısız kabuklar oluşmasına neden olur. Bunun sonucu olarak duvar kaplamalarında kabarma ve dağılmalar oluşur. [15]

4.4.3. Donma Mukavemet Özelliğinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar

Su malzeme bünyesine girdikten sonra hasarların önemli bir nedeni donma etkisidir. Donma etkisi malzemenin nem kapasitesi ve ortamın sıcaklık hareketleriyle ilgilidir.

Sıcaklık azalıp 0C°'nin altına düştüğü zaman malzeme boşlukları içine emilmiş su donarak buz haline geçer. Bu geçişte %10 oranında hacim artışı olur. Bu da malzemenin genişlemesine, çatlamalara, parçalanmalara ve dökülmelere neden olur.

Malzemenin kullanım aşamasında donma direncinin bilinmesi önemlidir. Donmanın gerçekleşebileceği yerlerde daha dayanıklı malzemeler seçilmelidir. Donma mukavemeti farklı olan malzemelerin bir arada kullanılması sonucunda, donma mukavemeti düşük olan malzemenin donmasıyla genleşme meydana gelir. Bu da çevresindeki diğer malzemelere zarar verir. [9]

Donma olayı malzeme yüzey tabakalarının dökülmesine yol açar. Başka nedenlerle oluşan kırılmaları daha kötü hale getirir. Kırılmalar dışında da yapısal zayıflığa neden olur.

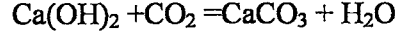
Donma etkisi malzemede kamalama etkisi yapar. Malzeme içine yerleşen su donduğu zaman çatlaklara neden olur. Bu oluşan çatlaklar daha fazla suyun yerleşmesine imkan sağlar. Bir dahaki sefere çatlak daha büyür ve ilerler, zamanla malzemenin iç yapısı tamamen hasar görür. Gözenek düzeni, sıcaklık derecesi ve donma şartları donma olayını etkiler. Küçük gözenekli malzemelerin kapilerite ile emme kuvvetleri daha yüksektir ve bünyelerine aldıkları suları büyük gözeneklilerden daha zor bırakırlar, dolayısıyla donma hasarlarına daha açıktırlar. Malzeme bünyesine su girişi engelendiğinde, donma etkilerine karşı da korunmuş olacaktır.[23]

Buhar akımı açısından uygun olmayan ısı akımına sahip ve su buharı geçirimsiz dış sıva ya da son kat malzeme ile kaplı dış duvarlarda yoğunlaşma miktarına bağlı olarak bir ya da birkaç yoğunlaşma dönemi sonunda hasarlara neden olabilecek miktarda su birikir. Duvar bünyesinde yoğunlaşma sonucu oluşan sular, sıcaklığın düşmesi ile donarak hacim genişlemesine uğrarlar. Yalıtım dış kısma yaklaştıkça donan bölge genişler. Donma dış tabaka içinde görülür, donan su kuru bölümlere atılabilir. Donan su, sıva altında olduğunda sıva duvar yüzeyinden kabarmakta, sıva bünyesinde olması halinde de kabarmakta ve dökülmelere neden olmaktadır. [9]

4.5. Çok Fazla Nemle Oluşan Sağlıksız Mekanlar

Geleneksel yığma yapılarda , betonarme taşıyıcı olmadan , kuruma başlamadan önce hacminin %20-25 kadarı su ihtiva eder. Bu su doğal olarak bina yapıldığında diğer

malzemelerle karşılaşır.Yerçekimi etkisi ile duvar içinde aşağıya doğru inme eğilimi gösterir.Geride muhafız olarak ince kılcal su yolları bırakır.Sonra bir miktar su Ca(OH)_2 üretir. Ca(OH)_2 , CO_2 ile tepkimeye girerek karbonata (CaCO_3) dönüşülür.Bazı fizikçiler tarafından belirtilen bu miktarın toplam suyun %1-2'si olduğu ve bütünde duvarın hacimce %0.5 kadar olduğudur.



%70 bağıl nem oranındaki bazı yapı malzemelerinin kuruluk katsayıları aşağıdaki gibidir.Optimum olan tuğla ve kireç sıvadır. [1]

Tuğla	0.28
Kalker	1.20
Çimento beton	1.60
Çimento ve beton	1.40
Celluar çimento	1.20
Çimento sıva	2.50
Kireç sıva	0.25
Mantar	0.14

Bütün yapı elemanları iki kategoriye ayrılabilir:

- İyi kılcallıkta olanlar ki bunlar kolay kururlar ve bütününde kuruma gerçekleşir.(Tuğla, kiremit, kireç sıva, ahşap fiber ...vs)
- Kötü kılcallıkta olanlar ki bunlarda sadece dış kısım kururken iç kısım uzunca bir süre ıslak kalır.(Çimento beton, kalker taşı, süngertaşı, tuf, kaya yünü).

En iyi çözüm kötü kılcallıktaki malzemeler (bunların arasında sünger taşı gibi bazıları çok iyi ısı yalıtımı sağlarlar) kuru oldukları zaman minimum akışkanlıktaki harçlarla kullanılmalıdır. Eğer su bu tür malzemelerin iç çekirdeklerine ulaşırsa, labirent yapıda hapis olacaktır.Yüzeye gelerek buharlaşması mümkün olamaz ya da olsa bile aşırı yavaş olacaktır.

Bu durumun zıttı tuğlada gerçekleşir. Su malzemelenin bütününe girse bile çok çabuk kurur çünkü su devamlı olarak yüzeye gelir, buharlaşır ve yeni gelenle kolaylıkla yer değiştirir. [1]

İç duvarlar dış duvarlara göre çok daha geç kururlar. Sağlık denetçileri, her ne kadar kış kondensasyonunu temel olarak dış duvarlarda oluşsa da iç duvarları da göz önüne almak zorundadır.

Çimento blokları en az üç adet iç hava hücresi içermelidir ve eğer kış yoğuşmasından kaçınılmak isteniyorsa duvar gibi aynı doğrultuda olmalıdır (özellikle yatak odalarında ve soğuk iklimlerde).

Pratik olarak, kuruma hızı göz önüne alındığında, duvarı birkaç ay sıvamadan bırakmak havalandırma, uygun kuruma açısından makul bir karardır. Sonuç olarak yeni betonarme taşıyıcılı binalarda kurulum için gereken süre geleneksel yapılarda istenilen yarısı kadardır.

Yağış sezonu boyunca, kuruma süresinin uzamasından kaçınmak için ya da daha fazla yoğuşmanın duvarlarda ve soğuk döşemelerde depolanmaması için en etkili önlemler her odada ısı kaynakları olmalı, hava değişimi sürekli olmalı ve pencereler her zaman açılmalıdır.[1]

Hasarın üç farklı nedeni vardır.

- Buharlaşan su rutubetli duvardan geçerek odadaki havaya geçer.
- Yüzey buharlaşması devam ettiği sürece duvar soğur hatta bazen birkaç derece birden soğur.
- Dış duvarlar su ile ıslandıklarında, ısı ile karşılaştıklarında uyumlarını kaybederler ve kalınlıkları 2/3 oranında hatta yarı yarıya azalır. [30]

Yüzey buharlaşması sağlıklı odada oturan biri tarafından hissedilir. Soğuğun etkisi ile bronşit şikayetleri başlar ve az ya da çok miktarda tüm organlar etkilenir.

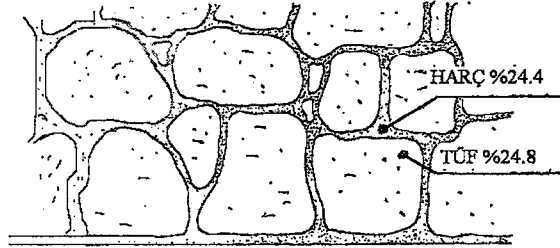
- Duvarda nem yüzdesi düşük olduğunda 6-8 cm mesafede hemen ve ciddi etkiler gerçekleşir.
- Belirli bir süre sonra, eğer mekanda dışarı ile hava değişimi yoksa, duvar neminin minimum miktarı duvarda görülebilir etki yapmaya yetmektedir.

Birçok büyük şehirlerde, metropollerde günümüzde evler için sağlık kuralları vardır. Bu kurallar bir yerden diğerine farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar hava şartlarına, yapı malzemesi tipine ve toplumun yaşam tarzına bağlıdır.

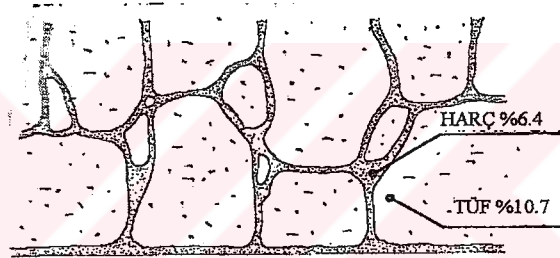
Massari'nin yaptığı araştırmanın ışığında Turin Health Regulations'ın 236.Maddesine göre:

İç duvarlardaki harcın haziran ve eylül ayı arasındaki nem miktarı %3'ü geçmemeli ve diğer aylarda %2'i geçmemelidir. Eğer mülk sadece gün içinde işgal ediliyorsa (mağazalar, laboratuvarlar,vs) harcı %4'ten fazla su içermemelidir.

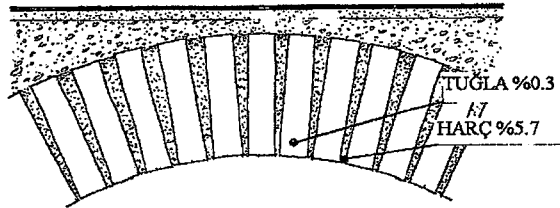
ÇOK NEMLİ YIĞMA YAPILARDA BİLEŞENLERİN DEĞERLERİ BİRBİRİNE YAKINDIR



ORTA NEMLİ YIĞMA YAPILARDA BİLEŞENLERİN DEĞERLERİ FARKLILIK GÖSTERİR



HEMEN HEMEN KURU OLAN YIĞMA YAPILARDA BİLEŞENLERİN DEĞERLERİ ARASINDAKİ FARKLILIK ÇOK YÜKSEKTİR



Şekil 4.11 Yığma yapılarda harç ve komşu malzeme arasındaki nem içeriği farklılığı

Sağlık koruması için iki güncel sınır olmalıdır. Bunlar:

- Duvarlarda en yüksek kabul edilebilir su miktarı.
- Dış duvarlarda ve çatı sistemlerindeki minimum ısı kayıplarıdır.

İlk kritere bağlı kalarak, sağlık koşullarının sağlayacak şekilde duvarın ağırlıkça içerebileceği max su miktarı:

- Tuğla duvarlarda %3'ten fazla olmamalıdır.

- Tüf duvarlarda %6'dan fazla olmamalıdır.(Kumtaşı, hafif taş)

Unutulmaması gereken bir nokta da her farklı malzeme rutubetli duvarlarda nemi kendi yöntemine göre tutar. Bu bileşenler aynı emme davranışı göstermez. Tuğla ve harç arasında ortalama değer kullanılır.[1] (Şekil 4.11).

Soğuk Duvarlarda Nemin Ölçülmesi:

Genel olarak pratikte yapı elemanları az ve ya çok miktarda nem içerirler. Bir yapı elemanı veya malzemesinin nemliliği o anda içinde barındırdığı su miktarı ile belirtilir. Bu nemlilik yapı malzemelerinin su ve su buharı ile ilgili özelliklerine bağlıdır.[30]

Nem miktarı, belli bir anda, belirli bir hacimdeki malzemenin içerdiği su kütlesi miktarının tam kuru malzeme kütlesine oranının yüzde olarak ifadesidir.

$$\text{Nem Miktarı} = (\text{Malzemede bulunan su kütlesi} / \text{malzemenin kuru kütlesi}) \times 100 \quad (4.2)$$

Malzemenin içerdiği nem miktarı ile içinde bulunduğu havanın nem miktarı arasında bir bağlantı mevcuttur. Havanın neminin azalması veya artması malzeme içinde nemin değişmesine sebep olur.

Duvarlardan geçen ısı miktarının ölçülmesi ile ilgili temel formül genel olarak kilokaloriye (kcal) dayanır.

K: kilokalori miktarıdır. Duvarın iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı 1°C olduğunda 1m² 'sinden 1 saatte geçen ısı miktarıdır.

$$K = W/m^2C(\text{watt})$$

Örneğin İtalyan hava şartları için iki farklı bölge ayrılmıştır. A zonu ortalama sıcaklık en soğuk ayda (kuzey yarımkürede ocak) 6°C 'nin altında ya da eşit diğerlerinde B zonu diye tabir ettiğimizde 6°C 'nin üzerindedir. Doğal olarak A bölgesindeki dış duvarlar ve çatılar B bölgesindekine göre çok daha fazla korunmaya sahip olmalıdır. [1]

Soğuk Duvarlar ve Hissedilen Vücut Sıcaklığı:

Alışveriş mağazalarına, hastanelere veya müzelere 17.5 °C'de girildiğinde bazen tuhaf şeyler olur, boş bir mekana ya da oturulmayan ama hala ısıtılan evlere girildiğinde hiç sis, leke rutubet olmasa bile bir komforsuzluk, rutubetli bir atmosfer hissedilir.

Atmosferik nem yüksektir. Duvar nemi ölçüsü belirtilen limitlerin arasında iken bu rahatsızlık hissinin nedeni merak edilir.

Hissettiğimiz sıcak ve soğuk sadece termometre ile ölçülen sıcaklığa bağlı değildir. Aynı zamanda RH'a (bağıl neme), havanın durağanlığına ve hareketine ve son olarak bizi çevreleyen yüzeylerin sıcaklığına bağlıdır.

Yaz aylarında ara katların duvar ve döşemeleri soğuk hissetmektedir. Bu durum kışın yer ısıtma sisteminin tam zıttıdır. [1]

- Duvar analizleri nem içeriğinin ağırlıkça %3 tuğla duvarlar için, %6 hafif duvarlar için (geçirgen taş , tuf gibi) olduğu durumları onaylar. Maksimum %4 tuğla, %7 hafif taş iki durum için hala tolere edilebilir.
- Kanıtlanmış yapım hatalarından dolayı, bina ısı kayıplarına karşı korunmada yetersizdir. Dolayısıyla yoğunlaşmaya neden olur.

Yetersiz korumayı açıklamak ve toplam ısı direncini hesaplamak için;

$$R=1/K= m^2.h.C/kcal/m^2 \quad (4.3)$$

Üstteki formül binanın yığma duvarı için verilen formüldür. Bu formül için şu değerler verilmiştir; 1 değeri ve ya altı en soğuk ayın ortalama sıcaklığı 6 C°'ye eşit ve ya daha az olan iklim bölgelerinde , 0.8 ve ya daha altı en soğuk ayın ortalama sıcaklığı 6 C°'nin üzerinde olan iklim bölgelerinde.

Özet olarak üç olasılıkla karşılaşılabilmektedir:

- Yapı kabul edilebilir nem miktarından daha fazla nem içerir, binalar yaşamaya uygun değildir.
- Yapı kurudur fakat rutubetin genel belirtileri gözlenmektedir ve yapım hatalarından dolayı ısı koruma yetersizdir. Binalar yaşamak için uygun değildir.
- Yapı kurudur. Fakat yavaşça nemin işareti olarak izler belirir (renk bozulması, lekelenmeler, küf, çeşitli kusurlar). Belki de geçmişten gelen izlerdir. Bina ısı performansını azaltıcı hiçbir yapım hatası yoksa yaşamaya elverişlidir. [1]

BÖLÜM 5. YAPI MALZEMELERİ ÜZERİNDE YAPILAN SU İLE İLGİLİ LABORATUAR TESTLERİ

5.1. Deneyisel İşlemler

Sağlık üzerine yapılan medikal araştırmalarda ve yapı malzemeleri üzerine yapılan teknik araştırmalarda malzeme ve su arasına üç ilişki tanımlanmıştır.

- Tamamen daldırılmış örneklerde emilen su miktarına sağlıklar ‘ *su kapasitesi* ’ teknisyenler ‘ *emme katsayısı* ’ demişlerdir.
- Tamamen daldırılmış örnekteki emiş gücü oranına ‘ *kılcal emme gücü* ’ denmiştir.

Emme katsayısı duvarlardaki nem ile alakalıdır. Gerçek yapılarda suyun altında kalan temeller, kanal ayakları vs gibi durumlar hariç malzemeler laboratuvar testlerinde olduğu gibi tamamen suya bastırılmaz. [17]

Malzeme yüzeyinin belirli bir kısmı suya değdirildiğinde, su seviyesinin üstünde kalan kuru kısmının kılcal emme ile absorbe ettiği su miktarı, malzemenin kaldırabileceği maksimum su miktarına karar verebilmek için çok önemli bir noktadır. Duvar nemine bağlı kalarak yapı malzemelerinin davranışlarını sınıflandırırken, şu adımlar uygulanır:

- Kapiler emme ile malzemelerin absorbe ettiği su miktarı ki hacim ya da ağırlıkça yüzde olarak ifade edilir. Buna *emme kapasitesi* diyoruz.
- Belirli zaman diliminde birim yüzeyden ağırlıkça absorbe edilen su miktarına *emme oranı* diyoruz.

Emme kapasitesi tuğla, yumuşak kireçtaşı, kumtaşı gibi homojen olan gözenekli, ve geçirgen malzemelerin özelliğidir.

Aksine traverten gibi, delik deşik, çukurlu malzemeler suya batırıldıklarında su ile dolarlar ve kısmen suya batırıldıklarında çok düşük bir emme kapasitesi gösterirler. Son olarak buharlaşma eğrileri ve kuruma oranları ile ilgili mevcut veriler çok belirsizdir ve pratik bir değer yoktur. [1]

5.2. Yapı Malzemelerinde Su Emme Deneyi

Bazı yapı malzemelerinin tamamen suya daldırıldıklarında emdikleri su miktarlarının yüzde olarak ifadesi:

- %0'dan %1 : Çok sert kayalarda , granit , mermer , yoğun kireçtaşı,
- %0.1 'den %5 'e : Daha az yoğun olan kayalar , sıradan kompakt kireçtaşı,
- %5'den %20'e : Kumtaşı , yarı sert kireçtaşı , traverten , çimento , kum harcı , kireç, kum harcı , sert tuğla,
- %20'den %35'e : Yumuşak kumtaşı , iyi kalitede küf , kireç–pozzolama harcı , işlenmiş tuğla,
- %35'den %55'e : Kalkerik tuf ve volkanik tuf , el yapımı tuğla , alçı sıva

Doğal malzemelerden yüksek emiş gücüne sahip olanlar en hafif olanlardır. Bu malzemeler nem istilasına daha çok maruz kalsa da boşluklu yapılarından , porozitelerinden dolayı harç ile iyi bir aderans sağlayıp iyi bir ısı yalıtımı da sağladıkları için ev yapımına uygun malzemelerdir.

Rutubet yapıda doğal olarak bulunabilir , malzemelerle gelebilir ve ya kazanılabilir. Aynı zamanda duvar inşa edilirken de üretilebilir. [1]

Boşlukların niteliklerini belirlemek amacıyla su emme deneyleri de türlü şekillerde yapılır. Bunlar:

- Atmosfer basıncında su emme,
- Kaynatma yolu ile su emme,
- Yüksek basınç altında su emme deneyleridir.

Tüm deneylerde önce numunenin sabit kuru ağırlığı 105°C 'de etüvde kurutularak belirlenir (G_1).

Atmosfer basıncı altındaki su emmede numune kademeli olarak damıtık suya daldırılır. Sabit nemli ağırlığa (G_2) gelinceye kadar, 24 saatten az olmamak şartıyla saklanır. Su emme değeri,

$$S_a = (G_2 - G_1) / G_1 \text{ 'dir. [6] } \quad (5.1)$$

Bu deneylerle ancak büyük boşluklar su ile dolmuştur. Bunlar birim ağırlık deneylerinde hesaba katılan boşluklardır.

Yüksek basınç altında su emmenin tayininde, önce taşa vakum uygulanır, bu vakum 20mm civa sütunu basıncına eşittir. Daha sonra bu vakumda su sevk edilir. Kabarcık çıkması bitince suyun basıncı yükseltilir, 150 atmosfere çıkarılır. 24 saat bekletilir ve numunenin G_2^1 ağırlığı saptanır. Su emme değeri:

$$S_b = (G_2^1 - G_1) / G_1 \text{ 'e eşittir.} \quad (5.2)$$

Bu deneyde kılcal boşluklar da suyla doldurulmuş olmaktadır. [6]

Kaynatma yoluyla su emme aynı amacı taşır. Yüksek basınç altındaki su emmeye oranla daha kolay, fakat yaklaşık bir yöntemdir.

Deney tekniğinden de anlaşılacağı gibi,

$$S_b > S_a \text{ 'dır. [6]}$$

5.3. Yapı Malzemelerinde Kılcallık Deneyi

Emme özelliği kazanılan suyun yüzdesi olarak ifade edilir. Emme kapasitesi ya da verilen zaman içinde absorbe edilen suyun gr olarak ifadesidir. (emme oranı)

Emme yüksekliği bir malzemedan diğerine çok farklılık göstermektedir. Kılcallık da çeşitte ve çapta malzeme yapısına göre değişiklik göstermektedir. Bütün malzemeler içinde ağır tuğla (dolu tuğla) ve kiremit en yüksek emiş yüksekliği göstermektedir. Granitler , yoğun kireçtaşı , basalt ileri derecede anti emme özelliği göstermektedir. [1]

Doğal yapılardaki taşlarda tuğlanın aksine kılcallıklar hep aynı çapta olmaz ve bu yüzden absorbe edilen su miktarı yükseklikle azalır.

Tüm yapı malzemeleri su ile temas ettiklerinde bünye yapılarına bağlı olarak sudan etkilenir. Su ile temas ettiklerinde bünye yapılarına bağlı olarak sudan etkilenirler.

Su ile ilişki sonucu , su içinde bulunan malzemelerde su emme , yüzeysel olarak su ile temasta bulunan malzemelerde basınçlı ve ya kılcal su geçirimsizlik olayı görülür.

Kılcal borularda suyun yükselme miktarı suyun yüzey gerilimi ile doğru , boru çapı ile ters orantılıdır. Suyun yüzey gerilimi sabit olduğuna göre , borunun çapı küçüldükçe su daha yükseğe emilir. Bu yüzden kılcallık olayı , küçük gözenekli olanlarda daha fazladır.

Malzemelerde 0.5mm'den ince çatlak ve boşluklara kılcal çatlak denir. Bu çatlaklarda su aşağıdan yukarıya doğru emilerek yükselir. Çatlakların düzgün olmayan dağılışları düşünülürse, suyun paralel düzlemler halinde yükselmeyeceği derhal anlaşılır. Ancak, alt yüzünden su ile temas ettirilen örneğin bir taş numunesi zaman zaman tartılırsa,

$$e = N\sqrt{t} \text{ şeklinde bir bağıntının varlığı ortaya çıkar. [6]} \quad (5.3)$$

e, birim alanda emilen su miktarı $\text{cm}^3/\text{cm}^2 = \text{cm}$

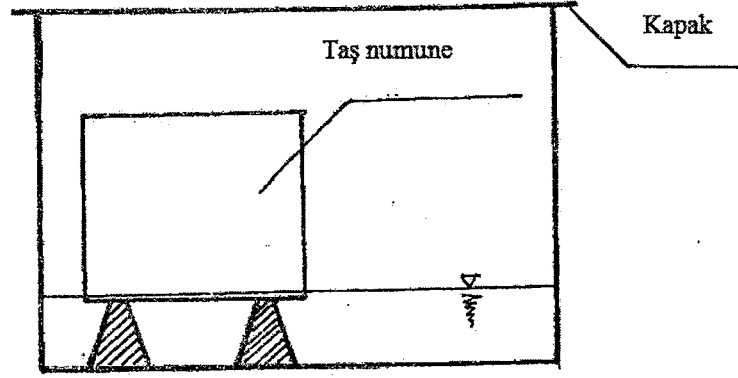
t, zaman, saniye'dir.

N, ise kapilerite katsayısıdır. Bu formüldeki birimi $\text{cm}/\sqrt{\text{san}}$ 'dir. (Şekil 5.1)



Şekil 5.1: Zamana bağlı kılcal su emme deneyi grafiği

Oldukça basit olan bu deneyde bazı hususlara dikkat edilmelidir. Numune önce havuz içinde rutubet dengesi kurulana kadar saklanır. Dengenin oluştuğu, taşın ağırlığının tartılarak, sabit ağırlığının elde edilmesi ile anlaşılır. Daha sonra numunenin suyla sadece alt yüzü temas ettirilir.(Şekil 5.2). Deneye ağırlık artışı sabit olana kadar devam edilir. Zaman zaman tartılan numunenin emdiği su miktarları, zamanın fonsiyonu olarak belirtilerek yukarıdaki şekil 5.1 çizilir. N katsayısı belirlenir.[6]



Şekil 5.2: Taş numunesi ile yapılan kılcallık deneyi

N katsayısı malzemenin permeabilite katsayısı K ve kapiler emme kuvveti ile artar, genellikle görünen porozite ile ters orantılıdır. Kapilerite zemin suyunun çok yükseklerle çıkmasına yol açar, keza bina cephesinden yağmur sularının emilmesi ve uzun süre duvarların nemli kalmasında da etken olur.

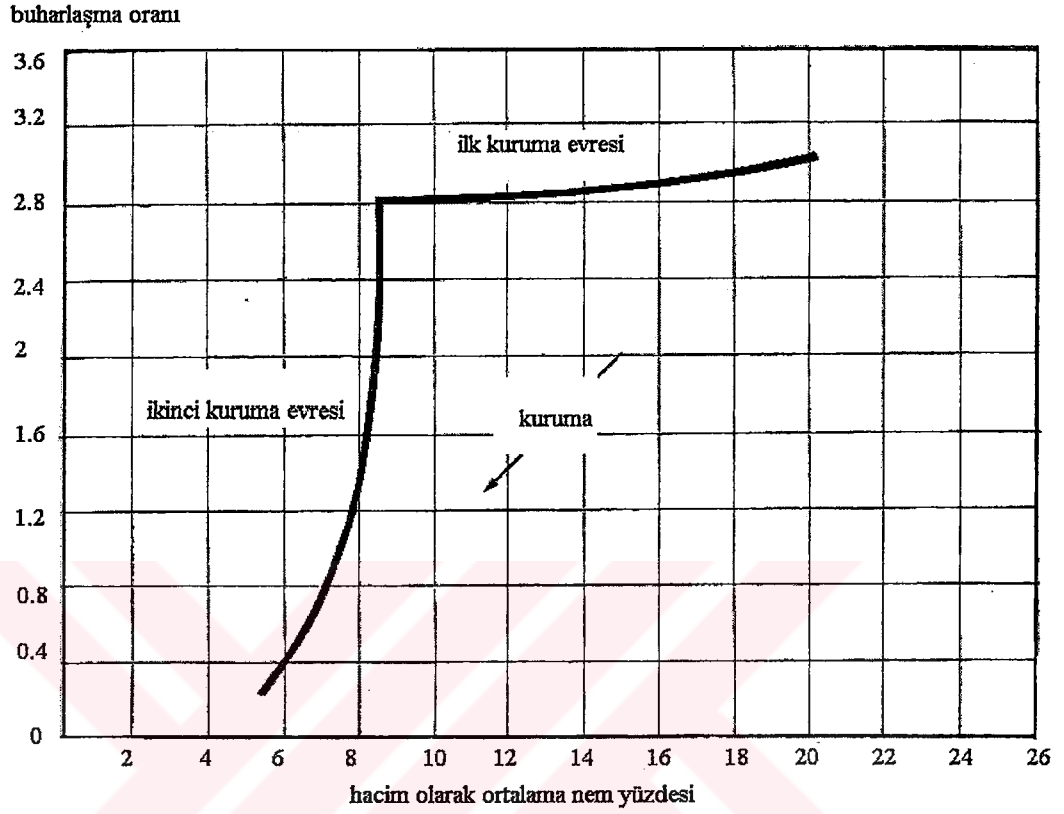
5.4. Nemli Malzemelerde Buharlaştırma, Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı Tayini Deneyi

Değişim koşullarda iki farklı hacim arasındaki buhar basıncı farklı değerler vermektedir. Sıcaklık derecelerine bağlı olarak farklı değerler gösteren buhar basıncı, yüksek basınçtan alçak basınca yönelik bir akım meydana getirir. Su buharı difüzyon geçirgenliği; bir buhar basınç farkı sonucunda bir yapı malzemesinin su buharını bir tarafından diğer tarafına geçirmesidir. Belirli dış buhar basıncı altında birim kalınlıktaki numunenin birim alanından birim zamanda geçen su buharı, buhar geçirimliliği belirler ve bu geçiş malzemelerin buhar geçirimlilik katsayılarına (8) bağlıdır. Bağıl nem %50'den az ise buhar difüzyonla, daha fazla ise kısmen difüzyon, kısmen de kılcallık etkisi ile geçer. [23]

Yapı malzemeleri genellikle bu akıma tam direnç göstermezler. Buhar difüzyonuna yapı elemanlarını teşkil eden tabakaların difüzyon dirençleri karşı koyar.

Rutubetli bir malzeme su takviyesi olmadan güçlü bir buharlaşmaya maruz kalıp kurumaya başlarsa iki evre ortaya çıkar. Birincisinde kütledeki nem yüzdesi zamanla aaldığında yüzeydeki nem kaybı sabittir. Bu birinci kuruma evresidir. Bu kuruma evresinde doygun yüzeyden buharlaşma sabit oranda ve sabit sıcaklıkta olmalıdır.

Kırılma noktası diye adlandırılan , belirli bir noktada su oranında keskin bir düşüş vardır.Bu ikinci kuruma evresidir.Aniden başlar ve nem içeriği yüzdesi aşağıda verildiği gibi kritik limite kadar düşer.(şekil 5.3). [1]

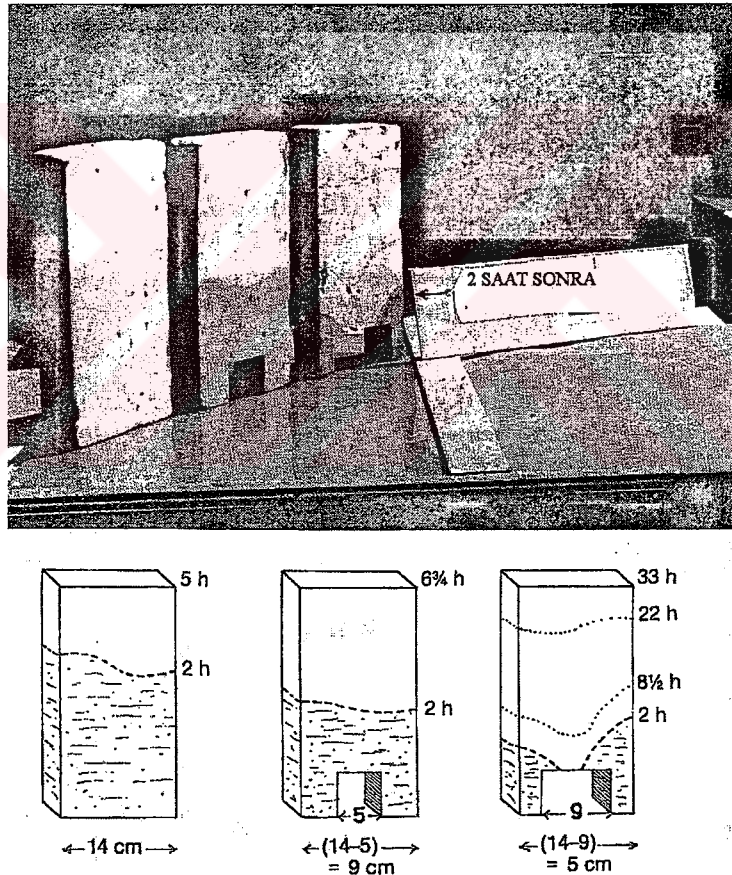


Şekil 5.3: Tuğladaki nemin buharlaşma oranını göstermektedir. İlk kuruma evresinde hemen hemen sabit değerler varken ikinci kuruma evresinde ani düşüş görülmektedir.

BÖLÜM 6. YAPIDAKİ SUYA KARŞI ESKİ VE YENİ SAVUNMA PRENSİPLERİ

6.1. Kesit Azalışı, Koch Metodu

Bu method duvara daha sonra restore edilmek üzere nefes alabilmesi için çok sayıda küçük yaylar açılmasıdır. Bu yayların birleşme noktalarında nem yükselişinde geçişi azaltmaktır. Emiş kesiti azaltılan duvarın davranışını incelemek için basit bir deney yapılmıştır. (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Aynı özellikteki tuğlalar emici kesitlerinden küçültülmüştür. Emici kesit yaklaşık 1/3 oranında küçültüldüğünde nem istila hızı da yaklaşık 1/7 oranında azalmıştır.

