

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MALZEME ÖZELLİKLERİNİN YAPI HASARLARINDAKİ ROLÜ
VE DIŞ DUVARDA ISI-SU ETKİSİNDE DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar Nazlı TEKİN

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Programı : YAPI BİLGİSİ

MAYIS 2003

**MALZEME ÖZELLİKLERİNİN YAPI HASARLARINDAKİ ROLÜ
VE DIŞ DUVARDA ISI-SU ETKİSİNDE DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar Nazlı TEKİN

(502011139)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Bilge IŞIK

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Erol GÜRDAL

Doç.Dr. Canan TAŞDEMİR

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Malzeme seçimi yapı tasarımının bir parçasıdır ve doğru malzeme seçimine karar vermek mimarın önemli sorumluluklarından biridir. İnsanlara daha kaliteli yapılar sunmak ve yaşanabilir mekanlar yaratmak için, yapıdan beklenen fonksiyonların sağlanmasında engel teşkil eden, hasar oluşumuna neden olacak faktörleri ortadan kaldırmak gerekir. Yapıda hasar oluşumunu en aza indirmek malzeme seçimine ve kompozisyonuna daha fazla önem vermekle ve bu da malzemeleri daha iyi tanımakla sağlanır. Umarım bu çalışma doğru malzemeleri doğru yerlerde diğer uygun malzemelerle birlikte kullanma kararlarımıza, kısaca bilinçli malzeme seçimine yol gösterici bir kaynak olur.

Tez çalışmamda ilgi ve desteği ile yardımcı olan, yol gösteren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Bilge Işık'a, konunun işlenişi hakkında yol göstericiliği için Prof. Dr. Ruhi Kafesçioğlu'na, beni her zaman sevgiyle ve sabırla destekleyerek yanımda olan aileme ve özellikle tezin yazımında yardım eden kardeşim Cihan Tekin'e, ayrıca çalışmam boyunca yanımda olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2003

Mimar Nazlı Tekin

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
1.2 Kapsam ve Sınırlar	2
2. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE YAPIDA HASAR OLUŞUMU	3
2.1 Malzeme Özelliklerinin Yapıda Hasar Oluşumuna Etkisi	3
2.2 Malzeme Özelliklerinin Tanımları	5
2.2.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	5
2.2.1.1 Atom Yapısı ve Kimyasal Bileşimi	5
2.2.1.2 Birim Hacim Ağırlık, Özgül Ağırlık (Yoğunluk)	10
2.2.1.3 Gözenek Yapısı (Boşluk-Doluluk Oranı)	10
2.2.1.4 Katı-Sıvı-Gaz Özellikleri	12
2.2.1.5 Asit-Baz Özellikleri	13
2.2.2 Mekanik Özellikler	13
2.2.2.1 Basınç ve Çekme Dayanımı	14
2.2.2.2 Kayma Dayanımı	14
2.2.2.3 Burulma Dayanımı	15
2.2.2.4 Sertlik ve Aşınma Dayanımı	16
2.2.2.5 Deformasyon-Elastisite Modülü	16
2.2.3 Isı ile İlgili Özellikler	18
2.2.3.1 Isı geçirgenliği ve İletkenliği	19
2.2.3.2 Isısal Genleşme	20
2.2.3.3 Isı Biriktirme Kapasitesi	21
2.2.3.4 Erime Sıcaklığı	22
2.2.3.5 Özgül Isı	22
2.2.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikler	22
2.2.4.1 Su Emme, Geçirimlilik ve Kılcallık	22
2.2.4.2 Buhar Geçirgenliği	24
2.2.4.3 Donma Mukavemeti	25

2.2.4.4 İçerdiği Nem Miktarı	26
2.2.5 Ses ile İlgili Özellikler	26
2.2.5.1 Ses Geçirirliiliği	27
2.2.5.2 Ses Yansıtma ve Yutuculuğu	27
2.2.6 Elektrik İle İlgili Özellikler	29
2.2.7 Işık İle İlgili Özellikler	30
2.2.7.1 Işık Geçirgenliği	30
2.2.7.2 Işık Yansıtma Özelliği	31
2.2.8 Fiziko-Kimyasal Özellikler	32
2.2.8.1 Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi	32
2.2.8.2 Güneş Radyasyonu Etkisi	34
2.2.8.3 Yangın Direnci	35
2.2.8.4 Korozyon	37
2.2.8.5 Fiziksel ve Kimyasal Tutunma	39
2.3 Bölüm Sonucu	40
3. MALZEME SINIFLARININ DAVRANIŞ ÖZELLİKLERİ	42
3.1 Doğal Taşlar	44
3.1.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	44
3.1.2 Mekanik Özellikler	47
3.1.3 Isı ile İlgili Özellikleri	49
3.1.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri	50
3.1.5 Ses ile İlgili Özellikleri	52
3.1.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri	52
3.1.7 Işık ile İlgili Özellikleri	53
3.1.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri	53
3.2 Bağlayıcılar (Alçı, Kireç, Çimento, Puzolanlar)	56
3.2.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	56
3.2.2 Mekanik Özellikleri	59
3.2.3 Isı ile İlgili Özellikleri	61
3.2.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri	62
3.2.5 Ses ile İlgili Özellikleri	63
3.2.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri	64
3.2.7 Işık ile İlgili Özellikleri	64
3.2.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri	64
3.3 Suni Taş Yapı Malzemeleri (Harç, Beton)	65
3.3.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	65
3.3.2 Mekanik Özellikleri	67
3.3.3 Isı ile İlgili Özellikleri	69
3.3.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri	70
3.3.5 Ses ile İlgili Özellikleri	74
3.3.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri	75

3.3.7 Işık ile İlgili Özellikleri	75
3.3.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri	75
3.4 Pişmiş Toprak Yapı Malzemeleri	78
3.4.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	78
3.4.2 Mekanik Özellikleri	79
3.4.3 Isı ile İlgili Özellikleri	80
3.4.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri	82
3.4.5 Ses ile İlgili Özellikleri	83
3.4.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri	84
3.4.7 Işık ile İlgili Özellikleri	84
3.4.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri	84
3.5 Cam	86
3.5.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	86
3.5.2 Mekanik Özellikleri	87
3.5.3 Isı ile İlgili Özellikleri	88
3.5.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri	90
3.5.5 Ses ile İlgili Özellikleri	90
3.5.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri	91
3.5.7 Işık ile İlgili Özellikleri	91
3.5.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri	92
3.6 Metaller	94
3.6.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	94
3.6.2 Mekanik Özellikleri	94
3.6.3 Isı ile İlgili Özellikleri	96
3.6.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri	97
3.6.5 Ses ile İlgili Özellikleri	97
3.6.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri	97
3.6.7 Işık ile İlgili Özellikleri	98
3.6.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri	98
3.7 Ahşap	101
3.7.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	101
3.7.2 Mekanik Özellikleri	103
3.7.3 Isı ile İlgili Özellikleri	107
3.7.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri	108
3.7.5 Ses ile İlgili Özellikleri	111
3.7.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri	112
3.7.7 Işık ile İlgili Özellikleri	112
3.7.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri	112

3.8 Plastikler	114
3.8.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	114
3.8.2 Mekanik Özellikleri	116
3.8.3 Isı ile İlgili Özellikleri	117
3.8.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri	118
3.8.5 Ses ile İlgili Özellikleri	119
3.8.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri	119
3.8.7 Işık ile İlgili Özellikleri	119
3.8.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri	120
3.9 Bitüm Esaslı Malzemeler	121
3.9.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri	121
3.9.2 Mekanik Özellikleri	122
3.9.3 Isı ile İlgili Özellikleri	122
3.9.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri	122
3.9.5 Ses ile İlgili Özellikleri	123
3.9.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri	123
3.9.7 Işık ile İlgili Özellikleri	123
3.9.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri	123
3.10 Kompozitler	124
3.11 Bölüm Sonucu	127
4. MALZEMELERİN ISI VE SU İLE İLGİLİ ÖZELLİKLERİNDEN KAYNAKLANAN HASARLAR VE DIŞ DUVAR ÖRNEĞİ	128
4.1 Malzemelerin Isı-Su ile İlgili Özellikleri ve Etkileşimleri	129
4.1.1 Malzemelerin Isı ve Su ile İlgili Özelliklerinin Karşılaştırılması	129
4.1.2 Malzemelerin Yan Yana Gelişlerinde Isı ve Su ile İlgili Özelliklerine Bağlı Olarak Sıklıkla Karşılaşılan Hasar Örnekleri	134
4.2 Isı ve Su ile İlgili Hasarların, Tüm Yapı Hasarları İçindeki Yeri	139
4.2.1 Suyun Yapı Hasarları Üzerindeki Etkisi	139
4.2.2 Isının Yapı Hasarları Üzerindeki Etkisi	141
4.3 Hasarların Dış Duvar Üzerinde İncelenme Nedeni	144
4.4 Dış Duvar Örneğinde Malzemelerin Isı ve Su İle İlgili Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar	145
4.4.1 Dış Duvarda Malzemelerin Isı Geçirgenlik ve İletkenlik Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar	147
4.4.2 Dış Duvarda Malzemelerin Isısal Genleşme Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar	152

4.4.3 Dış Duvarda Malzemelerin Su Emicilik Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar	154
4.4.4 Dış Duvarda Malzemelerin Buhar Geçirimsizlik Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar	156
4.4.5 Dış Duvarda Malzemelerin Donma Mukavemeti Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar	162
4.5 Bölüm Sonucu	163
5. SONUÇLAR	165
KAYNAKLAR	167
ÖZGEÇMİŞ	172

KISALTMALAR

PVC	: Polivinil Klorür
TS	: Türk Standartları
UV	: Ultraviyole Işınları
IR	: Kızılberisi Işınları (Infrared ışınlar)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Yapı malzemelerinin yanıcılık sınıfları.....	36
Tablo 3.1 Doğal taşlarda malzeme özellikleri.....	45
Tablo 3.2 Doğal taşların mekanik özellikleri.....	47
Tablo 3.3 Doğal taşların ısı ile ilgili özellikleri.....	49
Tablo 3.4 Bağlayıcıların malzeme özellikleri.....	56
Tablo 3.5 Bağlayıcıların mekanik özellikleri.....	60
Tablo 3.6 Bağlayıcıların ısı ile ilgili özellikleri.....	62
Tablo 3.7 Suni taşların malzeme özellikleri.....	66
Tablo 3.8 Suni taşların ısı ile ilgili özellikleri.....	70
Tablo 3.9 Suni taşların su ve nem ile ilgili özellikleri.....	71
Tablo 3.10 Pişmiş toprak malzeme özellikleri.....	78
Tablo 3.11 Pişmiş toprak malzemelerin mekanik özellikleri.....	79
Tablo 3.12 Pişmiş toprak malzemelerin ısı ile ilgili özellikleri.....	80
Tablo 3.13 Pişmiş toprak malzemelerin su ve nem ile ilgili özellikleri.....	82
Tablo 3.14 Duvarın ağırlığına göre ses geçiş kaybındaki değişim.....	83
Tablo 3.15 Camın mekanik özellikleri.....	87
Tablo 3.16 Camın ısı ile ilgili özellikleri.....	88
Tablo 3.17 Metallerin malzeme özellikleri.....	94
Tablo 3.18 Metallerin mekanik özellikleri.....	95
Tablo 3.19 Metallerin ısı ile ilgili özellikleri.....	96
Tablo 3.20 Ahşabın malzeme özellikleri.....	101
Tablo 3.21 Ahşabın mekanik özellikleri.....	103
Tablo 3.22 Ahşabın ısı ile ilgili özellikleri.....	107
Tablo 3.23 Ağaç türleri için nem durumuna göre buhar difüzyonu.....	109
Tablo 3.24 Ahşabın çalışma miktarının doğrultuya bağlı değişimi.....	111
Tablo 3.25 Plastiklerin birim hacim ağırlık değerleri.....	115
Tablo 3.26 Plastiklerin mekanik özellikleri.....	116
Tablo 3.27 Plastiklerin ısı ile ilgili özellikleri.....	117
Tablo 3.28 Bazı plastik türlerine ait su emicilik değerleri.....	119
Tablo 4.1 Malzemelerin ısı ve su ile ilgili özellikleri.....	130
Tablo 4.2 Dış yüzey emicilik katsayısının yüzey özelliklerine bağlı değişimi.....	143
Tablo 4.3 Malzemelerin ısı ve su ile ilgili özelliklerinin farklılığından kaynaklanan hasarlar.....	146

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Malzemede hasar oluşturan faktörler.....	4
Şekil 2.2 : Sodyum klorürde iyonik bağ oluşumu.....	6
Şekil 2.3 : HCl’de kovalent bağ oluşumu.....	7
Şekil 2.4 : Asimetrik moleküllerde elektriksel kutuplaşma oluşumu.....	7
Şekil 2.5 : Atomlararası kuvvetler.....	8
Şekil 2.6 : Sıcaklık etkisinde atom çapı.....	8
Şekil 2.7 : Boşluk türleri ve dolu-boş hacim oranları.....	11
Şekil 2.8 : Basınç ve çekme kuvveti etkisinde malzeme.....	14
Şekil 2.9 : Kayma ve burulma etkisinde malzeme.....	15
Şekil 2.10 : Basınç, çekme ve kayma etkisinde boyut değiştirme.....	17
Şekil 2.11 : Nem oranının ısı iletkenlik katsayısına etkisi.....	20
Şekil 2.12 : Kapiler emme ve yüzeysel emme.....	23
Şekil 2.13 : Işığın emilmesi.....	30
Şekil 2.14 : Işığın kırılması.....	31
Şekil 2.15 : Elektrokimyasal korozyon.....	38
Şekil 2.16 : Harç ve macunda nem ve ısı hareketleri dolayısıyla adezyon kaybı.....	40
Şekil 3.1 : Taşta sülfat etkisi sonucu oluşan bozulmalar.....	53
Şekil 3.2 : Demirin korozyona uğraması sonucu, içine gömüldüğü taşta yarılmalara.....	55
Şekil 3.3 : Beton karışımının yapısı.....	65
Şekil 3.4 : Yüzeyde ve harçta çiçeklenme.....	85
Şekil 3.5 : Ahşapta liflere göre farklı doğrultular.....	101
Şekil 3.6 : Ahşapta rutubet oranının mukavemete etkisi.....	103
Şekil 3.7 : Liflere paralel yönde basınç ve çekme mukavemeti.....	104
Şekil 3.8 : Çekme etkisinde ahşap.....	104
Şekil 3.9 : Basınç etkisinde ahşap.....	105
Şekil 3.10 : Ahşapta farklı doğrultularda kayma direnci.....	105
Şekil 3.11 : Ahşapta burulma.....	106
Şekil 3.12 : Ahşapta kuruma sonrası şekil değişiklikleri.....	110
Şekil 4.1 : Metallerin nemli malzemelerle ilişkisi.....	134
Şekil 4.2 : Harcın metalde yol açtığı korozyon.....	134
Şekil 4.3 : Demirdeki korozyonun seramik kaplamaya etkisi.....	135
Şekil 4.4 : Metallerin ısı iletkenliği düşük malzemelerle ilişkisi.....	135
Şekil 4.5 : Ahşabın harçlarla ilişkisi.....	135
Şekil 4.6 : Ahşabın nem geçirimsiz malzemelerle ilişkisi.....	136
Şekil 4.7 : Ahşapta adezyon kaybı sonucu boya tabakasında kabarmalar.....	136
Şekil 4.8 : Ahşap-tuğla ilişkisi.....	136

Şekil 4.9	: Ahşabın nemli malzemelerle ilişkisi.....	137
Şekil 4.10	: Nemli malzemelerde boya tabakası.....	137
Şekil 4.11	: Beton ve kaplama tuğlaları ilişkisi.....	137
Şekil 4.12	: Farklı nem hareketleri dolayısıyla kaplama tuğlalarının dökülmesi...	138
Şekil 4.13	: Tuğla- harç ilişkisi.....	138
Şekil 4.14	: Su kaynakları ve iletimi.....	140
Şekil 4.15	: Yüzey yoğuşması.....	147
Şekil 4.16	: Yoğuşmada buhar basıncı faktörü.....	148
Şekil 4.17	: İskelet yapıda dolgu ve taşıyıcı malzeme arasında ısı köprüsü oluşumu.....	149
Şekil 4.18	: Yüzey yoğuşması sonucu küf oluşumu.....	149
Şekil 4.19	: Isı yalıtım ve buhar kesici malzemeleri yapıdaki yerleri.....	150
Şekil 4.20	: İç yoğuşma.....	151
Şekil 4.21	: Doğrama-duvar arasında ısı köprüsü.....	151
Şekil 4.22	: Tuğla duvarda genleşme hasarı.....	153
Şekil 4.23	: Betonda çiçeklenme.....	155
Şekil 4.24	: Buhar kesicinin yeri.....	156
Şekil 4.25	: Düzlemsel ve bölgesel yoğuşma.....	157
Şekil 4.26	: Farklı nem hareketleri sonucu kaplama malzemesinde bükülme ve kırılmalar.....	158
Şekil 4.27	: Cephe kaplama malzemesinin buhar geçirimsizliği dolayısıyla yoğuşma.....	160
Şekil 4.28	: Duvarda malzemelerin ısı ve buhar geçirgenlik dirençlerinin yönü....	160
Şekil 4.29	: Duvar kesitinde buhar kesicinin rolü.....	161
Şekil 4.30	: Isı yalıtım malzemesinin duvardaki yerine göre donma bölgesinin genişliği.....	163