Aynı fırından ve aynı seriden alınan olabildiğince homojen tuğlaların kesitleri azaltılarak emiş güçleri gözlenmiştir. III. Örnekteki tuğlada emiş oranı %15'e düşmüştür. Bu oran tam emiş gücüne sahip olan birinci tuğlanın 1/7'si kadardır. Hiçbir zaman III. örnek tam anlamıyla ıslanmaz. (Tablo 6.1). [1]

Tablo 6.1: Kesiti azaltılan tuğla tarafından emilen su tablosu

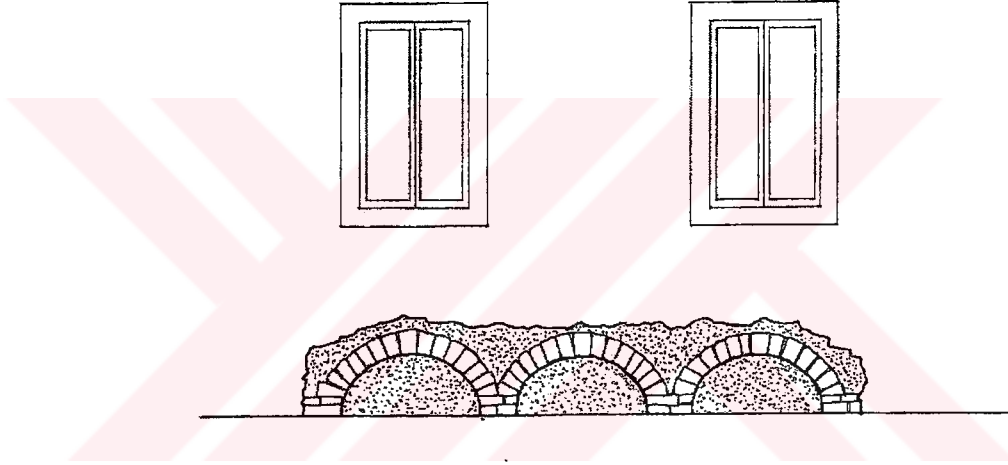
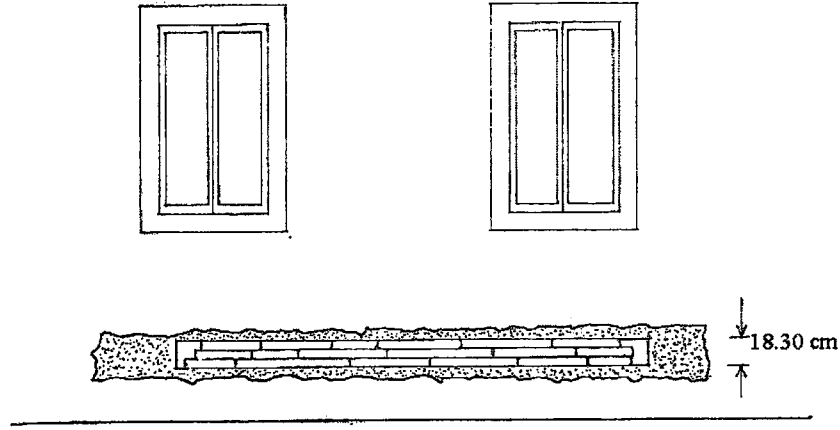
Örnek	Emme Kesiti	2 saat sonra kazanılan su yüksekliği	Bütün örneğin tam ıslanması için gereken zaman	Su yükseliş hızının göreceli hızı
I.Kontrol	Tamamı	18 cm	5 h	1.00
II.Azaltılmış kesitle	0.74	14 cm	6 h 45 m	0.75
III.Daha çok azaltılmış kesitle	0.36	8 cm	33 h	0.15

Pratikte yapı göz önüne alındığında nem geçişini azaltmak için kesitin yeterli miktarda azaltılması pek mümkün değildir. Yapılabilecek önlem kılcal olmayan malzemeleri duvar içine yerleştirerek nem geçişini engellemektir. [1]

6.2. Tüm Duvar Kesiti Boyunca Nemin Önlenmesi, Massari Mekanik Metodu

Duvar kalınlığı boyunca nemin kesilmesinde yatay bir şerit boyunca kılcal olmayan bir malzeme bütün duvar boyunca yerleştirilir. Ya da duvar boyunca kemerlerle birlikte bariyer oluşturulur. Bu yöntem ancak duvar hasar görmemişse ya da tuğladan yapılmamışsa uygulanabilir; çünkü sert taş ve yoğun harcın delinmesi çok zordur. (Şekil 6.2).

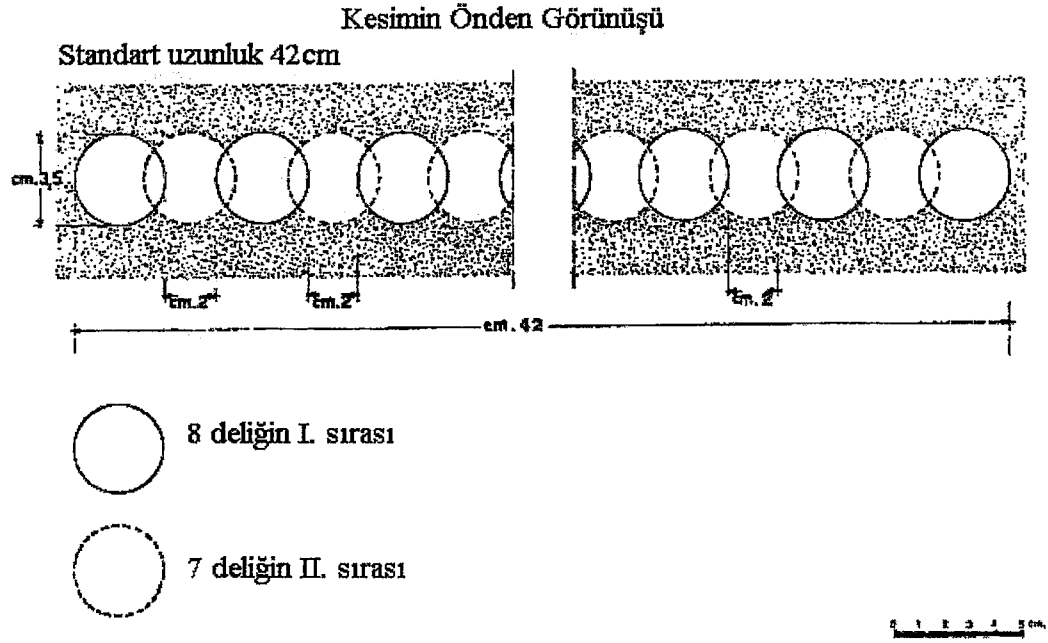
- I. şekilde nemin önlenmesinde duvar kalınlığı boyunca kılcal olmayan malzemedan yatay şerit duvar içine yerleştirilmiştir.
- II. şekilde ise bariyer duvar boyunca yaylarla yapılmıştır.



Şekil 6.2: Duvarda nemin hariç tutulabilmesi için kılcal olmayan bir malzeme tüm duvar kesiti boyunca yatay olarak yerleştirilmiştir. Bu bariyer aynı zamanda kemer şeklinde de yapılabilir. [1]

6.3. Reçine İle Kılcal Durdurma

Bu yöntemle elektrikli matkap ile aynı boyutta delikler açılır. İlk sırada 8 adet delik açıldıktan sonra kalan malzemeleri temizlemek için 2 delikten oluşan ikinci sıra açılır. 15 delikle bir standart oluşturulmak istenirse 42 cm genişliğinde ve duvar kalınlığı kadar kalın olan bir yarık meydana gelir. Bu sistem duvar genişliği boyunca tekrar edilir. (Şekil 6.3).



Şekil 6.3: İlk sırada birbirine komşu delikler açılır; ikinci sıradaki delikler ise birinci sıradaki deliklerin üstüne biner böylece kalan malzemeler temizlenir.

Polyester reçinesi ya da reçine karışımı sıvı halde duvarın içine enjekte edilir. Reçine deliğin tepesine ulaşana kadar doldurulur. Karışımı sonradan 3-4 saat içinde polimerize olarak katılaşır. Bu katılaşma ile beraber az bir büzülme olur. Bu büzülmeyi karşılayabilmek için katılaşmanın ardından tekrar bir miktar reçine enjekte edilir. Reçine üstteki duvarın ağırlığı ne olursa olsun bu ağırlığı karşılayabilecek bir malzemedir. Polyester reçinelerin bulunması ile plastik malzemeler nem önlemek adına yaygınlaşmışlardır. Bunların en başında gelen bitümdür. Bu methodla tarihi yapılarda nem hasarı 4 cm'lik polyester reçine katmanı ile önlenabilir. [1]

Polyester reçinesi yerine epoksi reçinesi uygulanabilir ama çok daha pahalıdır.

Polyester reçinesi uygularken dikkat edilecek hususlar:

- Akışkanlık deliğin derinliğine göre çeşitlilik gösterir.
- Tam polimerizasyon 3-4 saat içinde meydana gelir.
- 24 saat sonra dayanım 800kg/cm^2 'den daha az değildir.
- Bu sistemi uygularken hiç çatlak oluşmaması gerekir.

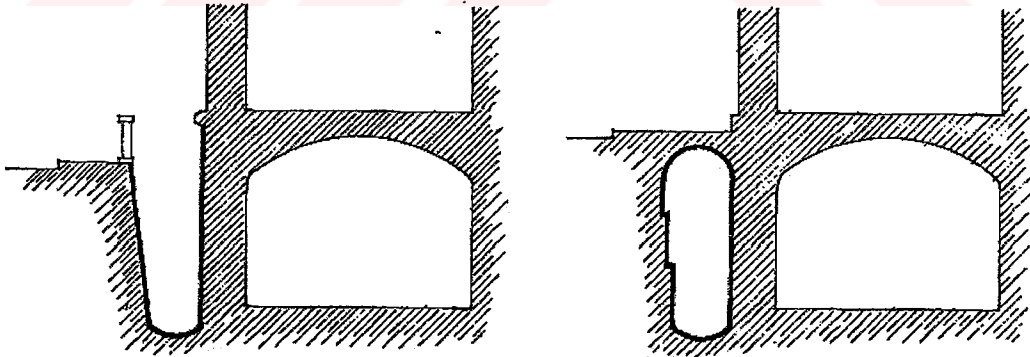
Rutubetli yapıları bu yolla restore etmek basit ve çabuktur. Özellikle iki matkap binanın farklı yerlerinde kullanılırsa işlem çok daha çabuk biter. Yatay delme

işleminin ardından iç yüzeyi büyük endüstriyel kurutucu ile kurutulmalıdır. Polietilen tabakası 0.05 mm kalınlıkta ve deliğin en alt kısmına yerleştirilir. [1]

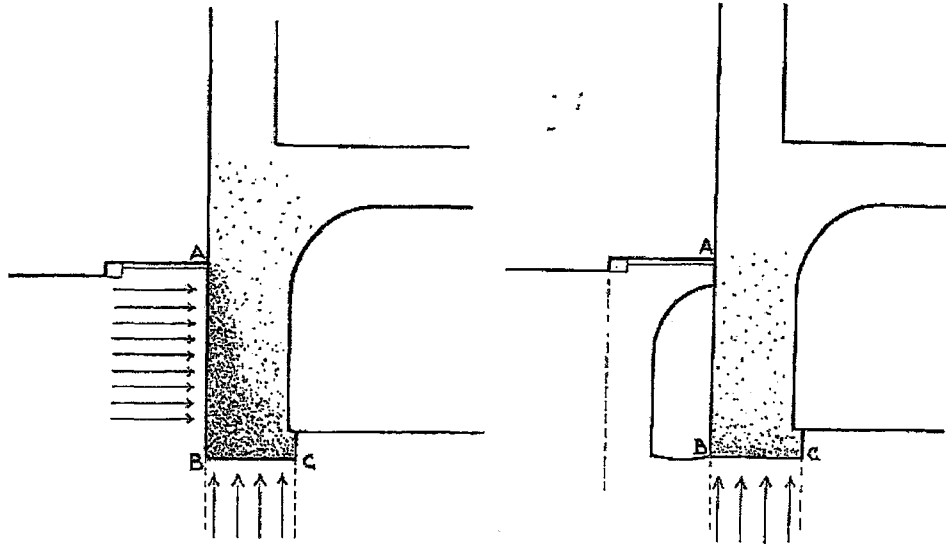
Eğer yapı apartman binası, dükkan ya da özel mülk ise zemin katlar için daha az bütçeli, ticari iyileştirme metodları vardır. Bu metodlar yüzeyseldir ve duvar sıvasından ‘face lift’ yüzey kaldırması olarak yapılır. Teknik olarak bu süreçte kılcallık ile gelen su duvar malzemesinden başka uygun bir malzeme ile yer değiştirerek çıkarılır. Bu malzeme silikon reçinesi, latex lastik (kauçuk) ve etil polisilikat (suyu absorbe ederek silikat bırakır) olabilir. Çözelti deliklerden su ile yer değiştirebilmelidir. Sıvı genellikle duvara döşemeye yakın yerden enjekte edilir. Yatay ya da eğik silindirik delikler açılır. Elektrikli matkapla açılan bu deliklerin çapı küçüktür. (10-12 cm) İki veya daha fazla sıra duvar boyunca hizalanır. Bu delikler 10 cm aralıkla olabilir. Sıvı belirli bir basınç altında olmalı ki su ile yer değiştirilebilsin. Önemli bir nokta da delikler birkaç gün için sıvı ile beslenmeli ki doygun hale gelerek daha fazla sıvı alamaz hale gelsin. Bu çeşit tedavinin zayıf bir noktası tedavi edilen duvarlardaki yayılmanın teknik kontrolünün yetersizliğidir. [1]

6.4. Geleneksel Tedavi Yöntemi; Çevresel Hendek

Taşıyıcı duvarlarda nem kontrolü için hendek yapımı önceki yıllara oranla günümüzde azalmıştır. (Şekil 6.4).



Şekil 6.4: Açık ve kapalı olarak dış çevresel hendeğin iki modeli



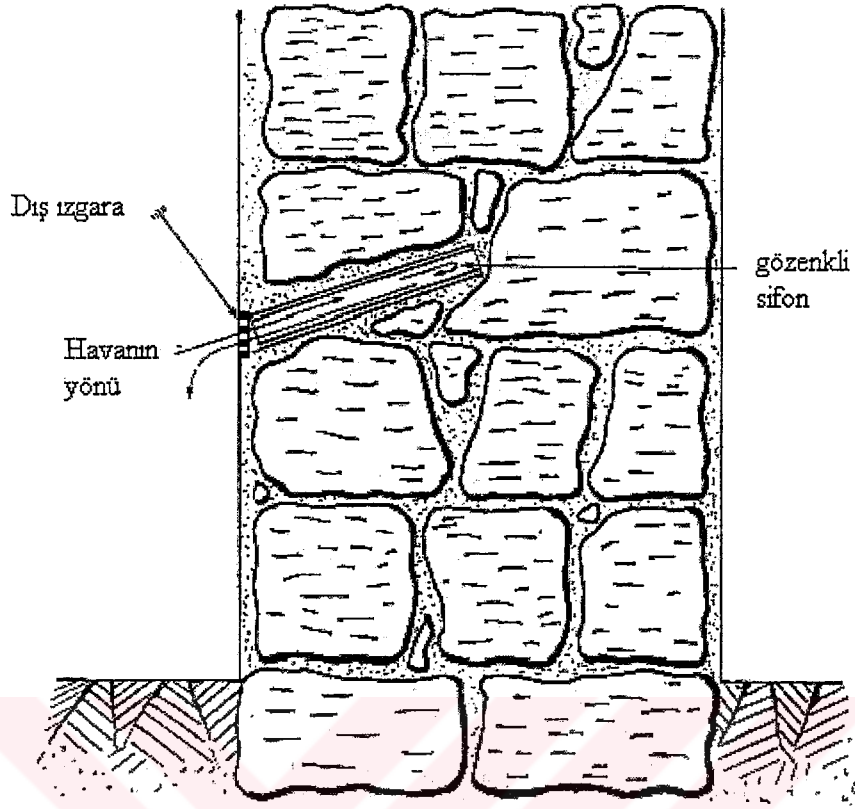
Şekil 6.5: Nem sadece AB yüzeyinden giremez aynı zamanda temelden BC yüzeyinden de girer. Hendek BC yüzeyinden nemin gelişini engelleyemez. Fakat belirli miktarda AB yüzeyinden buharlaşmayı sağlar.

Eğer duvar nemi zemindeki AB yüzeyinden kılcallık etkisi ile alınıyorsa ve su B noktasından daha derinlere gitmiyorsa hendek durdurucu öge olarak davranacaktır; fakat nem sadece AB yüzeyinden alınmayacaktır. BC ayağından da yükselecektir. Hendeğin iki görevi olmalıdır. AB kenarından yükselişi önlemenin dışında duvar tabanı tarafından emileni de önlemek zorundadır. Böylece su zeminden yukarı doğru yükselmek için yeterli kaynak bulamayacaktır; fakat tabii ki bu imkansız bir durumdur.

Hendeğin içindeki yüzeyin buharlaşma oranı duvarın yüzeyindekinden dört ya da beş kat daha azdır. Bu nedenle hendek cadde seviyesine ulaşan nemin yüksekliğinden 4 ya da 5 kat daha derin olmalıdır. Eğer nem yüksekliği zemin üzerinden 1.20 m'ye ulaşmışsa fonksiyonel hendek en az 5-6 derinlikte olmalıdır. [1]

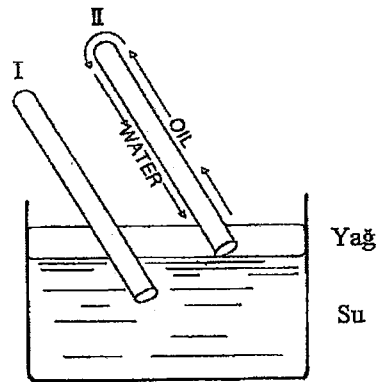
6.5. Pseudoscientific Yöntem; Knapen Sifonları

Belçikalı A. Knapen kuru duvarlar için atmosferik sifonlar önermiştir. Onun önerisi teknik literatürde belirtilen basit teorik temellere dayanmaktadır. (Şekil 6.6).



Şekil 6.6: Knapen'in atmosferik sifonları

Knapen nemin delikli tüplerle duvardan dışarı alınabileceğini belirtmiştir. Bu tüpler 30 cm boyunda ve 3 cm çapında olabilir. Tüpler duvar içine baş kısmı yukarı alt kısmı aşağı gelecek şekilde eğik konulmalıdır. Knapen bu tüplere atmosferik sifonlar demiştir. Knapen'in sifonlarına basit bir deney ilham kaynağı olmuştur. (Şekil 6.7).



Şekil 6.7: I. konumdaki tüpte su tamamen su ile dolarken II. konumdaki tüpte su boşalır yerine tamamen yağ dolar.

I.pozisyonadaki t p su ile dolmuştur. T p II.pozisyona getirildiğinde su dışarı çıkar ve t p yağ ile dolar. Su ile dolu ağız açık t p, üst kısmı yağ ile dolu kaba ters yüz edilir. Hafif olan yağ t p içinde yükselirken daha ağır olan yağ tüpten dışarı çıkacaktır. Hafif olan yağın yükselişine benzer olarak daha kuru ve hafif olan havanın da atmosferik sifonda ağır ve nemli hava yer değıştirerek yükseleceğini belirtmiştir. [1] Massari yağ ile kuru havanın davranışı arasındaki paralelliğın Knapen'in bağıladığı fenomenlerle bir ilgisi olmadığını vurgulamıştır. Ona göre gerçek su ve yağ ağırlıkları arasında sabit bir oran vardır. Test tüpünde ikisinin değışimi sabittir ve diğ r parametrelerden bağımsızdır. Bunun aksine dışarıdaki serbest havanın ağırlığı ve duvar sifonunun içindeki havanın ağırlığı sıcaklığa bağılı olarak çeşitlilik gösterir.Aynı zamanda su buharı yükü de çeşitlilik gösterir. Bu yüzden ağırlık oranı değışebilir ve sonuç olarak iki taraflı hareket her iki yöne de olabilir. Sifondaki havanın hareketi bilinemez bir çeşitlilik gösterir yağ-su hareketi gibi sabitlenemez. Sıcaklığın da etkisi ile sifonun içindeki hava su buharı ile yüklenir. Beklenilenin aksine daha kuru olan hava daha ağır gelir. Bu nedenle sifondan çıkamaz; çünkü ıslaktır. Yeterince soğutulup dışarıdaki havadan daha ağır olursa sadece o zaman dışarı çıkabilir. Kışın duvarlar dışarıdaki havadan daha ılık oldukları için sifon duvara yukarı doğıru eğık olarak koyulur ve nemli hava dışarı çıkar; fakat Massari'ye göre çok geçerli bir yöntem değıldir. Yazın duvar güneş ışığına maruz kaldığında sifonun içindeki hava da ısınacaktır ve daha hafif ve daha nemli olduğı için içeride kalacaktır. Dışarıdaki havadan daha rutubetli olacaktır. Daha kötüsü; eğer duvar çok soğuksa örneğın kuzeye bakıyorsa ya da gölgede kalıyorsa ve bu arada dışarıdaki hava ılıksa ve nemli ise sifonun içinde yoğuşma kaçınılmaz olacaktır.

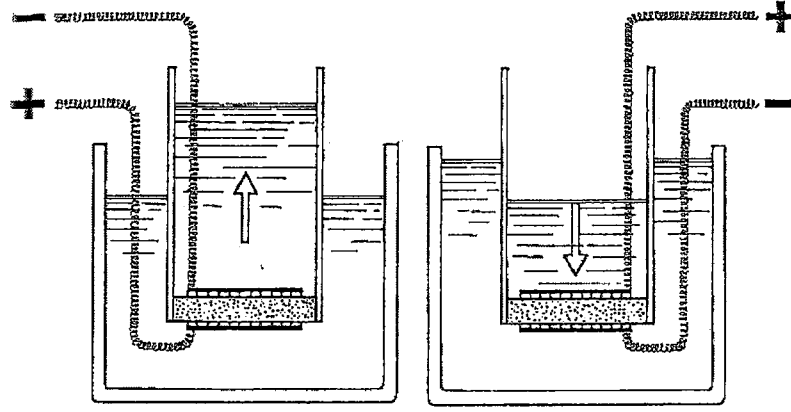
 zet olarak sifon bazı durumlarda yoğuşmaya neden olur ve bu yüzden üretimine el koyulmuştur. Sadece iki durumda fonksiyonel olabilir. Eğer duvar sıcaklığı dışarıdaki hava sıcaklığına eşit ya da daha az ise ya da dışarıdaki hava çok az bağıl neme (RH) sahipse kullanılabilir. [1]

6.6. Elektro-osmos İle Kuru Duvarlar

İletken sıvının içinden geçen sürekli bir elektrik akımı elektroosmos sayesinde sıvıyı geçirgen ya da yarı geçirgen bir membrandan belirli bir hızda kesitin kalınlığından bağımsız olarak geçer hale getirir. Bu fiziksel prensip endüstride çeşitli malzemelerin dehidrasyonu için uygulanmaktadır. Bunlardan biri meyve suyu yapım endüstrisidir.

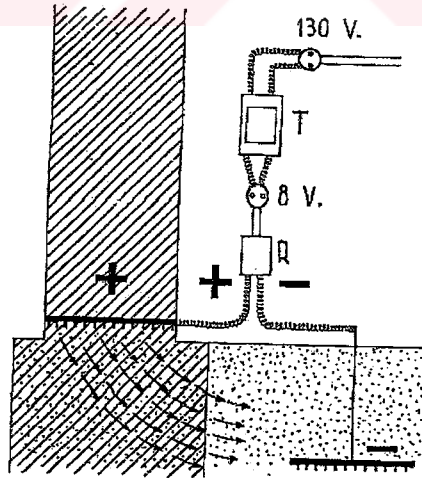
Kilin ya da bataklık kömürünün kurutulması da bu teknikle yapılmaktadır. Aynı prensip binalardaki rutubetli duvarların kurutulması için de kullanılmaktadır.

(Şekil 6.8) [1].



Şekil 6.8: Gözenekli malzeme üzerinden pozitiften negatife elektro-osmos ile su taşınımı

Her ne kadar nemli binaların elektroosmos ile restorasyonu patentli yöntemlerle ticari hale gelse de elektroosmos olayı basit bir fizik ilkesinden başka bir şey değildir.(Şekil 6.9).



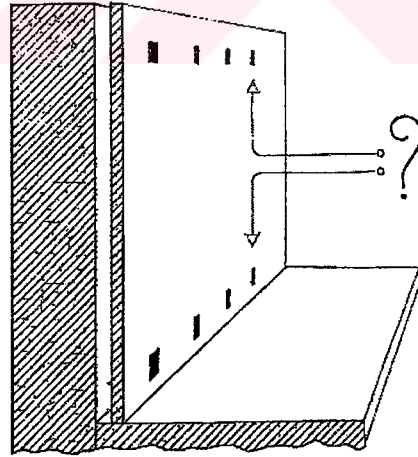
Şekil 6.9: Elektro-osmos'un rutubetli duvarlara uygulamasının basit bir diyagramı. Su pozitif olan duvar kısmından negatif olan toprak kısmına çekilir.

Bu sistem küçük kapı zili transformatöründen çekilen hafif akımla (6-8 volt) direk uygulanır. Bazı kişisel araştırmalar elektroosmosun önemli bir sonuç sağlamadığını tecrübe tekrarından başka bir şey olmadığını iddia etmişlerdir. [1]

6.7. Hava Tabakalı Dış Duvarlar

Knapen sifonları ve elektroosmosun aksine bu önlem suyun duvardan atılmasını önermez. Pahalı değildir ve nemli yapılarda yaşamak zorunda olanları nemden korur. İnce bir duvar içerir ve rutubetli duvara dokunmadan 5-10 cm mesafede yapılır. Duvara dokunmama özelliği hava tabakalı duvar için hayati önem taşır. Eğer birkaç tuğla ile rutubetli duvara bağlantı sağlanırsa her bağlantı tuğlası rutubetli duvardan hava tabakalı duvara geçen kılcal nem için köprü görevi görür. [1]

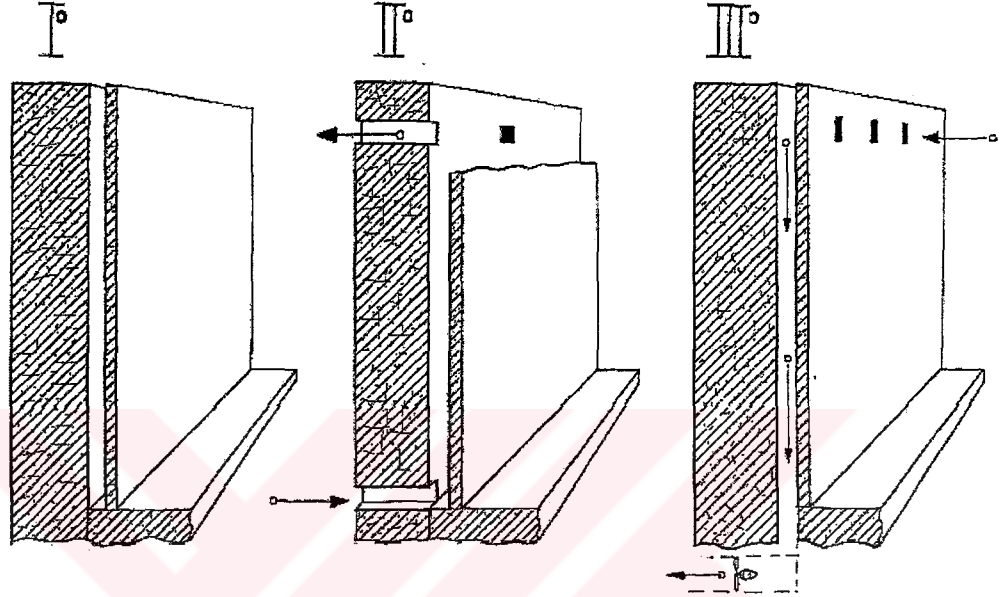
Tüm bunlara ek olarak hava tabakalı duvarlar nem geçirmez bir katmanın üzerine oturmalıdır. Ayrıca arada kalan hava tabakası yapım esnasında ortaya çıkan atıklardan temizlenmelidir. Hava tabakalı duvarlardaki ortak yapım hatası ana duvar ile ince duvar arasındaki boşluğun ince duvarın alt kısmında açılan bir sıra delik ve üst kısmında açılan ikinci sıra delikle havalandırılmasıdır. Bu delikler ana duvar ile ilişkilendirilir. (Şekil 6.10)



Şekil 6.10: Hava tabakalı duvarlara delik açılmasının hiçbir faydası yoktur. Çünkü nemli hava mekanın içine dolar.

Nemin yükselmesine karşı korumayı sağlamak için üç tür hava tabakalı duvar çeşidi vardır:

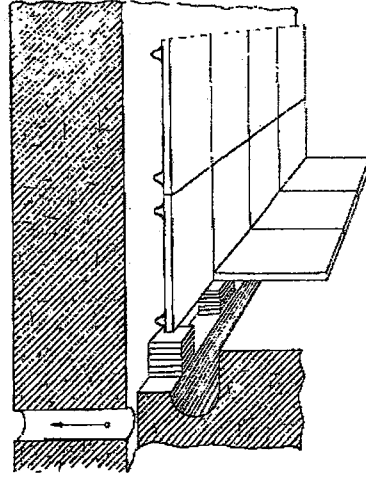
- İlk tür tamamen kapalı hava boşluğu içerir.
 - İkinci türde dış mekana doğru açık hava boşluğu açılır.
 - Son türde ise ince duvarın en üstündeki delik sayesinde oda ile ilişkili olan hava boşluğu dış mekana alttaki delikle ilişkilendirilir. Nemli zorlanarak dışarı atılır.
- (Şekil 6.11) [1]



Şekil 6.11: Uygun hava tabakalı duvarın üç çeşidi

İlki, tamamen kapalı hava boşluğu olduğunda kullanılır. Böyle durumlarda hava boşluğunu dış duvar boyunca havalandırmak imkansızdır. Örneğin hücreler. Bu iyi bir çözümdür; çünkü buharlaşmayı önler ve nemin döşemenin üstüne yükselmesine provoke eder. Önlem olarak hava boşluğunun tabanını ince duvar yapılırken 10-15 cm yüksekliğe kadar iyi kurutulmuş odun kömürü ile doldurmak gerekir. Böylece kömür iki duvar arasında olabilecek yoğuşmayı önler.

İkinci çeşitte nemli duvar boyunca, döşeme altında dere yapılır. Dere daha sonra dış duvardan açılan delikle döşeme seviyesinde dışarı ile ilişkilendirilir. (Şekil 6.12).



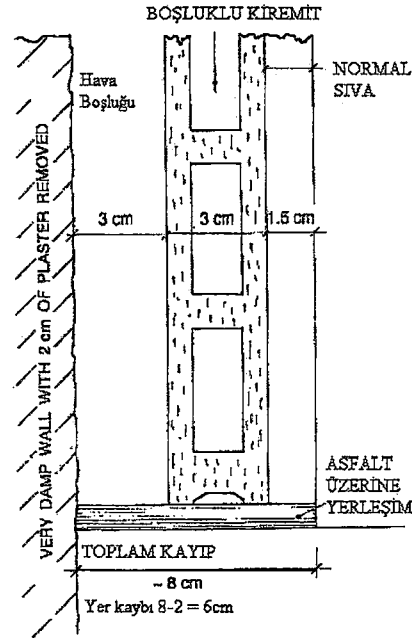
Şekil 6.12: II no'lu hava tabakalı duvar modeli eski Roma mimarisinde kullanılmış.

Deliklerin diğer serisi duvarın üst kısmında tavanın azıcık altında açılır. Bu çift sıra ile doğal havalandırma ve iki duvar arasındaki nemli havanın yer değiştirmesi sağlanır. [1] Hafif ve ince bir duvar yapmak için bu günlerde boşluklu tuğlalar kullanılmaktadır.

Böylece nem emme özelliği çok olan sıva ince tuğlaların önüne yapılır. (Şekil 6.13). Önemli bir nokta da ince duvarın boşluk tarafına bakan kısmı duvar yerine yapılmadan önce geçirgen olmayan bir boya ile boyanmalıdır. Ayrıca su yalıtımı da yerleştirilmelidir. Özellikle bina ve müstemilatı soğuk ve mevsim kışsa yalıtım kullanılması kaçınılmazdır. [1]

İyi bir hava tabakalı duvar özellikleri özetlenirse:

- Rutubetli ana duvar ve ince duvar arasında herhangi bir temas olmamalıdır. Bu temas ancak bağlantı elemanı geçirgen olmayan bir malzeme olursa gerçekleşebilir. (bitüm)
- Ara boşluktaki nemli hava ve odadaki hava arasında hiçbir ilişki olmamalıdır.
- Asfalt veya diğer su geçirmez membran ön duvarın altında olmalıdır.
- Rutubetli havanın boşluk ve dışarı ile olan sürekli değişimi doğal ya da zorlama havalandırma ile yapılır.
- Eğer yoğuşma varsa boşluk her yönden hava geçirmez yapılmalıdır. [31]



Şekil 6.13: Restorasyonda delikli tuğla ile yapılan hava boşluklu yapılar yer kaybı tasarrufu açısından en tavsiye edilen modeldir.

6.8. Yoğuşmaya Karşı Önlemler

Yoğuşmaya karşı dört genel prensip vardır.

- İlki mekanın ya da binanın içinde oluşan su buharı üretimini azaltmaktır. Bu durum eğer buhar mekanın içinde üretiliyorsa uygulanabilir.
- İkincisi ısıyı ileten ağır malzemeleri kullanmaktan kaçınmak ve ısı yayılmasını ısıl direnci sağlayan yalıtım malzemesi ekleyerek önlemektir.
- Üçüncüsü bozuk havalandırma sistemleri yerine doğal yaz havalandırması yapmak gerekir.
- Dördüncüsü kış ısıtmasının dışında kuru ve soğuk hava ile doğal havalandırma yapılmalıdır. [29]

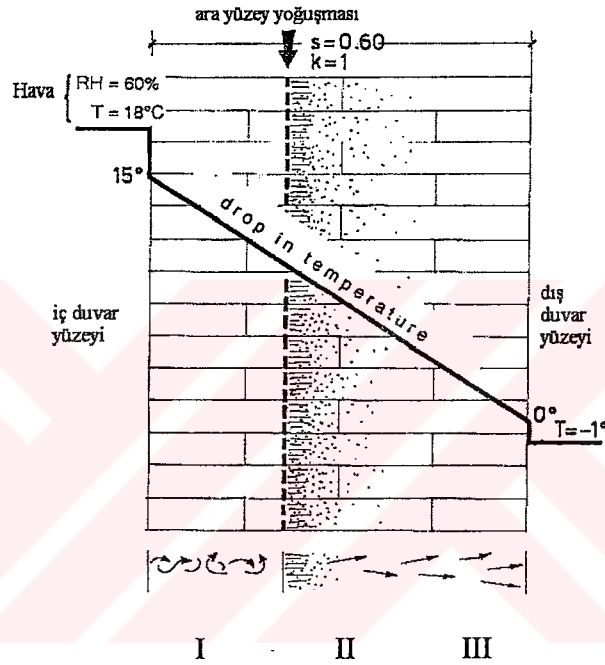
İnsan buharı ve nefesi saatte 50 – 80g su buharı üretir. Gaz tüketiminde saatte 800 gr buhar üretir. Bir aile günde 4m³ gaz kullanır.

Fransız araştırmalarına göre saatte ortalama üretilen buhar miktarı aşağıdaki gibidir:

- 8 g/m³h kalabalık evlerde,
- 5 g/m³h çok kalabalık olmayan evlerde,
- 2 g/m³h az insan olan evlerde.

Fransız sağlık uzmanları evlerdeki kış nemi için tedavi olarak aktif havalandırmayı önerirler. Böylece ısıtmanın verimliliği de azalmamış olur. Bu havalandırma en azından saatte evin tümü için iki hava değişimini içerir. (ısıtma hesapları genelde tek değişim üzerine dayanır.

Kışın nemli olan binayı elverişli hale getirmek için kuvvetli ısıtma ve havalandırma kullanılır. Bu sistem normal ısıtma sistemine göre üç kat daha pahalıdır ve yalıtımı tasarlanmamış dış duvarların ve çatının ısıl performansını artırmak için kullanılır.



Şekil 6.14: Kış yağışmasına bağlı su hareket diyagramı. I. bölge difüzyon ile su buharı geçişı, II. bölge yağışma bölgesi, III. bölge ise ıslaktan kuruya kılcallık artışı.

Yukarıdaki şekli göz önüne alırsak iyi bir kalınlıktaki eski dış duvar (60cm) ve ısıl direnci :

$$1/K = R = 1(0.9)$$

Bu değer sağlık koruması için özellikle soğuk iklimlerde garantili bir değerdir.

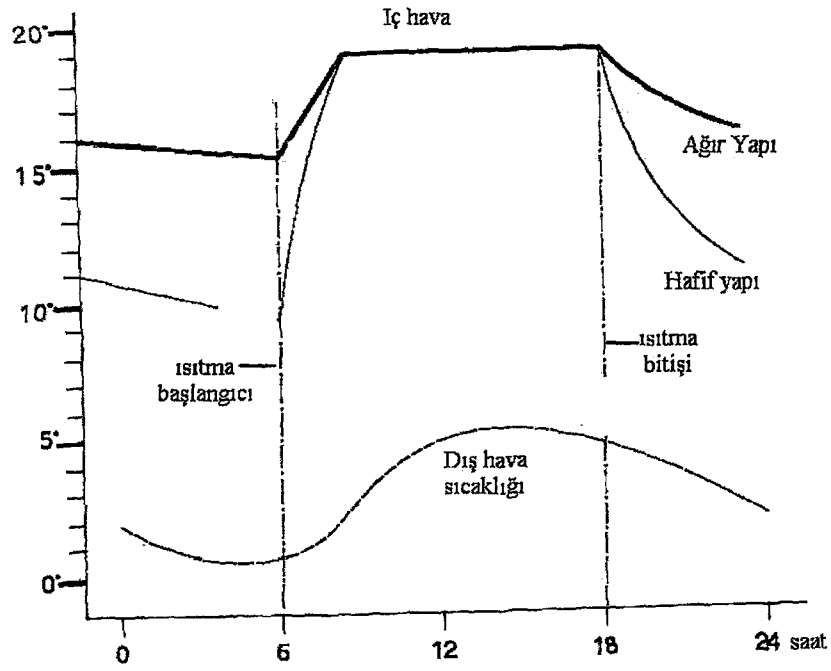
Gerçekten de dış hava sıcaklığı -1°C , iç hava sıcaklığı 18°C ve RH (relative humidity) %60 ise kesinlikle belirli derinlikte yağışma vardır. Su buharı duvarın gözeneklerine dolar ve çiğleşme noktasına ulaşıncaya kadar yeterince soğer. [29]

Kalabalık mekanlarda ya da havalandırılmayan yerlerde RH %83-%85'lere yükselir. Ara yüzeydeki yoğunlaşma iç duvarın yüzeyüne doğru hareket eder. Bol miktarda ve sürekli olan su duvar yüzeyinin bozulmasına neden olur. Bu durumun meydana gelmesinin sebebi yoğunlaşmadır. Çevre nemli hale gelir, duvarın ilk termal direnci hızla düşer. Duvardaki nemle beraber soğuma başlar, soğuma da duvar yüzeyinde daha çok nemin oluşmasına neden olur. Artırılmış ısıtmanın daima yetersiz termal korumayı kamufle edeceğini düşünmek yanlış bir inanıştır. Bu genel tedavi belirli değerlerde etkilidir. Örneğin yapı direnç açısından ikinci derece ise (iki kalın duvar, dolu ve ağır tuğlalardan yapılmışsa $R=0.5$) sadece ısıyı artırmaya çalışmak mantıksızdır. Eğer yoğunlaşma özel kullanıcı gereksinimleri ile oluşan buhar ile meydana gelirse aşağıdaki genel kural her zaman akıllarda olmalıdır:

Aşırı su buharına karşı ısıdaki yeterli artışla birleşen havalandırmadan yararlanılmalıdır. Yoğunlaşma gece meydana geldiğinde en iyi yol ısıtmayı tüm gece korumaktır. Gerçekten birçok sistem gece kapalıdır, böylece kuvvetlendirilmiş ısıtmanın etkisi kısıtlanmıştır. Soğuk mekanlarda, kış yoğunlaşması sıklıkla sıcaklık gittikten sonra gece ile artan bir olaydır. Bu noktada duvarın iç yüzeyi, havanın RH'ı uyuma esnasında arttığında soğumaya başlar. Duvarın soğumasını geciktirmek için bir yol vardır. Duvarın termal eylemsizliği ne kadar az ise, duvar o kadar hızlı soğuyacaktır. Bu termal eylemsizlik m^2 başına düşen duvar ağırlığı (kg/m^2) ile direkt ilgilidir. (Şekil 6.15) [1]

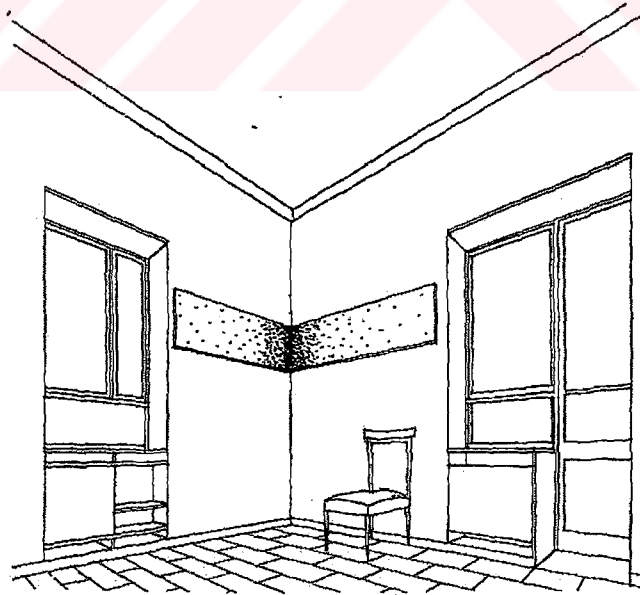
Gecelik soğumayı azaltmak ve yoğunlaşmayı önlemek için iki farklı yol vardır.

- Duvarın termal eylemsizliğini artırmak böylece ısıyı depolayarak havayı ısıtmak.
 - Duvarın termal direncini çok miktarda artırmak (hafif bir yalıtım malzemesi ile) böylelikle iç havanın ısıtma kapalı iken sıcak kalmasını sağlamak.
- Evlerde ilk yoğunlaşma lekeleri termal korumanın en az olduğu yerlerde görülür; pencere denizlikleri, köşe kolonlara bitişik alanlar. Köşeler betonarme iskelet yapılarda en zayıf termal noktalardır.



Şekil 6.15: Hava sıcaklığının yapının termal eylemsizliğine bağlı olarak aralıklı ısıtmadaki davranışı

Alman mimar Hans Knodel Gesundheits'da konu ile ilgili orjinal bir deney yapmıştır. İki duvarın birleşim yerine şerit halinde buğday unu ve süt sürmüştür ve kurumaya bırakmıştır. (Şekil 6.16) [1]



Şekil 6.16: İskelet taşıyıcılı yapılarda yoğunlaşma kolonların yer aldığı köşe birleşim noktalarında daha çok açığa çıkar.

Deney Ocak-Şubat 1954 yılında yapılmıştır. Bu tarihlerde dış hava sıcaklığı -10°C , -20°C arasında seyretmektedir. 4-6 hafta sonra bol miktarda küf köşe noktalarda gelişmiştir. Çünkü yoğunlaşma buradaki bakterileri aktif hale getirmiştir. Duvarın orta kısımlarına ilerledikçe küf miktarı azalmaktadır. Çünkü burada kuruluştan dolayı bakteriler tutunamamıştır.

Isıtılan mekanlarda sıklıkla istenilen derece olan 18°C 'den başlayarak aşağıda sıcaklık azalışları ile tetiklenen yoğunlaşma ile ilgili tablo yer almaktadır.

18°C 'den başlayarak yoğunlaşmayı tetikleyecek ısı düşüşlerini aşağıdaki tabloda belirttik. (Tablo 6.2) [1]

Tablo 6.2: Yoğunlaşmaya neden olan 18°C altındaki sıcaklık azalışları

18°C de havanın RH'si	%95	%90	%85	%80	%75	%70	%65	%60
Yoğunlaşmayı tetikleyen azalma ($^{\circ}\text{C}$)	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
Sıcaklık çiy noktası ($^{\circ}\text{C}$)	17.5	16.5	15.5	14.5	13.5	12.5	11.5	10.5

%95 RH'da çiy noktasına yakın bir herhangi iç sıcaklıkta (20°C ile 5°C arasında) sadece yarım derece düşer. Her bir diğer %5'lik doygunluk açığında sıcaklıktaki 1 diğer derece azalışı yoğunlaşmayı getirecektir.

Aşağıdaki pratik formül içerdeki hava sıcaklığı (T_i), onun bağıl nemi(RH%) ve yoğunlaşmanın meydana gelebileceği sıcaklıkla (T_c) ilgili ilişkiyi göstermektedir.

$$T_c = T_i - [0,5 + ((95 - \text{RH}\%)/5)] \quad (6.1)$$

Örneğin kışın kapalı bir odayı ele alalım, ortam sıcaklığı 15°C ve RH=%70. Dış duvar ile ilişki içinde olan hava tabakası bir noktaya kadar soğuyacak ve çığleşme noktasına ulaşacaktır. Bu çığleşme olayı eğer duvar sıcaklığı aşağıdaki değere eşit ya da küçükse gerçekleşir.

$$T = 15 - (0,5 + \frac{95 - 70}{5})$$

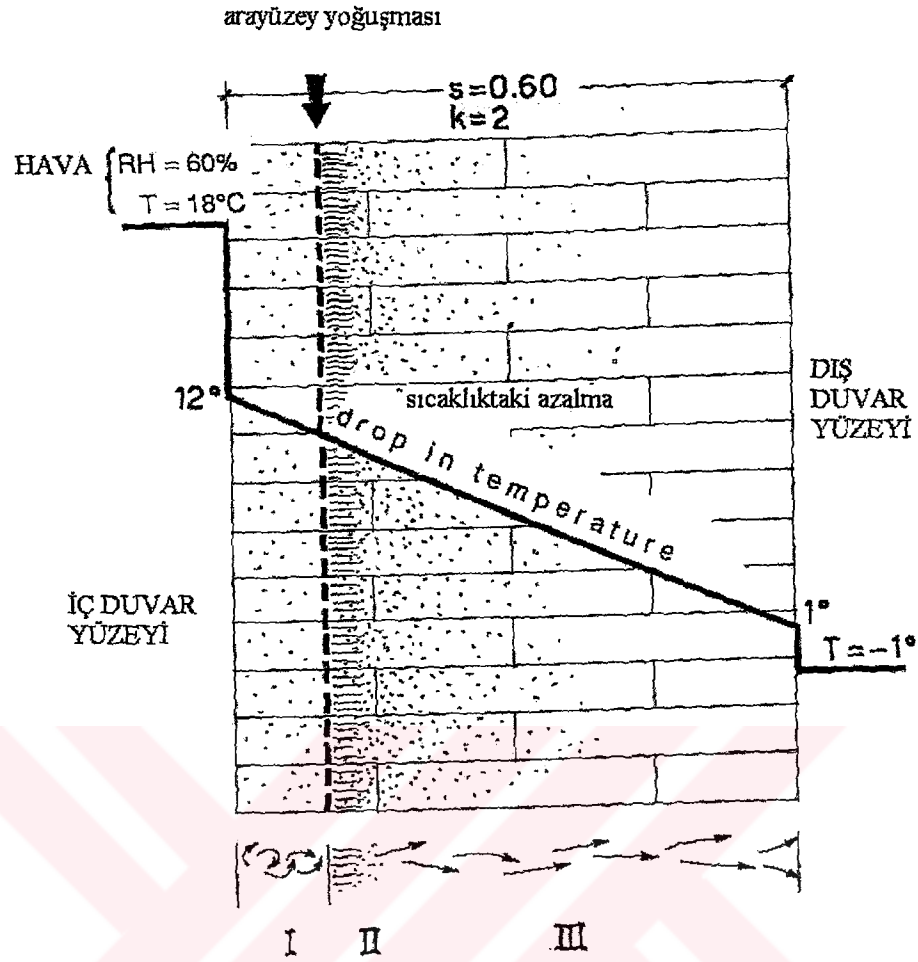
$$= 15 - 5,5$$

$$= 9,5^{\circ}\text{C}$$

Formül (6.1) eğer RH %5'in katları ise ve iç sıcaklık 20°C ve 5°C arasında ise uygulanabilir. Bu formül kaba tahminler için kullanılır. [1]

Aralıklı ısıtma özellikle uyuyan insanların nefes alış verişleriyle üretilen su buharının olduğu yatak odalarında yoğuşmayı teşvik eder. Son derece modern yapılmış, her türlü konforun bulunduğu evler bazı hatalardan dolayı teknik olarak eksiktir. Tüm bu eksiklikler aslında yapının tümüne bakıldığında önemsiz, küçük yapı ekonomileridir. İki kusurdan söz edebiliriz. Birincisi merdiven yuvaları ısı koruma açısından zayıf planlanmaktadır. Termal dirençleri boşluklu tuğla kaplama ya da diğer malzemelerle desteklenmemektedir. Bu yüzden yoğuşma apartman duvarlarında merdiven yuvası boyunca sınır çizgisi gibi görünür. İkinci kusur boş araziye yanyana yapılan yoğun bina projelerinde görülür. Yanında bina yapılacak olan yapının komşu duvarı genelde daha ince inşa edilir bunun sebebi bu duvarın sadece ayırıcı görevi görecek olmasıdır. Bazen bu komşu binanın yapılması yıllar alır ve böylece yan duvarın uç noktaları küfle dolar. Küfün ortaya çıkması duvarda suyun varlığını gösterir. Kısmi buharlaşma da bu suyun atılmasında yetersiz kalmaktadır ki bu çok ciddi bir durumdur. Boşluklu malzemelerle yapılmış duvarlarda (tuğla, tuf, yumuşak kumtaşı ...vs) eğer nem duvarı geçip dış yüzeye ulaşıyorsa sınırlı yoğuşma hasara neden olmaz. Çünkü açık havaya ulaşacağı için buharlaşma olacaktır. Çimento ya da su yalıtım malzemesi gibi geçirimsiz malzemeler uygulanırken yapılan en büyük hatalardan biri bu malzemelerin içinde yoğuşma bulunan duvara uygulanmasıdır. Böylece yoğuşma yığını aşağılara iner ve döşemede toplanır. Eğer dış duvar da astarlanmışsa su duvarın içinde toplanır ve bütünüyle nemli hale gelerek sağlıklı ortamlar oluşur. [32]

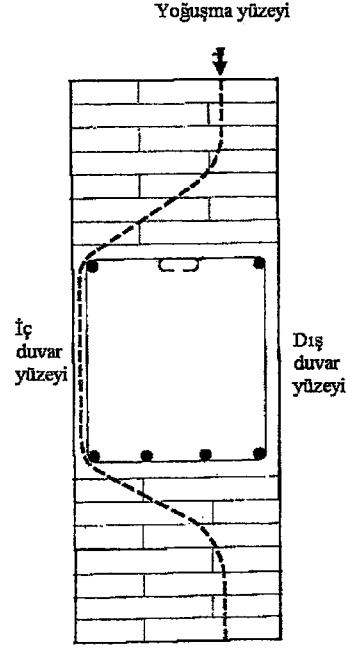
Nem özgürce duvar içinde geçebilirse, hareketi iki faktör tarafından etkilenir; kılcallık ve buharlaşma. Kılcal malzemeler kondensasyonu emer ve en kuru bölümlere, dış yüzeye yoğuşmayı yayarlar. Oradan buharlaşma suyu yok eder, doygunluğu engeller ve kılcallık gücünü aktifleştirir.(Şekil 6.17) [1]



Şekil 6.17: Aynı duvar şekil 6.14’de gösterilmiştir. Yapı yükselen nem istilasına maruz kalırsa ısı kaybı (k katsayısı) artacaktır. Ara yüzey yoğuşması iç duvar yüzeyine doğru hareket edecek belki de ona ulaşacaktır.

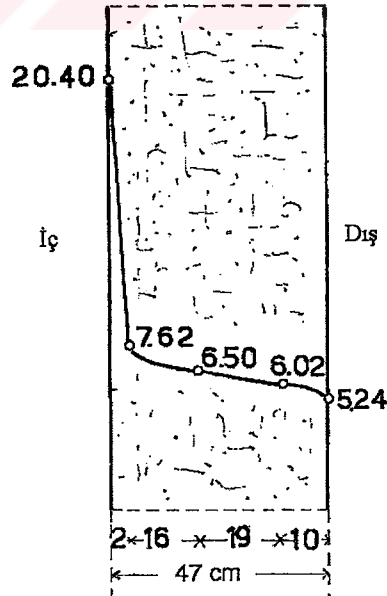
Eğer duvar ağır, kılcal olmayan taş, yoğun kireçtaşı, granit, bazalt ya da çimento bloklarla inşa edilirse, malzeme nemin geçişini engeller ve duvarın iç kısmında birikmesine neden olur. Bu durum sağlık açısından kötü sonuçlara neden olur. Betonarme de aynı şanssız duruma neden olur. (Şekil 6.18) [1].

İtalya’da yaygın olan restorasyon tekniği yoğuşmaya karşı tedavi anlamında yığma yapı üzeri oluklu tuğla kullanmak ve karşı duvar arası daima hava geçirmez boşluk bırakmaktır.



Şekil 6.18: Duvar yapısı bir bütün değilse ara yüzey yoğuşma yüzeyi örneğin betonarme taşıyıcı elemanlarda kıvrımlar yaparak iç duvar yüzeyine yaklaşır. Nem duvar yüzeyinde betonarme elemanların izlerini çizerek lekelenmelere neden olur

Duvarın nefes alması dendiğinde bundan duvardan hava geçişi anlaşılır. Şekil 6.19'da 47 cm kalınlıktaki kumtaşından yapılan dayanıklı duvarın çeşitli derinliklerindeki analizi yapılmıştır. [1]



Şekil 6.19: Yoğuşan nemin sağlam kumtaşı duvardan geçişi

Su emmenin iç yüzeyde birden ağırlıkça %20.4 gibi büyük bir değere ulaşması şaşırtıcıdır. Daha sonra nem miktarı duvar içine gidildikçe azalarak dış havaya açılan yüzeyde minimuma %5.24'e ulaşmıştır. Yapılan deneyden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Yoğuşmanın duvarın içinden dışına taşınırken iki şart önemlidir; birincisi dış hava sıcaklığı -1°C 'nin altına düşmemelidir, ikincisi kaba sıva içeren duvarın iyi bir kılcalığı olmalıdır.
- Genellikle tuğla duvarlar yoğuşmayı en iyi ortadan kaldırırlar.
- Ortalama kalınlıktaki ve iyi kılcalıktaki (tuğla, tuf, kumtaşı...vs) malzemelerle yapılan duvarlar günde m^3 'ten 300g su geçişine izin verirler. Bu durum içerisi ve dışarısı arası sıcaklık farkı 16°C ve dolayları olması halinde gerçekleşir.

4mx5m boyutlarında dış duvar yüzeyi 10m^2 olan normal bir odada pencereler hariç 1 günde ortalama 3kg su geçişi olacaktır. Kaba sıva su geçişi için çok elverişli olmalı, iç yüzeyde yüksek emiciliğe sahip sıva ve dış yüzeyde normal emiciliğe sahip örneğin kireç harcı kullanılmalıdır. [1]

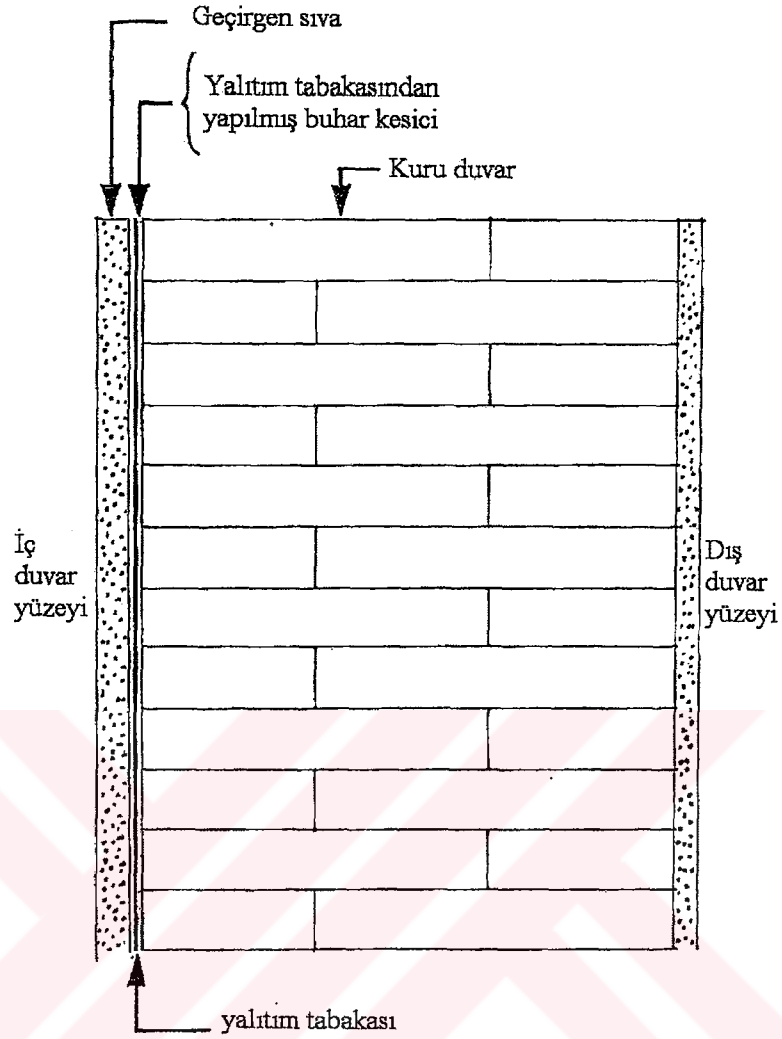
Soğuk iklimlerde iç mekanlardaki havadaki kış yoğuşması ile mücadele, problem oluştururken ılık iklim bölgelerinde gece ani sıcaklık düşüşlerinden kaynaklanan gece yoğuşması da sıkıntı vermektedir. İç yoğuşma nispeten daha iyi bir durumdur. Hafif sıva kullanılarak yoğuşma emilir. Böylece duvarın nemli olması ve yalıtım özelliğini kaybetmesi önlenir. (Şekil 6.20).

Özetlemek gerekirse kış yoğuşmasına karşı mücadele ederken iki yol izlenir:

- iç duvarın ısı direnci artırılmalı
- iç sıvanın gerisindeki nemin nüfus etmesi engellenmelidir.

Ahşap ipliklerden ya da diğer organik malzemelerden yapılan paneller iç duvarlara uygulanan en yaygın malzemelerdir. Günümüzde geliştirilmiş reçine levhalar (polistren, poliüretan,...vs), camyünü ya da taşıyünü gibi malzemelere önem verilmektedir. [1]

Isıl direnç hesaplanırken, iç iletkenliğin katsayısından işe başlanır. Bu katsayının içerilen nem yüzdesi ile ilişkisi önemlidir. Yalıtım yerleştirilmeye başlanırken duvar ile kaplama arası hava tabakası oluşturulduğundan emin olunmalıdır. Bu bölge hava geçirmez olmalı, iç ve dışla herhangi bir bağlantısı olmamalıdır. [2]



Şekil 6.20: Geçirgen iç sıvalar kış yoğuşması için adeta davetiye çıkarırlar. Bu yüzden buhar kesiciler ile desteklenmelidirler. Bitümlü kağıt ya da alüminyum yapraklar hiç kesintisiz olarak uygulanmalıdır.

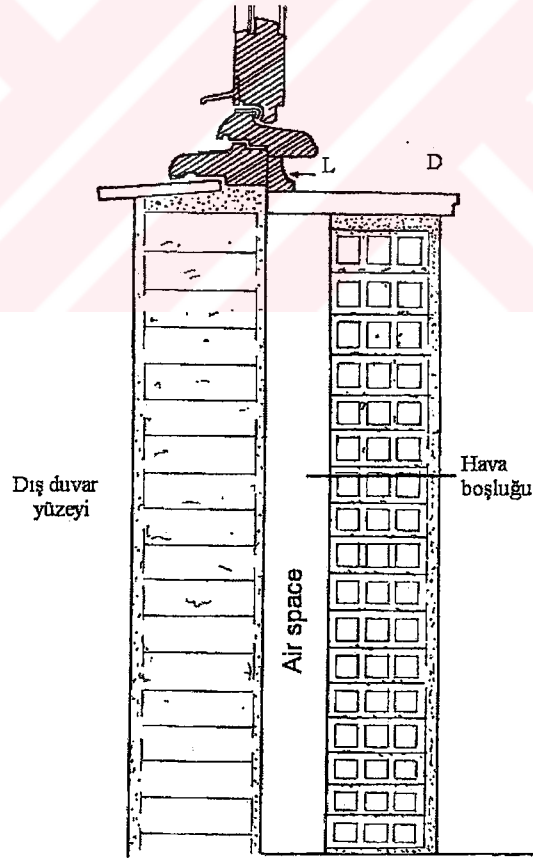
Kesit içinde su buharı yoğuşması halinde bunun önlenmesi ve ya yoğuşan su buharı miktarının azaltılması mümkündür. Yapı kabuğunda yoğuşmayı önlemek amacıyla; dış tabaka yağmur etkisini uzaklaştırmak için geçirgen olmamalı, yapı kabuğunun ısı direnci dışarıya doğru arttırılmalı ve ısı yalıtım tabakası duvarın soğuk olan yüzeyine yakın veya ortasına yerleştirilmeli, buhar difüzyon direnç faktörü yüksek olan buhar kesici sıcak yüzey tarafında yer almalıdır. Bu sayede nemin ısı yalıtım malzemesine geçmesi de önlenmiş olur.

Buhar kesici yoksa, su buharının yoğuşmaya uğramadan yapı dışına sürüklenmesi sağlanmalı, difüzyon engellenmemelidir. Isı tutuculuğu yeterli çok tabakalı bir duvarda, malzemelerin su buharı difüzyon direnç faktörü değerlerinin buhar akım

yönünde gittikçe küçülmesi halinde yoğuşma tehlikesi azalmaktadır. Duvar dış yüzeyi zorunlu nedenlerle difüzyon direnci çok yüksek bir malzeme ile kaplanacaksa, duvar iç yüzeyinde, difüzyon dış yüzeydekinden kesinlikle daha yüksek bir malzeme katmanı uygulanmalıdır. Buna olanak yoksa duvar bünyesi içinde kullanılacak diğer katmanların nem deposu olmayacak ya da nem deposu olmaktan etkilenmeyecek türden seçilmesi zorunludur. [33]

Pencere denizlikleri yoğuşma konusunun en sık geçtiği yerlerdir. Ilıman iklimlerde bile tekrarlanan lekelenmeler, bozulmalar görülmektedir. En iyi çare boşluklu tuğlanın karşı duvarını düz döşemek. Yeni denizlikle tepede eski duvar ile boşluklu duvarı birleştirmek ve lento ile havayı içeriye hapsetmektir.(Şekil 6.21).

Yoğuşma lekeleri sadece pencere çerçevesinin etrafında görünürse bu bloğun çevresi hava kesici fuga ile kaplanmalı böylece soğuk hava içeri alınmamalıdır. En iyi çare de çift camlı ısıcam kullanmaktır. Kast edilen eski çerçevelere çift cam takmak değil son teknolojiye üretilen ısıcamlardır. [1,11]



Şekil 6.21: Pencere denizlikleri tuğla hava tabakalı duvarlarda yoğuşmaya karşı iyi korunmalıdır.

W. Schüle isimli Alman mimar tek katlı eski bir yapıda maksimum ısı tasarrufunu ısı camlı pencere kullanıp yalıtım uygulamadan incelemiştir. (Tablo 6.3) [1]

Tablo 6.3: Duvar yalıtımına karşı çift cam kullanılarak elde edilen ısı tasarrufu değerleri

DUVAR TİPİ		ISI YAYILIMI				1. tipe kıyasla tasarruf
		Duvar 97m ²	Pencere 22m ²	Dış kapılar 6.6m ²	Çatı ve döşemeler 174m ²	
1.	Yalıtımsız duvarlı (k=1.34); düz, tek camlı; saatteki kalori gereksinimi 18.700	%29.9	%34.8	%9.1	%26.2	0
2.	Yalıtımlı duvarlı (k=1); düz, tek camlı; saatteki kalori gereksinimi 17.300	%24.3	%37.6	%9.8	%28.3	%7.5
3.	Yalıtımsız duvarlı (k=1.34); çift camlı; saatteki kalori gereksinimi 14.950	%37.5	%21.7	%8.0	%32.8	%20

6.9. Yeraltı – Zemin Drenajı

Rutubet nedenini yok etmek için bir takım çareler aranır. Örneğin kullanılan malzemede değişiklikler yapılabilir. Tüm bu tedavilerin amacı nedeni kaldırmak , etkileri tedavi etmek ve tekrar oluşumu engellemek olmalıdır. Nedenleri yok etmek imkansızsa yapılacak şey etkileri maskelemektir. [11]

Genellikle rutubet uzayan süreçte devam ettiğinde , özellikle geçirgen malzemelerde yayılma ya da kabarma ve yumuşama aynı zamanda rijitlikte azalma görülür.

Yumuşama ve sertlik kaybı yapısal sağlamlıkta azalma anlamına gelir. Tedavi sonrasında kuruma olayı sonucu çekme ve sertleşme olur fakat her zaman sağlamlığı , rijitliği ya da şekilsel bütünlüğü sağlayamaz.

Ahşap eğer direk olarak kurutulursa yapısal sağlamlığını kaybeder. Harçlar (özellikle kireç harcı) bazı taşlar ve sıvaların yüzeyi kimyasal olarak değişir. Tuğlalar sıklıkla kimyasal tuzların yüzeye taşınması ve buharlaşma ile nem kaybından dolayı çiçeklenmeye maruz kalırlar. Çok fazla miktardaki kuruma ile malzeme dayanıklılığı ve diğer özellikleri bozulabilir. Bu nedenle tedavi yöntemleri nem tutma şartını sağlamalıdır. Kimyasal değişim meydana geldiğinde , herhangi bir kaynaktan nemin geri emilmesi eylemi önlenmelidir.

Public Health Inspector belki de yapılardaki nem hakkında bina endüstrisi ile ilgili insanlara nazaran çok daha fazla deneyim sahibidir. Toplumsal sağlık yasasına göre nem tam bir baş belasıdır. Çünkü insan için ev yaşama ortamını son derece sağlıklı bir hale getirmektedir. [1]

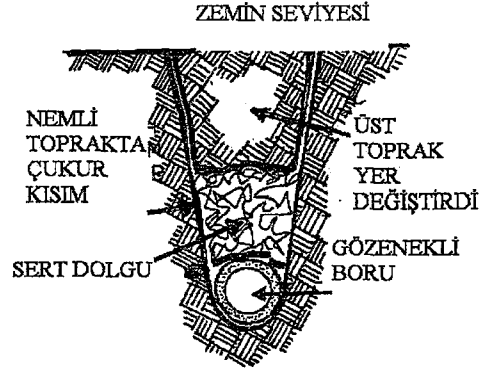
Yeraltı suları temeldeki nemin nedenlerinden birini oluşturur. Yapının altı boydan boya yeraltı drenajı ile kaplanır. Su bu su geçirmez drenajlarla toplanır ve zemin eğimi ile beraber drenaj çukurunda toplanır. Bu yöntem zemini kuru tutmaktadır. Fakat bir zaman sonra yan komşudan nemle ilgili bir takım şikayetler gelmektedir. Yeraltındaki su açık kanallarla bodrum kata geçmektedir ve döşemeyi nemli yapar. Bu nemin sürekli buharlaşması döşemeyi , havayı ve eşyaları soğutur. Su geçirmez drenajın açık menfezi onarılarak problem çözümlenmiş olur.

Diğer bir şikayet de mutfak duvarlarında görülen yoğuşmadır. Bazı durumlarda sadece yoğuşma değil sıva ufalanmaları da görülür. Yüzeyde yoğuşan nem emilir ve sıva gözeneklerinde donar , hacim genişlemesi nedeniyle sıva da pul pul dökülmeler görülür. [1]

Emilen nemin ilerlemesi doygun olan sıva , tuğla duvar ahşap ve mantar yalıtımındaki nemin tekrar buharlaşması için malzemelerdeki yeterli sıcaklığın eksikliğinden meydana gelir. Bir kere doygun hale gelen mantar katmanının yalıtım kalitesi düşer ve donma hızla gerçekleşir.

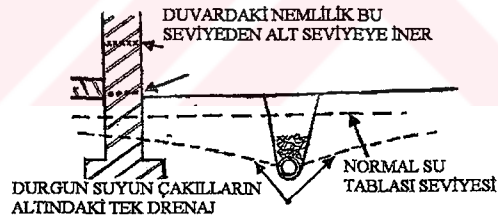
Mutfak duvarlarındaki nemi maskelemek sadece geçici bir çözüm sağlar. Geçirimsiz bir sıvanın uygulanması , sert ve yoğun oluşu nedeni ile ısı kaybı sürece ve yoğuşma olacaktır. En faydalı etkisi duvar uzun yıllar kuru kalacaktır. Kuru kalmak yüzeyde buharlaşma olması ve hava açığa çıkması demektir. [1]

Eski yapılarda nemin çok miktarda yükselişi temelin suya doygun toprağa oturmasının bir sonucudur. Alınacak önlemlerin dayanıklı ve uzun ömürlü olması istenirse yeraltı ile beraber iyi bir plan yapılmalı ve toprak drenajı kullanılmalıdır. (Şekil 6.22) [11].