SEMBOL LİSTESİ

Δ	: Birim hacim ağırlık
δ	: Özgül ağırlık
P	: Kuru ağırlık
V	: Toplam hacim
d	: Dolu hacim
p	: Porozite
ρ	: Yoğunluk
$\sigma_{\text{basınç}}, \sigma_{\text{çekme}}$	: Basınç ve çekme gerilmeleri
σ_{max}	: Maksimum gerilme
σ_{em}	: Emniyet gerilmesi
F	: Kuvvet
A	: Alan
τ	: Kayma gerilmesi
G	: Kayma modülü
γ	: Kayma deformasyonu
ϵ_e, ϵ_b	: Yanal ve boyuna deformasyon
E	: Elastisite modülü
Q	: Birim zamanda geçen ısı miktarı
e	: Kalınlık
λ	: Isı iletkenlik katsayısı
α	: Isısal genleşme katsayısı
Δt	: Sıcaklık değişimi
S	: Isı biriktirme kapasitesi
S_{24}	: Günlük ısı biriktirme kapasitesi
c	: Özgül ısı
S_a	: Ağırlıkça su emme yüzdesi
P_1	: Suyu doymuş ağırlığı
P_0	: Kuru ağırlık
$P_1 - P_0$	: Emilen suyun ağırlığı
Q	: Birim zamanda geçen su miktarı
k	: Su geçirimsizlik katsayısı
K	: Kapilarite katsayısı
μ	: Buhar difüzyon direnç faktörü
δ	: Buhar geçirimsizlik katsayısı
Δb	: Rötire değeri
D_k	: Kuru yoğunluk
D_h	: Belirli bir nem oranındaki yoğunluk
P_s	: Doyma basıncı
P_i, P_d	: İç ve dış gerçek buhar basıncı
dB	: Ses ölçüm birimi
α	: Malzeme yüzeyinin ses emme katsayısı
C	: Sesin yayılma hızı

E_1	: Ses dalgalarının bir cisme çarptığı andaki enerji
E_2	: Yansıyan enerji dalgası
R	: Elektrik iletkeninin direnci
ρ	: Özgül elektrik direnci
α	: Malzemenin ışığı emme katsayısı
I_0	: Cismin yüzeyine gelen ışık şiddeti
v	: Işığın malzeme içinde yayılma hızı
c	: Işığın boşlukta yayılma hızı
n	: Kırılma indisi
R	: Yansıma oranı

MALZEME ÖZELLİKLERİNİN YAPI HASARLARINDAKİ ROLÜ VE DIŞ DUVARDA ISI-SU ETKİSİNDE DAVRANIŞI

ÖZET

Yapı üretim sektöründe amaç, en kısa sürede, en az maliyetle ve kaliteli binalar gerçekleştirmektir. Binanın kalitesi, kullanılacak malzemelerin özelliklerine, uygulanma koşullarına ve birarada kullanılacak malzemelerin uygunluğuna bağlıdır. Yapı malzemesi üretiminin endüstrileşmesi ile birlikte malzeme seçimi önem kazanmıştır. Malzeme seçiminde istekler, ihtiyaçlar, toplumsal, çevresel, ekonomik pek çok faktörün yanı sıra malzemelerin sahip olduğu özelliklerin önemli bir yeri vardır. Ancak malzeme özelliklerinin bilinmesi ve kullanılacağı amaca göre iyi performans göstermesi yeterli değildir. Çünkü malzemenin sahip olduğu özellikler, soyutlanmış malzeme olarak değil, yapıda birarada kullanıldığı diğer malzemelerle etkileşimine göre değerlendirilmelidir. Aksi takdirde, uyumsuz malzemeler kendisinden beklenen işlevleri karşılayamayarak yapıda hasarlara neden olmaktadır. Hasarlara neden olan faktörleri belirlemek, bunları ortadan kaldırmak ve onarımdan öte kalıcı çözümler bulmak için gereklidir. Bu açıdan hasarların ortaya çıkışında malzeme özelliklerinin bilinmemesinin veya dikkate alınmamasının payı büyüktür.

Tezin 1.Bölümü'nde konuya giriş yapıp amaçlar belirtildikten sonra, 2.Bölüm'de doğru malzeme seçimi için malzeme özelliklerinin bilinmesinin gerekliliğini göstermek amacıyla bu özellikler açıklanmıştır. Malzeme özellikleri, malzemenin mekanik, fiziksel, kimyasal, çeşitli dış ve iç etkenler karşısındaki davranışını belirler. Buradan yola çıkarak malzeme özellikleri; malzeme iç yapı özellikleri, mekanik özellikleri, ısı, su-nem, ses, elektrik, ışık ile ilgili ve fiziko-kimyasal özellikler olarak gruplandırılarak incelenmiştir.

Birarada kullanılan malzemelerin birbirleriyle uyumu malzeme seçimi açısından önemlidir. 3.Bölüm'de, malzemeler bünye esasına göre sınıflandırılıp, özellikleri, 2.Bölüm'de verilen bilgilerden de yararlanarak, mikro ölçekte açıklanmıştır.

Malzemelerin ısı ve su ile ilgili performans özelliklerinin farklılığının hasar oluşumunda önemli bir yeri vardır. Isısal genleşmeleri farklı olan metal, cam, beton gibi malzemelerde genleşme sonucu meydana gelen iç gerilmelerin oluşturduğu çatlamlar, gözenekli olan doğal ve suni taş malzemenin dış cephede kullanılmasıyla, ısı düşmesi ve gözeneklere dolan suyun donması sonucu hacim genleşmeleri ile meydana gelen parçalanmalar, ısı geçirimsizliği saptanmadan detaylandırılan malzemelerin sebep olduğu ısı kayıpları bu tür hasarların en belirgin örnekleridir.

4.Bölüm’de, malzemeler öncelikle ısı-su ile ilgili özellikleri açısından karşılaştırılmış, sonra farklı malzemelerin yan yana gelişlerinde, ısı ve su ile ilgili özelliklerine bağlı olarak sıklıkla karşılaşılan sorunlara ilişkin örnekler verilmiş, daha sonra da birarada kullanılan malzemelerin ısı ve su ile ilgili özelliklerinin farklılığından kaynaklanan hasarlar dış duvar yapı elemanında incelenmiştir. İç ve dış pek çok etki altında bulunan dış duvarlar, katmanlı bir yapı elemanı olarak hasarların yığılma noktalarıdır.

Birarada kullanılan malzemelerin ısı geçirgenlik ve iletkenliklerindeki farklılıklar; ısı köprüleri ve iç yüzey sıcaklıklarında farklılıklara yol açarak yoğunlaşma, ısı gerilmeler ve ısı kayıpları gibi hasar nedenleri ortaya çıkarmaktadır.

Sıcaklığın değişmesi halinde, malzemelerin farklı tepkiler göstermesi ısısal genleşme katsayılarının farklı olmasından kaynaklanmakta ve ısısal deformasyon, iç gerilmeler gibi değişimler sonucu yapıda çeşitli hasarlara neden olmaktadır.

Farklı su geçirimsizliğine sahip malzemelerin yan yana kullanılması, suyun yapı dışına çıkışını engelleyip malzeme bünyesinde kalması, çözünen tuzların suyla taşınması ve kristalizasyonu sonucu hasar oluşumuna yol açmaktadır.

Birlikte kullanılan malzemelerin buhar geçirimsizlik özelliklerinin farklılığının göz önünde bulundurulmaması sonucu nem hareketine bağlı deformasyon ve yoğunlaşma gibi hasar nedenleri görülebilir.

Malzemenin nerede ve hangi amaçla kullanılacağı aşamasında donmaya direnci de bilinmelidir. Donma mukavemeti farklı malzemeler, hacim genleşmeleri ve iç gerilmeler sonucu donma hasarlarına neden olur.

Bu çalışma sonunda birarada kullanılan malzemelerin farklı özelliklere sahip olması ya da farklı koşullar altında bulunmasının, malzemede fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu yapı hasarlarına yol açtığı görülmüştür.

THE ROLE OF THE MATERIAL PROPERTIES IN THE BUILDING FAILURES AND THE BEHAVIOUR OF MATERIALS WITH THE EFFECT OF HEAT-WATER AT THE EXTERNAL WALL

SUMMARY

The aim of building construction sector is to build economic and high-quality buildings in a short time. The quality of building depends on properties of materials, construction conditions and compatibility of materials in contact. The selection of material began to get importance with industrialization of building materials production. The properties of materials have an important role while choosing material together with user requirements and wishes, social, environmental and economic factors. But it is not enough to know the properties of materials and that the material has suitable properties for using aim. Because, properties of materials must be taken into account together with compatibility of different materials in contact not as an abstracted material. Otherwise, incompatible materials can't response to functions expected from and cause building damages. It is necessary to find out factors causing damages for diagnosing and remedying also to get permanent solutions not only repair. The insufficient information or consideration on the performance of materials have a big share of building damages.

In the 1.Section of the thesis, there is introduction to subject and the main purpose of the study. The properties of materials were explained to indicate that it is necessary to have information about the properties for choice of suitable materials, in the 2.Section. The properties state the behaviour of materials against mechanical, physical, chemical, other external and internal factors. According to this, the material properties (internal structure, properties concerned with mechanic, thermal, water-moisture, sound, electric, light, physic-chemical) were examined with separate headings.

In the 3.Section, materials were classified according to basic structure and properties of all this material groups were explained at microscale, using informations given in the 2.Section.

The different properties concerned with heat and water of materials has an effective share in building damages. Cracks at materials which have different thermal expansion coefficients as metal, glass, concrete, because of internal stress; using porous materials as natural and artificial stone on the external facade, cracking because of volume expansion as a result of low heat and freezing of water in the pores; heat loss causing materials used without determining the transfer of heat; are the most known examples of these problems.

In the 4. Section, the material groups were compared according to properties concerned with heat and water, some examples of commonly found problems, about properties of different materials in contact, related with heat and water were given and damages which their source is the different properties of materials in contact, related with heat and water, were examined at the external walls. External walls, which are under the effects of internal and external factors, are the multi-layer components that damages are seen frequently.

The differences of thermal properties between materials in contact, cause thermal bridges and difference at internal surface temperature, so these are the reasons of damages as like condensation, thermal stress and heat loss.

The dimensional changes of different materials is different when temperature changes, because they've different thermal expansion coefficients and these cause damages as a result of changes like thermal deformation and internal stress.

The using materials having different water transmission, close to each other, prevents the water to go out of building and building damages are appeared as a result of entrapped water in the material, transfer of dissolved salts with water and crystallization of the salts.

If we don't pay attention to properties related with vapour transmission of materials in contact, condensation and deformation due to the vapour movement are seen.

The frost resistance of materials have to be known at the period of when we decide using material where and which purpose. Materials having different frost resistance, cause frost damage due to the volume expansion and internal stress.

At the end of the thesis, it was seen that materials in contact having different properties or being under different conditions, cause building damages as a result of physical and chemical changes at material.

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Yapı üretim sektörü Türkiye ekonomisinin öncü sektörlerinden birisidir ve diğer sektörlerle ilişki içinde olması dolayısıyla da lokomotif bir sektördür. Yapı malzemelerinin yapı sektöründe önemli bir rolü vardır. İnşaat malzemeleri sanayisi gıda ve tekstilden sonra ülkemizin üçüncü büyük sanayi koludur [1]. Toplam inşaat maliyeti içinde malzeme maliyeti payının yüksek bir orana sahip olduğu göz önüne alındığında, doğru malzeme seçiminin önemi ortaya çıkar.

Yapı üretim sektöründe amaç, en kısa sürede, en az maliyetle ve kaliteli binalar gerçekleştirmektir. Binanın kalitesi, kullanılacak malzemenin özelliklerine, uygulanma koşullarına ve birarada kullanılacak malzemelerin uygunluğuna bağlıdır. Yapı malzemesi konusundaki gelişmeler, hem yapının performansını, hem de yapım sürecini etkilemektedir. Yapı malzeme üretiminin endüstrileşmesi ile malzeme cinsinde çoğunlukla bir değişiklik olmamakla birlikte, ürün miktarı artmakta ve bu da malzeme seçiminin önemini ortaya çıkarmaktadır. Yeterli ve uzun ömürlü malzeme seçimi yapılırken kullanıcı istek ve ihtiyaçlarının yanı sıra, toplumsal, çevresel ve ekonomik pek çok faktör de göz önünde bulundurulmalıdır [2, 3].

Malzeme seçiminde malzemelerin sahip olduğu performans özelliklerinin önemli bir yeri vardır. Ancak malzeme özelliklerinin bilinmesi ve kullanılacağı amaca göre iyi bir performans özelliğine sahip olması yeterli değildir. Çünkü malzemenin sahip olduğu özellikler, soyutlanmış malzeme olarak değil, yapıda kullanıldığı yere ve birarada kullanıldığı diğer malzemelerle etkileşimine göre değerlendirilmelidir. Başka bir ifadeyle doğru yerde doğru malzeme seçimi yapılmalıdır. Bu sayede yapı malzemesi kendisinden beklenen performansı karşılayabilir. Özellikle günümüzde

yapı elemanlarının farklı malzeme katmanlarının biraraya getirilmesiyle oluşmasında, birarada kullanılan malzemelerin uyumu önem kazanmaktadır. Geleneksel yapıda duvar tuğlası, taşı, harcı ve sıvasıyla homojen bir bünye oluştururken, yeni yapıda, gerekli fiziksel değerleri yerine getirmek için bünyeleri birbirinden çok farklı malzeme türlerinin oluşturacağı kompozisyon söz konusudur [4].

Yapı malzemelerinin iç ve dış etkenleri karşılayabilmekteki yetersizliği yapıda hasarların oluşması, kullanıcı sağlığının bozulması, kaynak kaybı ve enerji sarfıyatı, gereksiz onarım masrafları gibi sorunlara yol açmaktadır. Bu durumda onarıma gitmek, yapıyı korumak değildir. Önemli olan hasara yol açan nedenleri belirleyerek bunları ortadan kaldırmaya çalışmak ve önlem almak, yeni yapılacak yapıda bu faktörleri göz önünde bulundurmaktır. Ekonomik olması amacıyla yapım sırasında sadece ucuz olduğu için tercih edilen yetersiz ve uygun olmayan malzemeler, kullanım sürecinde büyük ekonomik kayıplara yol açabilmektedir.

Bu tez çalışmasında amaç; doğru malzeme seçimi için malzeme performans özelliklerinin bilinmesinin ve farklı malzemelerin birarada kullanılmasında, sahip oldukları farklı özelliklerin göz önünde bulundurulmasının gerekliliğini göstermektir.

1.2 Kapsam ve Sınırlar

Bu çalışmada yapı hasarlarının azaltılması açısından malzeme özellikleri, karşılaştığı etkiler, yapıdaki yeri ve birlikte kullanıldığı diğer malzemelerle etkileşimi üzerine ve uygun yerde uygun malzeme kullanımına yönelik incelemeler yapılmıştır.

Malzeme özellikleri biçimsel ve yapısal bünye özellikleri olarak ele alınabilir. Bu tez kapsamında yapısal bünye özellikleri, malzeme davranışındaki etkenlere göre incelenmiştir.

Malzemeler bünye özelliklerine göre sınıflandırılıp, her bir malzeme sınıfının etkenlere göre özellikleri incelenmiştir.

Farklı malzemelerin uyumunun incelenmesinde, malzeme davranışındaki etkenler içinden ısı-su ile ilgili özellikler ve yapıda kullanıldığı yer olarak dış duvar seçilerek sınırlama getirilmiştir. Yapılan literatür araştırmasından yararlanılarak malzemelerin yan yana gelişlerinde ısı-su ile ilgili özelliklerindeki farklılığa bağlı olarak ortaya çıkabilecek hasarlar dış duvar örneği üzerinde açıklanmıştır.

2. BÖLÜM

MALZEME ÖZELLİKLERİ VE YAPIDA HASAR OLUŞUMU

Yapı hasarı, yapının herhangi bir parçasının öngörülen işlevini karşılayamaz duruma gelmesidir [5].