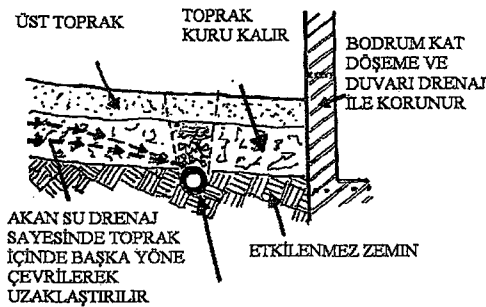


Şekil 6.22: Toprak altı drenajı

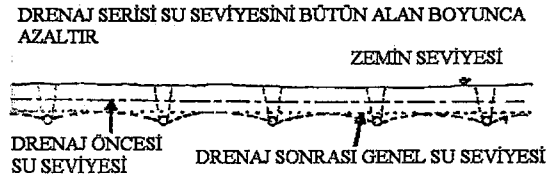
Drenaj sistemi tasarlanırken su seviyesinden daha alt seviyede olmasına dikkat edilmelidir. Böylece yerçekimi etkisi artar ve su hareket eder. Bu çekme olayı , buharlaşma olmadan iç molekül güçlerinin üstesinden gelerek suyu istenmeyen seviyeden istenen seviyeye getirir. Bu drenaj sistemi rutubetle alakalı en ekonomik metodlardan biridir. Duvar üzerinde ne kesip çıkarma ne de diğer bir işlem içermez. Eğer yapının akış yönü biliniyorsa yeraltı drenajları yukarı doğru kazılmalıdır. Bu drenaj çukuru duvardan 1.5m – 4.5m uzaklıkta olmalıdır. Şekil 6.23, 6.24, 6.25 toprak altına yerleştirilen drenajların ürettiği etkileri göstermektedir. [11]



Şekil 6.23: Toprak altı drenajının etkisi I



Şekil 6.24: Toprak altı drenajının etkisi II



Şekil 6.25: Toprak altı drenajının etkisi III

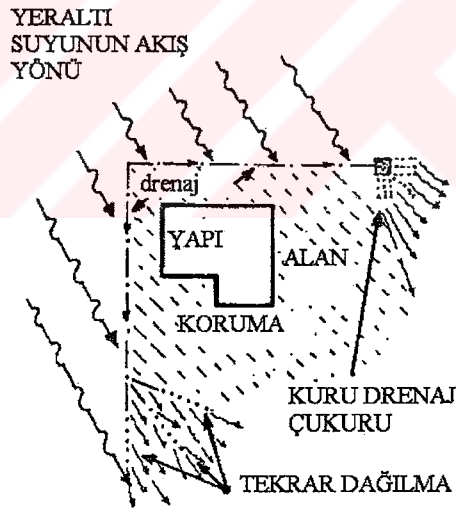
Toprağın çeşidi , sıklığı , gevşekliğı , su basıncı ya da statik seviyesinin nerede su tablası ile alakalı olmaya başladığı gibi faktörler çeşitli etkileri oluşturmaktadır.

Deneme delikleri araştırmanın parçası olarak önem kazanmaktadır. [11]

Akan suyu durdurmak için tasarlanan toprak altı drenajı binaya yeterli mesafede olmalıdır ki su tablasındaki su seviyesi yapının altında istenen seviyede korunur.

Eğer akış başka yöne çevrilmek istenirse tekrar dağıtım kuru drenaj çukuru ya da onunla aynı kapasitede olan yer altı drenajından toplama sistemine olmalıdır.

Şekil 6.26, planda düzenlemenin önemini göstermektedir.



Şekil 6.26: Drenaj sistemini planda düzenlemenin önemi

Yeraltı ya da zemin drenajı ana kanalizasyona bağlanmalıdır. Drenaj boruları uç uca eklenerek serilir ve yıllar geçtikçe siltlenirler (çamurla kaplanmak). Eğer siltlenme 20 – 30 yıl içinde oluşmazsa drenajı kaldırmak , temizlemek ve tekrar sermek , sistem çok pahalı değilse daha kolay olacaktır. [11]

Toprak altı drenajı suya doymuş toprakların oluşturduğu nem için bir çaredir. Yeni yapılarda su yalıtım membranı , zemin kat döşemesinin altı ve dış duvarların dış kısmına yerleştirilmelidir. Bu yapısal ve bitiş malzemelerinin kuru kalmasına ve yalıtım özelliklerinin korunmasına neden olur. Eğer ki yeterli havalandırma varsa yoğuşma meydana gelmez.

Bodrum katın döşeme ve taşıyıcı duvarları sadece binanın yükünü taşımak için tasarlanmaz. Aynı zamanda suyun aşağı , yukarı basıncına , hareketine de direnç gösterir. Daha ıslak topraklarda suyun itilmesi daha fazla olur.

Su geçirmez gemi su yüzeyinde gider ve gövde kısmı yüzerken su basıncına karşı yeterince sağlam olmalıdır. Gemi mimarisinde böyle bir kural vardır. En hafif ve isteklere karşı en dayanıklı yapı üretilmelidir. Bu eğrisel şekilleri açıklamaktadır.[11]

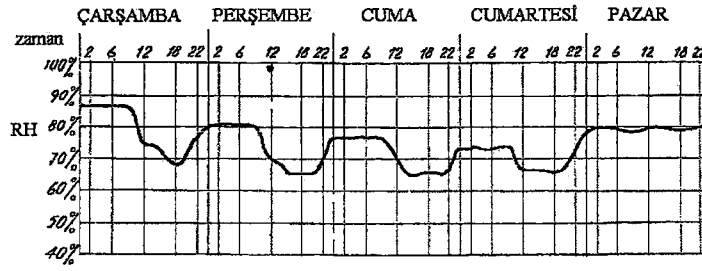
6.10. Bohçalama

Bohçalama membranı yeni yapılara uygulandığında zemin kat döşemesi ve duvarları membranı destekler. Eski zeminlerle nemle alakalı olarak dışarıdan ilgilenmek nadir görülen bir durumdur. Her ne kadar asfalt , bitümlü membran , arduvazlı çimento ve su geçirmez sıvalar dışarıdan uygulansa da bitişteki yapıların zeminleri de yapılmadan bir sonuç elde edilemez. Temeli çepeçevre sarmadıkça duvarların dışını iyileştirmek ya da döşemeyi iyileştirmek geçerli olmayacaktır. Bir çare de taşıyıcı duvarları ve temeli alttan desteklemekle ya da elektro-osmos 'u , lateks-silikon ya da harç enjekte tedavisi kullanılarak uygulanabilir.

Gözenekler boyunca hareket eden kılcallık sonucu zemin duvarlarının yeryüzü ile temas halinde olduğu yerlerde sızıntı meydana gelir. Gözenekler genişse sızıntı meydana gelir , fakat bu sadece toprak suya doymuş olduğunda olur. Halbuki kılcallık hareketi daha az ıslak toprakta da meydana gelebilir. [1]

Yerçekimi yükselen nem gücünü azaltır fakat nüfuz etmesini etkileyemez. Yataydaki gözeneklere etki edemez fakat eğimi aşağı doğru olan gözeneklerdeki harekete yardımcı olur. Dahası doymunluk şartları varsa , statik su basıncı nüfuza yardımcı olur. Su seviyesinin altındaki her 30 cm'lik düşey derinlikte kuvvet 30 g/cm2 yükselir. [11]

Duvarın ve döşemenin içine ya da dışına uyguladığımız membran bu basınçlardan daha güçlü bir yapışkanlık gücüne sahip olmalı ya da yeterince desteklenmelidir.



Şekil 6.29: Saatlere göre havanın RH'nın günlük havalandırmaya bağlı olarak değişimini göstermektedir.

Yukarıdaki şekil her gün sabah 10'dan akşam 6'ya kadar RH'nın %80 civarlarından %65 civarlarına sabit fan sistemi ile düşüşünü göstermektedir. Fanlar akşam kapatıldığında RH tekrar maksimuma tırmanmaktadır. [1]

Havalandırmanın en önemli faydalarından biri çevredeki havayı buhar ile yüklenmekten korumaktır. Isıtma psikolojik faydasının dışında, hava üzerinde iki sağlam etkisi vardır:

- RH'ı düşürür.
- Duvar açıklıklarından hava değişimini hızlandırır. Eğer çevre çok darsa ve hava değişimi engelleniyorsa ısıtma nemli duvarlarla ilişki içinde olan havanın doymun hale gelmesini ve bu koşullarda mikro-organizmaların ve küfün oluşmasını engelleyemez.

İyi bir aktif havalandırmanın varlığı ile ısıtma yükselen nemin etkilerine karşı koyar. Havalandırma nedenleri ortadan kaldırmaz sadece belirtileri ve zararları hafifletir. Isıtma ve havalandırma tedavi sınırlarına rağmen nemli mekanlar için en çabuk geçici çözüm sağlarlar. Ayrıca sonuçları inceleyip, yapılacak masrafları düzenlemek için hem vakit hem de tasarruf sağlarlar.

Havalandırma kapı, pencere, duvar boşlukları ile doğal olabileceği gibi makinelerle hızlandırılmış şekilde de olabilir. [1]

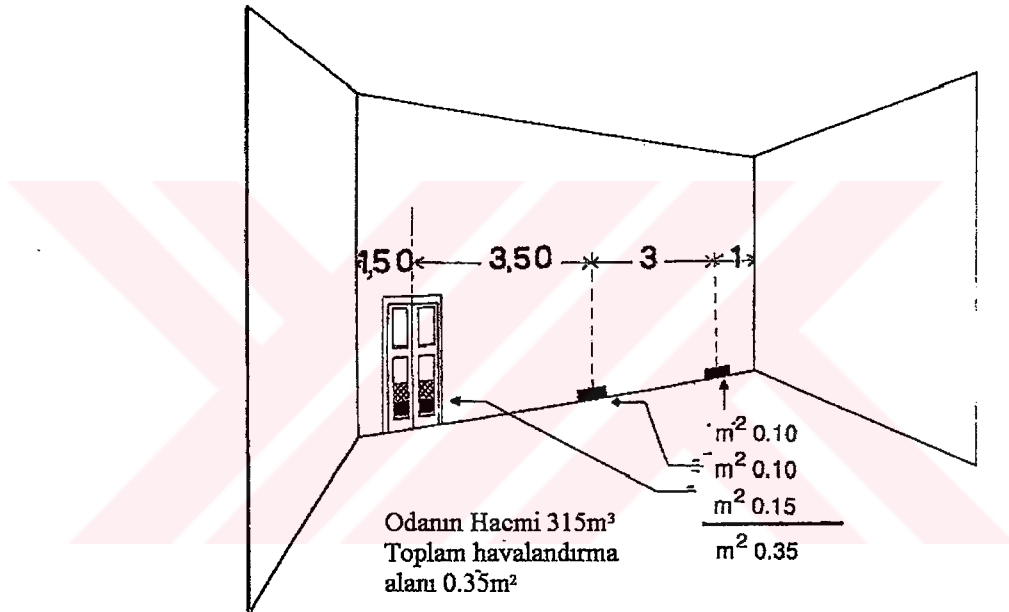
6.11.1. Doğal Havalandırma

Hava değişimi içerideki ve dışarıdaki sıcaklık farklılıklarından ve rüzgar etkisinden kaynaklanır. Doğal havalandırmayı artırmak için iki yol vardır:

Hava değişiminin olacağı açıklıkları artırmak.

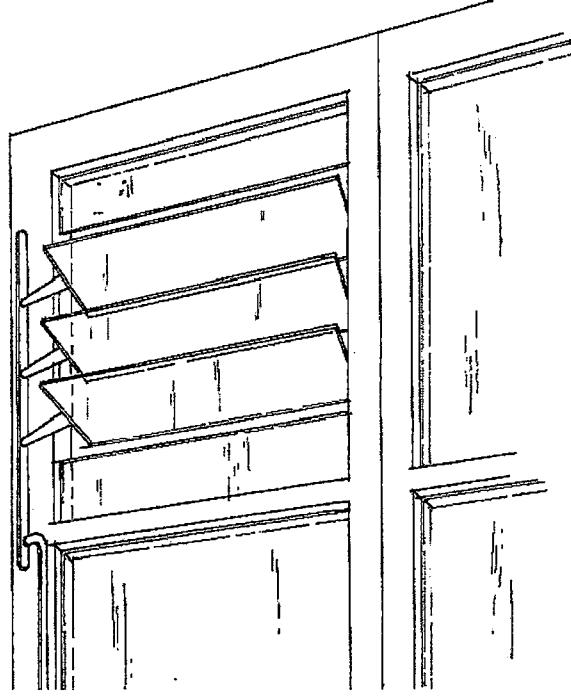
İç sirkülasyon için direnç faktörlerini azaltmak. [29]

Boş odalar dolu odalara nazaran genellikle nemden daha az etkilenirler. Dolu odalar eşyalarla dolu oldukları için hava dolaşımını engelleyerek neme maruz kalırlar. Durgun olan doymuş hava genellikle döşemeden 40cm ve yukarısında bulunur. Özellikle tabloların arkasında veya duvarın hemen önündeki eşyaların arkasında yer alır. Pencere gibi açıklıkların yapılamadığı odalarda havalandırma delikleri açılır. Bu havalandırma deliklerinin sayısı ve boyutu mekandaki havanın hacmi ile orantılı olmalıdır. Yapılan pratik deneyler sonucu varılan sonuç açıklıkların toplam alanı odanın her 100m^3 'ü için 0.1m^2 'den az olmamalıdır. (Şekil 6.30) [1].



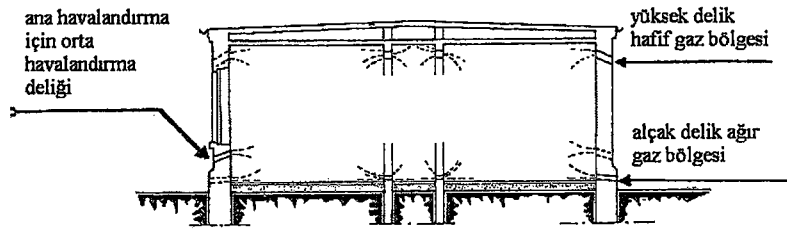
Şekil 6.30: Havalandırma deliklerinin toplam alanı verimliliğin artması için odanın hacmi ile orantılı olmalıdır.

Doğal havalandırma için mekanın açık hava ile bağlantısını sağlayan pencerenin bölümleri ayarlanabilir olmalıdır. Pencere camları oynatılarak yeterli miktarda havanın içeri girişi sağlanabilir. (Şekil 6.31) [1].



Şekil 6.31: Doğal havalandırma için oynar camlar

Bazı mekanlarda pencereler yerine açıklıklar vardır. Bu açıklıklar doğal havalandırmayı sağlar. Knapen doğal havalandırmayı ‘yatay havalandırma diferansiyeli’ adı altında sistemleştirmiştir. Bu sistem daha çok oda içindeki hava değişim miktarının hesaplanamadığı durumlarda uygulanabilir. Oda içinde alçak, orta ve yüksek seviyelerde havalandırma delikleri açmıştır. (Şekil 6.32) [1].



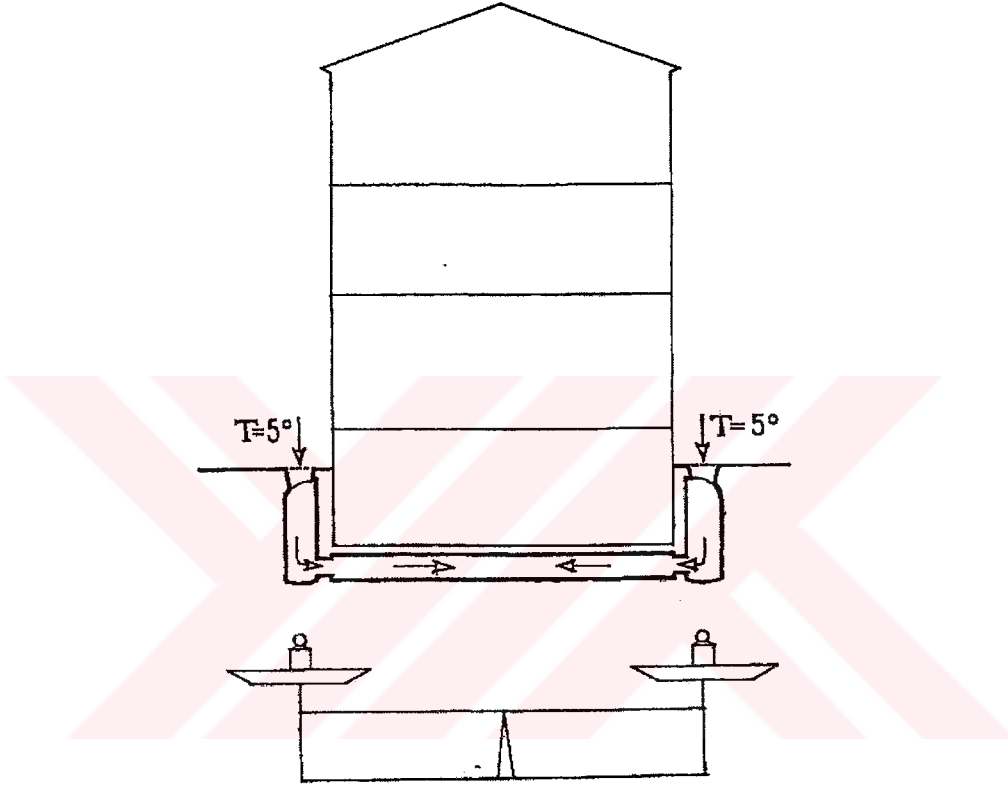
Şekil 6.32: Knapen’in doğal havalandırma için delik yerleşim şeması

Knapen’e göre iç ve dış mekan arasındaki sıcaklık farkı $2C^0$ olduğunda yatay havalandırma meydana gelecektir.

Rutubetli mekanların, bodrumların ve çevresel hendeklerin doğal havalandırması bu mekanları borularla havalandırma bacasına bağlayarak sağlanabilir. Doğal hava akımı bacasının kendinden beklenen performansı gösterebilmesi için geçerli olduğu

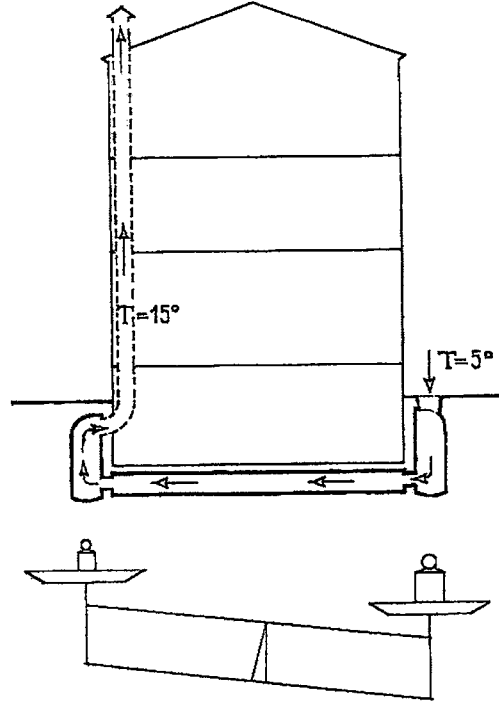
mekanda bir miktar rüzgar, iç ve dış mekan arasında kayda değer bir sıcaklık farkı olmalıdır. Daha sonraki hareket rüzgar eşliğinde sıcaklıktan bağımsız devam eder. Bu borudaki yatay rüzgar bacanın üst ağzından çekme etkisine sebep olur. Rüzgar hareketi termal hareketin önüne geçer.

Eğer yapının çevresindeki çevresel hendek havalandırılmak istenirse döşemenin altına bir hava odacığı yapılmalıdır. (Şekil 6.33) [1].



Şekil 6.33: Aynı seviyedeki iki hava kolonu birbirini dengeler ve hava hareket etmez.

Eğer çevresel hendek bütünüyle hava odacığı ile çevrelenir ve bu da ana düşey boruyla bağlanırsa hava baca borusunda yükselir. (Şekil 6.34) [1].



Şekil 6.34: Dengede olmayan iki kolon havalandırmayı aktifleştirir.

Borunun içindeki havanın sıcaklığı ve dışarıdaki havadan daha hafif olur. Bu ağırlık düşüşü hendekteki havanın değişimine neden olur. Hendek maksimum 25-30cm olmalıdır. Aksi halde bacaya göre çok fazla geniş olur. Bu da bacanın limitini zorladığı için hava geri döner. Kışın rüzgar etkisinin artması ve zaman zaman baca ile ters yönde olması doğal havalandırmayı güçleştirir hatta yok eder. Bu durumda kışın bacalardaki doğal havalandırmayı sağlamak için bacalara ısı kaynakları (radyatör, elektril resistörü,...vs) konulmalıdır. Isıtma aparatları hava akışına direnç göstermeyecek şekilde bacaların taban kısımlarına koyulmalıdır. [1]

6.11.2. Yapay Havalandırma

Yapay havalandırma için ya pencereye bir fan takılıp iç mekan havalandırılır ya da merkezi bir fan takılıp bu fanın kanalları ile içerideki hava toplanıp dışarı atılırken temiz hava da açıklıklarla iç mekana verilir. Bu iki çeşit havalandırma için iki unsur belirtilmiştir; dakika başına düşen m^3 kapasitesi ve mm' deki su kolonunun statik basıncı önem kazanmaktadır. Bu konu ile ilgili aşağıdaki ortalama veriler önerilmektedir:

- Herhangi bir nemli mekanı rehabilite etmek için havanın RH'nın kışın %65'in yazın %75'in altına indirilmesi gerekmektedir.

Havanın saatteki iki değişimi için duvarların durumu, hava sirkülasyonuna engel teşkil eden nedenlerin örneğin eşyalar ya da odanın şekli gibi tespiti ve sabit sayıdaki insanların varlığının tahmin edilmesi önemlidir. [24]

Nemi uzaklaştırma kapasitesi olmayan hava ile yapay havalandırma yapmak hasarı artırıp yoğuşmaya neden olmaktan başka bir işe yaramaz. Bu yüzden havalandırma zamanı dışarıdaki günlük RH çeşitliliğine bağlı olarak çok önem kazanmaktadır. Bulunduğunuz yerin iklim özellikleri havalandırma koşulları açısından büyük önem kazanmaktadır. Doğal hava ile yapılan yapay havalandırma için nemin minimum olduğu saatler seçilmelidir ki böylece oluşabilecek nemli ortamlar da önlenmiş olur.[24]

Havalandırmada iki mevsimsel tehlikeden kaçınılmalıdır. Birincisi kışın mekanın aşırı soğutulması ve yazın da nemli hava ile havalandırma yapıp yoğuşmaya neden olunmasıdır.[1]

Yapay havalandırma nemli yüzeyden buharlaşmayı da sağlar. Kuru hava iç mekana girerek duvar sıcaklığını buharlaşma etkisi ile düşürür. Aşağıdaki tabloda duvarın 10C⁰, 18C⁰ ve 30C⁰'deki dış hava ile teması sonucu soğuması ve RH'daki değişimler yer almaktadır. (Tablo 6.3)

Tablo 6.4: Yapay havalandırmaya maruz kalan nemli duvar yüzeylerinde soğuma

I						
10C ⁰ 'de karşılaşılan hava ile RH...	%95	%87	%74	%62	%50	%39
Duvarın soğuması.10C ⁰ 'den...	9.6	9	8	7	6	5
II						
18C ⁰ 'de karşılaşılan hava ile RH...	%96	%90	%80	%71	%62	%53
Duvarın soğuması.18C ⁰ 'den...	17.6	17	16	15	14	13
III						
30C ⁰ 'de karşılaşılan hava ile RH...	%97	%93	%85	%78	%72	%65
Duvarın soğuması.30C ⁰ 'den...	29.6	29	28	27	26	25

Etkili bir yapay havalandırma için gerekli kriterleri özetlersek:

- Elektrikli fanın kapasitesi en azından saatte iki hava değişimi için yeterli olmalıdır. Abartılı güçte makine kullanılmamalıdır. Kışın RH en azından %65'lerde yazın ise %75'lerde tutulmalıdır.
- Dış havanın çok nemli olduğu saatlerde havalandırma kullanılmamalıdır.

- Kışın herhangi bir RH'da soğuk havanın etkisi ile iç mekan ile dış mekan arasında en az $6C^0$ veya daha fazla olmalıdır. Bu durum içerisi ile dışarısı arasında doğal havalandırmaya neden olacaktır.
- Yapay havalandırma özellikle yazın tehlikelidir. Kısa periyotlarla kullanılmalı, dışarıdaki RH seviyesi %60'tan fazla olmamalıdır.
- Havalandırmanın ulaşamadığı mekanlar için yerel önlemler alınmalı ve yapılan ölçümler not edilerek gerekli önlemler alınmalıdır. [1].

Yaz ısıtması nemle mücadele için çok geçerli bir yöntemdir. Gerekli kaloriyi hava yerine direk duvarlara transfer etmek yoğunlaşma ile mücadelede son derece etkili olmaktadır. Isıtma tellerinin döşemeye gömülmesi ile problem çözümü sağlanır. Doğal olarak yaz yoğunlaşmasında gerekli olan kalori ihtiyacı kış ısıtmasına göre çok daha azdır. Eğer duvarları direk ısıtmak mümkün değilse, havanın ısıtılması tercih edilebilir. Elektrik radyatörleri bu görev için uygundur. Yaz yoğunlaşmasına karşı gerekli kalori hesabının yapılması mücadele için çok önemlidir. Uygulama prosedürü kış ısıtma gereksinimlerinden farklıdır. Yaz ısıtması için gerekli veriler aşağıdaki gibidir.

- dış hava sıcaklığı
- iç hava sıcaklığı
- istenilen sıcaklık

Yazın iç mekan ile dış mekan arasındaki sıcaklık farkı $5C^0$ ile $8C^0$ arasındadır. Bu farkı yarı yarıya azaltmak sağlık koşullarını sağlamada yeterli olacaktır. İstenilen sıcaklık farkı $3-4C^0$ arasındadır.[24]

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Literatür çalışmasından elde edilen bilgilerin ışığında duvarın bileşenlerinden harca katkı maddeleri katılarak nem ile ilgili performansını araştırmak amacı ile deneysel çalışma yapılmıştır.

7.1. Deneysel Çalışmanın Programlanması

Yapılan araştırmalar doğrultusunda çalışmanın amacına uygun olarak yapılacak deneyler belirlenmiştir. Deney için gerekli malzemelerin, kullanılacak makinelerin listesi çıkarılarak üretilecek deney örneklerinin çeşitleri ve miktarları belirlenmiştir. Tüm bu çalışmaların doğrultusunda yapılacak deneyler programlanarak bir takvim oluşturulup, bu program kapsamında aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- Yapılacak deneyler için gerekli malzemelerin listesi çıkarılmış ve malzemeler temin edilmiştir.
- Yapılacak deneyler için gerekli makineler belirlenip laboratuarda kontrolleri yapılmıştır.
- Deney için gerekli numunelerin üretimine başlanmıştır.
- Deney çalışmaları yapılmıştır.
- Yapılan adımlar dijital makine ile fotoğraflanmıştır.
- Tüm deneyler en ince ayrıntısına kadar deftere kaydedilmiştir.
- Deney çalışmaları sonucunda gerekli hesaplar yapılmıştır.
- Deney sonuçları değerlendirilmiştir.

7.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan malzemeler;

- çimento,
- kum,
- kireç,

- tuğla,
- katkı maddeleri.

7.2.1. Çimento

Deneysel çalışmada Lafarge'ın çimento fabrikası ürünü olan KZÇ / A 325 kompoze çimento kullanılmıştır.



Şekil 7.1: Çimentonun yoğunluğunun hesaplanması

Çimentonun özgül ağırlığı hesaplanmıştır.

Boş kavanoz ağırlığı + kapak ağırlığı = $A_1=154.60\text{gr}$

Su dolu kavanoz ağırlığı + kapak ağırlığı = $A_2=340.76\text{gr}$

Malzeme ağı. (çimento) + kapak ağı. + su dolu kavanoz ağı. = $A_3=361.16\text{gr}$

Malzeme (çimento) ağırlığı = $P= 30\text{gr}$

$$V= (A_2 + P) - A_3 \quad (7.1)$$

Suyun yoğunluğu 1 olduğu için ağırlık ve hacim birbirine eşittir.

$$V = 340.76 + 30 - 361.16 = 9.6\text{gr} = 9.6\text{cm}^3$$

$$\delta = P / V = 30 / 9.6 = 3.125\text{gr/cm}^3 \quad (7.2)$$

7.2.2 Kum

Deneysel çalışmada üretilen harçlarda 50kg'lık paketlerde satılan Adapazarı yıkanmış dere kumu kullanılmıştır. Mevcut kumun 2mm ve altında dane çapına sahip olan kısmı kullanılmıştır.



Şekil 7.2: Kumun elek analizi

Kumu eleyip 2mm ve altında olan kum bir kapta toplanıp tekrar yıkanmıştır. Yıkanmış kum dane çapı bozulmayacak şekilde etüvde kurutulmuştur. Daha sonra elek analizi çıkarılmak üzere kum 2mm ve altındaki (2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm) eleklerden elenmiştir.

Kumun özgül ağırlığı hesaplanmıştır.

Boş kavanoz ağırlığı + kapak ağırlığı = $A_1=152.15\text{gr}$

Su dolu kavanoz ağırlığı + kapak ağırlığı = $A_2=337.11\text{gr}$

Malzeme ağı. (kum) + kapak ağı. + su dolu kavanoz ağı. = $A_3=355.93\text{gr}$

Malzeme (kum) ağırlığı = $P= 30\text{gr}$

$$V = (A_2 + P) - A_3$$

$$V = 337.11 + 30 - 355.93 = 11.18\text{gr} = 11.18\text{cm}^3$$

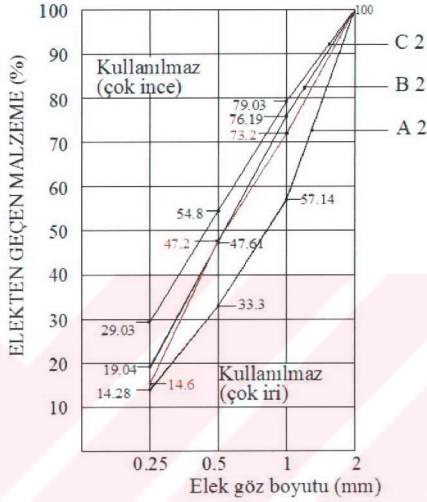
$$\delta = P / V = 30 / 11.18 = 2.68\text{gr/cm}^3$$

Tablo 7.1: Deneyde kullanılan kumun elek analizi

	Elek üstünde kalan kum	Elek üstünde kalan kum (yığışmalı)	Elekten geçen (yığışım)	Elekten geçen kum yüzdesi (%)
2mm	0	0	1000gr	100
1mm	267.66gr	267.66gr	732.34gr	73.2
0.5mm	259.91gr	527.57gr	472.43gr	47.2
0.25mm	336.14gr	853.71gr	146.29gr	14.6
Toplama kabı	136.29gr	1000gr	0	0

Kullanılan kumun granülometri eğrisi aşağıdaki gibidir. Aşağıdaki tabloda TS 706'nın granülometri bölgeleri ve deneyde kullanılan kumun granülometri eğrisi yer almaktadır. [35]

Tablo 7.2: Granülometri eğrisi



7.2.3. Kireç

Tuğla duvar örnekleri için üretilen harçlardan biri kireçli üretilmiştir. Kullanılan kirecin özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Boş kavanoz ağırlığı + kapak ağırlığı = $A_1 = 153.10 \text{ gr}$

Su dolu kavanoz ağırlığı + kapak ağırlığı = $A_2 = 338.67 \text{ gr}$

Malzeme ağı. (toz kireç) + kapak ağı. + su dolu kavanoz ağı. = $A_3 = 355.32 \text{ gr}$

Malzeme (toz kireç) ağırlığı = $P = 30 \text{ gr}$

$$V = (A_2 + P) - A_3$$

$$V = 338.67 + 30 - 355.32 = 13.35 \text{ gr} = 13.35 \text{ cm}^3$$

$$\delta = P / V = 30 / 13.35 = 2.25 \text{ gr/cm}^3$$

7.2.4. Tuğla

Duvar numunesi üretebilmek için ışıklar tuğlanın taban tuğlasını ve kastamonu harman tuğlası kullanılmıştır. Tuğlaları yıkandı ve 105C⁰'de etüvde kurutulmuştur. Daha sonra, 2,5cmx5cmx10cm boyutlarında kesilmiştir. (Şekil 7.3)



Şekil 7.3: Tuğlaların ebatlanması

Tuğlanın boşluk yapısını bulabilmek için toz haline getirilip öyle hesap yapılmıştır. Tuğla için özgül ağırlık hesabı aşağıdaki gibidir:

Boş kavanoz ağırlığı + kapak ağırlığı = A₁=158.32gr

Su dolu kavanoz ağırlığı + kapak ağırlığı = A₂=341.30gr

Malzeme ağı. (tuğla tozu) + kapak ağı. + su dolu kavanoz ağı. = A₃=359.94gr

Malzeme (tuğla tozu) ağırlığı = P= 30gr

$$V = (A_2 + P) - A_3$$

$$V = 341.30 + 30 - 359.94 = 11.36 \text{ gr} = 11.36 \text{ cm}^3$$

$$\delta = P / V = 30 / 11.36 = 2.64 \text{ gr/cm}^3$$

Hem taban tuğlası hem de harman tuğlası olmak üzere her iki tuğla çeşidi için de kılcılık deneyi yapılmıştır.

Tabanı suya değecek şekilde tuğlalar su içine yerleştirilip, kılcılık deneyi yapılmıştır. Kronometre çalıştırılarak belirli sürelerde tuğla tartılarak çıkan sonuçlar kaydedilmiştir. (Şekil7.4)



Şekil 7.4: Kılcallık hesabı için tuğlaların su içine yerleştirilmesi

Mevcut formülle de kılcallık katsayıları hesaplanmıştır:

$$e = N \sqrt{t}$$

$$e = m_1 - m_0 / A$$

e = birim alandan emilen su miktarı (gr/cm²)

m_1 = örneklerin belirli bir zamandaki ağırlıkları (gr)

(7.3)

m_0 = örneklerin ilk ağırlıkları (gr)

A = suya değen taban alan (cm²)

N = kılcallık katsayısı (cm³/cm²√dak)

t = dakika

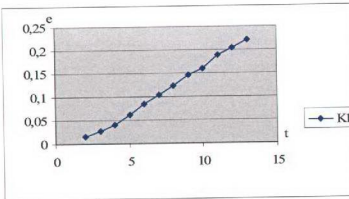


Şekil 7.5: Tuğlaların kılcallık yolu ile su emmesi

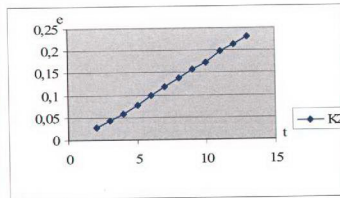
Tablo 7.3a: Taban tuğlaların kılcallık değerleri

Kılcallık Deneyi	Kesilmemiş I (K1)	Kesilmemiş II (K2)	Kesilmiş I (k1)	Kesilmiş II (k2)
a (mm)	50.46	50.31	42.54	42.30
b (mm)	103.21	102.98	50.31	50.65
L (mm)	205.50	205.00	164	164
Etiv kurusu ağırlık (gr)	2415,22	2407,43	793,46	813,20
Ortalama nem ağırlığı (gr)	2515,42	2407,61	793,51	813,26
İlk ağırlık (gr)	2415,50	2407,70	793,66	813,43
4. dakika ağırlığı (gr)	2416,27	2409,15	794,27	814,25
9. dak. ağırlığı (gr)	2416,86	2409,91	794,46	814,52
16. dak. ağırlığı (gr)	2417,56	2410,69	794,64	814,75
25. dak. ağırlığı (gr)	2418,69	2411,73	794,82	815,05
36. dak. ağırlığı (gr)	2419,92	2412,89	795,06	815,41
49. dak. ağırlığı (gr)	2420,95	2413,87	795,26	815,73
1 sa. 04. dak. ağırlığı (gr)	2421,93	2414,81	795,43	816,05
1sa. 21. dak. ağırlığı (gr)	2423,11	2415,88	795,67	816,41
1sa. 40. dak. ağırlığı (gr)	2423,85	2416,58	795,82	816,63
2sa. 01. dak. ağırlığı (gr)	2425,34	2417,99	796,13	817,11
2sa. 24. dak. ağırlığı (gr)	2426,09	2418,75	796,32	817,35
2sa. 49. dak. ağırlığı (gr)	2427,00	2419,59	796,49	817,65
N _{on} (cm/dak)	0.0152956	0.0164384	0.0110393	0.01542630
Genel ortalama (N)	0.0145499			

Numunelerin zamana bağlı olarak emdikleri su miktarlarının grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiklerin korrelasyon katsayıları da hemen alt kısımlarında belirtilmiştir.[36]

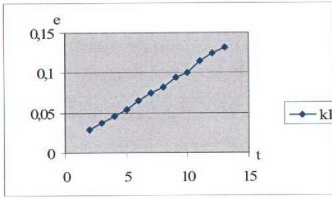


$R \approx 1$

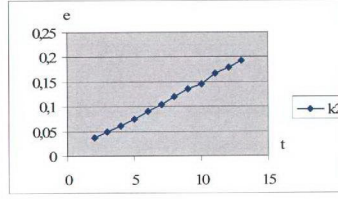


$R \approx 1$

Şekil 7.6: K1 ve K2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



$R \approx 1$



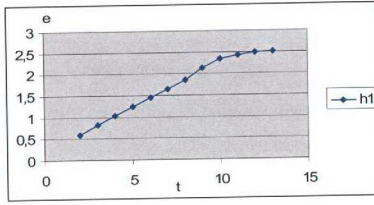
$R \approx 1$

Şekil 7.7: k1 ve k2 numuneleri su emme – zaman grafikleri

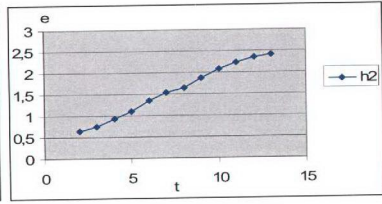
Tablo 7.3b: Harman tuğlaların kılcalık değerleri

Kılcalık Deneyi	Harman tuğlası1 (h1)	Harman Tuğlası 2 (h2)	Harman Tuğlası 3 (h3)
a (mm)	27,41	24,85	25,05
b (mm)	45,40	47,24	47,60
L (mm)	91	90	90
Etiv kurusu ağırlık (gr)	182,89	165,35	173,15
Ortalama nem ağırlığı (gr)	183,02	165,54	173,28
İlk ağırlık (gr)	183,48	166,11	173,82
4. dakika ağırlığı (gr)	190,96	173,80	180,95
9. dak. ağırlığı (gr)	193,72	174,84	183,57
16. dak. ağırlığı (gr)	196,42	177,12	186,27
25. dak. ağırlığı (gr)	198,98	179,05	188,60
36. dak. ağırlığı (gr)	201,60	182,12	191,14
49. dak. ağırlığı (gr)	204,03	184,18	193,62
1 sa. 04. dak. ağırlığı (gr)	206,64	185,36	196,24
1sa. 21. dak. ağırlığı (gr)	209,94	188,10	199,50
1sa. 40. dak. ağırlığı (gr)	212,72	190,47	202,31
2sa. 01. dak. ağırlığı (gr)	213,76	192,18	203,21
2sa. 24. dak. ağırlığı (gr)	214,52	193,83	203,89
2sa. 49. dak. ağırlığı (gr)	214,80	194,50	204,10
N (cm/dak)	0,240754	0,223573	0,241886
N _{ort} (cm/dak)	0,235404		

Numunelerin zamana bağlı olarak emdikleri su miktarlarının grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiklerin korrelasyon katsayıları da hemen alt kısımlarında belirtilmiştir.

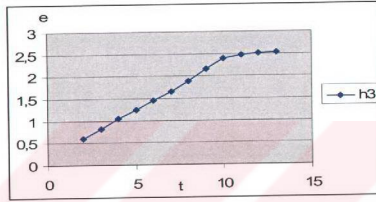


$R \cong 1$



$R \cong 1$

Şekil 7.8: h1 ve h2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



$R \cong 1$

Şekil 7.9 h3 numunesi su emme – zaman grafiği

Deneyde kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları bir araya haline getirildiğinde aşağıdaki tablo elde edilmiştir.

Tablo 7.4: Malzeme özgül ağırlıkları

Malzeme	Çimento	Kum	Kireç	Tuğla
δ	3.125gr/cm ³	2.68 gr/cm ³	2.25 gr/cm ³	2.64 gr/cm ³

7.2.5: Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri deneyde kullanılan malzemelerin suya karşı mücadelede malzemelerin performanslarını artırmak amacı ile kullanılmıştır. Kullanılan katkılar x, y harfleri ile kodlandırılmışlardır.

X maddesi: Sodyum oleat esaslı bir toz karışımdır.

Y maddesi: Vinil asetat ve/veya esaslı toz karışımdır.

Her iki malzeme de su itici özelliktedir.

7.3. Deneyisel Çalışmada Kullanılan Cihazlar

Deneyisel Çalışmamızda İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarındaki konu ile ilgili cihazlardan yararlanılmıştır. Bunlar:

- Teraziler: 0.001gr, 0.00001gr hassasiyetli teraziler kullanılmıştır.
- Deney Numune Kalıpları;

$a = 40 \pm 0.4 \text{ mm}$

$b = 40 \pm 0.4 \text{ mm}$

$L = 160 \pm 0.4 \text{ mm}$, üçlü çelik kalıplar kullanılmıştır.

- Kumpas: 0,01mm hassasiyetli, dijital göstergelidir.
- Titreşim Masası; yaptığımızın harcın yayılma oranını bulmak için kullanılmıştır.
- Deney Presi: Seidner firmasının 20 tonluk (200kN) yük uygulayabilen Form Test isimli basınç presi ve 1 tonluk (10kN) eğilme uygulayabilen eğilme presinden yararlanılmıştır.
- Kronometre: Kılcallık deneyi için sürelerin takibinde kullanılmıştır.
- Dynameter: Harç numunelerine aderans deneyi yapılmıştır.

7.4. Deneyisel Çalışmada Kullanılan Örneklerin Üretilmesi

Yapılan deney programı ışığında yapılması gereken deney türleri ve sayıları belirlenmiştir. Buna göre yaklaşık 2.5cm x 5cm x 10cm (a x b x h) ebatlarında kesilen tuğlalar etüvde kurutulduktan sonra karışım oranları belirlenen harçlarla üç sıra tuğla duvar numuneleri üretilmiştir.

Buhar geçirimliliğini hesaplamak için yaklaşık 7cm çapında ve 1.5cm yüksekliğinde silindirik harç numuneleri üretilmiştir.

Aderans deneyi için de her bir harç çeşidi için bu silindirlerden üçer tane taban tuğlası için üçer tane de harman tuğlası için tuğlaların üzerine epoksi ile yapıştırılmıştır.

Harçların dayanım deneylerinde 4x4x16 (axbxh) çelik kalıplar kullanılmıştır.

7.4.1. Tuğla Duvar Numunelerinin Üretimi

Etüvde 105C⁰'de kurutulan tuğlalar 2.5cmx5cmx10cm boyutlarında kesilmiştir. Bu tuğlalar ve karışım oranları belirlenen harçlar ile duvar numuneleri üretilmiştir.

Üretilen harçlara sarsma tablası yayılma deneyi yapılmıştır. Bir tablanın üzerine, sacdan yapılmış kesik koni kalıp, çapı küçük olan daire yüzeyi üste gelecek şekilde yerleştirilip, içi taze harç ile doldurulur. Daha sonra koni şeklindeki sac kalıp dikey olarak yukarı kaldırılır. Dışliye bağlı olan bir kol yardımıyla tabla 15 saniyede 20 kez düşürülür. Bu işlem sonucunda taze harç tabla üzerinde dairesel olarak yayılır.

Yayılma deneyi sonucu mastarda okunan değer 14.5-15.5 arası olmasına dikkat edilmiştir. Okunan bu değer harcın işlenebilme özelliğini verir. Bu değer altında olan harçların su miktarı artırılarak değer yakalanmıştır. (Şekil 7.10)



Şekil 7.10: Harçlara uygulanan yayılma deneyi

Aşağıdaki tabloda harç karışım oranları yer almaktadır:

Tablo 7.5: Harç karışım oranları tablosu

Çimento (gr)	Kum (gr)	Kireç (gr)	Su (gr)	Su/Bağlayıcı	Yayılma Oranı
1000	3500		628	0.62	14.5 – 15.5
1000	8000	1500	1897	1.89 (0.75)*	14.5 – 15.5
1000	4000		717.34	0.71	14.5 – 15.5
1000	3000		606.42	0.60	14.5 – 15.5

* Su / bağlayıcı oranını vermektedir. Bağlayıcı miktarı 1000gr çimento ve 1500gr kireç olduğu göz önüne alınırsa oran $1897\text{gr}/2500\text{gr} = 0.75$ olmaktadır.

Yukarıdaki tablodaki miktarlar, tuğla duvar, kalıplar ve diğer numuneler için oranlar sabit tutularak miktarları artırılmıştır.

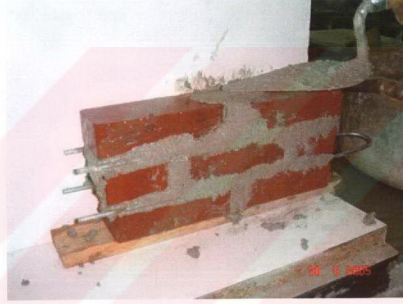
Daha sonra kılcallığa etkisini gözlemek için katkı maddeli harçlar üretilmiştir. Bu katkı maddelerinin oranları çimento miktarına göre alınmıştır. Tablo 7.6'da karışım oranları yer almaktadır:

Tablo 7.6: Katkılı karışım oranları tablosu

Çimento (gr)	Kum (gr)	X maddesi (gr)	Y maddesi (gr)	Su (gr)	Su/Çimento	Yayıma Oranı
1000	3500	6 (%0.6)	0	628	0.62	14.5 – 15.5
1000	3500	0	6 (%0.6)	628	0.62	14.5 – 15.5
1000	3500	3 (%0.3)	3 (%0.3)	628	0.62	14.5 – 15.5
						14.5 – 15.5

Yukarıdaki tablodaki miktarlar, tuğla duvar numuneleri, harç çelik kalıpları ve diğer numuneler için oranlar sabit tutularak artırılmıştır.

Bu harçlarla 3 adet taban tuğlası 3 adet de harman tuğlası olmak üzere her harç için 6'şar duvar numunesi üretilmiştir. Katkı maddeli harçlarla da her bir harç için 3 adet taban tuğlasından, üç adet de harman tuğlasından duvar örnekleri üretilmiştir.



Şekil 7.11: Duvar numunesi üretimi

Duvar numunesi üretimi için L şeklinde düz bir tabla alınıp tuğla numuneleri tabla üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 7.11'deki gibi iki tuğla sırası arasına 5mm kalınlığında etriyeler yerleştirilip harç kalınlığı her numune için sabit tutulmaya çalışılmıştır. Fazla harç mala ile temizlendikten sonra üst sıra derzleri şaşırtmalı olacak şekilde yerleştirilmiştir. En üstteki üçüncü sıra tuğlalar da dizildikten sonra terazi ile duvarın düzgünlüğü tesbit edilip düzgün olmayan örümmler için tokmaklanarak düzgünlük yakalanmıştır. Daha sonra etriyeler çıkarılarak duvar numuneleri üzerlerine kodları ve örüm tarihleri yazıldıktan sonra 28 gün beklemek üzere laboratuvar koşullarında $20C^{\pm 3}$, RH %60 beklemeye bırakılmıştır. Her bir harç için 6 adet duvar numunesi, 7 farklı harç için toplam 42 adet duvar numunesi örülmüştür.

7.4.2 Dayanım Testi İçin Harç Numunesi Üretimi

Karışım oranları belirlenen harçların, 7, 14, 28 günlük dayanımlarını ve çekme-basınç mukavemetlerini hesaplamak için 4x4x16'lık çelik kalıplara dökülmüştür. Her bir harç için üç gözlü çelik kalıplardan dört adet dökülmüştür. Dördüncü kalıptaki döküm harcın kılcılığı için dökülmüştür.



Şekil 7.12: 4x4x16 harç numunelerinin üretimi

7.4.3. Buhar Geçirimsizliği Testi Numune Üretimi

Harçların buhar geçirimsizliğini hesaplamak için yaklaşık olarak 7cm çapında 1.5cm yüksekliğindeki silindirlerden üretilmiştir. Buhar geçirimsizliği için her bir harç için 3'er adet üretilmiştir.

7.4.4. Aderans Testi İçin Numune Üretimi

Harcın tuğla olan aderansını belirlemek için yaklaşık 7cm çapında 1.5cm yüksekliğinde olan silindirler epoksi ile tuğlaya yapıştırılmıştır. Herbir harç için üçer adet taban tuğlasında üçer adet de harman tuğlasında deney tekrarlanmıştır.



Şekil 7.13: Aderans deneyi için numune üretimi

7.5. Deneyler

Deneyler için yapılan hazırlıklar tamamlandıktan ve gerekli süre beklendikten sonra deney aşamasına geçilmiştir. Daha önce yapılan araştırmalara göre belirlenen deneyler:

- Harç numuneleri üzerinde yapılan mekanik deneyler.
- Harç numuneleri üzerinde yapılan fiziksel deneyler.
- Kılcallık deneyleri.

7.5.1. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Mekanik Deneyler

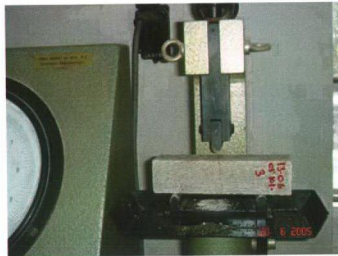
Yukarıda belirtilen karışım oranlarında üretilen harç numuneleri 4x4x16 çelik kalıplara doldurulup prizini alması için normal ortam koşullarında bekletilmiştir.

Yapılan çalışmada harç numunelerinin mekanik özelliklerini ölçmek üzere 7., 14. ve 28. günde, eğilmede çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır.

7.5.1.1. Eğilmede Çekme Tayini Deneyi

Sertleşen harç örneklerin çekme dayanımını belirlemek için orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile eğilmede çekme tayini deneyi yapılmıştır. Deneyde 'Seidner' marka cihaz kullanılmıştır.

4x4x16 boyutlarında sertleşmiş harç numunesi örnekler, aralarında 100mm mesafe bulunan ve eksenleri birbirine paralel olan 10mm çaplı iki destek silindirinden oluşan mesnetler üzerine yerleştirilmiştir. Numunelerin kalıptan çıkmış yan yüzlerinden birinin üzerine ve uzunluğuna eksenlerinin destek silindirler eksenine dik gelecek şekilde yerleştirilmesine özen gösterilmiştir. (Şekil 7.14)



Şekil 7.14: Eğilmede çekme tayini deneyi

İki mesnet silindirinin tam orta noktasında bulunan ve eksenini bu silindirlere paralelolan üçüncü bir yükleme silindiri ile deney örneğine kuvvet uygulanmıştır. İşleme prizmatik deney örneği kırılana kadar devam edilmiştir. Kırılmanın olduğu andaki P yükü presin göstergesinden okunarak kaydedilmiştir. (Şekil 7.15)



Şekil 7.15: Kırılmanın olduğu an

Deney, her üretim serisi için üç ayrı örnek üzerinde tekrarlanmıştır. Her bir karışım için 7., 14. ve 28. günlük dayanımlarını hesaplamak için 3'er kalıp dökülmüş ve her bir kalıptan 3'er tane harç prizması elde edilmiştir. Okunan P değerlerine aşağıdaki formül uygulanarak her örneğin eğilme dayanımı hesaplanmıştır.

$$\alpha_{\text{eğilme}} = 3/2[(P \times l)] / (b \times h^2) \quad (7.4)$$

$\alpha_{\text{eğilme}}$: Eğilme dayanımı (N/mm²)

P : Deney presinden okunan kırılma anındaki yük (N)

l : Yükleme tablası mesnetleri arası açıklık (mm)

b : Kırılma kesitinin genişliği (mm)

h : Kırılma kesitinin yüksekliği (mm)

Örneklerin ayrı ayrı ve ortalama eğilme dayanımları tablo verilmiştir.

Tablo 7.7: 7 günlük örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	Karışım Oranı Çim.-Kum-Kireç			a (mm)	b (mm)	L (mm)	Kuvvet (N)	Eğilme D. (N/mm ²)	Ortalama E. D. (N/mm ²)
7 gün	Kalıp 1.1	1	3.5	-	41,00	40,33	160	1300	4,67	4,7
	Kalıp 1.2				41,84	40,62	160	1350	4,69	
	Kalıp 1.3				41,92	40,34	160	1350	4,74	
7 gün	Kalıp 1.1	1	1.5	8	42,06	40,22	160	350	1,23	1,16
	Kalıp 1.2				42,70	40,26	160	300	1,04	
	Kalıp 1.3				42,65	40,05	160	350	1,22	
7 gün	Kalıp 1.1	1	4	-	40,66	40,23	160	1100	4,01	3,9
	Kalıp 1.2				41,92	40,49	160	1100	3,84	
	Kalıp 1.3				41,77	40,49	160	1100	3,85	
7 gün	Kalıp 1.1	1	3	-	42,43	40,87	160	1500	5,07	5,77
	Kalıp 1.2				42,56	40,32	160	1850	6,41	
	Kalıp 1.3				42,32	40,05	160	1650	5,83	
7 gün	Kalıp 1.1	1	3.5	x mad	40,01	41,07	160	1400	4,97	5,45
	Kalıp 1.2				40,03	41,20	160	1650	5,82	
	Kalıp 1.3				40,02	40,15	160	1500	5,58	
7 gün	Kalıp 1.1	1	3.5	y mad	41,75	40,45	160	1450	5,09	5,26
	Kalıp 1.2				42,05	40,40	160	1500	5,24	
	Kalıp 1.3				41,50	40,45	160	1550	5,47	
7 gün	Kalıp 1.1	1	3.5	x+y mad	43,08	40,27	160	1100	3,77	3,94
	Kalıp 1.2				42,63	40,28	160	1100	3,81	
	Kalıp 1.3				42,23	40,10	160	1200	4,24	

Tablo 7.8: 14 günlük örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	Karışım Oranı Çim.-Kum-Kireç			a (mm)	b (mm)	L (mm)	Kuvvet (N)	Eğilme D. (N/mm ²)	Ortalama E. D. (N/mm ²)
14 gün	Kalıp 2.1	1	3.5	-	41,50	40,72	160	1900	6,62	6,78
	Kalıp 2.2				41,43	40,48	160	1800	6,36	
	Kalıp 2.3				41,28	40,15	160	2050	7,39	
14 gün	Kalıp 2.1	1	1.5	8	42,19	40,25	160	500	1,75	1,74
	Kalıp 2.2				42,87	40,13	160	500	1,73	
	Kalıp 2.3				42,21	40,21	160	500	1,75	
14 gün	Kalıp 2.1	1	4	-	40,02	41,15	160	1100	4,78	5,13
	Kalıp 2.2				40,05	41,15	160	1100	5,48	
	Kalıp 2.3				40,05	41,10	160	1100	5,14	
14 gün	Kalıp 2.1	1	3	-	41,45	40,20	160	1700	6,09	6,54
	Kalıp 2.2				41,85	40,15	160	1700	6,04	
	Kalıp 2.3				41,75	40,60	160	2150	7,49	
14 gün	Kalıp 2.1	1	3.5	x mad	41,14	40,49	160	1650	5,87	5,28
	Kalıp 2.2				41,72	40,10	160	1400	5,00	
	Kalıp 2.3				41,42	40,33	160	1400	4,98	
14 gün	Kalıp 2.1	1	3.5	y mad	41,65	40,28	160	1550	5,50	5,19
	Kalıp 2.2				42,11	40,21	160	1450	5,11	
	Kalıp 2.3				42,14	40,80	160	1450	4,96	
14 gün	Kalıp 2.1	1	3.5	x+y	41,90	40,51	160	1700	5,93	5,94
	Kalıp 2.2				41,95	40,03	160	1600	5,71	
	Kalıp 2.3				40,91	40,10	160	1700	6,20	

Tablo 7.9: 28 günlük örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	Karışım Oranı Çim.-Kum-Kireç			a (mm)	b (mm)	L (mm)	Kuvvet (N)	Eğilme D. (N/mm ²)	Ortalama E. D. (N/mm ²)
28 gün	Kalıp 3.1	1	3.5	-	40,85	40,56	160	2000	7,14	7,32
	Kalıp 3.2				40,89	40,20	160	2100	7,62	
	Kalıp 3.3				40,61	40,46	160	2000	7,22	
28 gün	Kalıp 3.1	1	1.5	8	41,42	39,91	160	750	2,72	2,56
	Kalıp 3.2				41,78	40,51	160	700	2,45	
	Kalıp 3.3				41,53	39,95	160	700	2,53	
28 gün	Kalıp 3.1	1	4	-	40,24	40,19	160	1600	5,90	5,76
	Kalıp 3.2				40,73	40,35	160	1600	5,42	
	Kalıp 3.3				40,79	40,26	160	1650	5,98	
28 gün	Kalıp 3.1	1	3	-	41,47	39,98	160	2650	9,59	6,54
	Kalıp 3.2				42,30	40,35	160	2600	9,06	
	Kalıp 3.3				41,41	40,26	160	2550	9,11	
28 gün	Kalıp 3.1 Kalıp 3.2 Kalıp 3.3	1	3.5	x mad	42,01	40,40	160	2100	7,35	7,35
28 gün	Kalıp 3.1	1	3.5	y mad	41,96	40,51	160	2150	7,49	7,91
	Kalıp 3.2				41,64	40,92	160	2300	7,91	
	Kalıp 3.3				41,52	40,78	160	2400	8,34	
28 gün	Kalıp 3.1	1	3.5	x+y mad	41,94	40,13	160	1950	6,92	6,45
	Kalıp 3.2				41,98	40,62	160	1650	5,71	
	Kalıp 3.3				41,75	40,81	160	1950	6,73	

7.5.1.2 Basınç Deneyi

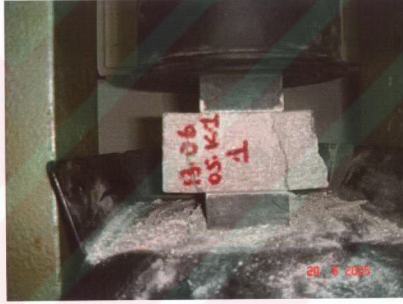
Basınç gerilmeleri malzemelerin yüzeyinden içeriye doğru etkiyen dış kuvvetler sayesinde oluşur. Bir deney numunesinin taşıyabildiği en büyük yükün, numunenin ölçü uzunluğu içindeki kesit alanına bölünmesi ile elde edilen değere basınç mukavemeti (dayanımı) denir.

Eğilmede çekme deneyi sonucu 4x4x16cm boyutundaki harç örneklerinin ikiye bölünmesi ile elde edilen küçük prizmalar basınç deneyinde tekrar kullanılmıştır. Her yarım prizma 40mm x 40mm boyutlarındaki kırma başlıklarının arasına yanal yüzeyleri temas edecek şekilde yerleştirildikten sonra kırılana kadar yüklenmiştir. (Şekil 7.16)



Şekil 7.16: Basınç Deneyi

Kırılma anındaki P yükü kaydedilmiştir. Her bir harç numunesinin iki adet prizmatik numunesi için iki adet P değeri kaydedilmiştir. (Şekil 7.17)



Şekil 7.17: Kırılmanın olduğu an

$$\alpha = P/A \quad (7.5)$$

Yukarıdaki formüle göre hesap yapılarak, deneyi yapılan örneğin dayanabildiği maksimum basınç mukavemeti hesaplanmıştır. Her numuneye ait iki parçadan elde edilen değerlerin ortalaması alınarak hesap yapılmıştır. Her karışım için üretilen üç harç numunesinin basınç dayanımlarının aritmetik ortalamaları alınmıştır.

α : Basınç dayanımı (N/mm^2)

P : Kırılma Yüğü (N)

A : Yüklemenin yapıldığı kesit alanı (mm^2)

Tablo 7.10: 7 günlük örneklerin basınç dayanımı deney sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	Karışım Oranı Çim.-Kum-Kireç			a (mm)	b (mm)	L (mm)	Kuvvet I (N)	Kuvvet II (N)	Ort. Kuvvet (N)	Basınç Day. (N/mm ²)	Ort. Bas. Day (N/mm ²)
7 gün	Kalıp 1.1	1	3.5	-	41,00	40,33	160	17000	18000	17500	10,58	10,20
	Kalıp 1.2				41,84	40,62	160	17000	18000	17500	10,29	
	Kalıp 1.3				41,92	40,34	160	16000	17000	16500	9,75	
7 gün	Kalıp 1.1	1	1.5	8	42,06	40,22	160	2500	2500	2500	1,47	1,46
	Kalıp 1.2				42,70	40,26	160	2500	2500	2500	1,45	
	Kalıp 1.3				42,65	40,05	160	2500	2500	2500	1,46	
7 gün	Kalıp 1.1	1	4	-	40,66	40,23	160	12000	12000	12000	7,33	7,16
	Kalıp 1.2				41,92	40,49	160	12000	12000	12000	7,07	
	Kalıp 1.3				41,77	40,49	160	12000	12000	12000	7,09	
7 gün	Kalıp 1.1	1	3	-	42,43	40,87	160	18500	19000	18750	10,81	11,51
	Kalıp 1.2				42,56	40,32	160	22000	21000	21500	12,52	
	Kalıp 1.3				42,32	40,05	160	19000	19000	19000	11,20	
7 gün	Kalıp 1.1	1	3.5	x mad	40,01	41,07	160	16000	16000	16000	9,73	9,69
	Kalıp 1.2				40,03	41,20	160	16000	15000	15500	9,39	
	Kalıp 1.3				40,02	40,15	160	15000	16000	15500	9,95	
7 gün	Kalıp 1.1	1	3.5	y mad	41,75	40,45	160	19000	18500	18750	11,10	10,80
	Kalıp 1.2				42,05	40,40	160	18000	17000	17500	10,30	
	Kalıp 1.3				41,50	40,45	160	19000	18000	18500	11,02	
7 gün	Kalıp 1.1	1	3.5	x+y mad	43,08	40,27	160	14000	13000	13500	7,78	7,82
	Kalıp 1.2				42,63	40,28	160	13000	13500	13250	7,71	
	Kalıp 1.3				42,23	40,10	160	14000	13000	13500	7,97	

Tablo 7.11: 14 günlük örneklerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

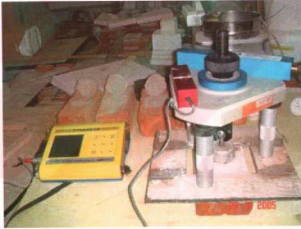
Kür Süresi	Örnek Adı	Karışım Oranı Çim.-Kum-Kireç			a (mm)	b (mm)	L (mm)	Kuvvet I (N)	Kuvvet II (N)	Ort. Kuvvet (N)	Basınç Day. (N/mm ²)	Ort. Bas. Day (N/mm ²)
14 gün	Kalıp 2.1	1	3.5	-	41,50	40,72	160	29500	29000	29250	17,30	17,51
	Kalıp 2.2				41,43	40,48	160	29500	29000	29250	17,44	
	Kalıp 2.3				41,28	40,15	160	29500	29500	29500	17,79	
14 gün	Kalıp 2.1	1	1.5	8	42,19	40,25	160	5000	5000	5000	2,94	2,78
	Kalıp 2.2				42,87	40,13	160	4500	4000	4250	2,47	
	Kalıp 2.3				42,21	40,21	160	5000	5000	5000	2,94	
14 gün	Kalıp 2.1	1	4	-	40,02	41,15	160	19000	20000	19500	11,84	12,64
	Kalıp 2.2				40,05	41,15	160	21000	22000	21500	13,04	
	Kalıp 2.3				40,05	41,10	160	22000	21000	21500	13,06	
14 gün	Kalıp 2.1	1	3	-	41,45	40,20	160	29000	31000	30000	18,00	17,84
	Kalıp 2.2				41,85	40,15	160	29000	28000	28500	16,96	
	Kalıp 2.3				41,75	40,60	160	31000	32000	31500	18,58	
14 gün	Kalıp 2.1	1	3.5	x mad	41,14	40,49	160	29000	30000	29500	17,70	16,76
	Kalıp 2.2				41,72	40,10	160	25000	27000	26000	15,54	
	Kalıp 2.3				41,42	40,33	160	29000	28000	28500	17,06	
14 gün	Kalıp 2.1	1	3.5	y mad	41,65	40,28	160	21000	21000	21000	12,51	12,56
	Kalıp 2.2				42,11	40,21	160	20000	23000	21500	12,69	
	Kalıp 2.3				42,14	40,80	160	21000	22000	21500	12,50	
14 gün	Kalıp 2.1	1	3.5	x+y mad	41,90	40,51	160	29000	28000	28500	16,79	17,34
	Kalıp 2.2				41,95	40,03	160	29000	29000	29000	17,26	
	Kalıp 2.3				40,91	40,10	160	29000	30000	29500	17,98	

Tablo 7.12: 28 günlük örneklerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	Karışım Oranı Çim.-Kum-Kireç			a (mm)	b (mm)	L (mm)	Kuvvet I (N)	Kuvvet II (N)	Ort. Kuvvet (N)	Basınç Day. (N/mm ²)	Ort. Bas. Day (N/mm ²)
28 gün	Kalıp 3.1	1	3,5	-	40,85	40,56	160	35000	34000	34500	20,82	20,83
	Kalıp 3.2				40,89	40,20	160	34000	34000	34000	20,68	
	Kalıp 3.3				40,61	40,46	160	35000	34000	34500	20,99	
28 gün	Kalıp 3.1	1	1,5	8	40,85	39,91	160	7500	7500	7500	4,53	4,29
	Kalıp 3.2				40,89	40,51	160	7000	7000	7000	4,13	
	Kalıp 3.3				40,61	39,95	160	7000	7000	7000	4,22	
28 gün	Kalıp 3.1	1	4	-	40,24	40,19	160	25000	24000	24500	15,14	14,48
	Kalıp 3.2				40,73	40,35	160	23000	24000	23500	14,30	
	Kalıp 3.3				40,79	40,26	160	23000	23000	23000	14,00	
28 gün	Kalıp 3.1	1	3	-	41,47	39,98	160	38000	41000	39500	23,82	23,46
	Kalıp 3.2				42,30	40,35	160	37000	38000	37500	21,97	
	Kalıp 3.3				41,41	40,26	160	40000	42000	41000	24,59	
28 gün	Kalıp 3.1	1	3,5	x mad	42,01	40,40	160	30000	32000	31000	18,26	18,26
	Kalıp 3.2											
	Kalıp 3.3											
28 gün	Kalıp 3.1	1	3,5	y mad	41,96	40,51	160	31000	30000	30500	17,94	18,14
	Kalıp 3.2				41,64	40,92	160	33000	31000	32000	18,78	
	Kalıp 3.3				41,52	40,78	160	30000	30000	30000	17,71	
28 gün	Kalıp 3.1	1	3,5	x+y mad	41,94	40,13	160	29000	30000	29500	17,52	17,27
	Kalıp 3.2				41,98	40,62	160	28000	29000	28500	16,71	
	Kalıp 3.3				41,75	40,81	160	30000	30000	30000	17,60	

7.5.1.3. Aderans Deneyi

Aderans deneyi için bütün taban tuğlası ile bütün harman tuğlası üzerine üretilen harçlardan epoksi yapıştırılmış ve 28 gün beklendikten sonra dynameter ile kopma değerleri ölçülmüştür. (Şekil 7.18, Şekil 7.19)



Şekil 7.18: Aderans deneyi düzeneği



Şekil 7.19: Aderans deneyinde harçların tuğladan kopma anı

Tablo 7.13: Taban tuğlaları ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçları

Karışım Oranı Çim-Kum-Kireç			Örnek Adı Taban Tuğlaları	Örnek y.çapı (mm)	Alan (mm ²)	Kopma Değeri (N)	Kopma Muk. (N/mm ²)	Ort. Muk. (N/mm ²)
1	3.5	-	T1	28,67	2580	410	0,1589	0,15
			T2	28,30	2514	360	0,1431	
			T3	27,94	2451	395	0,1611	
1	1.5	8	T1	28,26	2507	340	0,1356	0,14
			T2	28,46	2543	150*	0,0589	
			T3	29,15	2668	380	0,1424	
1	4	-	T1	29,79	2786	280*	0,1005	0,34
			T2	25,41	2027	690	0,3404	
			T3	29,38	2710	940	0,3468	
1	3	-	T1	29,33	2701	93*	0,0290	0,06
			T2	28,61	2570	155	0,0603	
			T3	28,84	2611	179	0,0685	
1	3.5	%06 x mad	T1	27,80	2426	290	0,1195	0,13
			T2	27,96	2454	340	0,1385	
			T3	27,61	2393	Okunamadı	-	
1	3.5	%06 y mad	T1	29,24	2684	1330	0,4955	0,50
			T2	28,36	2525	380*	0,1504	
			T3	28,46	2543	470*	0,1848	
1	3.5	%06 x+y	T1	27,44	2364	840	0,3553	0,35
			T2	28,72	2589	207*	0,0799	
			T3	28,82	2608	910	0,3489	

* Ortalamayı sağtırdığı için değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 7.14: Harman tuğlaları ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçları

Karışım Oranı Çim-Kum-Kireç			Örnek Adı Harman Tuğlaları	Örnek y.çapı (mm)	Alan (mm ²)	Kopma Değeri (N)	Kopma Muk. (N/mm ²)	Ort. Muk. (N/mm ²)
1	3.5	-	H1	28,64	2575	550	0,2136	0,20
			H2	29,18	2673	535	0,2001	
			H3	29,22	2680	105*	0,0391	
1	1.5	8	H1	28,42	2536	135	0,0532	0,05
			H2	28,86	2615	okunamadı	-	
			H3	29,12	2662	okunamadı	-	
1	4	-	H1	28,51	2550	790	0,3098	0,28
			H2	29,28	2691	390*	0,1449	
			H3	29,23	2682	690	0,2572	
1	3	-	H1	28,61	2570	128	0,0498	0,06
			H2	29,20	2677	201	0,0750	
			H3	29,30	2695	78*	0,0289	
1	3.5	%06 x mad	H1	28,26	2507	510	0,2034	0,20
			H2	28,81	2606	110*	0,0422	
			H3	25,94	2112	okunamadı	-	
1	3.5	%06 y mad	H1	28,84	2611	270*	0,1034	0,42
			H2	28,44	2539	330*	0,1299	
			H3	28,20	2497	1050	0,4205	
1	3.5	%06 x+y	H1	28,82	2608	1020	0,3911	0,40
			H2	28,60	2568	okunamadı	-	
			H3	27,93	2449	110*	0,0449	

* Ortalamayı sağtırdığı için değerlendirmeye alınmamıştır.