Yapıda hasarlara yol açan faktörler:

- Tasarım hatalarından ve yanlış malzeme seçiminden kaynaklanan hasarlar
- Uygulama ve işçilik hatalarından kaynaklanan hasarlar
- Kullanım aşamasında oluşan hasarlar

Malzemeler atmosferik ve iklimsel etkiler, suyun varlığı ile ıslanma-kuruma-donma olayları, toprak-zemin suyu, böcek, mantar ve bakteri etkisi, eletrolitik etki, asitlerin etkisi, doğal afet ve deprem etkisi gibi fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik etkenlerle karşı karşıyadırlar. Kullanıldığı yere göre malzemelerin bu etkenleri karşılayamaması, hasarlara yol açmaktadır. Bu durum malzeme özelliklerine bağlı olarak uygun malzeme seçiminin yapılmasına bağlıdır ve seçimdeki yanlışlık tasarım hatası niteliği taşımaktadır.

Uygulama ve işçilik hatalarından kaynaklanan hasarlar ya uygun detayın yerine yanlış tatbik edilmesinden ya da yanlış detaylandırmadan ortaya çıkar.

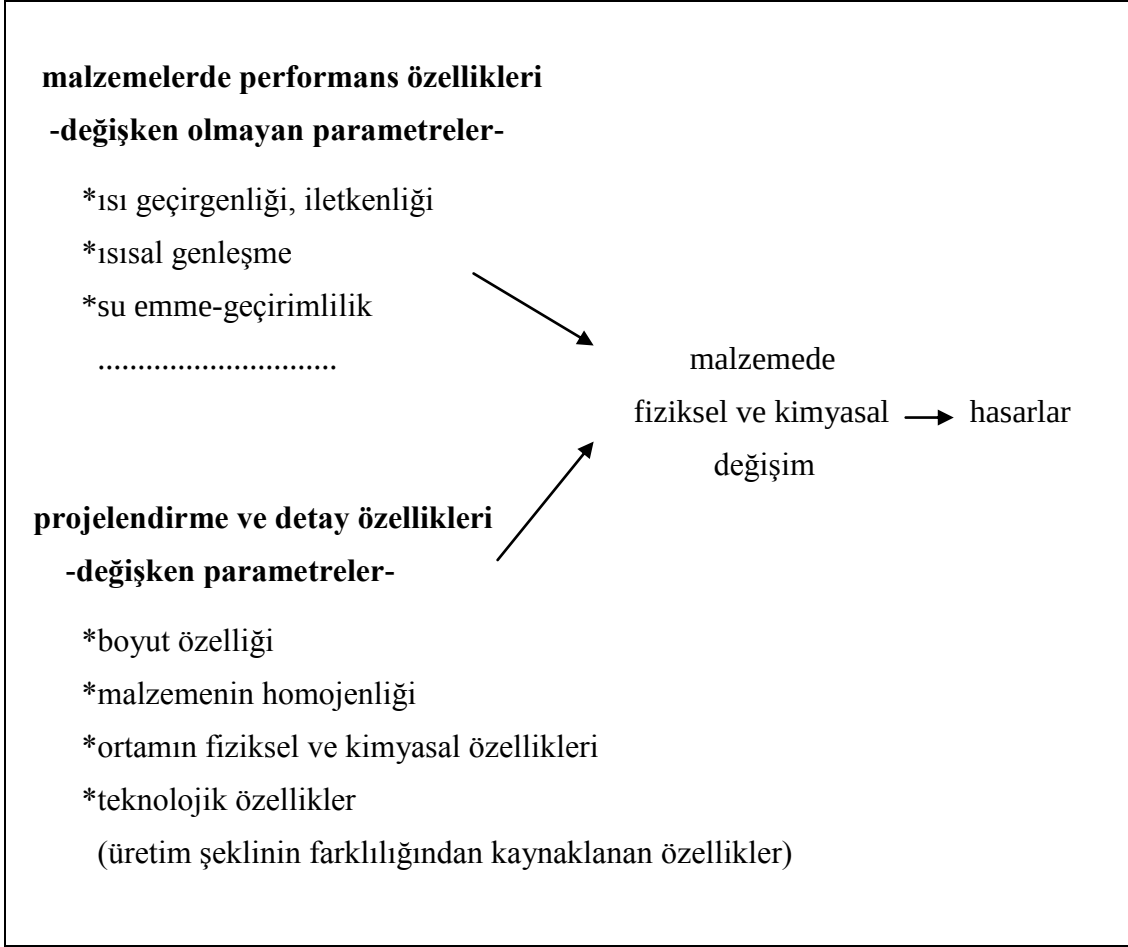
Kullanım aşamasında oluşan hasarlar ise, bakım, onarım eksikliği ya da hataları ve kötü kullanımdan kaynaklanmaktadır.

2.1 Malzeme Özelliklerinin Yapıda Hasar Oluşumuna Etkisi

Yapının toplam performansı, yapıyı oluşturan malzemelerin göstereceği performansa bağlıdır ve bu da malzemelerin yapının faydalı ömrü boyunca tasarlanan fonksiyonları yerine getirebilme yeteneğini ifade eder.

Malzeme performansı farklı malzemelerin aynı koşullarda ya da aynı malzemelerin farklı koşullarda farklı davranış göstermesine bağlıdır. Başka bir ifadeyle malzeme

performansı malzeme özelliklerinin farklı olması ya da koşulların farklı olmasına göre değişmektedir.



Şekil 2.1 Malzemede hasar oluşturan faktörler

Her malzemenin sahip olduğu farklı performans özellikleri vardır. Malzeme özellikleri, bir maddenin enerji kullanmasını gerektiren belirli koşullar altındaki davranışını gösteren büyüklük biçiminde tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre elastiklik katı cisimlerin mekanik enerji altındaki özelliği, ısı iletkenliği ise termik enerji altındaki özelliğidir [6]. Bunlar malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik etkenler karşısında göstereceği davranışları belirlerler. Bu özellikler belirli şartlar içinde tespit edildiği için değişken olmayan parametreler olarak adlandırılabilir (Şekil 2.1).

Koşullar farklı olduğunda malzeme farklı performans gösterir. Malzemelerin kullanıldığı yere, ortam şartlarına, proje ve detay özelliklerine göre davranışlarında değişiklikler görülebilir. Bu, doğru yerde doğru malzeme kullanımını belirler. Malzemenin özellikleri iyi de olsa, kullanıldığı yer için istenilen performansı gösteremeyebilir. Proje yerine göre detaylandırmada malzeme özellikleri ve ortam

şartları gözönüne alınmalıdır. Ortamın fiziksel ve kimyasal özellikleri, malzemelerin boyut özelliği ve homojen olup olmaması, teknolojik özellikleri projelendirme-detay hatası olarak da adlandırılabilen farklı koşullara göre değişken olan parametreleri oluşturmaktadır. Bu değişken parametreleri, malzemelerde hasara yol açan tasarım, uygulama ve kullanım hatalarının etkileşimi sonucu ortaya çıkmaktadır.

Malzemelerin farklı özelliklere sahip olması ya da farklı koşullar altında bulunması malzemede fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu yapıda hasarlara yol açmaktadır. Malzemede hasar oluşturan faktörlerin bilinmesi malzeme seçimi açısından önemlidir. Bu nedenle malzeme özellikleri açıklanmaktadır.

2.2 Malzeme Özelliklerinin Tanımları

Malzeme özellikleri; iç yapı, mekanik, ısı, su, ses, elektrik, ışık ile ilgili ve fiziko-kimyasal özellikler başlıkları altında incelenecektir.

2.2.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri

1.1 2.2.1.1 Atom Yapısı ve Kimyasal Bileşimi

Atom Yapısı:

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 veya parçalanmasına engel olur [7]. Malzeme özellikleri iç yapıya yani bağ türüne, bağ enerjisine ve atomların dizilişine büyük ölçüde bağlıdır.

Atomlar bir çekirdek ile bunun etrafında hareket eden elektronlardan oluşur. Elektronlar negatif elektriksel yük taşır. Çekirdek proton ve nötronlardan 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. Atomsal ağırlıkla malzeme özellikleri arasında, özgül ısı hariç hiçbir ilişki yoktur [8].

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

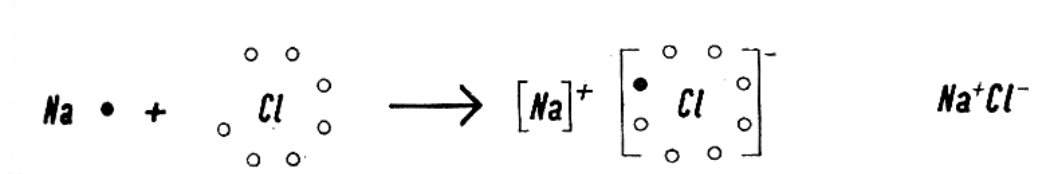
belirlerler. Bir cismin kimyasal bileşimi aynı kaldığı halde atomların diziliş biçimi değişirse özellikleri önemli ölçüde etkilenir.

Elektronlar atom çekirdeği çevresinde belirli yörüngeler üzerinde sürekli hareket halindedirler ve belli enerji düzeyine sahiptirler. Bir enerji düzeyinde bulunan bir elektrona yeterli enerji verilirse, boş bir enerji seviyesine atlayabilir.

Atomlar Arası Bağ Kuvvetleri:

Malzemelerin iç yapısının oluşmasında ana etken olan atomlar arası bağ kuvvetleri, elektron yapılarından kaynaklanır. Atomlar son yörüngelerinde sekiz elektron bulundurduğu zaman kararlı duruma gelirler. Birarada bulunan atomların dış kabuğundaki valans elektronları etkileşerek daha düşük enerjili, dolayısıyla daha kararlı bir düzen oluşturma eğilimi gösterirler ve atomlar arası bağ kuvvetleri oluşur. Bağ kuvvetleri, uygulanan kuvvetlere karşı direnç gösterir, şekil değiştirmeyi ve kırılmayı önlemeye çalışırlar. Bağlar kuvvetli olursa elastisite modülü, mukavemet ve erime sıcaklığı yüksek, ısısal genleşme düşük olur [9].

Kuvvetli bağlar genellikle atomlar arası elektron alışverişi veya paylaşılması, zayıf bağlar ise atomlar veya moleküller içinde elektronların asimetric dağılışıdan kaynaklanan elektriksel kutuplaşma sonucu oluşur.

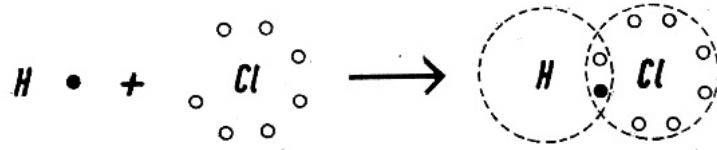


Şekil 2.2 Sodyum klorürde iyonik bağ oluşumu [10]

İyon Bağları: Elektropozitif ve elektronegatif elemanlar arasında valans elektronlarının alışverişi sonucu iyonlaşma oluşur. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi artı ve eksi yüklerin karşılıklı olarak birbirini çekmesi sonucu bunlar arasındaki elektrostatik çekme kuvvetleri iyonik bağ meydana getirir. İyonik bağ üç boyutta etkilidir; bu nedenle yönsüz bağ sayılır. Ancak kütle içinde artı yük sayısının eksi yük sayısına eşit olması kararlı yapı için zorunludur. İyon bağ kuvveti arttıkça erime sıcaklığı yükselir [9].

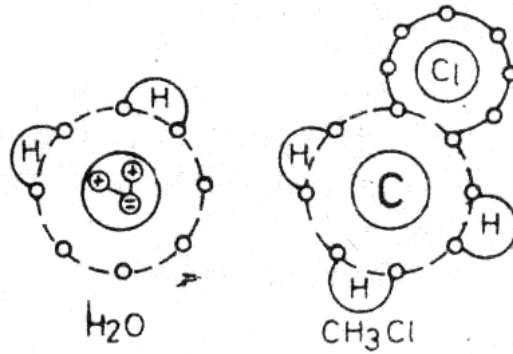
Kovalent Bağ: Şekil 2.3’de görüldüğü gibi periyodik tabloda birbirine yakın ve elektronegatiflikleri arasında az fark bulunan elemanların atomlarının veya aynı elemanın kendi atomlarının valans elektronlarını ortaklaşa paylaşımıyla kurulur. Dış

kabuktaki elektron sayısı paylaşılan elektronları belirler. Dış kabukta dörtten az elektronu bulunan atomlar kendi türleriyle kovalent bağ oluşturmazlar [11]. Belirli tür atomlar arasında oluşan bağ boyları ile bağlar arası açılar sabittir. Bundan dolayı kovalent bağlar yönlü bağ niteliğindedir. İki atom arasında oluşan kovalent bağ sayısı arttıkça atomlar arası uzaklık azalır [9]. Kovalent bağlar kuvvetli olmakla birlikte, kovalent bağlı bütün malzemelerde yüksek erime ve kaynama sıcaklığı veya aşırı mukavemet görülmez [7].



Şekil 2.3 HCl’de kovalent bağ oluşumu [10]

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 durumun bir sonucu olarak metallerde, kolaylıkla şekil değiştirme özelliği mevcuttur. Metalik bağlara sahip malzemelerin bazıları yüksek mukavemet gösterirken bazıları da düşük mukavemete sahiptirler [8].



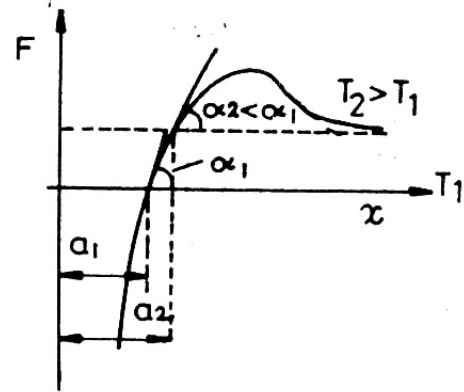
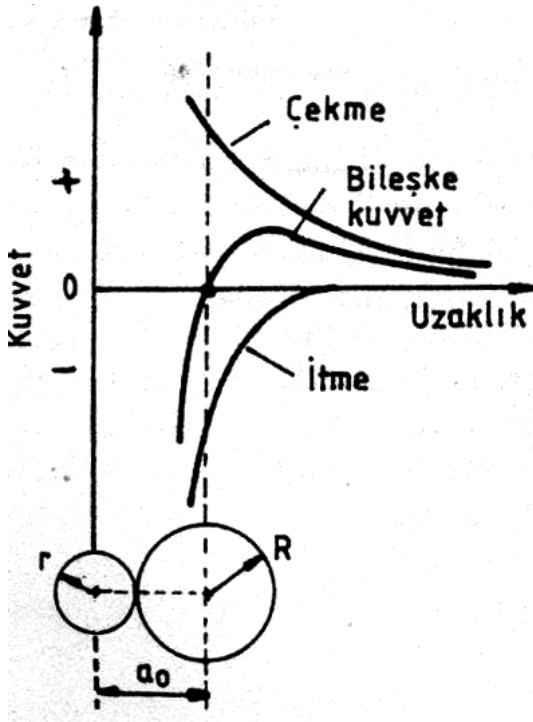
Şekil 2.4 Asimetrik moleküllerde elektriksel kutuplaşma oluşumu [9]

Van der Waals Bağları: Bazı atomların en dıştaki kabuğunun elektronlarla dolu olması halinde ortaya çıkar. Atomlar veya moleküller içinde elektronlar asimetrik dağılırsa artı ve eksi elektriksel yük merkezleri çakışmaz, bunun sonucu elektriksel

kutuplaşma meydana gelir (Şekil 2.4). Van der Waals kuvvetleri zıt işaretli iki kutup arasındaki çekme kuvvetlerinden kaynaklanır. Bu bağların enerjisi kuvvetli bağlardan çok daha düşüktür. Kuvvetli bağlar egemen olduğu zaman bu zayıf bağlar ihmal edilebilir, ancak bazı malzemelerde atom gruplarını birbirine bağlayan tek kuvvet olunca önem kazanırlar [9].

Atomlar Arası Mesafe:

Atomlar arasında itme ve çekme kuvvetleri bulunur (Şekil 2.5). Atomlar arası mesafe azaldıkça, bu kuvvetler artmaktadır. Atom yarıçapları da sabit değildir. Elektron alan atomların yarı çapları büyür, verenlerin küçülür. Sıcaklık artışı da çapın artmasına neden olur (Şekil 2.6). Bir atomu çevreleyen atom sayısının artması atomlar arasında çekme kuvvetinin azalmasına neden olduğundan, atomun çapında bir artış olur [8].