7.5.2. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Fiziksel Deneyler

Karışım oranları yukarıdaki bölümlerde belirtilen harçlardan yaklaşık 7 cm çapında, 1.5 cm yüksekliğinde silindirler üretilmiştir. Bu silindirlerle 28. günün sonunda,

- buhar geçirimlilik deneyi yapılmıştır.

Buhar geçirimlilik deneyi için örneklerden üçer tane üretilip, deney sonucunda yapılan hesaplarda elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

7.5.2.1 Buhar Geçirimlilik Deneyi

Buhar geçirimlilik deneyi için üretilen silindir harç örnekleri 28 gün sonra, iç kısımlarına nem tutuculuk özelliği olan kalsiyum klorür (CaCl_2) koyulan plastik bardakların üzerine oturtulmuştur. Harç numunesi ile bardağın ara kesitine parafin sürülerek CaCl_2 'nin hava ile teması kesilmiştir.



Şekil 7.20: Desikatörün içindeki numuneler

Numuneler daha sonra alt kısmına su konmuş ve nem oranı yükseltilmiş desikatörün içine yerleştirilmiştir. Kapların dışında ve desikatörün içindeki nem higrometre ile günlük olarak ölçülmüştür.(Şekil 7.21)



Şekil 7.21: Buhar geçirimlilik deneyi

Kabın içindeki CaCl_2 ve numune arasındaki nem ise ön bir deney ile belirlenmiştir. Laboratuvar ortamındaki nem ve sıcaklık bir termo-higrometre ile sürekli kaydedilmiştir.

Ağırlık ölçümleri 24 saatlik periyotlarla, Mettler marka, en fazla kapasitesi 160gr ve duyarlılığı 1/100000gr olan hassas terazi ile yapılmıştır. İlk tartım numune üretiminden 28 gün sonra yapılmıştır.(Şekil 7.22)



Şekil 7.22: Buhar geçirimsizlik deneyi için örneklerin tartılması

Tablo 7.15: Harç ve duvar numunelerinin 28 günlük buhar geçirimsizlik deneyi sonuçları 1

	Karışım Oranı 1-3.5 (çim. – kum)			Karışım Oranı 1-8-1.5 (çim-kir.- kum)			Karışım Oranı 1-4 (çim. – kum)			Karışım Oranı 1-3 (çim. – kum)		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
2r _{ort} (mm)	70,0	70,7	70,5	69,2	69,8	70,0	70,0	71,0	70,5	69,3	67,7	68,9
h _{ort} (mm)	16,6	17,2	16,3	15,9	16,8	16,5	15,6	15,6	15,0	15,5	16,0	16,2
Alan (cm ²)	38,46	39,12	38,90	37,59	38,24	38,46	38,46	39,57	38,90	37,59	35,87	37,15
d _s (mm)	20	20	23	18	15	20	18	17	18	19	20	16
İlk ağırlık (gr)	160,2	162,8	153,4	149,9	155,3	151,9	143,4	153,1	147,0	155,1	155,1	161,2
24 sa. ağı.	160,3	162,8	153,4	150,0	155,5	152,1	143,7	153,4	147,4	155,3	155,4	161,3
Fark ağı.	0,02	0,02	0,03	0,136	0,151	0,167	0,339	0,317	0,361	0,207	0,270	0,150
72 sa. ağı.				150,5	156,0	152,6	144,8	154,5	148,5			
Fark ağı.				0,63	0,65	0,69	1,37	1,40	1,53			
96 sa. ağı.	160,5	163,0	153,6	150,8	156,2	152,9	145,1	154,8	148,9	155,8	156,0	161,8
Fark ağı.	0,31	0,21	0,24	0,88	0,92	0,98	1,67	1,71	1,90	0,74	0,88	0,61
120 sa. ağı.	160,7	163,2	153,8							156,1	156,3	161,9
Fark ağı.	0,43	0,36	0,39							1,00	1,16	0,75
168 sa. ağı.	161,0	163,4	154,0	151,6	157,1	153,8	145,7	155,5	149,9	156,8	157,1	162,6
Fark ağı.	0,75	0,62	0,63	1,71	1,78	1,85	2,29	2,38	2,90	1,79	2,03	1,43
192 sa. ağı.	161,1	163,6	154,2	151,9	157,3	154,0	145,9	155,8	149,9	157,1	157,4	162,9
Fark ağı.	0,9	0,73	0,80	1,95	2,02	2,11	2,57	2,68	2,91	2,07	2,33	1,69
240 sa. ağı.				152,3	157,8	154,5	146,8	156,7	150,9			
Fark ağı.				2,44	2,50	2,60	3,41	3,61	3,88			
264 sa. ağı.	161,6	163,9	154,6	152,6	158,0	155,6	147,1	157,0	151,2	157,7	158,0	163,3
Fark ağı.	1,35	1,05	1,26	2,65	2,72	3,69	3,70	3,92	4,20	2,64	2,94	2,15
288 sa. ağı.	161,7	163,9	154,7							158,0	158,4	163,6
Fark ağı.	1,47	1,12	1,38							2,94	3,25	2,43
μ	9,80	11,1	9,26	3,13	2,84	2,58	1,91	1,86	17,3	3,15	25,9	3,86
μ _{ort}	10,0855			2,8548			7,0304			10,9982		

Tablo 7.16: Harç ve duvar numunelerinin 28 günlük buhar geçirimsizlik deneyi sonuçları 2

	Karışım Oranı 1-3,5 (çim. – kum) %0,6 x mad.			Karışım Oranı 1-3,5 (çim. – kum) %0,6 y mad.			Karışım Oranı 1-3,5 (çim. – kum) %0,3 x + %0,3 y		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
2r _{ort} (mm)	69,9	71,0	69,6	69,3	71,2	70,3	70,8	74,1	70,3
h _{ort} (mm)	14,7	15,8	15,6	15,3	17,1	17,7	15,7	16,8	15,1
Alan (cm ²)	38,35	39,57	38,02	37,70	39,80	38,80	39,35	43,10	38,80
d _h (mm)	20	16	16	16	17	16	17	22	18
İlk ağırlık (gr)	158,6	151,6	152,3	145,2	169,1	165,2	154,0	176,7	145,0
24 sa. ağı.	159,0	151,9	152,7	145,4	169,2	165,4	154,2	176,9	145,1
Fark ağı.	0,36	0,284	0,362	0,185	0,13	0,14	0,164	0,14	0,189
72 sa. ağı.				145,9	169,5	165,9			
Fark ağı.				0,72	0,49	0,64			
96 sa. ağı.	160,1	152,9	153,9	146,2	169,8	166,1	155,0	177,6	146,0
Fark ağı.	1,50	1,255	1,545	1,01	0,73	0,86	1,025	0,84	1,076
120 sa. ağı.	160,4	153,1	154,1				155,3	177,9	146,3
Fark ağı.	1,79	1,522	1,798				1,294	1,2	1,361
168 sa. ağı.	161,1	153,7	154,8	147,1	170,4	166,8	155,9	178,4	146,9
Fark ağı.	2,49	2,111	2,447	1,89	1,37	1,59	1,879	1,71	1,936
192 sa. ağı.	161,4	154,0	155,1	147,4	170,7	167,1	156,2	178,7	147,2
Fark ağı.	2,80	2,373	2,749	2,17	1,64	1,84	2,174	2,01	2,215
240 sa. ağı.				147,9	171,2	167,5			
Fark ağı.				2,72	2,14	2,28			
264 sa. ağı.	162,3	154,8	156,0	148,2	171,5	167,7	157,1	179,0	148,0
Fark ağı.	3,67	3,172	3,708	2,98	2,40	2,53	3,083	2,25	3,009
288 sa. ağı.	162,6	155,0	156,3				157,4	179,1	148,0
Fark ağı.	3,98	3,443	3,999				3,389	2,35	3,022
μ	2,11	2,38	2,01	2,95	3,63	3,09	2,89	3,46	2,90
μ _{ort}	2,1677			3,2305			3,0858		

Hesaplarda kullanılan formüller:

$$\mu = (1 / h_{ort}) \times (\delta_h \times A \times ((P_1 - P_2) / G) - d_h) \quad (7.6)$$

$$\mu = (1 / h_{ort}) \times (\delta_h \times A \times ((2064.1 \times \psi_{dis} - 2064.1 \times \psi_{ic}) / G) - d_h)$$

t_{ort} : 18 C⁰ için tablodan 2064.1 Pascal su buhar basıncı okunmuştur.

$$\delta_h = (0.083 / (R_B \times T)) \times (P_0 / P) \times (T / 273) \quad (7.7)$$

$$G = F_{ort} / 24 \text{ saat denklemlerinde,} \quad (7.8)$$

h_{ort} (m) : numune kalınlığı

δ_h (kg/msaPa) : havanın su buharı iletkenliğini

A (m²) : su buharının geçtiği numune alanını

P₁ ve P₂ (Pa) : su buhar basıncını

G (kg/saat) : su buharı geçiş oranını

Karışım oranları;

Tablo 7.17: Tuğla duvarlarda kullanılan harçların karışım oranları tablosu

Çimento (gr)	Kum (gr)	Kireç (gr)	Katkı Maddesi	Su (gr)	Su/Çimento
1000	3500	-		628	0,62
1000	8000	1500		1897	1,89 (0,75)*
1000	4000	-		717,34	0,71
1000	3000	-		606,42	0,60
1000	3500	-	%0,6 x mad. *	628	0,62
1000	3500	-	%0,6 y mad. *	628	0,62
1000	3500	-	%0,6 x+y *	628	0,62

* Karışımlardaki katkı maddeleri çimento miktarının yüzdesi olarak alınmıştır.

1 : 3.5 oranını içeren karışımla yapılan numunelerle ilk kılcalılık deneyi yapılmıştır.

Tabandan suya geçirilen numuneler belirli aralıklarla tartılarak kaydedilmiştir.

Kılcalılık tablosu 7.18'deki gibidir:

Tablo 7.18: 1:3.5'lik harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcalılık deneyi sonuçları

Kılcalılık Deneyi (1 - 3.5)	HARÇ NUMUNELERİ			HARMAN TUĞLASI			TABAN TUĞLASI		
	K1	K2	K3	H1	H2	H3	T1	T2	T3
a (mm)	40,36	40,33	40,80	45,70	46,37	48,58	51,20	50,24	49,93
b (mm)	40,81	40,52	41,17	200,20	190,70	200,50	210,40	220,10	210,30
L (mm)	160	160	160	91,33	95,13	93,95	97,38	92,76	93,95
Alan (cm ²)	16,47	16,34	16,79	91,49	88,43	97,40	107,72	110,58	105,00
Ettüv kurusu ağırlık (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama nem ağırlığı (gr)	526,96	530,75	533,76	1482,47	1530,26	1554,51	2286,41	2253,95	2267,72
İlk ağırlık (gr)	527,09	530,92	533,92	1486,41	1532,75	1556,87	2287,25	2254,65	2268,52
4. dakika ağırlığı (gr)	528,82	532,32	535,72	1544,89	1570,11	1601,67	2294,55	2260,60	2276,17
9. dak. ağırlığı (gr)	528,86	532,88	536,33	1548,09	1582,31	1611,58	2297,14	2262,52	2278,37
16. dak. ağırlığı (gr)	529,24	533,36	536,87	1549,07	1588,43	1614,24	2299,64	2264,44	2280,64
25. dak. ağırlığı (gr)	529,76	533,90	537,44	1550,06	1589,97	1615,38	2302,44	2266,57	2283,23
36. dak. ağırlığı (gr)	530,27	534,44	537,98	1551,15	1590,49	1616,35	2306,02	2268,02	2286,09
49. dak. ağırlığı (gr)	530,72	534,89	538,44	1552,08	1591,15	1617,40	2308,18	2271,11	2288,07
1sa. 04. dak. ağırlığı (gr)	531,25	535,40	538,94	1553,13	1591,90	1618,26	2310,67	2273,58	2289,45
1sa. 21. dak. ağırlığı (gr)	531,82	536,00	539,54	1554,21	1592,54	1619,48	2312,64	2276,08	2290,79
1sa. 40. dak. ağırlığı (gr)	532,25	536,47	540,03	1555,20	1593,11	1620,68	2313,92	2278,06	2291,96
2sa. 01. dak. ağırlığı (gr)	532,65	536,90	540,40	1556,26	1593,47	1621,14	2314,72	2279,10	2292,69
2sa. 24. dak. ağırlığı (gr)	533,04	537,33	540,77	1557,08	1593,70	1622,04	2315,43	2280,20	2293,25
2sa. 49. dak. ağırlığı (gr)	533,48	537,80	541,23	1558,56	1594,53	1623,30	2316,16	2281,47	2294,01
N _{su}	0,0325	0,0356	0,0399	0,1265	0,1095	0,1049	0,0268	0,0214	0,0257
N _{net}		0,03606			0,113668			0,024693	

$$e = N\sqrt{t}$$

$$e = m_1 - m_0 / A$$

e= birim alandan emilen su miktarı (gr/cm²)

m₁= örneklerin belirli bir zamandaki ağırlıkları (gr)

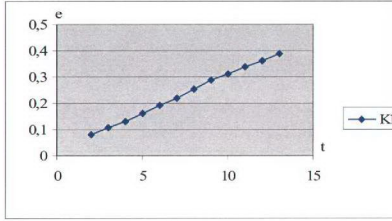
m₀= örneklerin ilk ağırlıkları (gr)

A = suya değen taban alan (cm²)

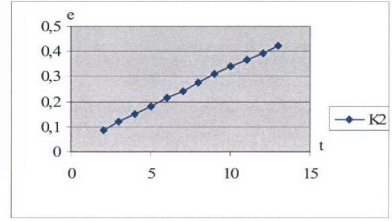
N = kılcalılık katsayısı (cm³/cm²√dak)

t = dakika

Numunelerin zamana bağlı olarak emdikleri su miktarlarının grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiklerin korrelasyon katsayıları da hemen alt kısımlarında belirtilmiştir.

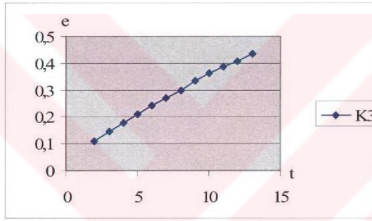


$R \approx 1$

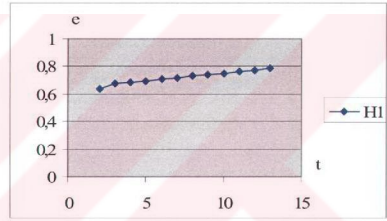


$R \approx 1$

Şekil 7.25: K1 ve K2 numuneleri su emme – zaman grafikleri

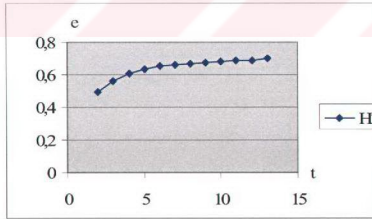


$R \approx 1$

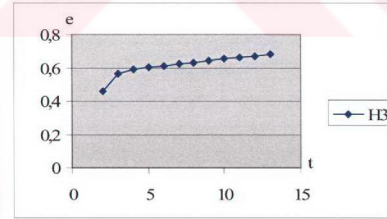


$R \approx 1$

Şekil 7.26: K3 ve H1 numuneleri su emme – zaman grafikleri

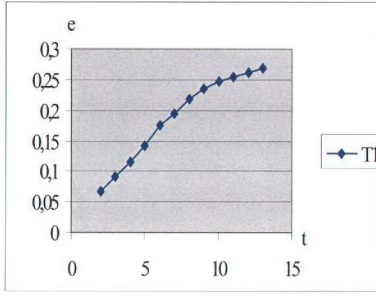


$R \approx 0,90$

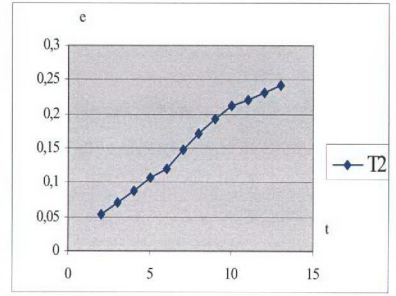


$R = 0,90$

Şekil 7.27: H2 ve H3 numuneleri su emme – zaman grafikleri

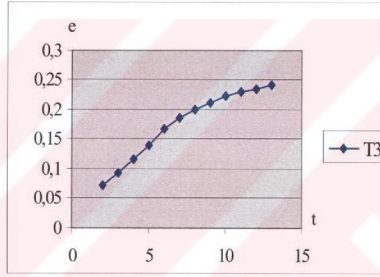


R= 0,97



R $\cong$ 1

Şekil 7.28: T1 ve T2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



R= 0,97

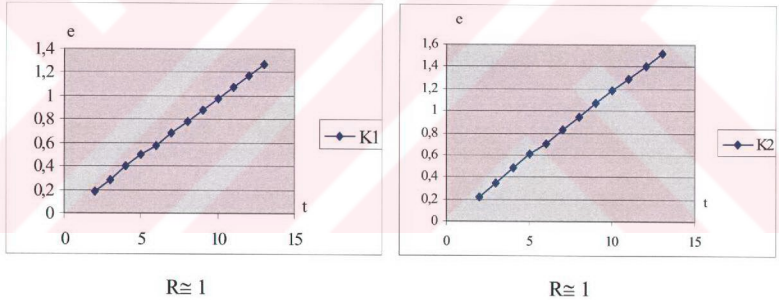
Şekil 7.29: T3 numunesi su emme – zaman grafiği

1: 8: 1.5 oranını içeren karışımla yapılan numunelerle ikinci kılcallık deneyi yapılmıştır. Tabandan suya değdirilen numuneler belirli aralıklarla tartılarak kaydedilmiştir. Kılcallık tablosu tablo 7.19'daki gibidir:

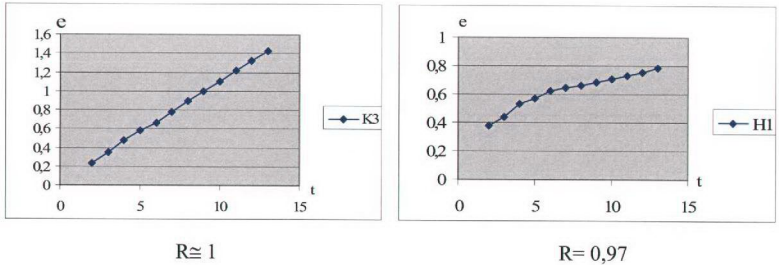
Tablo 7.19: 1: 8: 1.5 'luk harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcalılık deneyi sonuçları

Kılcalılık Deneyi (1 – 8 – 1.5)	HARÇ NUMUNELERİ			HARMAN TUĞLASI			TABAN TUĞLASI		
	K1	K2	K3	H1	H2	H3	T1	T2	T3
a (mm)	41,11	41,50	40,92	49,70	48,04	48,39	51,43	50,18	50,70
b (mm)	40,04	40,07	40,44	200,3	190,80	190,90	220,40	210,10	220,10
L (mm)	160	160	160	94,41	95,81	88,19	96,37	93,55	93,55
Alan (cm ²)	16,46	16,63	16,55	99,54	91,66	92,37	113,35	105,42	111,59
Etüv kuru su ağırlığı (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama nem ağırlığı (gr)	498,06	497,57	494,13	1525,43	1371,20	1418,48	2302,31	2188,42	2269,62
İlk ağırlık (gr)	498,40	497,87	494,50	1528,25	1373,58	1420,76	2303,26	2189,50	2270,54
4. dakika ağırlığı (gr)	501,35	501,54	498,37	1565,59	1418,02	1455,48	2308,86	2196,18	2276,63
9. dak. ağırlığı (gr)	503,05	503,58	500,18	1577,19	1433,83	1467,09	2311,20	2199,10	2278,80
16. dak. ağırlığı (gr)	505,02	505,91	502,30	1584,71	1442,21	1475,35	2313,87	2201,91	2281,55
25. dak. ağırlığı (gr)	506,66	507,94	504,10	1588,06	1446,38	1478,28	2316,35	2204,68	2284,05
36. dak. ağırlığı (gr)	507,91	509,55	505,52	1589,90	1449,09	1480,28	2318,30	2206,97	2285,99
49. dak. ağırlığı (gr)	509,59	511,61	507,38	1592,22	1452,72	1482,81	2321,03	2210,20	2288,77
1sa. 04. dak. ağırlığı (gr)	511,27	513,61	509,19	1594,17	1456,53	1485,26	2323,69	2213,54	2291,38
1sa. 21. dak. ağırlığı (gr)	512,89	515,58	510,99	1596,33	1460,43	1487,94	2326,29	2216,16	2294,05
1sa. 40. dak. ağırlığı (gr)	514,51	517,51	512,81	1598,54	1464,68	1490,56	2328,81	2219,08	2296,64
2sa. 01. dak. ağırlığı (gr)	516,11	519,39	514,62	1600,86	1469,04	1493,46	2331,44	2221,86	2299,33
2sa. 24. dak. ağırlığı (gr)	517,66	521,29	516,39	1603,36	1473,59	1496,53	2334,11	2224,73	2302,02
2sa. 49. dak. ağırlığı (gr)	519,25	523,13	518,13	1606,05	1478,04	1499,68	2337,17	2227,26	2304,52
N _{art}	0,0970	0,1173	0,1125	0,0995	0,1423	0,1041	0,0229	0,0287	0,0239
N _{ortancı}	0,108969			0,115328			0,025209		

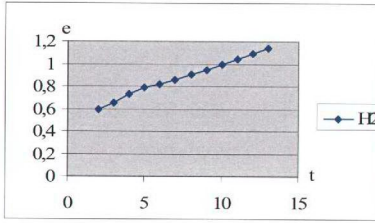
Numunelerin zamana bağlı olarak emdikleri su miktarlarının grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiklerin korelasyon katsayıları da hemen alt kısımlarında belirtilmiştir.



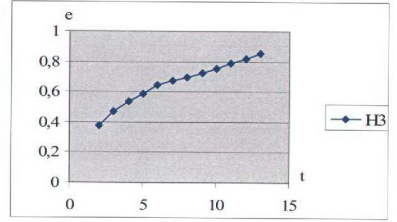
Şekil 7.30: K1 ve K2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



Şekil 7.31: K3 ve H1 numuneleri su emme – zaman grafikleri

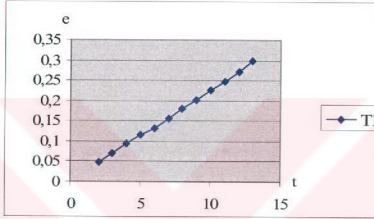


$R \approx 1$

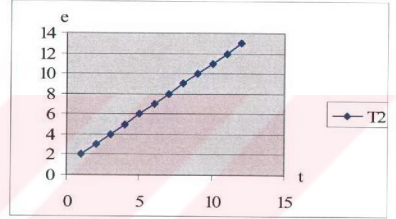


$R = 0,97$

Şekil 7.32: H2 ve H3 numuneleri su emme – zaman grafikleri

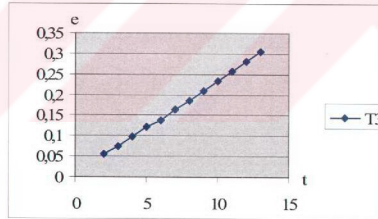


$R \approx 1$



$R = 1$

Şekil 7.33 T1 ve T2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



$R \approx 1$

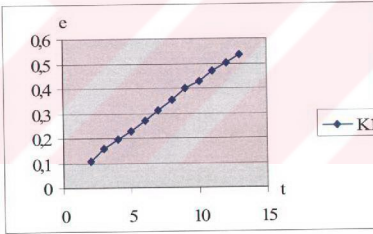
Şekil 7.34 T3 numunesi su emme – zaman grafiği

1: 4 oranını içeren karışımla yapılan numunelerle üçüncü kılcılık deneyi yapılmıştır. Tabandan suya geçirilen numuneler belirli aralıklarla tartılarak kaydedilmiştir. Kılcalılık tablosu tablo 7.20'deki gibidir:

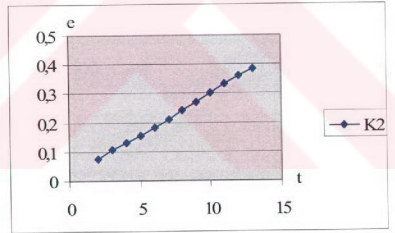
Tablo 7.20 1:4'lük harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük külcalklık deneyi sonuçları

Külcalklık Deneyi (1 – 4)	HARÇ NUMUNELERİ			HARMAN TUĞLASI			TABAN TUĞLASI		
	K1	K2	K3	H1	H2	H3	T1	T2	T3
a (mm)	42,18	42,23	41,97	48,17	47,70	47,59	50,22	49,30	50,56
b (mm)	40,35	40,74	40,66	195,00	192,00	222,00	225,00	225,00	225,00
L (mm)	160	160	160	96,99	90,47	96,18	93,27	93,27	94,94
Alan (cm ²)	17,02	17,20	17,06	93,93	91,58	105,64	112,99	110,92	113,76
Etüt kurusu ağırlık (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama nem ağırlığı (gr)	528,27	533,69	528,59	1545,12	1538,89	1491,80	2251,33	2251,33	2283,06
İlk ağırlık (gr)	528,67	534,01	528,94	1547,30	1542,63	1496,30	2252,29	2252,29	2284,91
4. dakika ağırlığı (gr)	530,51	535,34	530,51	1567,73	1587,17	1546,17	2257,71	2257,71	2296,20
9. dak. ağırlığı (gr)	531,38	535,86	531,12	1576,51	1589,87	1550,54	2260,11	2260,11	2301,07
16. dak. ağırlığı (gr)	532,01	536,26	531,63	1583,19	1590,14	1551,32	2261,68	2261,68	2305,34
25. dak. ağırlığı (gr)	532,57	536,64	532,67	1589,07	1590,21	1552,09	2263,05	2263,05	2309,25
36. dak. ağırlığı (gr)	533,29	537,16	532,76	1594,98	1590,59	1552,53	2265,05	2265,05	2314,07
49. dak. ağırlığı (gr)	533,99	537,61	533,16	1597,96	1590,84	1553,18	2266,76	2266,76	2317,21
1sa. 04. dak. ağırlığı (gr)	534,68	538,14	533,77	1599,30	1591,48	1554,13	2269,51	2269,51	2319,18
1sa. 21. dak. ağırlığı (gr)	535,46	538,68	534,31	1600,43	1591,63	1555,72	2271,08	2271,08	2321,43
1sa. 40. dak. ağırlığı (gr)	535,98	539,18	534,87	1601,46	1592,21	1555,75	2273,35	2273,35	2322,84
2sa. 01. dak. ağırlığı (gr)	536,70	539,72	535,38	1602,40	1592,60	1557,20	2275,12	2275,12	2323,18
2sa. 24. dak. ağırlığı (gr)	537,21	540,20	535,88	1603,39	1592,68	1557,22	2276,48	2276,48	2323,79
2sa. 49. dak. ağırlığı (gr)	537,80	540,63	536,35	1604,42	1592,76	1558,84	2278,40	2278,40	2324,78
N _{ort}	0,0457	0,0315	0,0369	0,0742	0,0940	0,0950	0,0167	0,0198	0,0385
N _{ortgenel}	0,038075			0,087814			0,025046		

Numunelerin zamana bağlı olarak emdikleri su miktarlarının grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiklerin korrelasyon katsayıları da hemen alt kısımlarında belirtilmiştir.

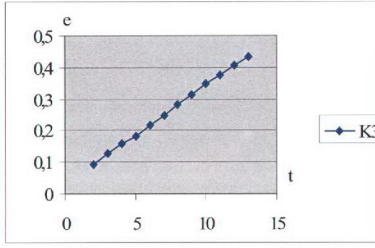


$$R \approx 1$$

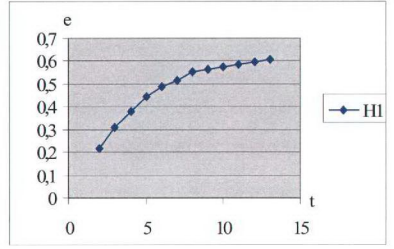


$$R \approx 1$$

Şekil 7.35: K1 ve K2 numuneleri su emme – zaman grafikleri

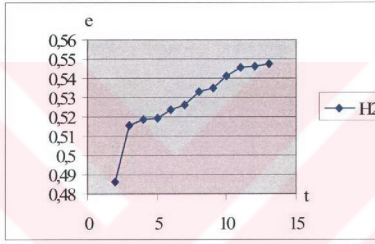


$$R \cong 1$$

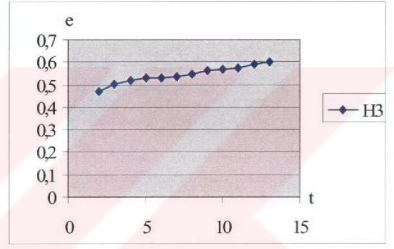


$$R = 0,92$$

Şekil 7.36: K3 ve H1 numuneleri su emme – zaman grafikleri

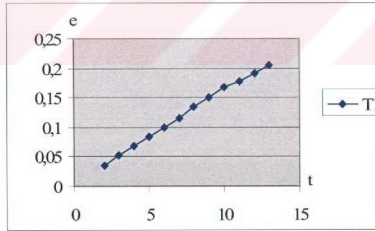


$$R = 0,92$$

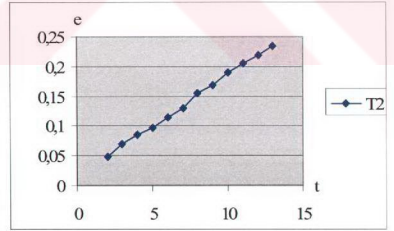


$$R = 0,98$$

Şekil 7.37: H2 ve H3 numuneleri su emme – zaman grafikleri

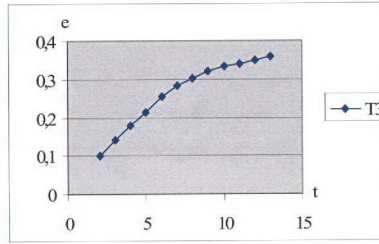


$$R \cong 1$$



$$R \cong 1$$

Şekil 7.38: T1 ve T2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



R= 0,96

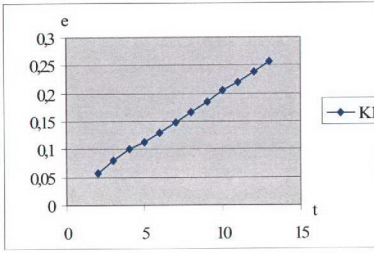
Şekil 7.39: T3 numunesi su emme – zaman grafiği

1: 3 oranını içeren karışımla yapılan numunelerle dördüncü kılcallık deneyi yapılmıştır. Tabandan suya geçirilen numuneler belirli aralıklarla tartılarak kaydedilmiştir. Kılcallık tablosu tablo 7.21'deki gibidir:

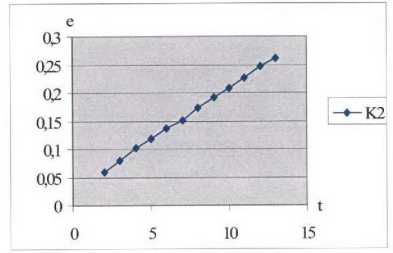
Tablo 7.21 1:3'lük harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları

Kılcallık Deneyi (1 – 3)	HARÇ NUMUNELERİ			HARMAN TUĞLASI			TABAN TUĞLASI		
	K1	K2	K3	H1	H2	H3	T1	T2	T3
a (mm)	42,51	42,11	41,91	47,96	47,57	48,56	50,50	52,94	51,07
b (mm)	40,27	40,43	40,49	190,00	188,00	195,00	210,00	210,00	211,00
L (mm)	160	160	160	88,48	90,99	89,29	85,12	82,41	88,26
Alan (cm ²)	17,12	17,02	16,97	91,124	89,43	94,69	106,05	111,174	107,75
Etüt kurusu ağırlık (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama nem ağırlığı (gr)	544,51	549,98	550,66	1413,22	1476,10	1385,71	2080,74	2025,48	2120,39
İlk ağırlık (gr)	544,74	550,12	550,80	1416,51	1478,83	1389,91	2081,52	2026,63	2121,56
4. dakika ağırlığı (gr)	545,73	551,13	551,82	1467,45	1510,28	1429,17	2086,72	2037,36	2131,63
9. dak. ağırlığı (gr)	546,10	551,49	552,12	1471,36	1513,72	1433,59	2088,48	2040,82	2134,88
16. dak. ağırlığı (gr)	546,47	551,85	552,49	1472,13	1516,27	1438,31	2090,67	2045,31	2138,64
25. dak. ağırlığı (gr)	546,69	552,13	552,77	1472,63	1517,25	1440,53	2092,08	2048,20	2141,37
36. dak. ağırlığı (gr)	546,97	552,43	553,05	1472,98	1517,89	1442,39	2093,96	2050,34	2144,31
49. dak. ağırlığı (gr)	547,28	552,68	553,30	1473,34	1518,00	1443,82	2095,65	2051,47	2145,80
1sa. 04. dak. ağırlığı (gr)	547,60	553,06	553,62	1473,59	1518,20	1444,84	2097,76	2052,45	2146,85
1sa. 21. dak. ağırlığı (gr)	547,92	553,40	553,88	1474,07	1518,57	1445,65	2099,37	2052,97	2147,70
1sa. 40. dak. ağırlığı (gr)	548,25	553,67	554,11	1474,47	1518,77	1546,57	2100,76	2053,45	2148,10
2sa. 01. dak. ağırlığı (gr)	548,52	553,97	554,36	1474,76	1518,97	1547,16	2101,64	2053,67	2148,80
2sa. 24. dak. ağırlığı (gr)	548,83	554,33	554,69	1475,38	1519,26	1548,41	2102,59	2054,11	2149,52
2sa. 49. dak. ağırlığı (gr)	549,13	554,58	554,86	1475,54	1519,49	1548,99	2103,27	2054,60	2149,76
N _{ort}	0,0223	0,0229	0,0220	0,1092	0,0745	0,0934	0,0193	0,0317	0,0314
N _{ortgenel}		0,022421			0,09241			0,027499	

Numunelerin zamana bağlı olarak emdikleri su miktarlarının grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiklerin korrelasyon katsayıları da hemen alt kısımlarında belirtilmiştir.