Şekil 2.5 Atomlararası kuvvetler [9]

Şekil 2.6 Sıcaklık etkisinde atom çapı [9]

Atom dizilme sistemleri benzeyen malzemelerin ısısal genleşmeleri erime sıcaklığı ile ters orantılı olarak değişir. Atomlar arası mesafe azalırken erime ve kaynama sıcaklıkları artar, ısısal genleşme azalır [7].

Atomların DiziliŖi:

Malzeme  zellikleri atomların dizilmesine bağlıdır. Atomların dizilmesi üç gruba ayrılabilir;

1-Moleküler yapı, yani atomların gruplanması

2-Kristal yapı, yani belli bir atom düzeninin tekrarı

3-Amorf yapı, yani belli bir Ŗekli olmayan yapı

Moleküler Yapı: Atomlar birbirleriyle iyonik bağlar ve daha çok kovalent bağlarla birleŖerek molekülleri meydana getirirler. Molekül içi bağlar kuvvetli olsa da moleküller arası bağlar zayıftır [8].

Moleküllü yapılar iki ayrı molekülün birleŖmesi (kondansasyon) veya bir molekülün kendinden küçük parçalara bölünerek büyümesi (polimerizasyon) sonucu zincir bağları Ŗeklinde meydana gelir [12].

Moleküllerde atom sayısı arttıkça boyut büyür, boyut büyüdükçe gazdan sıvı, sıvıdan katı hale geçebilirler [9]. Moleküler bileŖiklerin d Ŗ k erime ve kaynama sıcaklıkları vardır. Moleküler katılar yumuŖaktır, çünkü az bir gerilim uygulaması ile moleküller birbiri üzerinde kayabilir [7].

Kristal Yapı: Atomların üç boyutlu tekrarlanan, belirli bir geometrik sisteme göre dizilmesi ile kristal yapı meydana gelmektedir. Metaller, kristal bir yapıya sahiptirler. Metal olmayan kristaller, metal kristallere nazaran çok daha gevrek oldukları gibi, bunların elektriksel iletkenlikleri de diğerlerinininkinin yanında çok küçüktür.

Amorf Yapı: Atomların bir düzenden yoksun olarak geliŖiė zel dağılması sonucunda ortaya çıkan, kristallerde olduğu gibi, tekrarlanan kalıp yapısı olmayan malzemelerdir.  rnek olarak asfalt ve katran gibi malzemeleri gösterebiliriz.

Karma    Yapı: Bazı malzemelerin i  yapılarında kristalli ve moleküllü sistemler birarada görülür. Örneğin doğal taŖlar, yapay taŖlar (beton), piŖmiŖ toprak ve cam malzemeler bu gruba girerler. Yapıları, büyük moleküller içinde atomların birbirine iyon bağları ile bağlanmaları sonucu oluŖur, ancak serbest elektronlarının olmaması nedeniyle, ısı, elektrik ve sese karŖı ge irimsizdirler. İyon bağlarının kuvvetli oluŖu erime noktalarının yüksek olmasına yol açar. Kristalleri büyük olduğu için sert ve gevrek yapıdırlar. Molekül boŖluklarının bulunması nedeniyle basınç mukavemetine oranla çekme mukavemetleri d Ŗ kt r [12].

Kimyasal Bileşim:

Malzemenin kimyasal bileşimi ile mekanik özellikleri arasında yakın bir ilişki mevcuttur. Örneğin; çelikteki karbon miktarının artması bu malzemenin mekanik özelliklerinde önemli değişikliklerin meydana gelmesine sebep olur. Çekme mukavemeti karbon miktarı ile artarken, çeliğin deformasyon yapma kabiliyeti azalır ve malzeme gittikçe sertleşir. Bazı durumlarda kimyasal bileşimlerin malzemenin fiziksel özellikleri üzerine de etkileri mevcuttur [8].

2.2.1.2 Birim Hacim Ağırlığı, Özgül Ağırlık (Yoğunluk)

Bir malzemenin ağırlığının, boşlukları dahil olmak üzere birim hacmine oranına birim hacim ağırlığı denir. Bu değerin küçük olması malzemenin gözenekli ve boşluklu bir yapıda olduğunu gösterir. Özgül ağırlık boşluklar çıkarıldıktan sonraki birim hacme isabet eden ağırlıktır [8]. Birim hacim içinde bulunan atomların sayısı ile bir atomun ağırlığı çarpılırsa özgül ağırlığı elde edilir. Birim hacimdeki atom sayısını bulmak için atom yarıçapına ve koordinasyon türüne gerek vardır [9]. Birim hacim ağırlık ve özgül ağırlığın boyutu kuvvet/hacimdir. Malzemenin özgül ve birim hacim ağırlığı, mukavemeti, ısı, su ve sese karşı geçirimsizliği hakkında bilgilenmemize yardımcı olur.

$$\text{Birim hacim ağırlık } \Delta = \frac{P \rightarrow \text{kuru ağırlık}}{V \rightarrow \text{toplam hacim}} \quad (2.1)$$

$$\text{Özgül ağırlık } \delta = \frac{P \rightarrow \text{kuru ağırlık}}{d \rightarrow \text{dolu hacim}} \quad (2.2)$$

Özgül ağırlık, dolu hacme göre hesaplandığından 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. Bu farkın miktarı malzemedeki boşluk veya doluluk oranlarının belirlenmesine yarar [13].

2.2.1.3 Gözenek Yapısı (Boşluk-Doluluk Oranı)

Boşluk değeri (porozite), malzemede bulunan boşluk hacminin malzemenin tüm hacmine oranına; doluluk değeri (kompasite) ise malzemenin dolu kısmının

malzemenin tüm hacmine oranına verilen addır [13]. Porozite daima 1'den küçük bir değer alır.

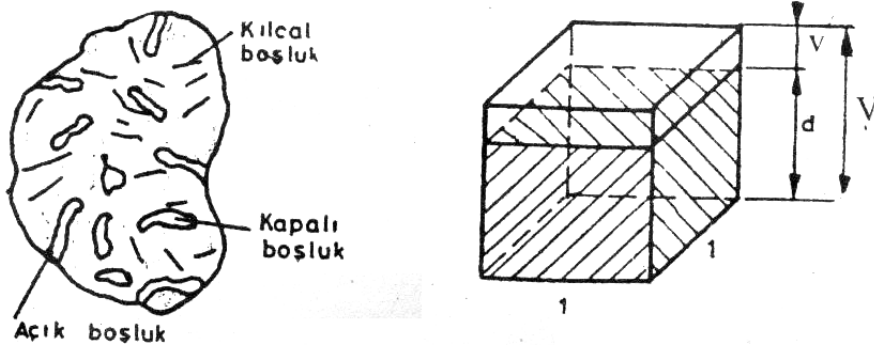
$$V = v + d \quad (2.3)$$

$$\text{porozite}(\text{boşluk hacmi}) = \frac{\text{boşluk hacmi}}{\text{malzemenin toplam hacmi}} = \frac{v}{V} \quad (2.4)$$

$$\text{kompasite}(\text{doluluk oranı}) = \frac{\text{dolu hacim}}{\text{malzemenin toplam hacmi}} = \frac{d}{V} \quad (2.5)$$

Gözenekli malzemelerin özellikleri gözeneklerin şekil, boyut ve dağılımına bağlıdır. Gözenekler değişik şekil ve boyutta olabilir, gözenek kanalları da birbirine bağlı ya da bağlantısız olabilir [10]. Boşlukların birbiri ile bağlantı halinde bulunması açık boşluk, bağlantısız olması ise kapalı boşluk halidir. Kapalı boşluk halinde boşluklar hiçbir zaman cismin dış yüzeyine ulaşmazlar. Başka bir ifade ile bu kapalı boşlukların dış ortamla herhangi bir ilişkileri yoktur. Bundan dolayı içinde kapalı boşluğu bulunan bir cisim su içine bırakılacak olursa su boşluklara ulaşmaz. Buna karşılık yalnız açık boşluklar varsa bunların hepsi, cisim yeterli bir süre su içinde tutulursa, su ile tamamen dolar. Boşluklar boyutlarına göre ise şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Mikroporozite; boşluk boyutları 0.1 mikrondan küçüktür
- Kılcal boşluk; boşluk boyutları 0.1 mikron ile 2.5mm arasında değişir
- Makroporozite; boşluk boyutları 2.5mm'nin üzerindedir [14].



Şekil 2.7 Boşluk türleri ve dolu-boş hacim oranları [9]

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. Porozitenin artmasının, bu durumda cismin ısısal iletkenlik katsayısının küçük değerler almasıyla, faydalı bir etkisi vardır [14]. Ses geçirimsizliği için dolu malzemeler, ses emicilik için ise boşluklu malzemeler seçilmelidir.

2.2.1.4 Katı-Sıvı-Gaz Özellikleri

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

Gazlar:

Gaz halinde atom ve moleküller birbirleriyle direkt temas halinde değildir ve rastgele yönlerde, yüksek hızlarda sürekli hareket halindedirler. Atom veya molekülleri bağımsız olarak hareket ettiğinden belli bir boşluğu dolduran gazlar etrafına basınç yapar. Düşük yoğunluktadırlar, kabı dolduracak şekilde yayılırlar, kolaylıkla sıkıştırılırlar ve düşük viskoziteye sahiptirler. Birbiri içinde kolaylıkla yayılırlar [11]. Birbirleriyle çarpışmadan doğan etkiler geçici ve elastiktir. Gazın diğer özellikleri, o gazın molekül boyutu ve sayısına bağlıdır. Bu özelliklerin her ikisi de artan basınç ile yükselir [7].

Sıvılar:

Sıvılar da gazlar gibi akışkandırlar, yarı düzenli bir yapıları vardır. Birbirleri içinde daha fazla yayılırlar ve viskoziteleri –pek çok davranış özellikleri gazlardan daha yüksek olsa da– düşüktür, dolayısıyla küçük kuvvetler altında geri dönüşümsüz olarak akarlar. Viskoziteleri büyük oranda sıcaklığa bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta partiküller daha aktiftir ve birbiri içinde yayılma oranı (difüzyon), sıcaklık yükselmesi ile birlikte artar. Gazlarla sıvılar arasında iki büyük fark vardır: birincisi; sıvılar sıkıştırılamazlar ve ikincisi; ısıtıldıklarında buharlaşırlar ve soğutulduklarında tekrar sıvı hale dönerler. Bütün bu ifadeler sıvı partiküllerinin birbirleriyle temas halinde olduğunu fakat birbirlerine ilişkin hareketlerinde serbest olduklarını göstermektedir.

Katılar:

Katılarda bağ kuvvetleri nedeni ile atomlar birbirlerine değerler ve dizilişleri oldukça sıktır. Katıları oluşturan atomlar birbirlerine fiziksel bağlarla bağlıdırlar dolayısıyla bir kuvvet uygulandığında katıyı oluşturan tüm atomlar birbirleriyle yer değiştirirler. Katılara bir dış kuvvet uygulandığı zaman deformasyon görülür ve boyutları değişir [11].

2.2.1.5 Asit-Baz Özellikleri

Malzemeler sahip oldukları pH değerleri itibarıyla asit ya da baz karakterlidirler. pH değeri malzemelerin kimyasal aktivitesini gösterir ve bu nedenle kullanıldıkları ortamda farklı kimyasal davranış gösterirler. Yapı malzemelerinin kimyasal olarak birbirlerinden etkilenmeleri, bulundukları ortamda su bulunması durumunda daha kolay bir şekilde gerçekleşir. Su, bünyesinde içerdiği ve çözerek bünyesine aldığı maddelerin etkisiyle asit-baz ya da nötr şekilde bulunabilir. Suyun bu özelliğini belirtmek amacıyla pH değerinden yararlanılır. pH değeri, suda bulunan H^+ iyonu konsantrasyonunun ters logaritması olarak tanımlanır. Nötr bir suda iyonlaşmış olan H^+ ve OH^- değerleri birbirine eşittir ve 10^{-7} mertebesinde. pH'ın tanımına göre nötr suyun pH değeri 7'dir. 7'den küçük değerler asit özelliğini, 7'den büyük değerler ise baz özelliğini gösterir [13].

pH değerinin değişmesinde sıcaklık etkilidir. $+20^{\circ}C$ 'de distile suyun $pH=7$ 'dir. Su açıkta bırakılırsa pH'ının azaldığı gözlenir, $[H^+]$ artıyor demektir. Bu da havadaki CO_2 'den bünyesine $[H^+]$ alarak asit özellik kazandığını gösterir. Bazik maddeleri bünyesine alırsa $[OH^-]$ artar. İçinden su geçince suya $[OH^-]$ verebilen maddeler bazik özellikteki maddelerdir [15].

Çoğu yapı malzemesi bazik karakterdedir. Bu nedenle CO_2 ile yüklenmiş sular ile bu maddeler arasında kimyasal reaksiyonlar oluşur.

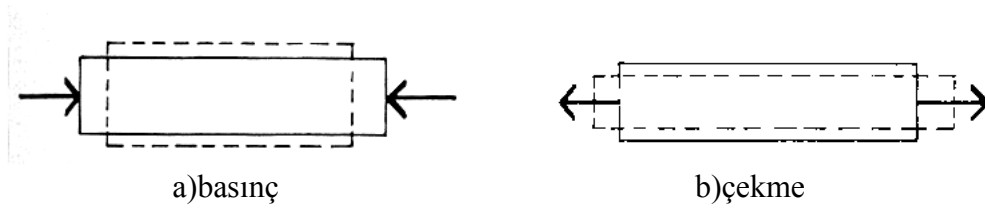
2.2.2 Mekanik Özellikler

Mekanik özellikler, dış kuvvetlerin etkisi ile çeşitli zorlamalar altında malzemede meydana gelen değişikliklerdir. Cisimler, artan zorlamalar altında önce şekil değiştirir, sonra dayanımını yitirerek kırılır. Bir yapının maruz kaldığı yük ve kuvvetlere emniyetle karşı koyması malzemenin mekanik özellikleri sayesinde

mümkündür [8]. Mukavemet özellikleri, homojen olmayan malzemelerde yükün yönüne ve oranına göre çeşitlenir.

Mekanik özelliklerin kaynağı atomlar arası bağ kuvvetleri olmakla beraber, iç yapıya ve çevre koşullarına da büyük ölçüde bağlıdır. Atomlar arası kohezif kuvvet (iki atom arasında bağı koparmak için gerekli kuvvet) büyüdükçe, bağ enerjisi artar ve mukavemet yükselir [9].

2.2.2.1 Basınç ve Çekme Dayanımı



Şekil 2.8 Basınç ve çekme kuvveti etkisinde malzeme [10]

Gerilme, birim alana gelen kuvvettir. Gerilme kuvveti, basınç ya da çekme şeklinde olabilir. Malzemelerin yüzeyinden içeriye doğru etkiyen dış kuvvetler basınç gerilmeleri, dışarıya doğru etkiyenler ise çekme gerilmeleri oluşturur (Şekil 2.8). Basınç kuvveti etkisinde atom bağları arasındaki mesafe kısalır, parçanın boyu azalır, yanal doğrultuda genişler. Çekme kuvvetlerinde ise atom bağları arasındaki mesafe uzar. Başlangıçtaki şekil değiştirmeler elastiktir ve gerilmelerle orantılıdır [9].

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{N} / \text{m}^2) (\text{Pa}) \quad (2.6)$$

Metaller gibi homojen kristal iç yapıya sahip malzemelerde basınç ve çekme gerilmeleri eş değerdedir. Ancak moleküllü iç yapıya sahip ahşap gibi malzemelerde basınç ve çekme değerleri farklıdır. Karma iç yapıya sahip taş, beton, pışmış toprak gibi malzemelerde ise boşlukları nedeniyle çekme mukavemetleri basınç mukavemetlerinden daha küçük değerdedir [12].