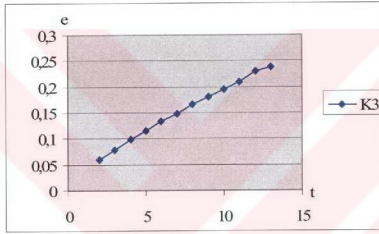


$R \cong 1$

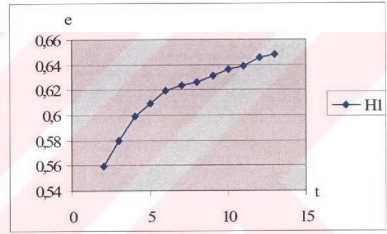


$R \cong 1$

Şekil 7.40: K1 ve K2 numuneleri su emme – zaman grafikleri

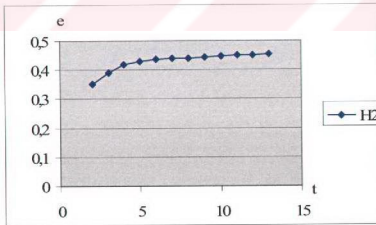


$R \cong 1$

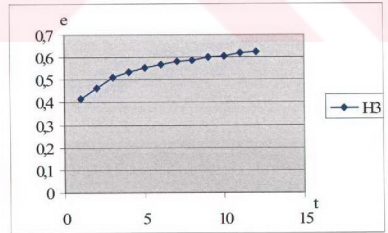


$R = 0,94$

Şekil 7.41: K3 ve H1 numuneleri su emme – zaman grafikleri

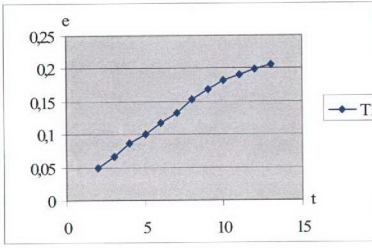


$R \cong 0,90$

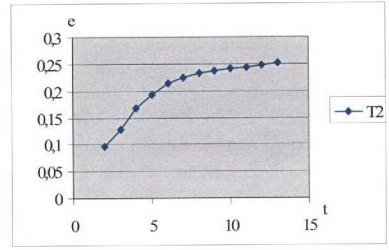


$R \cong 0,94$

Şekil 7.42: H2 ve H3 numuneleri su emme – zaman grafikleri

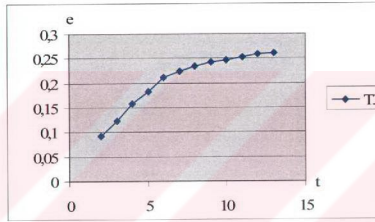


$R \cong 1$



$R = 0,90$

Şekil 7.43: T1 ve T2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



$R = 0,93$

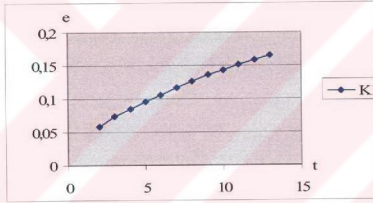
Şekil 7.44: T3 numunesi su emme – zaman grafiği

1: 3,5 oranında %0,6 x maddesi içeren katkılı karışımla yapılan numunelerle beşinci kılcallık deneyi yapılmıştır. Tabandan suya geçirilen numuneler belirli aralıklarla tartılarak kaydedilmiştir. Kılcallık tablosu tablo 7.22'deki gibidir:

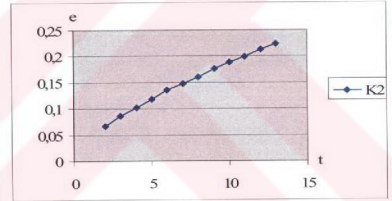
Tablo 7.22: 1:3.5 karışım oranı ve %0,6 x katkısı içeren harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük küçallık deneyi tablosu

Küçallık Deneyi (1 – 3.5 %0,6 x kat.)	HARÇ NUMUNELERİ			HARMAN TUĞLASI			TABAN TUĞLASI		
	K1	K2	K3	H1	H2	H3	T1	T2	T3
a (mm)	41,88	41,19	41,76	47,59	48,21	48,21	51,02	51,02	50,11
b (mm)	39,88	40,27	40,35	198	195	194	210	208	208
L (mm)	160	160	160	91,34	84,20	90,70	84,93	88,84	86,01
Alan (cm ²)	16,70	16,58	16,85	94,22	94,00	93,52	107,142	106,12	104,22
Etüv kurusu ağırlık (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama nem ağırlığı (gr)	533,96	544,78	529,02	1478,84	1379,48	1487,83	2081,62	2107,16	2109,23
İlk ağırlık (gr)	534,02	544,95	529,19	1483,10	1383,63	1490,70	2082,34	2108,33	2110,34
4. dakika ağırlığı (gr)	535,00	546,06	530,60	1533,70	1436,15	1522,61	2087,58	2115,95	2115,77
9. dak. ağırlığı (gr)	535,26	546,38	530,99	1540,92	1439,22	1526,04	2089,61	2118,11	2117,15
16. dak. ağırlığı (gr)	535,44	546,65	531,32	1544,78	1439,79	1526,32	2091,66	2120,28	2118,95
25. dak. ağırlığı (gr)	535,62	546,92	531,64	1545,76	1441,18	1527,17	2093,77	2123,31	2120,22
36. dak. ağırlığı (gr)	535,79	547,19	531,92	1546,41	1441,04	1527,40	2095,92	2125,71	2122,26
49. dak. ağırlığı (gr)	535,96	547,39	532,19	1547,23	1442,15	1527,58	2097,86	2128,40	2124,00
1sa. 04. dak. ağırlığı (gr)	536,13	547,61	532,50	1547,91	1442,46	1527,60	2099,84	2130,13	2125,59
1sa. 21. dak. ağırlığı (gr)	536,29	547,86	532,79	1548,46	1443,39	1527,68	2101,26	2131,21	2126,97
1sa. 40. dak. ağırlığı (gr)	536,40	548,06	533,08	1549,20	1444,44	1527,97	2102,44	2131,63	2128,59
2sa. 01. dak. ağırlığı (gr)	536,54	548,26	533,32	1549,66	1445,31	1527,77	2103,21	2132,42	2129,45
2sa. 24. dak. ağırlığı (gr)	536,66	548,49	533,60	1550,72	1445,96	1528,11	2104,04	2133,76	2130,55
2sa. 49. dak. ağırlığı (gr)	536,79	548,65	533,85	1551,57	1446,89	1528,94	2104,42	2133,81	2131,17
N _{ort}	0,0177	0,0222	0,0272	0,1160	0,1097	0,0691	0,0201	0,0256	0,0189
N _{ortalama}	0,022429			0,09829			0,02158		

Nümunelerin zamana bağlı olarak emdikleri su miktarlarının grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiklerin korelasyon katsayıları da hemen alt kısımlarında belirtilmiştir.

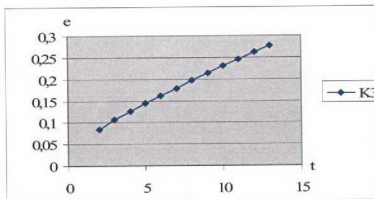


$R \approx 1$

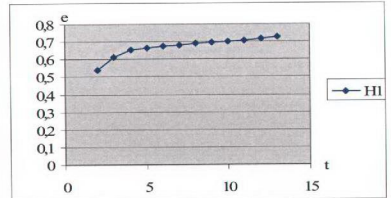


$R \approx 1$

Şekil 7.45: K1 ve K2 numuneleri su emme – zaman grafikleri

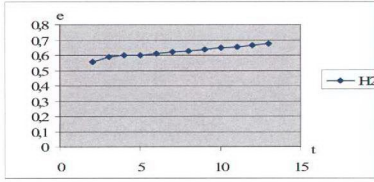


$R \approx 1$

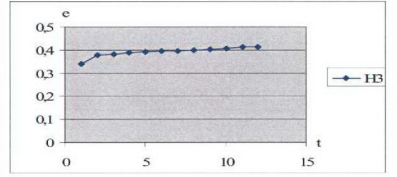


$R = 0,88$

Şekil 7.46: K3 ve H1 numuneleri su emme – zaman grafikleri

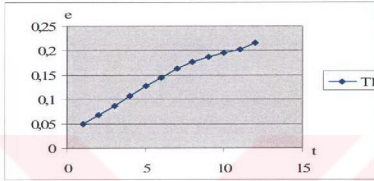


$$R = 0,98$$

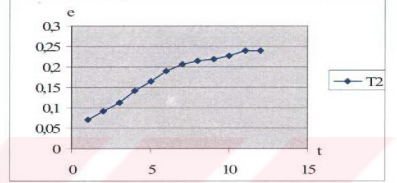


$$R \approx 0,89$$

Şekil 7.47: H2 ve H3 numuneleri su emme – zaman grafikleri

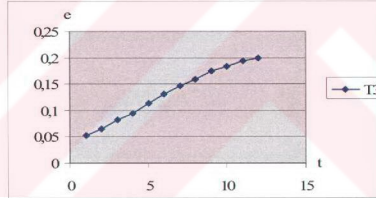


$$R \approx 0,99$$



$$R \approx 0,97$$

Şekil 7.48: T1 ve T2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



$$R \approx 1$$

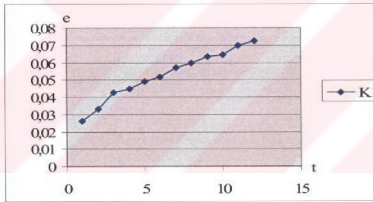
Şekil 7.49: T3 numunesi su emme – zaman grafiği

1: 3.5 oranında %06 y maddesi içeren katkılı karışımla yapılan numunelerle altıncı kılcallık deneyi yapılmıştır. Tabandan suya geçirilen numuneler belirli aralıklarla tartılarak kaydedilmiştir. Kılcallık tablosu aşağıdaki gibidir:

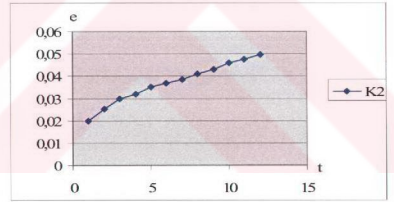
Tablo 7.23: 1:3.5 karışım oranı ve %0,6 y katkısı içeren harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları

Kılcallık Deneyi (1 – 3.5 %0,6 b kat.)	HARÇ NUMUNELERİ			HARMAN TUĞLASI			TABAN TUĞLASI		
	K1	K2	K3	H1	H2	H3	T1	T2	T3
a (mm)	41,21	40,98	40,83	49,75	48,75	46,22	48,91	50,25	51,06
b (mm)	41,09	40,43	40,46	210	212,00	209	200	191	198
L (mm)	160	160	160	86,36	92,10	92,32	87,85	87,91	89,50
Alan (cm ²)	16,93	16,56	16,52	104,47	103,35	96,60	97,82	95,97	101,10
Etüv kuru ağırlık (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama nem ağırlığı (gr)	511,69	516,85	511,56	1400,63	1468,22	1471,96	2071,22	2130,69	2160,64
İlk ağırlık (gr)	511,90	517,02	511,70	1405,90	1473,05	1475,92	2073,28	2132,55	2162,02
4. dakika ağırlığı (gr)	512,34	517,35	512,06	1437,58	1510,51	1509,48	2079,05	2137,76	2166,08
9. dak. ağırlığı (gr)	512,46	517,44	512,12	1448,98	1523,02	1524,25	2080,78	2140,11	2167,15
16. dak. ağırlığı (gr)	512,62	517,51	512,20	1455,21	1527,46	1533,49	2083,62	2142,48	2168,78
25. dak. ağırlığı (gr)	512,66	517,55	512,24	1459,06	1529,11	1538,33	2085,84	2144,88	2170,03
36. dak. ağırlığı (gr)	512,73	517,60	512,33	1460,54	1529,79	1540,84	2088,43	2147,45	2172,06
49. dak. ağırlığı (gr)	512,78	517,61	512,34	1460,60	1530,13	1541,04	2090,73	2149,00	2173,46
1sa. 04. dak. ağırlığı (gr)	512,87	517,66	512,40	1460,82	1530,44	1541,67	2092,62	2150,31	2175,27
1sa. 21. dak. ağırlığı (gr)	512,91	517,70	512,44	1461,35	1530,86	1541,97	2093,79	2151,56	2176,48
1sa. 40. dak. ağırlığı (gr)	512,97	517,73	512,46	1461,55	1531,14	1542,45	2094,06	2152,76	2178,83
2sa. 01. dak. ağırlığı (gr)	512,99	517,78	512,50	1462,08	1531,62	1542,56	2095,09	2153,55	2179,85
2sa. 24. dak. ağırlığı (gr)	513,08	517,81	512,59	1462,23	1531,74	1542,71	2095,09	2154,38	2181,08
2sa. 49. dak. ağırlığı (gr)	513,13	517,82	512,59	1462,91	1532,26	1542,78	2095,28	2154,91	2182,17
N _{ort}	0,0080	0,0057	0,0061	0,08201	0,0902	0,1025	0,0237	0,0231	0,0164
N _{genel}	0,006636			0,091632			0,021129		

Numunelerin zamana bağlı olarak emdikleri su miktarlarının grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiklerin korrelasyon katsayıları da hemen alt kısımlarında belirtilmiştir.

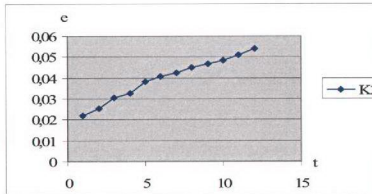


$R \approx 0,98$

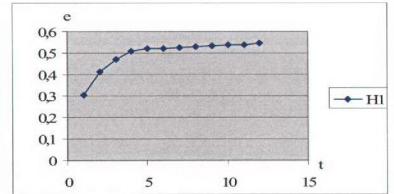


$R \approx 0,99$

Şekil 7.50: K1 ve K2 numuneleri su emme – zaman grafikleri

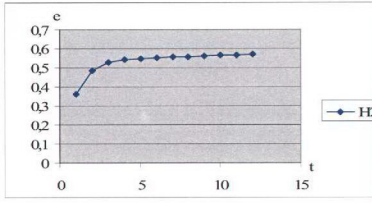


$R \approx 0,99$

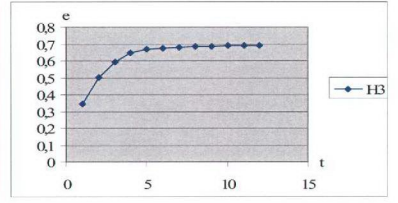


$R \approx 0,80$

Şekil 7.51: K3 ve H1 numuneleri su emme – zaman grafikleri

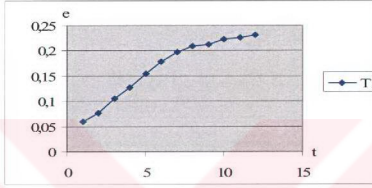


$$R = 0,76$$

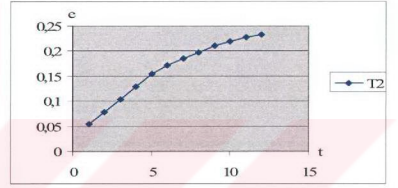


$$R \cong 0,77$$

Şekil 7.52: H2 ve H3 numuneleri su emme – zaman grafikleri

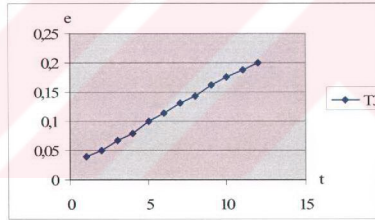


$$R = 0,97$$



$$R \cong 0,98$$

Şekil 7.53: T1 ve T2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



$$R \cong 1$$

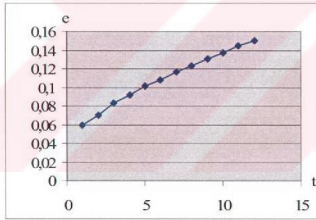
Şekil 7.54: T3 numunesi su emme – zaman grafiği

1: 3.5 oranında %0,3 x ve %0,3 y maddesi içeren katkılı karışımla yapılan numunelerle sonuncu kılcallık deneyi yapılmıştır. Tabandan suya geçirilen numuneler belirli aralıklarla tartılarak kaydedilmiştir. Kılcallık tablosu aşağıdaki gibidir:

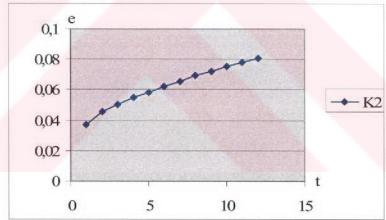
Tablo 7.24: 1:3.5 karışım oranı ve %0,3 x +%0,3 y katkısı içeren harç karışımı ile üretilen duvar ve yalın harç numuneleri için 28 günlük külcalklık deneyi sonuçları

Külcalklık Deneyi (1 – 3.5 %0,3 x +%0,3 y kat.)	HARÇ NUMUNELERİ			HARMAN TUĞLASI			TABAN TUĞLASI		
	K1	K2	K3	H1	H2	H3	T1	T2	T3
a (mm)	42,14	42,64	42,44	48,60	48,65	48,44	50,62	50,80	50,29
b (mm)	40,15	40,76	40,63	203	197,00	198,00	214,00	214,5	215,00
L (mm)	160	160	160	109,43	88,08	88,18	86,91	81,69	87,70
Alan (cm ²)	16,91	17,38	17,24	98,65	95,85	95,91	108,32	108,96	108,12
Etüt kurusu ağırlık (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama nem ağırlığı (gr)	512,86	522,43	507,31	1917,14	1434,05	1412,34	2067,58	1963,07	2044,81
İlk ağırlık (gr)	513,03	522,66	507,56	1923,44	1439,73	1417,69	2069,19	1964,65	2046,59
4. dakika ağırlığı (gr)	514,03	523,30	508,41	1970,17	1482,11	1458,06	2076,93	1970,82	2053,02
9. dak. ağırlığı (gr)	514,22	523,45	508,65	1982,65	1493,85	1470,49	2080,54	1973,65	2055,78
16. dak. ağırlığı (gr)	514,44	523,53	508,73	1986,42	1496,05	1473,12	2083,68	1976,04	2057,90
25. dak. ağırlığı (gr)	514,59	523,61	508,86	1989,70	1496,61	1473,86	2087,39	1978,80	2060,52
36. dak. ağırlığı (gr)	514,75	523,67	509,00	1992,80	1497,15	1474,42	2091,08	1981,84	2063,66
49. dak. ağırlığı (gr)	514,86	523,74	509,10	1995,94	1497,52	1474,66	2093,56	1984,08	2066,15
1sa. 04. dak. ağırlığı (gr)	515,01	523,80	509,16	1998,87	1497,90	1475,11	2095,08	1985,52	2067,54
1sa. 21. dak. ağırlığı (gr)	515,11	523,87	509,33	2002,21	1498,69	1476,04	2095,67	1986,44	2068,93
1sa. 40. dak. ağırlığı (gr)	515,25	523,91	509,42	2005,85	1498,86	1476,06	2096,17	1986,88	2069,47
2sa. 01. dak. ağırlığı (gr)	515,36	523,97	509,55	2009,51	1499,36	1476,78	2096,86	1987,28	2069,86
2sa. 24. dak. ağırlığı (gr)	515,48	524,02	509,64	2013,54	1499,80	1477,06	2096,88	1987,47	2070,14
2sa. 49. dak. ağırlığı (gr)	515,58	524,06	509,72	2017,60	1499,84	1477,08	2096,88	1987,75	2070,58
N _{ort}	0,0168	0,0098	0,0140	0,1233	0,1037	0,1024	0,0292	0,0232	0,0237
N _{ortgenel}	0,013582			0,109829			0,025407		

Numunelerin zamana bağlı olarak emdikleri su miktarlarının grafiği aşağıdaki gibidir. Grafiklerin korelasyon katsayıları da hemen alt kısımlarında belirtilmiştir.

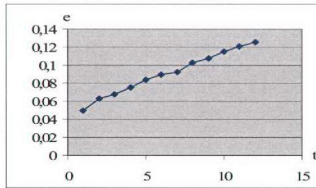


$R \approx 1$

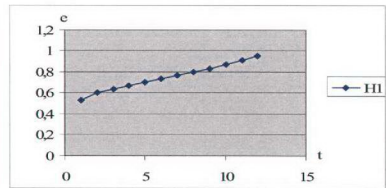


$R \approx 0,99$

Şekil 7.55: K1 ve K2 numuneleri su emme – zaman grafikleri

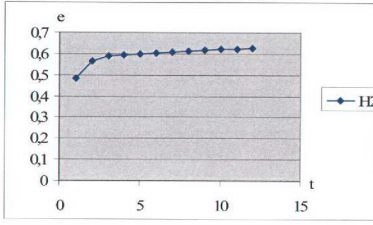


$R \approx 1$

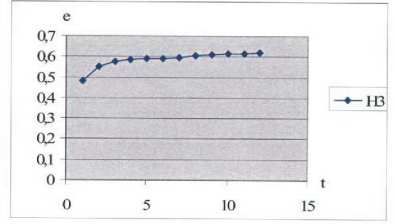


$R \approx 1$

Şekil 7.56: K3 ve H1 numuneleri su emme – zaman grafikleri

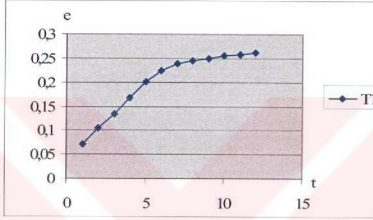


$R \cong 0,81$

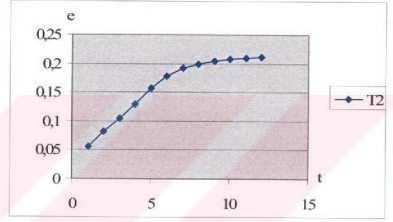


$R \cong 0,86$

Şekil 7.57: H2 ve H3 numuneleri su emme – zaman grafikleri

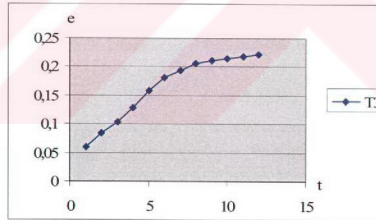


$R = 0,93$



$R = 0,95$

Şekil 7.58: T1 ve T2 numuneleri su emme – zaman grafikleri



$R = 0,95$

Şekil 7.59: T3 numunesi su emme – zaman grafiği

8. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve İRDELENMESİ

Grafiklerde elde edilen sonuçlar 7. bölümde hesapları yapılarak çizilen tablolardan elde edilmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi karşılaştırmalı olarak grafiklerle birlikte verilmiştir.

8.1. Deneylerin Değerlendirilmesi

Yapılan deneysel çalışmanın sonunda elde edilen değerler grafikler yardımı ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Tablolarda rahat gösterim için her bir karışım oranı farklı bir alfabetik harf ile ifade edilmiştir. Karışım oranları ve onlara karşılık gelen harfler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 8.1: Numunelerin oranlarına göre kodlanması

Karışım Kodu	Çimento	Kum	Kireç	X katkısı	Y katkısı
a	1	3,5	-	-	-
b	1	8	1,5	-	-
c	1	4	-	-	-
d	1	3	-	-	-
e	1	3,5	-	%06 x	-
f	1	3,5	-	-	%06 y
g	1	3,5	-	%03 x	%03 y

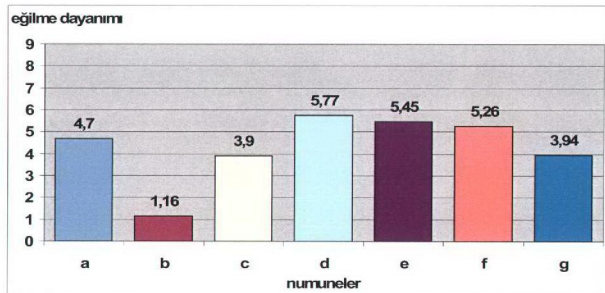
8.1.1. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Mekanik Deneylerin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Harç numuneleri üzerinde,

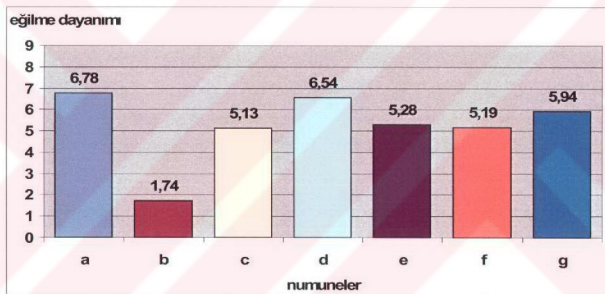
- eğilmede çekme tayini
- basınç ve
- aderans deneyi yapılmıştır.

8.1.1.1. Eğilmede Çekme Dayanımının Değerlendirilmesi

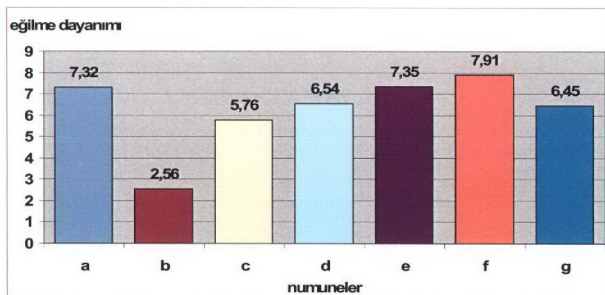
Harç numunelerinin eğilmede çekme tayini deney sonuçlarının karşılaştırma grafikleri aşağıdaki şekillerde yer almaktadır. Birimi N/mm^2 'dir



Şekil 8.1: 7 günlük eğilmede çekme tayini deneyi sonuçları



Şekil 8.2: 14 günlük eğilmede çekme tayini deneyi sonuçları



Şekil 8.3: 28 günlük eğilmede çekme tayini deneyi sonuçları

Eğilmede çekme tayini deney sonuçları incelendiğinde her üç periyotluk ölçümlerde en düşük dayanım değerine sahip karışım b (çimento/kum/kireç – 1/8/1,5) ile sembolize edilen karışım yani kireçli karışımdır. En yüksek dayanım değerine sahip karışım 7. günün sonunda d (çimento/kum – 1/3) iken 28. günün sonunda f (çimento/kum/y maddesi – 1/3,5/%06 y mad.) yani y katkı maddesi içeren karışım olmuştur.

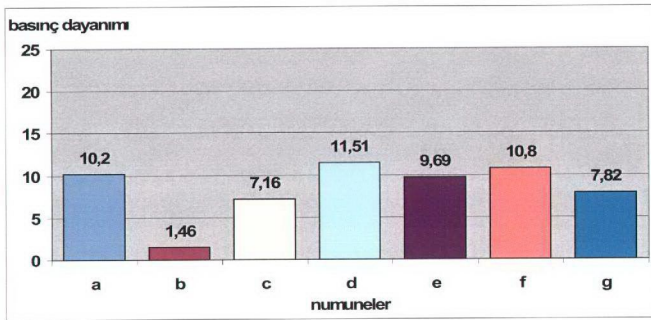
Katkısız harç karışımları a (çimento/kum, 1/3,5), c (çimento/kum, 1/4) ve d (çimento/kum, 1/3) kodlu karışımlar eğilmede çekme deneyi açısından kıyaslandığında, 28 günlük ölçümler sonucu en yüksek mukavemete sahip harç karışımı a kodlu karışım olmuştur.

a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) karışım ile aynı çimento kum oranına sahip katkılı karışımlar e kodlu (x maddesi katkılı), f kodlu (y maddesi katkılı), g kodlu (x ve y maddesi katkılı) numuneler 28 günlük eğilmede çekme tayini deneyi bakımından kıyaslandığında f kodlu (y katkılı) karışımın en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre f kodlu karışım a kodlu karışımın çekme mukavemetinden %08 daha fazla mukavemete sahiptir. Katkısız a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) numune ile e kodlu (x maddesi katkılı) numune arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir.

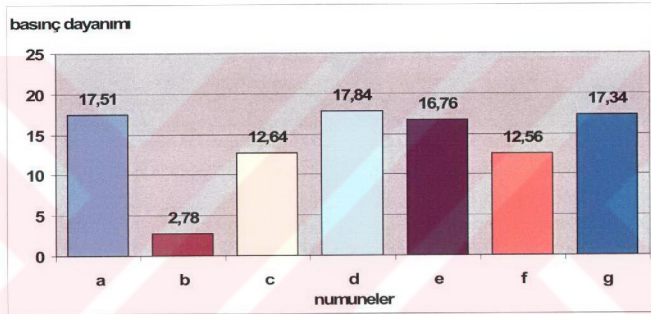
Katkılı karışımlar arasında bir değerlendirmeye gidildiğinde her üç katkılı karışım da e (x katkılı), f (y katkılı) ve g (x ve y katkılı) karışımları 7 günlük eğilmede çekme tayini deneyinde belli bir değere sahipken 14 günlük deney sonucunda dayanım değerlerinde bir azalma görülmektedir. Fakat 28 günlük deney sonucunda her üç karışımda da dayanım açısından bir artış söz konusu olmaktadır. 28 günlük deney sonucunda e kodlu (x maddesi katkılı) karışım 14 günlük deney sonucuna oranla %39 daha fazla dayanım kazanmışken f kodlu (y maddesi katkılı) karışım %52 ve g kodlu (x + y maddesi katkılı) karışım %8,5 daha fazla dayanım kazanmıştır.

8.1.1.2. Basınç Dayanımının Değerlendirilmesi

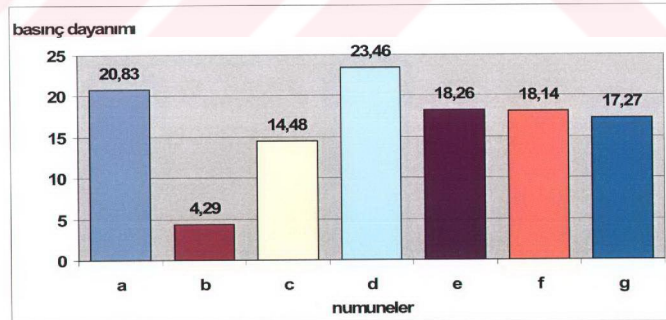
Harç numunelerinin basınç deneyi sonuçlarının karşılaştırma grafikleri aşağıdaki şekillerde yer almaktadır. Birimi N/mm^2 'dir.



Şekil 8.4: 7 günlük basınç deneyinin sonuçları



Şekil 8.5: 14 günlük basınç deneyinin sonuçları



Şekil 8.6: 28 günlük basınç deneyinin sonuçları

Basınç deneyi sonuçları incelendiğinde her üç periyotluk ölçümlerde en düşük dayanım değerine sahip karışım b (çimento/kum/kireç – 1/8/1,5) ile sembolize edilen karışım yani kireçli karışımdır. En yüksek dayanım değerine sahip karışım ise 28. günün sonunda d (çimento/kum – 1/3) olmuştur.

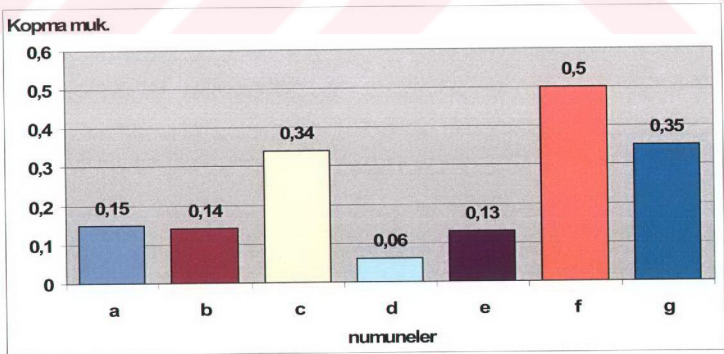
Katkısız harç karışımları a (çimento/kum, 1/3,5), c (çimento/kum, 1/4) ve d (çimento/kum, 1/3) kodlu karışımlar basınç deneyi açısından karşılaştırıldığında, 28 günlük ölçümler sonucu en yüksek mukavemete sahip karışım d kodlu karışım yani çimento dozajı en yüksek olan numune olmuştur.