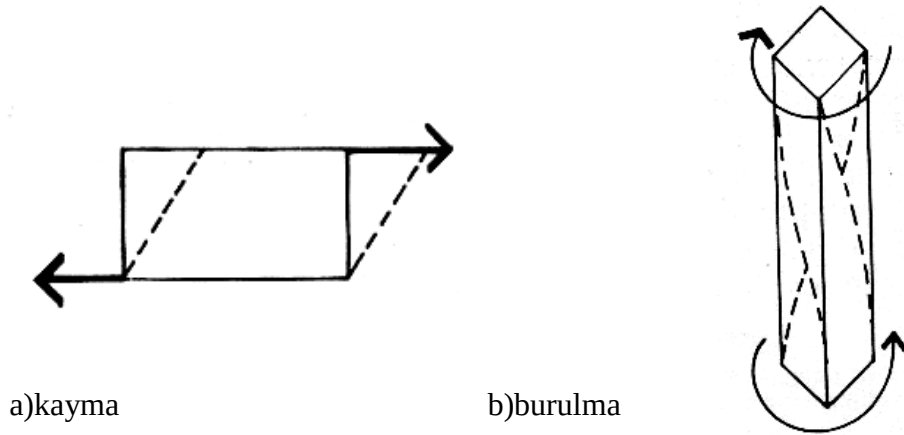
2.2.2.2 Kayma Dayanımı

Kuvvet, malzeme yüzeyine paralel ise cisimde meydana gelen gerilme kayma gerilmesi adını alır [13]. Kayma gerilmesi kayma deformasyonu oluşturur, sadece açısal değişiklikler olur, boyutsal değişiklik olmaz (Şekil 2.9.a).

$$\gamma = \tau/G \quad \tau:\text{kayma gerilmesi} \quad G:\text{kayma modülü} \quad \gamma:\text{kayma deformasyonu} \quad (2.7)$$

Düşük gerilmeler altında davranış lineer elastiktir. Kayma gerilmesi altındaki şekil değiştirmeler, gerilmenin bir değerine kadar, eksenel şekil değiştirmeler gibi Hooke kanununa tabidir. Yani kaymada şekil değiştirmeler kendilerini meydana getiren kayma gerilmeleri ile orantılıdır. Aradaki orantılık sabiti (G), malzemenin cinsine bağlıdır ve kayma modülü adını alır [16].

Malzemede görülen kayma gerilmeleri, genellikle bir moment etkisi meydana getirdiklerinden, basınç ve çekme gerilmelerine oranla daha fazla etkindir ve çok daha fazla zarara neden olabilecek niteliktedir [12]. Kırılma malzeme türüne göre kayma gerilmeleri etkisinde kesme veya makaslama şeklinde büzülmesiz oluşur [9]. Gevrek malzemelerde kayma düzlemi kesiti sünek malzemelerin kayma düzlemi kesitine oranla daha azdır. Sıvılar kayma gerilmesine sahip değildir. Çünkü kaymaya karşı koyamazlar.



Şekil 2.9 Kayma ve burulma etkisinde malzeme [10]

2.2.2.3 Burulma Dayanımı

Bir çubuğun, eksenine dik düzlem içinde bir ters ikiz kuvvetin etkisine maruz olmasına basit burulma hali denir. Burulma momenti kesit düzlemini döndürerek düzlemden bir kaymaya neden olmaktadır (Şekil 2.9.b). Dönme en fazla çevrede olacağından, kayma gerilmeleri çevrede en fazla, merkezde yani çubuk ekseninde ise sıfırdır [12].

Burulma etkisinde kırılma yüzeyleri malzemenin gevrek veya sünek oluşuna bağlıdır. Gevrek malzemelerde burulma etkisinde kırılma, maksimum çekme gerilmelerinin etkilendiği eğik düzlem boyuncadır. Sünek malzemelerin kayma direnci düşüktür. Basit burmada maksimum kayma gerilmeleri eksene dik düzlem üzerinde

ve en dış liftedir. Sünek malzemelerde burma etkisinde kırılma eksene dik düzlem boyunca makaslama şeklinde oluşur [9].

2.2.2.4 Sertlik ve Aşınma Dayanımı

Sertlik, malzeme yüzeyinin kalıcı şekil değiştirmeye karşı mukavemetini belirten bir özelliktir. Akma sınırı da aynı biçimde tanımlanabilir. Akma sınır yüksek, dolayısıyla mukavemeti yüksek bir malzemenin sertliğinin de yüksek olması beklenir. Malzeme türüne ve uygulanan deney yöntemine bağlı olarak Mohs, Brinell, Vickers, Rockwell gibi sertlik metodları vardır.

Sertliğin büyük olması işlenme kabiliyetinin küçük olduğunu göstermektedir. Sertlik ne kadar fazla ise malzemenin deformasyon yapma kabiliyeti o kadar azdır [8].

Kristal yapıli malzemelerde tane büyüklüğü artarsa sertlik ve mukavemet yükselir, süneklik azalır.

Bir malzemenin aşınması, o malzeme ile üzerinden geçen cisim arasında meydana gelen sürtünme sonucunda, malzeme sertliğine bağlı olarak yüzeyinde meydana gelen kopma ve parçalanmalardır. Aşınma olayında, yüzeye batma ve parça koparma, yüzeyde şekil değiştirme, yüzeyde korozyon yapma, yüzeyi ısıtma unsurları beraber etki yaparlar ve genel olarak ya çok sert ya çok yumuşak cisimler az aşınırlar [16].

Aşınma miktarı malzeme türüne, sürtünen cisme, yüzeylerin biçimine, sürtünme koşullarına ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlıdır.

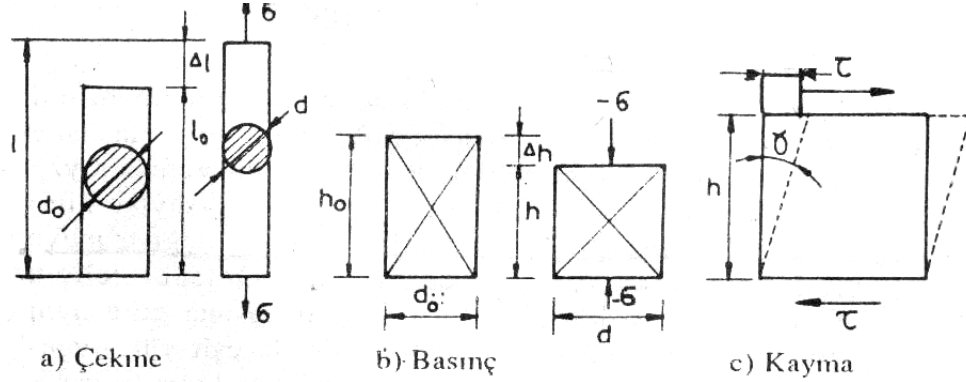
Birbirleriyle ilişkili iki malzemenin hareketi sonucu süreye bağlı olarak meydana gelen aşınmalarda, diğerine göre sert olan malzeme aşındırıcı olacaktır [12].

2.2.2.5 Deformasyon-Elastisite Modülü

Kuvvetin cisimde oluşturduğu gerilme sonucunda, cismin yaptığı şekil değişikliğine deformasyon denir. Deformasyon, cismin şekil değiştirdikten sonraki boyunun ilk boyuna olan oranıdır. Şekil değişikliği yanal ve boyuna olur [13]. Çekme halinde boy uzar, en daralır, basınç etkisinde tersi olur, kayma etkisinde ise yalnız açılar değişir (Şekil 2.10).

$$\text{Boyuna deformasyon; } \varepsilon_b = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.8)$$

$$\text{Yanal deformasyon; } \varepsilon_e = \frac{\Delta e}{e} \quad (2.9)$$



Şekil 2.10 Basınç, çekme ve kayma etkisinde boyut değiştirme [9]

Düşük gerilmeler altında elastik şekil değiştirme görülür. Yük kaldırılınca, elastik şekil değiştirme kaybolur, malzeme de tekrar eski boyunu alır. Gerilme belli bir sınırı aşarsa elastik davranış sona erer ve malzeme ya kırılır ya da kalıcı yani plastik şekil değiştirme oluşur. Plastik deformasyonda malzeme iç yapısında atomlar arası bağlar kopmuş, ancak komşu atomlar yeni bağlarla ilişki kurmuşlardır [12]. Elastik davranış biter bitmez kırılan malzemeye gevrek malzeme (beton, taş, tuğla), kırılmadan önce plastik şekil değiştirme yapanlara ise sünek malzeme (çelik, bakır, alüminyum) denir.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.10)$$

Lineer elastik malzemelerde gerilmelerle şekil değiştirmeler orantılıdır ve şekil değiştirmeler elastiktir. 2.10 no'lu denklemde de ifade edildiği gibi, (σ) gerilme ve (ε) ise boy değiştirme oranıdır. Orantı katsayısı elastisite modülü (E) birimi ise boy değiştirme oranı birimsiz olduğundan, gerilmenin birimi ile ifade edilir (N/mm^2). Elastisite modülü, malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç veya rijitlik anlamına gelir.

$$\gamma = - \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \quad (2.11)$$

Aynı gerilme altında oluşan yanal şekil değiştirme (ϵ_y), eksenel şekil değiştirme (ϵ_x) ile orantılı olup, bu orantı sabitine Poisson oranı denir. Malzemelerin büyük çoğunluğunda Poisson oranı 0.2-0.3 arasında değerler alır. Bu değer $\geq 1/2$ olursa, cisme uygulanan basınç sonsuz olsa da, malzeme sıkıştırılmaz [9].

Elastisite modülü atomlar arası bağlar tarafından belirlenir ve iç yapıya duyarlı değildir. Elastik gerilme-şekil değiştirme bağıntılarında zamanın etkisi önemsizdir. Kohezif kuvvet büyüdükçe, elastisite modülü de büyür. Elastisite modülü, sıcaklıkla azalır. Kristaller homojen anizotrop olduklarından özellikleri doğrultulara bağlı olarak değişir. Atomların en çok dizili olduğu doğrultularda şekil değiştirme rijitliği dolayısıyla elastisite modülü en yüksektir. Kristal yapı malzemelerde plastik şekil değiştirme büyük ölçüde kayma olayı sonucu oluşur [9]. İyonik bağlı bir kristalden ise plastik şekil değiştirme kabiliyeti beklenmemelidir [17].

Amorf yapı malzemelerin şekil değiştirmeleri kristal yapılarda olduğu gibi iç yapıya ve iç yapı türüne bağlıdır. Kuvvetli bağlar sürekli bir uzay ağı oluşturursa şekil değiştirme çok kısıtlıdır, %1'in altındadır. Lineer polimerlerde ise zincir şeklinde moleküller arası bağlar zayıftır, kuvvet etkisinde kolayca kayarlar, bunun sonucu önemli plastik şekil değiştirme olur.

2.2.3 Isı ile İlgili Özellikler

Isıl enerji emen malzemelerin iç enerjisi artar ve sıcaklığı yükselir. Bu enerjinin bir kısmı atomsal titreşimlerle kinetik enerjiye, bir kısmı da genişleme yolu ile potansiyel enerjiye dönüşür. Emilen ısı enerjisinin büyüklüğü (özellik ısı), iletme hızı (ısı iletkenlik) ve boyutlardaki değişimler (ısı genişleme) malzeme türüne, iç yapıya ve çevre koşullarına bağlı birer ısı özelliğidir.

Gazlarda atomlar ve moleküller sürekli hareket halindedirler. Isıl enerji arttıkça hızları artar. Katılarda ise atomlar arası kuvvetli bağlar nedeni ile hareketleri kısıtlıdır, ısı enerji etkisi ile ancak denge konumu etrafında titreşim hareketi yapabilirler, titreşim yaparken bağ boyları arttığından ısı genişleme oluşur. Titreşimler termoelastik dalgalar halinde iletilir. Bu dalgaların frekansları ve hızları malzemenin atomsal yapısına, atomlar arası bağ kuvvetine, elastik rijitliğine ve yoğunluğuna bağlıdır [9].

2.2.3.1 Isı Geçirgenliği ve İletkenliği

Sıcaklık maddedeki atomların titreşimlerini arttırmaktadır. Bir cismin bir ucu sıcak, öbür ucu soğuk ise, sıcak uçtaki atomlar daha hızlı ve soğuk uçtaki atomlar ise daha yavaş titreşirler. Sıcak uçtaki hızlı titreşen atomlar, komşu atomları sarsarak, hareket enerjilerinden bir kısmını onlara aktararak onların da daha hızlı titreşmelerine, yani sıcaklığın onlara da geçmesine sebep olurlar. Böylece sıcaklığı yüksek taraftan alçak tarafa doğru bir ısı akımı oluşur [16].

Isı enerjisinin sıcaklıkları farklı iki ortam arasında geçişi üç yolla olmaktadır:

-Kondüksiyon (iletim): Katı cisimlerde ısı enerjisinin, cismi oluşturan moleküllerin titreşimi sonucu bir molekülden diğerine aktarılarak yayılmasıdır.

-Konveksiyon (taşıma): Sıvı ve gaz gibi akışkanlarda görülen ısı iletim yoludur. Sıcaklığı yüksek bir katı cisme temas eden gaz veya sıvı moleküllerinin kapladıkları hacmin artmasıyla, ısınan moleküller titreşime başlar ve yükselirler. Sıcak moleküllerin soğuk moleküllerle yer değiştirmesi sonucu enerji taşınmış olur.

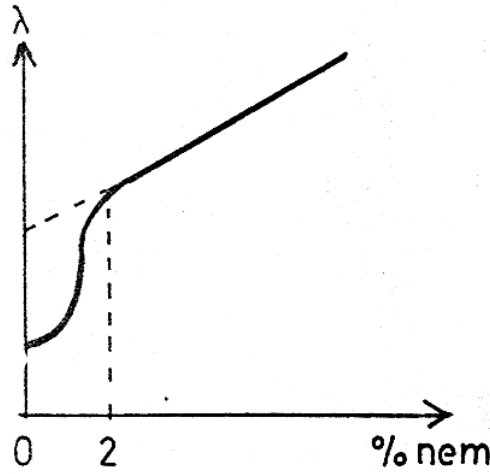
-Radyasyon (ışınım): Bütün katı ve sıvı cisimler sürekli olarak yüzeylerinden elektromagnetik dalgalar yolu ile ısı ışıınımları yayarlar. Bu yayılım cismin yüzey sıcaklığına ve yüzey özelliklerine bağlıdır. Taşıyıcı ortama gerek yoktur, ısı boşlukta bile yayılabilir [13].

$$Q = \lambda \cdot \frac{A(t_2 - t_1)}{e} \quad (2.12)$$

Q: birim zamanda geçen ısı miktarı A:alan e: kalınlık λ : ısı iletkenlik katsayısı

Birim zaman ve birim alanda malzeme içinden geçen ısı miktarı malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile orantılıdır. Isı iletkenlik katsayısı (λ), alanı $1m^2$, kalınlığı $1m$ olan bir malzemeden, iki yüzü arasındaki sıcaklık farkı $1^\circ C$ iken, 1 saatte geçen ısı miktarıdır [8].

Katı malzemelerin ısı iletkenliği, gözeneklilik derecesine, gözeneklerin büyüklüğü ile dağılım durumuna ve barındırdığı nem miktarına bağlıdır. Nemin varlığı gözenekli malzemelerin ısı iletimini artırır (Şekil 2.11). Ayrıca gözenek miktarı arttıkça ısı iletkenlik de küçülür. Düzenli dağılmış çok küçük hava gözenekleri olan bir yapı malzemesinin ısı iletkenliği, düzensiz dağılmış büyük gözenekli malzemeye göre daha azdır [12].



Şekil 2.11 Nem oranının ısı iletkenlik katsayısına etkisi [18]

Saf ve kusursuz kristallerin ısı iletkenliği yüksektir. Sıcaklık yükselince ısı kapasite biraz büyüdüğünden ısı iletkenlik de bir miktar artar ancak daha yüksek sıcaklıklarda değişme önemsizdir [9].

2.2.3.2 Isısal Genleşme

Sıcaklık derecesinin artmasıyla malzemedeki atomlar denge konumları etrafında daha hızlı titreşimler yaptıkları için, birbirlerinden daha uzakta durmaya mecbur kalırlar ve sonuçta malzemenin boyutları artar [16]. Atomlararası uzaklığın Δt sıcaklık yükselmesine karşı artışı ısısal genleşmedir. Isısal genleşme atom çaplarının büyümesinden kaynaklanır. Bağ enerjisi arttıkça ısısal genleşme azalır. Belli bir boydaki malzemenin sıcaklık farkı karşısında gösterdiği genleşme miktarı, malzemenin iç yapı özelliklerine bağlı bir katsayıya göre her malzemede değişik değerler alır. Sıcaklığın $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ artmasının birim boyda oluşturduğu artışa ısısal genleşme katsayısı (α) denir.

2.13 no'lu denklemde ifade edildiği gibi, bir malzemede sıcaklık Δt kadar arttığı zaman, boyu Δl kadar uzarsa birim boydaki artış sıcaklıktaki artışla orantılıdır.

$$\Delta l/l = \alpha \cdot \Delta t \quad (2.13)$$

Isısal genleşme katsayısı malzemelerin türüne, iç yapısına ve sıcaklığa bağlıdır. Isısal genleşme katsayıları sıcaklıkla artar, bu artış yüksek sıcaklıklarda daha büyüktür. Isısal genleşme küçüldükçe erime sıcaklığı artar.