Katkısız a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) karışım ile aynı çimento kum oranına sahip katkılı karışımlar e kodlu (x maddesi katkılı), f kodlu (y maddesi katkılı), g kodlu (x ve y maddesi katkılı) numuneler basınç deneyi bakımından kıyaslandığında a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) karışımın en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu tesbit edilse de elde edilen değerler birbirlerine yakındır. Katkı maddelerinin 28 günlük mukavemete anlamlı bir etkisi olmamıştır.

Katkılı karışımlar da e, f ve g 28. günün sonunda basınç dayanımları açısından birbirleri ile kıyaslandığında aralarında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir.

8.1.1.3. Aderans Deneyinin Değerlendirilmesi

Taban tuğlası ile yapılan aderans deneyi sonuçlarının karşılaştırma grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir. Birimi N/mm^2 'dir



Şekil 8.7: Taban tuğlası ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçları

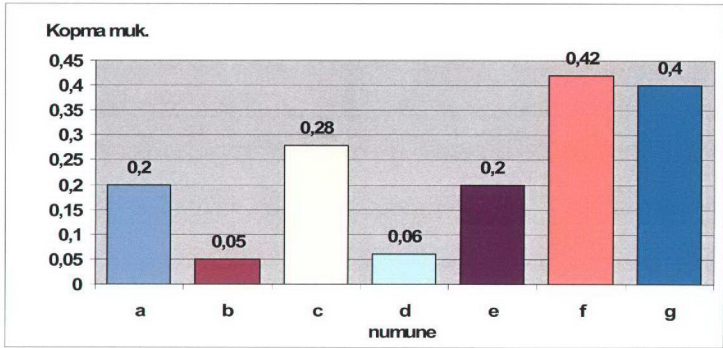
Yukarıdaki grafik incelendiğinde taban tuğlası ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçlarına göre en yüksek kopma mukavemetine sahip harç numunesi f (çimento/kum/katkı maddesi – 1/3,5/%06 y maddesi) isimli harç numunesidir. En düşük kopma mukavemetine sahip harç ise d (çimento/kum – 1/3) isimli harç numunesidir.

Katkısız harç karışımları a (çimento/kum, 1/3,5), b (çimento/kum/kireç, 1/8/1,5), c (çimento/kum, 1/4) ve d (çimento/kum, 1/3) kodlu karışımlar 28 günlük aderans deney sonuçları bakımından karşılaştırıldığında en yüksek kopma mukavemetine sahip numune c numunesidir. Daha sonra a,b ve en sonunda d kodlu numunedir. Çimento dozajı arttıkça kopma mukavemeti azalmaktadır.

Şekil 8.7'deki aderans deneyi sonuç grafiğine göre a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) karışım ile aynı çimento kum oranına sahip katkılı karışımlar e (x maddesi katkılı), f (y maddesi katkılı), g (x ve y maddesi katkılı) kodlu karışımların aderans deney sonuçlarına bakıldığında f kodlu numunenin aderans dayanımının taban tuğlasında a kodlu numunenin aderans dayanımından yaklaşık %321 daha fazla olduğu görülmektedir.

Bunun yanında e kodlu (x maddesi katkılı) karışımın aderans mukavemeti taban tuğlası ile yapılan deneyde a kodlu numunenin aderans mukavemetinden düşüktür. Aradaki fark çok anlamlı değildir. Bunun yanında taban tuğlası ile yapılan deneyde x ve y katkı maddelerinin beraber kullanıldığı g kodlu numune, a kodlu numuneye kıyasla 28. günün sonunda tuğla ile yaklaşık %228 daha fazla aderans mukavemetine sahiptir.

Harman tuğlası ile yapılan aderans deneyi sonuçlarının karşılaştırma grafiği şekil 8.8'de verilmiştir. Birimi N/mm^2 'dir.



Şekil 8.8: Harman tuğlası ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçları

Harman tuğlası ile yapılan 28 günlük aderans deneyi sonuçları göz önüne alındığında b kodlu (çimento/kum/kireç – 1/8/1,5) kireçli harç karışımının en düşük aderans mukavemetine sahip olduğu görülmektedir.

Yapılan deney sonucunda en yüksek aderans mukavemetine sahip harç numunesi f (çimento/kum/katkı maddesi – 1/3,5/%06 y maddesi) isimli harç numunesidir.

Katkısız harç karışımları a (çimento/kum, 1/3,5), c (çimento/kum, 1/4) ve d (çimento/kum, 1/3) kodlu karışımlar 28 günlük aderans deney sonuçları bakımından kıyaslandığında en yüksek kopma mukavemetine sahip numune c numunesidir. Daha sonra a ve en sonunda d kodlu numunedir. Çimento dozajı arttıkça kopma mukavemeti azalmaktadır.

Şekil 8.8’deki 28 günlük aderans deneyi sonuçları grafiğine göre a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) karışım ile aynı çimento kum oranına sahip katkılı karışımlar e (x maddesi katkılı), f (y maddesi katkılı), g (x ve y maddesi katkılı) kodlu karışımların aderans deney sonuçlarına bakıldığında f kodlu numunenin aderans dayanımının a kodlu numunenin aderans dayanımından yaklaşık %203 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre f kodlu numuneye y katkı maddesi aderansı artırıcı yönde etki etmiştir.

Bunun yanında harman tuğlası ile yapılan deneyde x ve y katkı maddelerinin beraber kullanıldığı g kodlu numune, a kodlu numuneye kıyasla 28. günün sonunda tuğla ile yaklaşık %189 daha fazla aderans mukavemetine sahiptir.

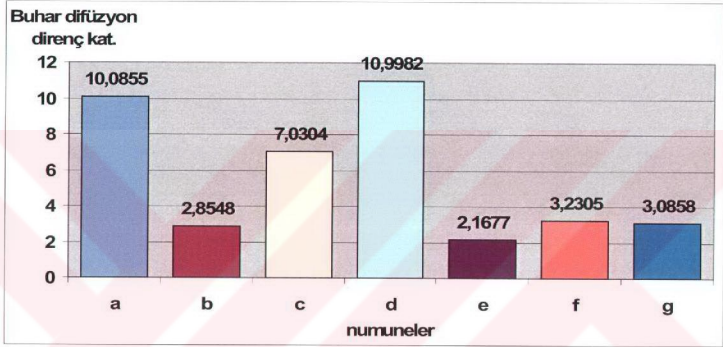
8.1.2. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Fiziksel Deneylerin Değerlendirilmesi

Harç numuneleri üzerinde yapılan fiziksel deney,

- buhar geçirimlilik deneyidir.

8.1.2.1. Buhar Geçirimlilik Deneyinin Değerlendirilmesi

Harç numunelerinin buhar difüzyon direnç katsayısı sonuçlarının karşılaştırma grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 8.9: Buhar difüzyon direnç katsayısı tayini 28 günlük deney sonuçları

Katkısız harç numuneleri; a kodlu numune (çimento/kum, 1/3,5), b kodlu numune (çimento/kum/kireç, 1/8/1,5), c kodlu numune (çimento/kum, 1/4) ve d kodlu numune (çimento/kum, 1/3) dikkate alındığında, 28 günlük buhar geçirimlilik deneyi sonuçlarına göre kireçli karışımın en düşük buhar difüzyon direnç katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Gözenekli yapısı yüzünden kireçli harç buharın geçişine daha fazla olanak vermekte böylece harçta nefes alış veriş mümkün olmaktadır. Bu durumda da buhar difüzyon direnç katsayısı düşük çıkmaktadır.

Yukarıdaki şekil 8.9'daki buhar geçirimlilik deneyi sonuçları grafiği incelendiğinde en yüksek direnç katsayısına sahip olan harç karışımının d kodlu (çimento/kum – 1/3) karışım olduğu anlaşılmaktadır. Sonra sıra ile a kodlu harç numunesi (çimento/kum, 1/3,5) ve c kodlu (çimento/kum, 1/4) harç numunesidir. Buradan çimento dozajının artışı ile buhar yönünden geçirimsiz bir harç elde edileceği rahatlıkla söylenebilir.

Katkısız karışım a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) karışım ile aynı çimento kum oranına sahip katkılı karışımlar e (x maddesi katkılı), f (y maddesi katkılı), g (x ve y maddesi katkılı) şekil 8.9'a göre karşılaştırıldığında, katkıların 28. günün sonunda buhar difüzyon direnç katsayısını oldukça düşürdüğü görülmektedir. Sonuç grafiğine göre e kodlu (x maddesi katkılı) numune a kodlu (katkısız) numunenin direnç katsayısını yaklaşık %80 , f kodlu (y maddesi katkılı) numune yaklaşık %68, g kodlu (x ve y maddesi katkılı) numune ise yaklaşık %70 oranında azaltmıştır. Yine yukarıdaki grafiğe göre e kodlu numune f kodlu numuneye göre %33 daha düşük direnç katsayısına sahiptir. Tüm bu verilerle katkı maddelerinin harç numunelerinde buhar geçiririliğini artırdığı sonucuna varılabilmektedir.

8.1.3. Kılcallık Deneylerinin Değerlendirilmesi

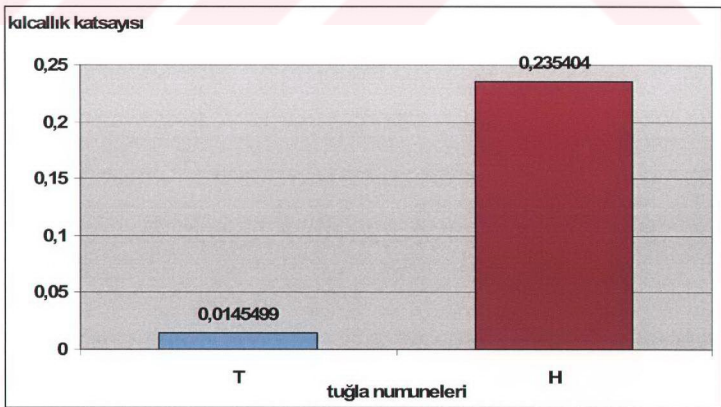
Tuğlalar, harçlar ve tuğla duvar numuneleri ile yapılan kılcallık deneyi sonuçları aşağıda verilmiştir.

8.1.3.1. Tuğlalar Üzerinde Yapılan Kılcallık Deneylerinin Değerlendirilmesi

Tuğlalar ile yapılan kılcallık deneyi sonuçlarının karşılaştırma grafiği şekil 8.10'da verilmiştir. Birimi $\text{cm}/\sqrt{\text{dak}}$ 'dır.

Taban tuğla: T

Harman tuğla: H

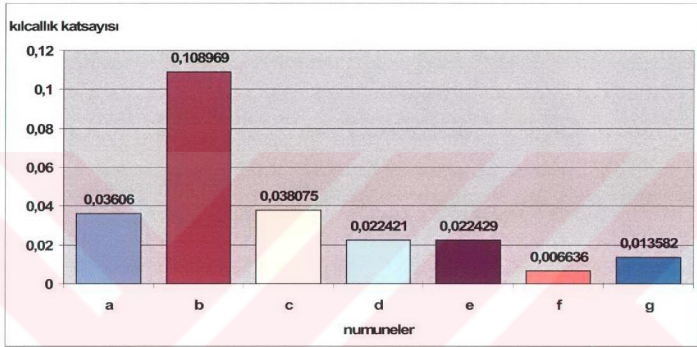


Şekil 8.10: Tuğla numuneleri ile yapılan kılcallık deneyi sonuçları

Tuğla numuneleri ile yapılan kılcallık deneyi sonuçları grafiği incelendiğinde taban tuğlasının kılcallık katsayısının harman tuğlasının kılcallık katsayısından oldukça küçük olduğunu göstermektedir. Bu durumda su harman tuğlasında çok daha kısa sürede daha yükseklerle çıkacağını göstermektedir.

8.1.3.2. Harçların Kılcallık Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Harç numuneleri ile yapılan kılcallık deneyi sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 8.11’de verilmiştir. Birimi $\text{cm}/\sqrt{\text{dak}}$ ’dır.



Şekil 8.11: Harç numuneleri ile yapılan 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları

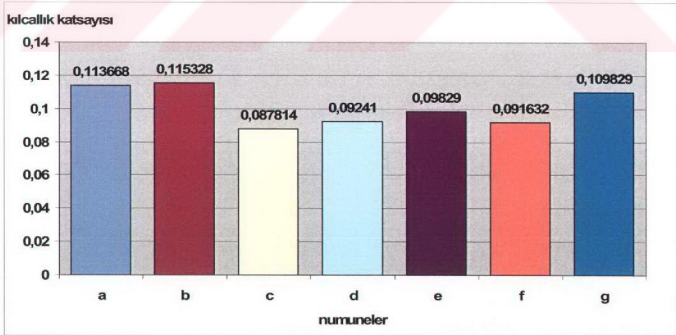
Yukarıdaki harç numunelerinde yapılan 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları grafiğine göre, katkısız harç karışımları a (çimento/kum, 1/3,5), b (çimento/kum/kireç – 1/8/1,5), c (çimento/kum, 1/4) ve d (çimento/kum, 1/3) kodlu karışımların kılcallık deneyi sonuçlarına bakıldığında kireçli harç numunesi olan b kodlu numune en yüksek kılcallık katsayısına sahip numunedir. Kireç boşluklu yapısı yüzünden geçirimli bir harç oluşmasına neden olmuş böylelikle harcın su emiciliği artmıştır. Daha sonra çimento dozajı en az olan c kodlu numunenin kılcallık katsayısı en fazladır. Çimento dozajı arttıkça kılcallık katsayısı azalmaktadır. Çimentonun dozajının artması, boşluk yapısını değiştirerek kılcallık katsayısını etkilemektedir.

Şekil 8.11’deki grafiğe göre a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) karışım ile aynı çimento kum oranına sahip katkılı karışımlar e (x maddesi katkılı), f (y maddesi katkılı), g (x ve y maddesi katkılı) kodlu karışımlar 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları bakımından karşılaştırıldığında katkı maddelerinin kılcallık katsayısını büyük ölçüde azalttığı görülmektedir. Grafiğe göre e kodlu karışımdaki x katkı maddesi kılcallık

katsayısını %38 azaltırken, f kodlu karışımındaki y katkı maddesi yaklaşık %82 azaltmıştır. Her iki katkı maddesi (x ve y maddesi) ile üretilen g kodlu harç numunesinde ise kılcallık katsayısı yaklaşık %63 azalmıştır. Böylece katkı maddelerinin özellikle y katkı maddesinin kılcallığı azaltarak harçta geçirimsiz bir tabaka oluşturduğu sonucu elde edilmektedir.

8.1.3.3. Tuğlalar Duvar Numuneleri Üzerinde Yapılan Kılcallık Deneylerinin Değerlendirilmesi

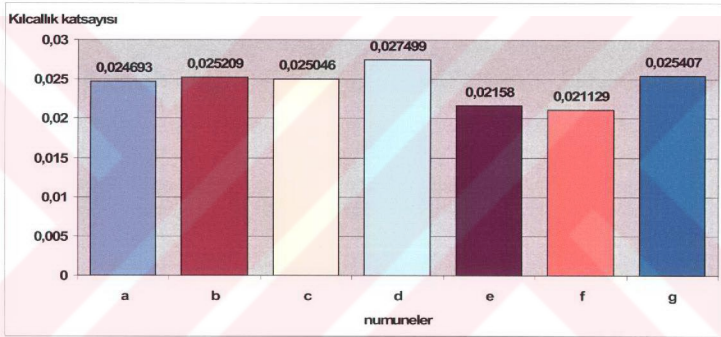
Harman tuğlası ve harçlarla üretilen duvar numuneleri kılcallık deneyi sonuçlarının karşılaştırma grafiği şekil 8.12’de verilmiştir. Harman tuğlası ile örülen duvar numunelerinin 28 günlük kılcallık deney sonuçları grafiği incelendiğinde katkısız harç numuneleri a kodlu (harman tuğlası ve çimento/kum oranı 1/3,5 olan duvar numunesi), b kodlu (harman tuğlası ve çimento/kum/kireç, 1/8/1,5), c kodlu (harman tuğlası ve çimento/kum oranı 1/4 olan duvar numunesi) ve d kodlu (harman tuğlası ve çimento/kum oranı 1/3 olan duvar numunesi) duvar numuneleri arasında en düşük kılcallık katsayısına sahip numune c kodlu numune iken en yüksek kılcallık katsayısına sahip numune ise b kodlu numunedir. Kirecin varlığı daha önceki harç numuneleri üzerinde yapılan kılcallık deneyi sonuçlarında da görüldüğü gibi gözenekli yapıyı artırdığı için kılcallığa daha fazla imkan vermektedir. Bunun yanında çimento dozajının fazla oluşu suyun yükselişini engellemekte böylece kılcallık katsayısının düşük çıkmasına neden olmaktadır. Birimi $\text{cm}/\sqrt{\text{dak}}$ ’dır.



Şekil 8.12: Harman tuğlası ve harçlarla üretilen duvar numuneleri 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları

Şekil 8.12'ye göre a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) katkısız harç numunesi ile üretilen duvar numunesi ile e kodlu (çimento/kum/x katkısı, 1/3,5/%06 x katkısı), f kodlu (çimento/kum/y katkısı, 1/3,5/%06 y katkısı), g kodlu (çimento/kum/x+y katkısı, 1/3,5/%06 x+y katkısı) katkılı harç numuneleri ile üretilen duvar numunelerinin kılcallık deney sonuçları karşılaştırıldığında a kodlu katkısız numune en yüksek kılcallık katsayısına sahip numunedir. Bunun aksine f kodlu y maddesi katkılı numune en düşük kılcallık katsayısına sahip numune iken daha sonra e kodlu x maddesi katkılı numune en düşük kılcallık katsayısına sahip numunedir. Katkı maddeleri kılcallığı azaltıcı yönde etki etmektedir.

Taban tuğlası ve harçlarla üretilen duvar numuneleri kılcallık deneyi sonuçlarının karşılaştırma grafiği aşağıdaki gibidir. Birimi $\text{cm}/\sqrt{\text{dak}}$



Şekil 8.13 Taban tuğlası ve harçlarla üretilen duvar numuneleri 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları

Şekil 8.13'deki taban tuğlası ile örülen duvar numunelerinin 28 günlük kılcallık deney sonuçları grafiği incelendiğinde katkısız harç numuneleri a kodlu (harman tuğlası ve çimento/kum oranı 1/3,5 olan duvar numunesi), b kodlu (harman tuğlası ve çimento/kum/kireç, 1/8/1,5), c kodlu (harman tuğlası ve çimento/kum oranı 1/4 olan duvar numunesi) ve d kodlu (harman tuğlası ve çimento/kum oranı 1/3 olan duvar numunesi) duvar numuneleri arasında en düşük kılcallık katsayısına sahip numune a kodlu numune iken en yüksek kılcallık katsayısına sahip numune ise d kodlu numunedir.

Yukarıdaki grafiğe göre a kodlu (çimento/kum, 1/3,5) katkısız harç numunesi ile üretilen duvar numunesi ile e kodlu (çimento/kum/x katkısı, 1/3,5/%06 x katkısı), f

kodlu (çimento/kum/y katkısı, 1/3,5/%06 y katkısı), g kodlu (çimento/kum/x+y katkısı, 1/3,5/%06 x+y katkısı) katkılı harç numuneleri ile üretilen duvar numunelerinin kılcallık deney sonuçları karşılaştırıldığında f kodlu y maddesi katkılı numune en düşük kılcallık katsayısına sahip numunedir. Daha sonra e kodlu x maddesi katkılı numune gelmektedir. Katkı maddeleri taban tuğlasında da kılcallığı düşürücü yönde etki etmektedir. Fakat katkı maddeleri duvar numunelerinde, harç numunelerinde olduğu gibi çok anlamlı bir etkiye sahip değildir. Bunun nedeni ise suyun sürekli yükselme eğiliminde olmasıdır. Fırsat bulduğu her boşluktan tırmanacaktır. Bu noktada duvarı oluşturan tüm bileşenler ayrı ayrı önem kazanmaktadır.



9. SONUÇLAR

Duvarın bileşenlerinden harca katkı maddeleri katılarak harcın nem ile ilgili performansını araştırmak amacı ile yapılan deneysel çalışmadan alınan sonuçlara göre;

Fiziksel Deney Sonuçları

- Yapılan çalışmadaki 28 günlük buhar geçirimsizlik deney sonuçlarına göre katkısız harç numuneleri arasında en düşük buhar difüzyon direnç katsayısına sahip karışım şekil 8.9'daki grafiğe göre b kodlu kireçli karışım olmuştur. Kireçli harç gözenekli yapısı yüzünden buhar geçişine daha fazla olanak vermektedir.
- En yüksek buhar difüzyon direnç katsayısına sahip katkısız harç numunesi ise d kodlu yani çimento dozajı en yüksek olan numunedir. Buradan çimento dozajının artışı ile buhar yönünden geçirimsiz bir harç elde edileceği rahatlıkla söylenebilir. Geçirimsizlik harcın nefes alış verişini engellemekte bu durum da buharın hapis kalmasına neden olmaktadır ki bu sağlıksız bir ortamın oluşmasına neden olur. Buhar difüzyon direncinin yüksek olması , özellikle soğuk dönemde, ısı kayıplarının olduğu bölgelerde, iç ortamdan dış ortama doğru olan su buharı akımının düşük direnç bölgelerini geçerken, bu malzemelere ulaştığında bir dirençle karşılaşp, sıcaklığın azalması ile duvar iç kesitinde yoğunlaşmasına neden olacaktır. Su buharının dışarı atılmayıp bu geçirimsiz tabaka altında yoğunlaşarak birikmesi, kaplamalarda çatlamalara, kabarmalara ve soğuk havalarda ise donarak kaplamaların dökülmesine neden olacaktır.
- Şekil 8.9'daki 28 günlük buhar difüzyon direnç katsayısı sonuç grafiğine göre katkısız a kodlu karışım ve aynı çimento kum oranındaki katkılı karışımlar e, f ve g arasında en az buhar difüzyon direnç katsayısına sahip karışım e kodlu (x katkılı) karışımdır. Katkılı e kodlu karışım katkısız a kodlu karışımın direnç katsayısını %80 azaltırken, f kodlu (y katkılı) karışım %68 ve g kodlu

(x+y katkılı) karışım %70 azaltmıştır. Tüm bu verilerle katkı maddelerinin harç numunelerinde buhar geçişine daha fazla izin verecek şekilde etki ettiği ve duvarların daha fazla nefes alıp vermesine imkan vereceği sonucu elde edilebilir. Böylece ileride olabilecek yoğuşma problemine karşı geçerli bir önlem alınmış olacaktır.

Kılcallık Deney Sonuçları

- Şekil 8.11'deki harç numuneleri ile yapılan 28 günlük kılcallık deney sonuçları grafiğine göre katkısız harç numuneleri a, b, c ve d arasında en yüksek kılcallık katsayısına sahip numune b kodlu kireçli numunedir. Kireç boşluklu yapısı yüzünden geçirimli bir harç oluşmasına neden olmuş böylelikle harcın su emiciliği artmıştır. Sonuç olarak su kılcallık etkisi ile yukarılara tırmanarak kılcallık katsayısının artmasına neden olmuştur.
- Yapılan çalışmada şekil 8.11'deki 28 günlük kılcallık grafiğine göre kireçli harcın ardından katkısız karışımlar arasında çimento dozajı en az olan c kodlu numunenin kılcallık katsayısı en fazladır. Çimento dozajı arttıkça kılcallık katsayısı azalmaktadır. Çimentonun dozajının artması, kılcal boşlukların yapısını değiştirerek kılcallık katsayısını etkilemektedir.
- Kılcallık deney sonuçlarına göre aynı çimento kum oranındaki katkılı karışımlar e, f ve g kodlu numuneler katkısız a kodlu numuneye göre kılcallık katsayısını önemli ölçüde azaltmıştır. Şekil 8.11'deki grafiğe göre y katkılı f kodlu numune a kodlu numunenin kılcallık katsayısını %82 azaltmışken, x katkılı e kodlu numune %38 ve x+y katkılı g kodlu numune ise %63 azaltmıştır. Bu sonuçlara göre katkı maddeleri kendilerinden beklenen performansı sağlayarak, kılcallık etkisini azaltacak ve suyun yukarılara çıkmasına engel olup nem probleminin daha kolay çözülmesine imkan verecektir.
- Tuğla duvar numuneleri ile yapılan şekil 8.12, şekil 8.13'deki 28 günlük kılcallık deney sonuç grafiğine göre katkısız karışımlar a, b, c ve d arasında en yüksek kılcallık katsayısına sahip karışım harman tuğlasında b kodlu kireçli karışım, taban tuğlasında ise d kodlu karışımdır. Fakat aradaki fark genel olarak çok anlamlı değildir. Katkısız karışım a ve aynı çimento kum oranındaki katkılı karışımlar e, f ve g arasında da katkıların kılcallığı azalttığı görülmektedir. Fakat katkı maddelerinin duvar numunelerinde kılcallığa

etkisi harçlardaki kadar belirgin değildir. Bunun nedeni su daima yükselme eğilimindedir. Bulabildiği en kısa yolu takip ederek tırmanmaya çalışacaktır. Farklı bileşenlerin yanyana gelmesi ile oluşan duvarda kılcallık performansı açısından her bileşen ayrı önem kazanmaktadır.

Mekanik Deney Sonuçları

- Yapılan deneysel çalışmadaki Şekil 8.3'deki 28 günlük eğilmede çekme tayini deney sonuçları grafiğine göre katkısız karışımlar a, b, c ve d arasında en düşük çekme mukavemetine sahip karışım b kodlu kireçli karışım olmuştur. Kirecin gözenekli yapısı ve suda kolay çözülmesi nedeni ile iyi bir mukavemet sağlayamadığı açıktır.
- Şekil 8.6'daki 28 günlük basınç deneyi sonuç grafiğine göre katkısız karışımlar a, b, c ve d arasında en düşük basınç mukavemetine sahip karışım b kodlu kireçli karışımdır. En yüksek mukavemete sahip karışım ise d kodlu çimento dozajı en fazla olan numune olmuştur. Bu verilerle çimento dozajının harcın mukavemetini artırıcı yönde etki ettiği sonucuna varmak mümkündür.
- Şekil 8.3 ve şekil 8.6'daki 28 günlük eğilmede çekme tayini ve basınç dayanımı deney sonuçları grafiklerine göre katkısız a kodlu numune ile aynı çimento kum oranındaki katkılı e, f ve g kodlu karışımlar arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Katkı maddelerinin duvarın nem ile ilgili performansını artırmak amacı ile su itici olarak kullanılacağı göz önüne alındığında, katkıların harcın mekanik dayanımlarını anlamlı bir şekilde değiştirmeyip, negatif yönde etkilememesi olumlu bir sonuçtur.
- Yapılan çalışmadaki 28 günlük deney sonuçlarına göre şekil 8.7 ve şekil 8.8'deki grafiklere göre özellikle harman tuğlası ile yapılan sonuçlar göz önüne alındığında en düşük aderans mukavemetine sahip karışım b kodlu kireçli karışımdır. Katkısız harç karışımları arasında en yüksek kopma mukavemetine sahip numune c kodlu numunedir. Daha sonra a ve d gelmektedir. Çimento dozajı arttıkça aderans mukavemeti azalmaktadır. Çimento miktarındaki artış yapışmayı zayıflatmakta, harçla tuğla arasında zayıf bir aderansa neden olmaktadır. Aderanstaki bu azalmanın artan çimentonun miktarının boşluk yapısını değiştirmesine bağlamak mümkündür. Ancak varılan bu sonucun daha iyi anlaşılabilmesi için yeniden başka bir çalışmada incelenmesi önerilebilir.

- Şekil 8.7 ve şekil 8.8'deki 28 günlük aderans deneyi sonuç grafiğine göre katkısız a kodlu karışım ile aynı çimento kum oranındaki katkılı e, f ve g kodlu karışımlar arasında en yüksek aderans dayanımına sahip numune f kodlu (y katkılı) numunedir. Elde edilen sonuç grafiğine göre y katkılı f numunesi katkısız a numunesine göre taban tuğlasında %323 harman tuğlasında ise %203, daha fazla aderans mukavemetine sahiptir. Sonuç olarak y katkı maddesi tuğla ile harç arasında aderansı artırıcı yönde etki etmektedir.

Tablo 9.1 : Karışımların deney sonuçlarına göre etki grafikleri

Kod	Eğilme Deneyi sonuçları	Basınç Deneyi sonuçları	Aderans Deneyi Sonuçları	Buhar Geçirimsizlik Sonuçları	Kılcallık Deneyi Sonuçları
a*	-	-	-	-	-
b	↓	↓	↓	↓	↑
c	↓	↓	↑	↓	-
d	↓	↑	↓	-	↓
e	↑	↓	↓	↓	↓
f	↑	↓	↑	↓	↓
g	↑	↓	↑	↓	↓

* Karışımların deney sonuçlarına göre etki sembolleri a kodlu çimento/kum, 1/3,5 karışım oranındaki numunenin sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir. Sembollere göre -, sabitliği, ↓, azalışı ve ↑, artışı ifade etmektedir.

Katkı maddeleri x ve y, harcın su ile ilgili fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacı ile su itici olarak kullanılmıştır. Bunun yanında da mekanik özelliklerini de örneğin eğilme mukavemetini, basınç mukavemetini de olumsuz yönde etkilememesi önem kazanmaktadır. Tablo 9.1 incelendiğinde bu katkı maddelerinin harcın nem ile ilgili performansını büyük ölçüde güçlendirdiği ve mekanik özelliklerine artırıcı yönde etki etmediği fakat olumsuz yönde de etkilemediği görülmektedir. Bu noktada katkı maddeleri kendilerinden beklenen amaçları büyük ölçüde sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Giovanni & Massari, I.**, 1985. Damp Buildings Old and New, Milano
- [2] **Richardson, B.**, 1995. Remedial Treatment of Buildings, Great Britain
- [3] **Van Vlack, H. L., Çev Safoglu, R. A.**, 1990. Malzeme Bilimine Giriş, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [4] **Postacioğlu, B.**, 1966. Yapı Malzemesi Esasları; Cisimlerin Genel Özellikleri, Cilt 1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [5] **Onaran, K.**, 1999. Malzeme Bilimi, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul
- [6] **Akman, S.**, 1987. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [7] **Kocataşkın, F.**, 1972. Yapı Malzemesi Bilimi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [8] **Wilson, F.**, 1984. Building Materials Evaluating Handbook, Newyork
- [9] **Eriç, M.**, 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayınları, İstanbul
- [10] **Gürdal, E., Tanaçan, L., Toydemir, N.**, 2000. Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayınları, İstanbul
- [11] **Gratwick, R.T.**, 1968. Dampness İn Buildings, Londra
- [12] **Artel, T.**, 1961. Yapı Malzemesi, Kader Basımevi, İstanbul
- [13] **Addleson, L.**, 1972. Materials For Building, London
- [14] **Yapı Malzemesi Deney ve Problemleri**, 1965. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Talebe Cemiyeti Yayınları Sayı:8, İstanbul
- [15] **Tekin, N.**, 2003. Malzeme Özelliklerinin Yapı Hasarlarındaki Rolü ve Dış Duvarlarda Isı-Su Etkisinde Davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [16] **Tüz, Ö.**, 1996. Bina Cephelelerindeki Hasarlar, Nedenleri ve Giderilme Yolları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [17] **Handisyde, C. C.**, 1967. Building Materials: Science and Practice, London, Architectural Press
- [18] **Illston, J. M.**, 1994. Construction Materials: Their Nature and Behaviour, London: E&FN Spon

- [19] **Kuzuimamlar, D.**, 1995. Kargir Yapılarda Nem Problemlerinin Teşhis ve Çözümü, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [20] **Kocataşkın, F.**, 1966. Yapı Malzemesi Olarak Ahşap, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [21] **Deren, H.**, 1980. Ahşap Yapı Elemanları, İ.T.Ü., İstanbul
- [22] **Dağ, F. E.**, 2001. Suyun Yapıdaki Etkileri ve yapıların Suya Karşı Yalıtımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [23] **Altun, M. C.**, 1997. Buhar Difüzyonunun Dış Duvarların Nem İle İlgili ve Isıl Performansına Etkilerinin Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [24] **Schwartz, T. A.**, 1991. Water in Exterior Building Walls: Problems and Solutions, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Material
- [25] **Boyd, J. M., Scheffer, M.**, 1999. Water Problems in Building Exterior Walls, Evaluation, Prevention and Repair, West Conshohocken ASTM
- [26] **Zaim, H.**, 1985. Yağmur Suyu Cephe Elemanları Yüzey Kirliliği İlişkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul
- [27] **Schaupp, W.**, 1967. Externall Walls; Claddings, Thermal Insulation, Damp Proofing, New York; Transatlantic Arts
- [28] **Brundrett, G. W.**, 1990. Criteria For Moisture Control, London: Butterworths
- [29] **Trechsel, H. R.**, 1994. Moisture Control in Buildings, Philadelphia, PA: ASTM
- [30] **Ünver, I. Ö.**, 1982Yapı Elemanlarına Su Buharının Etkisinin İncelenmesi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul
- [31] **Özbilen, A.**, 1967. Hava Tabakalı Çift Duvar, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Araştırma Kurumu, İstanbul
- [32] **Postacıoğlu, B.**, 1975. Yapı Malzemesi Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [33] **Ökten, İ.**, 1984. Yeterli Isı Tutuculuğun Sağlandığı Dış Duvarlarda Doluluk Boşluk Oranlarıyla Yoğuşma Suyunun İlişkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul
- [34] **Addleson, L.; Rice, C.**, 1991. The Performance of Materials in Buildings, Oxford, England

- [35] **Akman, S.**, 1994. Beton Teknolojisine Giriş, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı, İstanbul
- [36] **Uyan, M.**, 1975. Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul



ÖZGEÇMİŞ

Tuğba Gülfem Bank dört çocuklu bir ailenin son çocuğu olarak 23.05.1979 yılında Trabzon'da doğdu. Ortaokul ve liseyi Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1997'de İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'ne girmeye hak kazandı. Hazırlık eğitimi ve dört senelik mimarlık eğitiminin ardından 2002 yılında bölümünü başarıyla bitirdi. Lisans eğitiminin hemen ardından piyasada mimari bürolarda mimar olarak çalışmaya başladı. Mezuniyetten bir yıl sonra 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Ana Bilim Dalı yüksek lisans programına kaydını yaptırdı. İki yıl süren yüksek lisans çalışmasından sonra bu eseri ortaya çıkarmıştır