Genleşmesi kısıtlanmış bir malzemede sıcaklık değişince gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler ısısal genleşme katsayısıyla orantılıdır. Bazı hallerde ısı gerilmeleri kırılmalara yol açabilir.

$$\sigma = E. \alpha. \Delta t \quad (2.14)$$

σ : ısı gerilme E : elastisite modülü

Kristallerde atomların diziliş sıklığı doğrultuya bağlı olduğundan (anizotropluk) ısısal genleşme katsayısı da doğrultu ile değişir. Kovalent bağlı polimerlerde ısısal genleşme metallere ve seramiklerden daha yüksektir. Özellikle aralarında zayıf bağ bulunan zincir şeklindeki moleküllerden oluşan polimerlerde ısısal genleşme oldukça yüksektir. Moleküller arasında oluşan çapraz bağlar ve kısmen kristalleşme ısısal genleşmeyi azaltır [9].

2.2.3.3 Isı Biriktirme Kapasitesi

Isı depolama kapasitesi, 1m^3 malzemenin sıcaklığının $1\text{ }^\circ\text{K}$ artması için bünyesinde biriktirmesi gereken ısı miktarıdır. Birimi $\text{Wh/m}^3\text{K}$ 'dır.

$$S = c. \gamma \quad (2.15)$$

Isı biriktirme kapasitesi (S) malzemenin yoğunluğu, ısı iletkenlik katsayısı ve özgül ısıya bağlıdır. S_{24} ise günlük ısı biriktirme kapasitesidir. Malzemenin yüksek miktarda ısı biriktirebilmesi için kütlelerinin büyük olması gerekmektedir [13]. Aynı ısı geçirimsizlik değeri olan elemanlardan yoğun, dolayısıyla ısı iletkenliği büyük ve kalınlıkları da fazla olanlar, hafif malzeme ile yapılan ince elemanlara nazaran daha çok miktarda ısı biriktirirler. Küçük ısı depolama kapasitesine sahip olan malzemeler hava sıcaklıklarındaki değişikliklere daha çok cevap verir [19].

Yapı elemanlarının ısı depo etme yeteneği, kışın ısıtmanın durması anında çabuk soğumayı, yazın da çabuk ısınmayı kısıtlamak için gereklidir. Yapı elemanlarında ısı depo etme yeteneğinin önemi, kısa süreli kullanılan mekanlarda ve kesintili ısıtma rejimi uygulanan yerlerde büyüktür.

Yapı elemanının ısı depo etme yeteneğinin artırılması ile iç yüzey sıcaklıklarının ısısal konfor gereği ve yoğuşmayı önleyecek şekilde belli bir seviyenin altına inmemesi sağlanmış olur [20].

2.2.3.4 Erime Sıcaklığı

Erime, sıcaklığın artışı sonucu, malzeme iç yapısında molekül bağlarının uzaması, elastik şekil değiştirme değerinin artması ve sonuç olarak iç yapının kristal sisteminin dağılarak malzemenin katı halden akıcı hale geçmesi olayıdır [12].

Katılarda kuvvetli bağlar, sıvılarda zayıf bağlar egemendir. Katı halden sıvı hale geçerken kuvvetli, sıvı halden buhar haline geçerken zayıf bağlar kopar. Elemanların bağ enerjisi arttıkça, erime sıcaklıkları da artar [9].

Genel olarak erime sıcaklığı yüksek malzemeler dayanıklılıklarını erime sıcaklığı düşük malzemeye göre daha fazla korurlar. Moleküler yapıdaki ve kovalent bağlı malzemelerde yüksek erime sıcaklıkları görülmez.

2.2.3.5 Özgül Isı

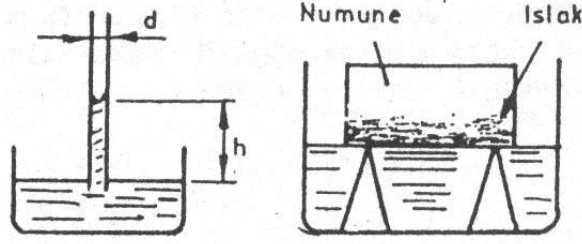
Özgül ısı (ısınma ısısı), bir cismin 1kg kütlesinin sıcaklığının 14.5 °C'den 15.5 °C'ye ulaşabilmesi için verilmesi gereken ısı enerjisi miktarı olup, birimi kcal/kg °C ya da SI sisteminde kJ/kg °C şeklindedir. Doğal maddeler içerisinde özgül ısı değeri en yüksek olan sudur. Su için bu değer 1 kcal/kg °C olarak alındığından diğer cisimlerin ısınma ısısı daima 1'den küçük değerler alır [13].

Bir malzemenin ısınabilme ve soğuma kabiliyeti, malzemenin özgül ısısı ile belirlenir. Bir yapı malzemesinin özgül ısısı, onun sıcaklık değişimleri karşısındaki davranışını belirlemek açısından oldukça önemlidir. Malzeme yüksek bir özgül ısıya sahipse sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenir. Malzemenin nem miktarı arttıkça özgül ısı değeri de artar [21].

2.2.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikler

2.2.4.1 Su Emme, Geçirimsizlik ve Kılcallık

Tüm yapı malzemeleri 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 veya kapiler su geçirimsizlik olayı görülür (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 a) Kapiler emme b) Yüzeysel emme [9]

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

S_a = ağırlıkça su emme yüzdesi

P_1 = suya doymuş ağırlığı

P_0 = kuru ağırlığı

$P_1 - P_0$ = emilen suyun ağırlığı

$$S_a = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times 100$$

(2.16)

Belli alan ve kalınlıktaki malzemenin iki yüzü arasında su farklı düzeylerde ise, bu ortamlar arasında hidrolik bir basınç farkı meydana gelir ve 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 [13].

Malzemenin birim zamanda geçirdiği su miktarı, basınç ve alan ile doğru orantılı, kalınlık ile ters orantılıdır (2.17 no'lu denklem). Geçirimsilik katsayısı ise bir malzeme özelliği olup orantı sabitidir [16].

Darcy kanununa göre; $Q = k \cdot \frac{P \cdot A}{x}$

Q = birim zamanda geçen su miktarı (cm^3/sn)

P = su basıncı (cm)

A = kesit alanı (cm^2)

k = geçirimsilik katsayısı (cm/sn)

x = malzemenin kalınlığı (cm)

(2.17)

Malzemelerin basınçlı su geçirirliiği, malzemenin gözenekliliğine, taneli malzemelerde ise tane düzeni ve çapına göre değişim gösterir. Porozitenin küçük olması halinde geçirirlilik son derece azdır. Porozite büyük olabilir, fakat buna karşılık boşluklar birbiriyle bağlantılı değilse geçirirlilik yine küçük bir değer alır. Boşluklar birbiri ile bağlantılı iken geçirirlilik porozite ile birlikte artar [8].

Kapiler su geçirirlilik malzeme yüzeyinin su ile temasa geldiği zaman, suyun yüzey gerilimi nedeniyle, malzeme boşluklarında ve kılcal kanallarında suyun yükselmesi olayıdır. Bu durumda emilen su miktarı (Q), malzemenin su ile temas eden yüzeyine (A), suyun diğer yüzeyine geçiş süresine ve malzeme kapilarite katsayısına (K) bağlı olarak değişir [16].

$$Q = \sqrt{K \cdot t} \cdot A$$

Q = emilen su miktarı (cm³) t = geçen zaman (sn)

A = su ile temas eden alan K = kapilarite katsayısı (cm³/cm² √sn) (2.18)

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 malzemelerde, büyük gözenekli olanlardan daha fazladır.

Rötre ve Şişme: Malzemelerin ıslanması genleşmeye veya şişmeye, buna karşılık malzemedeki su miktarının azalması ise büzülmesine yani rötre yapmasına yol açar. Bu rötre ve şişme olaylarının serbest şekilde meydana gelmemesi halinde birtakım iç kuvvetler veya gerilmeler meydana gelir. Rötre ve şişme olaylarına maruz kalan malzemeler; harç, beton ve ahşaptır [8].

2.2.4.2 Buhar Geçirgenliği

Su Buharı Difüzyon Geçirgenliği:

Değişik 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 [12].

Belirli dış buhar basıncı altında birim kalınlıktaki numunenin birim alanından birim zamanda geçen su buharı, buhar geçirirliliği belirler ve bu geçiş malzemelerin buhar geçirirlilik katsayılarına (δ) bağlıdır. Bağıl nem %50'den az ise buhar difüzyonla, daha fazla ise kısmen difüzyon, kısmen de kılcallık etkisi ile geçer [9].

Yapı malzemeleri genellikle bu akıma tam direnç göstermezler. Buhar difüzyonuna yapı elemanlarını teşkil eden tabakaların difüzyon dirençleri karşı koyar [22].

Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü (μ):

Bir yapı malzemesinin buhar difüzyon direncinin aynı kalınlık ve şartlardaki hava tabakasının kaç katı direnç gösterdiğini belirleyen bir sayıdır. Havanın difüzyon direnç faktörü 1'dir [23]. Bitüm, plastik, metal ve cam gibi malzemelerin difüzyon dirençleri çok yüksektir. Malzemenin özgül ağırlığı arttıkça difüzyon direnci de yükselir.

Higroskopik Emicilik:

Malzemenin, yüzeyleri ile temas halinde bulunan nemli hava içindeki su buharını, belli şartlarda buhar basınç farkına gerek olmaksızın emmesi ve içinde tutmasıdır. Bazı malzemeler emme sırasında fiziksel ve kimyasal değişim göstermezler, bu durumdaki emmeye adsorbsiyon, fiziksel veya kimyasal ya da her iki şekilde de değişim gösterme durumundaki emmeye ise absorbsiyon denir.

Higroskopik yapı malzemeleri çevre havasındaki su buharı ile denge halinde olan nem içerirler [24].

2.2.4.3 Donma Mukavemeti

Boşluklu bir malzemenin içinde bulunan su, sıcaklığın 0 °C'nin altına düşmesi halinde donar. Donma esnasında %9 oranında bir hacim artması olur. Eğer malzemenin boşlukları tamamen su ile dolu ise bu hacim artışını karşılayacak bir hacim mevcut değildir. Bu takdirde suyun donması ile malzemenin içinde birtakım basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelir. Bu gerilmeler malzemenin mekanik mukavemetini aştıkça cisim donma etkisine dayanıyor demektir. Aksi halde donma olayı sonucunda meydana gelen gerilmeler malzemede çatlamalara neden olur. Bu nedenle bir malzeme kullanıldığı yerde 0 °C'nin altında sıcaklık derecesine maruz kalacak ise donmaya karşı dayanıklı olmalıdır [8].

Malzemelerin donmaya dayanıklılığı doyma derecesi ile belirlenir. Doyma derecesi, su ile dolu gözenek hacminin toplam gözenek hacmine oranıdır [20]. Malzemenin donmaya dayanıklılığı, doyma derecesinin %80 veya daha küçük olmasına bağlıdır [16]. Ayrıca küçük gözenekli malzemelerin kapilaritesi yüksektir ve büyük gözenekli malzemelerden donmaya daha az dayanıklıdır.

2.2.4.5 İçerdiği Nem Miktarı

Genel olarak pratikte yapı elemanları az veya 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 [24].

Nem miktarı, belli bir anda, belirli bir hacimdeki malzemenin içerdiği su kütlesi miktarının tam kuru malzeme kütlesine oranının yüzde olarak ifadesidir [25].

$$\text{Nem miktarı} = \frac{\text{malzemedeki bulunan su kütlesi}}{\text{malzemenin kuru kütlesi}} \times 100 \quad (2.19)$$

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.

2.2.5 Ses ile İlgili Özellikler

Ses, insanların algılayabildiği frekansta basınç dalgası halinde yayılır ve rastladığı cisme basınç dalgası olarak etkir. Bu basınç dalgasının enerjisi sesin şiddetini, frekansı da tonunu belirler. Ses desibel birimi ile ölçülür.

İnsan kulağı 30Hz ile 20000Hz arasında kalan frekansları duyabilir. 250Hz'den aşağısı düşük, 250-1000Hz arası orta, 1000Hz'den yukarı olanlar yüksek frekanslı sayılır [9].

Bir yapı elemanına çarpan ses dalgaları kısmen yansır, kısmen emilir ve kısmen malzeme tarafından iletilir. Ses geçirimsizlik, ses kaynağı ve dinleyici farklı mekanlarda olduğunda, ses emicilik ise her ikisi de aynı mekanlarda olduğunda önemlidir.

Ses, kaynağının davranışına göre hava ve darbe sesi olarak iki türdür. Hava sesi, etraftaki havayı harekete geçirirken, darbe sesi ise yapı elemanını doğrudan harekete

geçirir (titretir). Bağırma ve radyo sesi hava sesine, ayak sesi gürültüsü ve tesisat gürültüsü ise darbe sesine örnek gösterilebilir.

2.2.5.1 Ses Geçirimsizliği

Her malzemenin fiziksel yapısına bağlı olarak bir ses geçirimsizlik değeri vardır. Ses dalgasının ne kadarının malzemedan geçtiğini belirleyen faktörler, malzemenin moleküler yapısı ve yoğunluğu ile bağlantılı olan, malzemenin birim hacim ağırlığı ve malzemenin temas içerisinde olduğu diğer malzemeler ile olan ilişkisidir.

Birim hacim ağırlığının, malzemenin ses geçirimsizliğine olan etkisi, ters orantılı olarak artar. Malzemenin birim hacim ağırlığı arttıkça, malzeme iç yapısı yoğunlaşacağından, ses geçirimsizlik azalacaktır. Gözeneklerin dağılımı önemli bir rol oynamaz [10]. Hava sesi dalgaları aynen ışık gibi yoğun malzemelerde daha çok kırılmaya uğrar. Darbe sesi ise yoğun (sert) malzemelerde daha yüksek titreşime neden olacağından hızla yayılır. Bu yüzden darbe sesi yalıtımı için yumuşak malzemeler tercih edilir.

Sesin malzemedan geçişi, o malzemenin temas içinde olduğu diğer malzemelerle olan ilişkisine de bağlıdır. Malzemenin temas içinde olduğu malzemelerin elastikliği ve birim hacim ağırlıkları da sesin geçirimsizliğini etkiler. Temas içerisinde olan malzemelerin elastikiyetlerinin artması özellikle yüksek frekanstaki seslerin malzemedan geçmesini engellerken, diğer malzemelerin birim hacim ağırlıklarının artması, düşük frekansta seslerin geçmesini engeller.

Ayrıca her iki malzeme arasında bir hata boşluğu varsa ses geçirimsizlik değeri olumlu yönde olmak üzere bir hayli farklılık gösterir.

Ses geçirimsizlik değerinin tam anlamıyla sağlanması için frekansların da belli bir sınır içinde bulunması gereklidir. Bu husus malzemenin birim ağırlığı, elastiklik modülü ve kalınlığı ile ilgilidir [12].

2.2.5.2 Ses Yansıtma ve Yutuculuğu

Sesin Yansıtması:

Sesin yayılım süresi içinde bir yüzeye çarpması ile meydana gelen yansıtma olayında, ses çarptığı yüzeyin normali ile eşit açı yaparak bir kırılma sonucu yön değiştirmekte ve yayılma devam etmektedir.

Malzemenin birim hacim ağırlığı ve malzeme yüzeyinin yapısı sesin yansımını etkileyen unsurlardır. Malzemede ses geçiriminin tersine, malzemeden sesin yansımaları malzemenin birim hacim ağırlığı ile doğru orantılı olarak artar. Hava sesi yoğun malzemelerde geri yansır. Bu yansıma değeri malzemenin cinsine ve malzemeye etki etmekte olan sesin frekansına bağlı olarak değişiklik gösterir. Sesin yansımada malzemenin yüzey dokusu ve şekli çok önemlidir. Sesin çarptığı yüzey ideal düzlükte değilse, ideal yansıma gerçekleşmeyecek ve ses dağılacaktır [12]. Sert (yoğun) malzemelerde ses yansıtıcılığını azaltmak için malzeme yüzeyine delikler açılarak, sesin bu deliklerde sönümlenmesi sağlanır.

Sesin Yutulması:

Malzemede ses yutuculuk (emicilik) malzemenin ses dalgasını kendi bünyesi içine alması ve malzemenin iç yüzeylerine çarparak sönümlenmesi ile gerçekleşir. Ses dalgası havada ilerlerken bir cisme çarptığı andaki enerjisi E_1 ise bunun E_2 kadarı cismin yüzeyi tarafından yansıtılır, geri kalan kısmı malzeme içinden geçerken bir kısmı emilir ve öbür tarafa zayıf olarak çıkar.

$$\text{Malzeme yüzeyinin ses emme katsayısı } \alpha = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \quad (2.20)$$

Bir yüzey sesin %85'ini yansıtıyorsa, o yüzeyin ses yutma katsayısı $\alpha = 0.15$ 'dir. Bu değer her malzemenin iç yapısına göre 0.2-1.00 m/sn arasında değişir [12]. Ses emme yeteneği frekansa da bağlıdır. Gözenekli malzemelerde, frekansın yükselmesi ses yutuculuk değerinin de artmasına yol açar. Halı, kumaş, sünger elyafı gibi yumuşak malzemeler orta ve yüksek frekansları, delikli rijit levhalar (alçı blokları) alçak ve orta frekansları emer.

Sesin yutulması sadece yansıyan sesi azaltır, sesin bir yapı elemanından geçmesini azaltmaz. Yansımanın az olması için, ses emme katsayısının büyük olması gerekir. Yansımanın fazla olması yankıya yol açarak işitme koşullarını bozar (Bir kaynaktan çıkan ses duvarlara çarpıp tekrar tekrar yansır, sesin sönmesi gecikir, buna yankılama denir) [9].

Ses kaynağı kesildikten sonra, ses şiddetinin, başlangıçtaki değerinin milyonda birine inmesi için geçen süreye reverberasyon süresi denir. İç yüzeylerin ses emme kabiliyeti çok fazla ise, reverberasyon süresi küçüktür [16].

Yapı elemanlarının tek bir malzemeden oluşturulduğu durumlarda, istenilen ses yutuculuğunun sağlanması, özellikle o malzemenin yoğunluğu ile ilişkilidir. Yoğunluğu az olan malzemelerin hava sesi yutuculuğu daha fazladır. Bu durumda gözenek yapısı da önemlidir; iç boşluklar yüzey gözenekleriyle bağıntılı olunca emicilik artar [10]. Gözenekli malzemelerde kalınlık, artan frekansla artar. Kesit kalınlığının artması veya arada bir hava tabakasının bulunması ses yutuculuğu önemli yönde etkilemektedir. Homojen olmayan bünyelerde de ses kolaylıkla yutulur.

2.2.6 Elektrik ile İlgili Özellikler

Malzemelerin elektriksel özellikleri, elektron yapıları ve elektron hareketleriyle ilgilidir. Malzemede elektriksel iletkenlik, elektriksel alan etkisinde serbest elektron hareketleri ile sağlanır.

Elektriksel alanın oluşturduğu coulomb kuvvetleri etkisinde elektronların veya yayınan iyonların malzeme içinde uzak mesafeli hareketleri elektriksel iletkenliği sağlar. Bu özelliğe sahip olan malzemelere iletken malzemeler denir. Özellikle çok sayıda serbest elektron içeren saf metallerin iletkenlikleri çok yüksektir. Bu serbest elektronlar gelişigüzel hareket ederler, birbirleriyle ve sabit iyonlarla çarpışırlar. Fakat elektrostatik bir alan uygulandığı zaman, elektronlar negatif yüklenirler ve pozitif kutba hareket ederler. Bu hareket sırasında sabit iyonlarla daha sık çarpışırlar. Bu da elektron hareketine karşı bir direnç oluşturur ve bu direnç elektron hareketiyle orantılıdır [11]. Özgül direnç sıcaklıkla orantılı olarak artar.

$$R = \rho \cdot L / A \quad (2.21)$$

R = iletkenin direnci (ohm)

L = iletkenin boyu

ρ = özgül direnç (ohm.m)

A = iletkenin kesiti

$$\text{İletkenlik } \sigma = 1 / \rho \quad \text{Birimi: (ohm.m)}^{-1} \quad (2.22)$$

İyonik ve kovalent bağlı malzemelerde serbest elektron bulunmadığından bunlar normal olarak yalıtkan sayılırlar. Ancak bazılarında yeterli elektriksel alan veya yüksek sıcaklık uygulanırsa yeterli sayıda elektron aktive edilerek serbest hale geçirilir ve iletkenlik sağlanabilir. Bu tür malzemelere yarı iletken malzeme denir.

Malzemeler iletkenliklerine göre 3 sınıfa ayrılırlar: iletkenlikleri $10^4 \text{ (ohm.m)}^{-1}$ 'den büyük olanlar iletken, $10^{-4} \text{ (ohm.m)}^{-1} - 10^4 \text{ (ohm.m)}^{-1}$ arasında olanlar yarı iletken ve $10^{-4} \text{ (ohm.m)}^{-1}$ 'den az olanlar yalıtkan sayılırlar [9].

2.2.7 Işık ile İlgili Özellikler

Görünen ışık dalgaları, frekansları 10^{14} - 10^{15} Hz arasında olan elektromanyetik dalgalardır. Elektromanyetik veya radyasyon dalgalarının belirli enerjileri vardır. Bu enerjilerin foton denilen küçük parçacıklar tarafından yayıldığı varsayılır. Bu dalgaların malzemede mevcut elektriksel yüklü elektronlar, elektriksel kutuplar ve iyonlarla etkileşmeleri sonucu optik özellikler sağlanır.

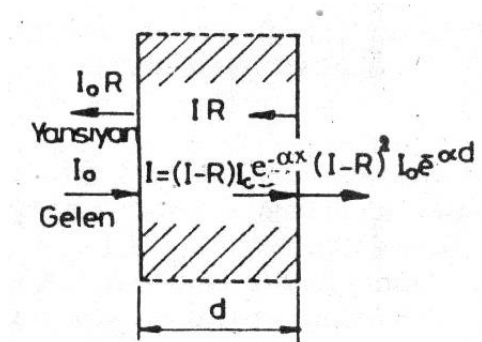
Elektromanyetik dalgalarla malzemelerin etkileşmesi sonucu dalgalarda olan değişimler yansıma, kırılma ve emme şeklinde olabilir [9].

2.2.7.1 Işık Geçirgenliği

Opak malzemeler ışık dalgalarını geçirmez kısmen yansıtır ve kısmen emer. Saydam malzemeler ise ışığı önemli ölçüde geçirirler ve geçirirken bir kısmını emerler.

Metallerde ışık dalgası, serbest elektron bulutu tarafından yansıtıldığından geçemez, bu nedenle metaller saydam değildir, opaktırlar. İyonik ve kovalent bağlı malzemelerde serbest elektron bulunmadığından ışık yansıtılmadan kolayca geçebilir.

Işık Emme: Işık dalgaları malzeme içinden geçerken elektronik etkileşme nedeni ile kısmen enerjileri emilir ve kütle içinde ilerledikçe şiddeti azalır (Şekil 2.13). Işık şiddetinin değişme oranı $dI/I \text{ dx}$ mesafesi ile orantılıdır.



Şekil 2.13 Işığın emilmesi [9]

$$dI / I = -\alpha \cdot dx \quad (2.23)$$

α = malzemenin ışığı emme katsayısı

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (2.24)$$

I_0 = cismin yüzeyine gelen ışık şiddeti

$I = I_0 \cdot R$ = yüzeyden yansıyan ışık şiddeti

$I_0 - I = (1-R) I_0$ = içeri giren ışık şiddeti

Ortamdan çıkmadan önce ışığın yine IR kadarı yansır ve geri $(1-R)I$ kadarı kalır. Sonunda cisimden çıkan ışığın şiddeti;

$$I = (1-R)^2 \cdot I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (2.25)$$

Belirli bir malzeme için yansıma oranı (R) ile emme katsayısı gelen dalganın frekansına ve malzeme ile etkileşmesine bağlıdır. Opak malzemede yansıma oranı metallerde yaklaşık %100 civarında iken, camda %5 kadardır [9].

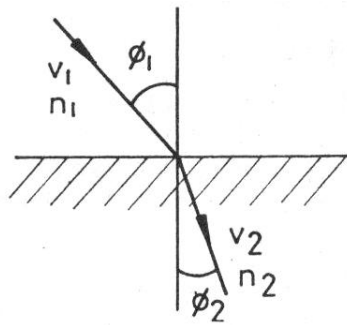
2.2.7.2 Işık Yansıtma Özelliği

Yansıma, malzeme yüzeyine çarpan ışık dalgalarının geriye doğru yayılmasıdır. Yansıma oranı (R), yansıyan ışığın şiddetinin (I) malzeme yüzeyine gelen ışığın şiddetine (I_0) oranıdır.

Gazlarda, sıvılarda ve saydam katılarda emme oldukça azdır, yansıma oranı düşüktür. Bu tür cisimlerde yansıma oranı (R) kırılma indisine (n) bağlıdır.

$$R = \left[\frac{n-1}{n+1} \right]^2 \quad (2.26)$$

Kırılma indisi arttıkça yansıma oranı da artar.



Şekil 2.14 Işık kırılması [9]

Kırılma: Saydam bir malzemenin yüzeyine gelen dalganın bir kısmı yansır, bir kısmı da kırılarak kütle içinde ilerler (Şekil 2.14). Gelen dalga ile kırılan dalgaların hızları farklı olduğundan aralarında faz farkı doğar. Işığın boşlukta yayılma hızının (c) malzeme içinde yayılma hızına (v) oranına kırılma indisi (n) denir.

$$n = c / v \quad (2.27)$$

Kırılma indisi gelen dalgaların enerjisine ve yayıldığı ortamın yoğunluğuna bağlıdır. Yüksek enerjili dalgalar, malzeme içindeki elektronlar ve elektriksel kutup çiftleri ile daha şiddetli etkileşeceğinden hızlarında azalma daha büyük olur. Ortamın yoğunluğu yüksek olursa ve büyük atom numaralı elemanlar içerirse, elektron yoğunluğu artar, dolayısıyla ışık dalgaları ile etkileşme daha şiddetli olur ve bunun sonucu kırılma indisi artar.

Kübik kristaller ve amorf malzemeler (cam gibi) optik yönden izotropdur, ışık her doğrultuda aynı hızla yayılır [9].

2.2.8 Fiziko-Kimyasal Özellikler

2.2.8.1 Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi

Kimyasalların Etkisi:

Kimyasal reaksiyonlar atomlar arası bağ kopması ve bağ oluşması ile ilişkilidir; bunlar büyük ölçüde dış kabukta bulunan elektron yapısına bağlıdır. Metallerde az sayıdaki valans elektronları kolaylıkla ana atomdan ayrılırlar ve geriye artı yüklü metal iyonları kalır. Bu yüzden çevrenin elektro-kimyasal etkilerine karşı duyarlı olurlar. İyonik ve kovalent bağlı malzemeler ise dış etkilere karşı çok dayanıklı olurlar [9].

Çeşitli kimyasal etkiler, havada ve sularda bulunan asit ve sülfatlar yapılarda kirlenme, çiçeklenme, erime, çözülme, kararma, parçalanma gibi etkilere yol açmaktadır.

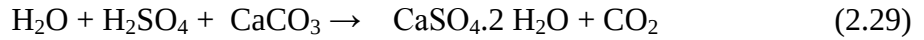
Zemin suyu ve endüstriyel atıklar; tuğla, toprak, çimento ürünleri ve metallere zarar veren, çözünebilen sülfat içerir. Sonuç olarak Portland çimentosu ve hidrolik kirecin genişlerken ayrılıp dağılmasına yol açar [19].

Malzemeler doğrudan doğruya veya dolaylı olarak bazı asit ve bazların etkisine maruz kalabilirler. Plastik malzemeden PVC, melamin, teflon ve epoksi dışındaki tüm malzemeler üzerinde asitlerin etkileri vardır. Cam ve porselende sadece HF asidin etkisi söz konusudur [12].

Havadaki Gazların Etkisi: Özellikle endüstri bölgelerinde havaya karışan CO₂ ve SO₃ gazları, yağmur, sis ve havanın nemi ile birleşerek sülfürikasit (H₂SO₄) ve karbonikasit (H₂CO₃) haline geçerek özellikle yapıların dış kaplamalarında kullanılan malzemeler üzerine zararlı etkiler verir.



Kalker esaslı malzemelerdeki kalsiyum karbonat, bu reaksiyonda (2.28 no'lu denklem) olduğu gibi suda eriyen bir malzeme olan kalsiyum bikarbonat haline gelmektedir. Bu şekilde suda erir hale gelen malzemeler, sular tarafından eritilip götürüleceği için tahrip olmaya başlar.



Sülfürikasit reaksiyonunda (2.29 no'lu denklem) ise, kalsiyum karbonat alçıtaşı haline gelip, su alarak kristalleşmektedir. Bu olayda meydana gelen hacim genişmesi yüzeyde malzemeyi parçalar ve eskimesine yol açar. Bu asitler kalkerli olmayan diğer malzemeler üzerinde de çeşitli zararlı etkilere yol açabilmektedir [9].

Suların Etkisi: Su, mantarların gelişmesi, kimyasal reaksiyonlar ve donma olayı için uygun ortam koşullarını hazırlar. Su, tuzların ve suda çözünebilen maddelerin taşıyıcılığını da yapar.

Yapı malzemelerine zarar veren suların başında tatlı sular, yani sertliği az olan (içinde erimiş tuzlar az olan) sular gelir. Bunların içinde erimiş bulunan havanın CO₂'i kendisini nötralize edecek kireç bulamayacağı su içinde H₂O + CO₂ → H₂CO₃ şeklinde karbonik asit etkisi yapacaktır. Karbonik asit bulunuşu, suyun pH değerinin 7'den küçük olmasına yol açar. Tatlı sular pH değeri 7'den küçük olduğu takdirde kalkerli malzeme için tehlikeli olur, kalkeri suda eriyen kalsiyumbikarbonat haline getirirler ve akıcı olan sularda malzemeyi çok kısa bir zaman içinde eriyip götürürler.

Yapı malzemelerine zarar veren diğer su çeşidi sülfatlı sulardır. Bu sularla temas eden kalkerli malzemeler ve beton, kısa bir zamanda şişip parçalanarak harap olur.

Deniz suyu, içinde NaCl ve az miktarda MgSO₄ bulunduğu için, zayıf bir sülfat etkisi yapar [16].

Organizma Etkisi: Bazı bakteri, mantar, böcek gibi organizmalar bitüm esaslı malzemelerde ve ahşapta tahribata yol açarlar. Çeşitli bakteri, mantar ve kurtlar ahşabın nişasta ve selüloz yapısını ayrıştırarak beslendiklerinden, çok kısa bir sürede malzemeyi toz haline getirirler. Bu ayrışma, rutubetli, karanlık ve sıcak bir ortamda daha da tehlikeli bir hal almaktadır. Topraktaki bakterilerin, özellikle, yapısında organik taşıyıcı bulunan bitümlü malzemeyi ayrıştırma ve niteliğini bozma şeklinde zararlı etkileri vardır. Sülfat üreten bakteri, yeraltındaki kurşun, demir, çelik gibi boruları korozyona uğratar. Ayrıca bitkisel parazitlerin de taş malzemenin parçalanmasına yol açan bir etkisi vardır [12].

Atmosferik Olaylar:

Atmosferdeki oksijen, azot, karbondioksit ve bol miktardaki su buharı güneşten aldığı enerjiyle atmosfer olaylarının oluşmasına neden olur. Bu olaylar kendilerini yağış (kar, yağmur, dolu), sis, rüzgar ve sıcaklık değişiklikleri olarak gösterir. Binaların tüm dış yüzeyleri bu olaylardan az ya da çok etkilenir. Yağmur suyunu bina bünyesine almadan yapıdan uzaklaştırmak temel amaçtır.

Sis ve benzeri atmosfer olaylarında havaya karışan kirleticiler ve zehirli gazlar suyla birleşerek binaların dış kabuklarında zararlı etkilere neden olurlar. Bu da yapısal tasarımda malzeme seçimi açısından gözönüne alınması gereken önemli bir konudur.

Rüzgarların yapılar üzerindeki mekanik etkileri dışında, taşıdıkları kum, toz, dolu vb. partiküllerin yaptığı erozyondan bina dış kabuğunun korunma önlemlerinin alınması gözardı edilmemelidir [12].

2.2.8.2 Güneş Radyasyonu Etkisi

Güneş radyasyonları, güneşten dünyamıza atmosferden geçerek gelen bir enerjidir. Kısa dalga boylu bu güneş radyasyonlarının %27'si doğrudan doğruya, %10'u atmosferden yansıma yoluyla yaygın radyasyon şeklinde yeryüzüne gelir [12].

Radyasyon malzemelerin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişikliklere neden olur; atomları iyonlaştırır, onlara yüksek enerji verir ve bunun sonucu atomlar serbest olarak hareket etmeye başlarlar. Örneğin gamma ışınları elektromanyetik

dalga halinde yayılarak elektronları bağı bulundukları ana atomlardan kopararak önemli ölçüde iyonlaşma meydana getirirler [9].

Güneş radyasyonlarının etkileri malzemenin yüzey özellikleri ve rengine göre değişmektedir; parlak ve açık renkli yüzeyler radyasyonu yansıtırken, mat ve koyu renkli yüzeyler ise radyasyonu yutmaktadır.

Güneşten gelen ışıklardan ısı enerjisi taşıyanlara kızılberisi (infrared) ışınlar denir. Bu ışınlar çarptığı cisimleri onların rengine bağlı olarak ısıtır, sıcaklığını yükseltir ve genişmesine neden olur. Renk kaybına neden olan ışıklara ise morötesi ışınlar veya ultraviyole ışınlar denir [26].

Ultraviyole ışınları ile gelen alfa parçacıkları organik malzemelerin atomlarına çarparak, atomik yapıda bozulmalara, ayrışma ve çözölmelere, malzemenin eskimesine yol açmaktadır. Bu ışınlar ayrıca taşlarda ayrışabilir pigmentlerin renk değıştirmesine, boyalarda, bitümlü malzemelerde ve bazı plastiklerde renk kaybına, akrilik reçinelerin katılaşmasına, malzemenin çatlamasına ve çözölmesine neden olmaktadır [13, 16].

2.2.8.3 Yangın Direnci

Yanma olayı, yanan madde ve yakıcı gaz ikilisinin belirli bir sıcaklıkta birarada bulunmasıyla ortaya çıkan kimyasal bir reaksiyondur [13].

Yangın, malzemeler üzerinde fiziksel ve kimyasal değışikliklere yol açar. Yangın sırasında ortaya çıkan sıcaklık artışı malzemeyi eritir ve kimyasal olarak ayrıştırır. Kimyasal ayrışmanın gerçekleşebilmesi için gerekli ısı miktarı malzeme türüne göre değışir. Fiziksel değışiklikler ısısal deformasyon ve erimedir. Malzemelerin ısı iletkenliğı, ısı tutma kabiliyeti, genişme gibi fiziksel özellikleri etkilidir. Çünkü ısı iletkenliğı yüksek olan malzemelerde ısınma, buna bağılı olarak değışme daha hızlıdır ve deformasyon etkisi daha çabuk olur. Yüksek sıcaklık mukavemet kaybına da yol açar. Örneğın, çeliğın mukavemeti 600 °C’de 400 N/mm²’den 100 N/mm²’ye düşer [12, 27].

Yangın etkisiyle malzemenin kimyasal yapısında meydana gelen değışimler ise molekül yapısının bozulması ve karbonlaşma olayıdır. İnorganik grupta yer alan taş, beton gibi malzemelerin bünyesinde bulunan CaCO₃, CaSO₄, Ca(OH)₂ ve organik bileşiklerden ahşap, plastik gibi malzemelerin içinde bulunan C, H₂, N₂, S₂ gibi

element ve bileşikler, yangın anında kimyasal bir değişime uğrayarak, malzemenin molekül yapısının bozulmasına yol açar. Bu arada birtakım zararlı gazlar (CO₂, CO, SO₂, SO₃) oluşur [12].

Malzemelerin yangındaki gerçek davranışı, bileşimine ve yapıda kullanıldığı yere göre değişir. Malzemelerin yangın anındaki davranışlarını etkileyen değişkenler malzemenin; yanabilirlik, yanıcılık sınıfı, ısısal genleşme davranışı, ısı ve sıcaklık iletme özellikleri, mekanik-termik davranışları, ateşe direnci veya sıcaklığa bağlı olarak kimyasal açıdan yangından korunma reaksiyonları (alçının dehidratasyonu gibi), termik mukavemet davranışı olarak sıralanabilir. Bu kavramlar her malzemeye ve iç yapılarının farklılıklarına, yoğunluklarına göre değişim gösterir [28].

Tablo 2.1 Yapı malzemelerinin yanıcılık sınıfları [29]

1	2	3	4
Yanıcılık Sınıfı	Yapı Malzemelerinin Tanımı	Yangında Gözlenen Davranış	Söz Konusu Sınıfta Belirlenmiş Yapı Malzemeleri
1 A	Yanmaz		
2 A1	Hiç Yanmaz	Alev almaz, yanmaz. Kömürleşmez.	a)kum,çakıl, kil, yapı taşları b)mineraller, toprak, lav, sünger taşı c)çimento, kireç, alçı,anhidrit d)cüruf, genleşmiş kil ve şist, cam, perlit, vermikülit e)harç, beton, betonarme, öngerilmeli beton, mineral dolgulu yapı taşları, yapı blokları f)asbestli çimento ve mineral lifler g)ince toz halinde olmayan metaller ve alaşımlar (alkali ve toprak alkali dışında)
3 A2	Zor Yanıcı	Yanıcı kısımlar içerir, ancak kendileri yanmaz, ateşi iletmez, yangın yüküne katkısı olmaz.	
4 B	Yanıcı Yapı Malzemeleri		
5 B1	Zor Alevlendirici	Alev kaynağı kalktıktan sonra da yanmayı sürdürür.	a)ahşap talaşı malzemeler b)alçı-karton levhalar (yüzeyi deliksiz) c)asbestli mukavva ve kağıt d)sert polivinilklorür (PVC) boru (d>3.2mm) e)PVC zemin kaplamaları f)ahşap parke
6 B2	Normal alevlenici	Yanıcı duman ve zehirli gaz oluşturulur.	a)ahşap $\delta \geq 400 \text{ kg/m}^3$ d > 2 mm $\delta \geq 230 \text{ kg/m}^3$ d > 5 mm b)yapay ahşap levha d>2 mm c)sert polivinilklorür (PVC) levha d)polipropilen (PP), polietilen (PE), ABS ¹ , borular e)polyester d>1.3 mm f)polietilen $\delta \geq 940 \text{ kg/m}^3$ d> 2 mm g)asfalt ve bitümlü çatı örtüleri
7 B3	Kolay alevlenici	Yukarıdaki sınıflara girmeyen malzemelerdir.	a)ahşap d<2 mm b)kağıt, saz, talaş, saman, pamuk, selüloz lifi c)gevşek ve toz halinde her tür yanıcı madde

Yangın direnci, malzemelerin ve yapı elemanlarının normal yapısal fonksiyonunu devam ettirebildiği zaman dilimidir [19]. Yangın genel olarak her türlü malzeme üzerinde etkilidir. Ancak yanma süresi ve yanma sıcaklığı malzemenin niteliğine göre değişmektedir.

TS 1263 ve TS 4065 standartlarında yapı malzemelerinin yanıcılık sınıfları verilmiştir. A sınıfında kum, çakıl, taşlar, harç, beton, bazı metaller gibi yanmayan malzemeler, B sınıfında ise ahşap, alçılı karton levhalar, PVC döşeme kaplamaları gibi yanıcı malzemeler bulunmaktadır [29].

2.2.8.4 Korozyon

Korozyon, malzemelerin kimyasal ve fizyokimyasal özellikleri ve içinde bulundukları ortam etkisi ile, belli bir süreç sonunda ortaya çıkan malzeme tahribatıdır. Yüzey aşınması, incilmesi, yüzeyde lekeler ve çukurlar şeklinde veya malzemenin içinde, derinliklerinde gerçekleşebileceği gibi; yüzeyden başlayarak içerilere kadar ilerleyebilir.

Korozyon kaynağına göre iki türdür:

-Kimyasal Kaynaklı: Kimyasal eriyiklerin oluşturduğu doğrudan korozyondur.

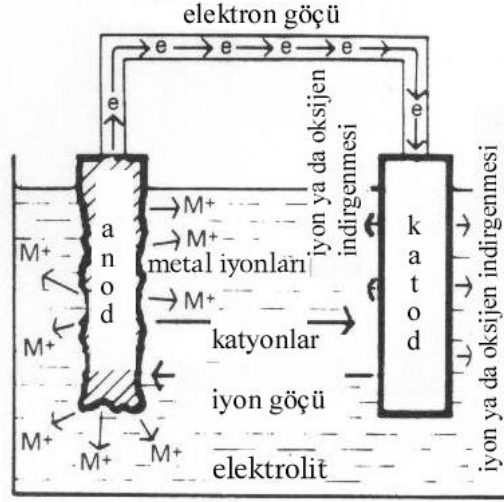
-Elektrokimyasal Kaynaklı: Çevre koşullarının meydana getirdiği elektrokimyasal korozyon, herhangi bir eriyiğe gerek kalmadan sürekli oluşur.

Kimyasal Korozyon:

Normal olarak hava; su buharı ve CO₂ içerir. Ancak hava kirliliğinin yoğun olduğu alanlarda SO₂, HCl, NaCl gibi gazlar mevcuttur ve bunlar, hava ile temasta olan metalleri aşındırırlar.

Elektrokimyasal Korozyon:

Bir elektrolit içine değişik türde iki metal elektrot daldırılırsa ve bir iletkenle birleştirilirse aralarındaki potansiyel farkı nedeni ile birinden diğerine elektron akar. Elektrokimyasal korozyon, temelde elektron alışverişi sonucu meydana gelen malzeme kaybıdır (Şekil 2.15). Korozyon olaylarında kaybolan malzeme çoğunlukla birleşik halinde ana metalden ayrı bir yerde birikir.



Şekil 2.15 Elektrokimyasal korozyon [30]

Bir metalin elektron kaybetmesine oksidasyon, bunun sonucu iyonla dönüşmesine anod reaksiyonu (2.30 no'lu denklem) denir.



Bir metalin iyonunun elektron almasına redüksiyon ve elektronu kullanarak iyonun atoma dönüşmesine katod reaksiyonu (2.31 no'lu denklem) denir.



Bu bağıntıya göre anottan gelen metal iyonu katod reaksiyonu sonucu elektroda birleşerek atoma dönüşür ve katoddaki elektrod üzerinde birikir [9].

Sıcaklığın artması korozyonu artırır. Oksijen, gerek kimyasal gerekse elektrokimyasal korozyonda önemli bir rol oynar. Oksijenin metallerle temasının üniform olmayışı korozyona neden olabilir; oksijenle daha az temasta olan iç kısım anotlaşarak aşınır [31].

Seramikler ve polimerler kuvvetli bağlara sahip ve serbest elektron içermeyen malzemeler olduğundan bunlarda elektrokimyasal korozyon oluşmaz. Ancak eriyiklerin türüne ve sıcaklığa bağlı olarak kimyasal korozyona maruz kalabilirler. Asitlerin seramiklerde ve solventlerin polimerlerde yaptığı tahribat örnek gösterilebilir [9].

2.2.8.5 Fiziksel ve Kimyasal Tutunma

Kohezyon:

Kohezyon, bir malzeme içindeki aynı madde parçaları ya da molekülleri arasındaki çekim kuvvetidir. Aynı zamanda atomlar arasındaki kimyasal benzeşme ile eş değerdir. Harç, sıva, beton gibi farklı maddelerin karışımından oluşan malzemeler, ıslak ve plastik bir haldeyken, homojen sayılırlar. Bu durumda bir bütün olarak malzeme içindeki kohezyon önemlidir.

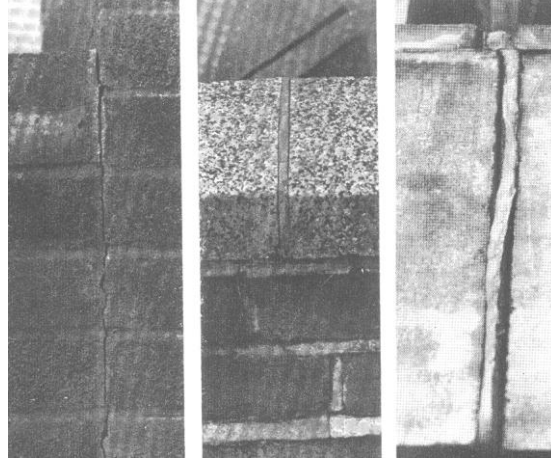
Homojen malzemelerde, sıcaklık artışı moleküller arasındaki kohezif kuvvetleri azaltır. Beton, sıva ve harç gibi ıslak haldeyken plastik durumda olan malzemelerde, fazla miktarda su eklenmesiyle kohezif kuvvetler azalabilir. Çünkü su, ıslak olan karışımın yayılmasını kolaylaştırarak plastisiteyi artırır. Boya, bitüm ve asfalt gibi malzemelerde de kohezif kuvvetler önemlidir; bu malzemeler yerleşecekleri yerde yeterli mukavemeti sağlamalı ve katılaşmadan önce şekillerini korumalıdır. Karışımı oluşturmak için sıvı ekleneceği zaman, bunun miktarı kohezyonla, plastisiteyi sağlama ve kimyasal reaksiyona girme gibi diğer gerekliliklerle uygun olmalıdır.

Adezyon:

Adezyon, ortak yüzeylerde farklı maddelerin parçaları ya da molekülleri arasındaki çekim kuvvetidir. İki ya da daha fazla yüzey arasında kurulan yakın temas özelliğidir ve bu yüzeyleri ayırmak için kuvvet gerekir. Farklı maddelerden oluşan pek çok yapı malzemesinin birarada tutulmasını sağlayan adezyon kuvveti olup olmadığı tartışılabilir. Fakat şu kesindir ki, adezyon kuvveti malzemeye bütünlük sağlar.

Adezyon kuvvetinin oluşmasında, aynı maddenin farklı halleri, farklı iki madde olarak algılanmaktadır; malzemenin katı hali bir madde iken, sıvı hali ayrı bir maddedir. Plastik durumda, iki tabaka halinde uygulanan sıva örnek olarak gösterilebilir. Birinci tabaka kuruduktan sonra katı hale geçtiğinden, plastik halde uygulanan ikinci tabakayla aralarında bir adezyon kuvveti oluşur.

Adezyon geleneksel yapı tekniklerinin oluşumunda etkin bir yere sahiptir. Tuğla ve harçların adezyonu buna bir örnektir. Yapıştırıcıların ve macunların uygulanmasında da adezyon kuvveti bir rol oynar. Yapıştırıcı madde katı maddeye sıvı ya da plastik durumda uygulandıktan sonra katı hale dönüşür.



Şekil 2.16 Harç ve macunda nem ve ısı hareketleri dolayısıyla adezyon kaybı [10]

Adezyon kuvveti ile bağlanan iki malzeme farklı hareketlere maruz kalabilir. Bu hareketlerin kısıtlanması, adezyon kuvvetinde gerilime neden olarak kuvvetin ortadan kalkmasına yol açabilir. Islak bir yapıya uygulanan özellikle çimento esaslı sıvalarda bu görülebilir. Adezyon kuvvetinin bu gerilime direnç gösterecek yeterlilikte olması gerekmektedir. Adezyona dayalı yeni yapıştırıcılar; harç, sıva ve geleneksel dolgu malzemelerinden daha esnektirler ve daha fazla harekete uyum sağlayabilirler.

Adezyonda farklı hareketlere neden olan etkenlerden biri de yapıştırıcı ve arka zemin arasındaki nem hareketleridir. Nem miktarı dengeye ulaşınca kadar, bu hareketler devam eder. Kuruma işlemi sırasında yapıştırıcı ya da zeminin farklı miktarlarda rötre yapması, aralarındaki adezyon bağının kopmasına neden olabilir. Malzemelerde suyun fazla miktarda kullanılması, kuruma rötresini artırır. Sonuç olarak, uygulama sonrası gerçekleşen ısısal, nem ile ilgili vb. hareketler yeterli büyüklükteyseler adezyon kaybına yol açabilirler [10]. Şekil 2.16'da nem ve ısı hareketleri dolayısıyla harç ve macunda adezyon kaybı örnekleri görülüyor.

2.3 Bölüm Sonucu

Malzeme performansı, farklı malzemelerin aynı koşullarda ya da aynı malzemenin farklı koşullarda farklı davranış göstermesine bağlıdır. Bu çalışmada aynı koşullarda farklı malzemelerin davranış özellikleri (değişken olmayan parametreleri) ele alınmıştır.

Birarada kullanılan malzemelerin farklı özelliklere sahip olması ya da farklı koşullar altında bulunması malzemede fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu yapı hasarlarına yol açmaktadır. Malzemede hasar oluşturan faktörlerin bilinmesi malzeme seçimi açısından önemlidir. Bu nedenle, malzeme seçiminde her bir malzemenin sahip olduğu özelliklerin önemli bir yeri vardır.

Bu bölümde malzeme bünye özelliklerinin, çeşitli etkenler karşısındaki malzeme davranışını nasıl etkilediği açıklanmıştır. Örneğin, atomlar arası bağ kuvvetleri mekanik mukavemeti, erime sıcaklığı ve ısısal genleşme gibi ısısal özellikleri; malzeme içindeki boşluklar malzemenin birim hacim ağırlığını, su emiciliğini, donmaya dayanıklılığını, mukavemetini, ısı ve ses yalıtımını önemli derecede etkiler.

Malzemelerin mekanik etki karşısındaki davranışları mekanik özelliklerine, ısısal etkiler karşısındaki davranışları ısı ile ilgili performans özelliklerine vs. bağlıdır. Buna göre malzeme özellikleri 8 ana gruba ayrılarak incelenmiştir. Bu gruplar şunlardır: malzeme iç yapı özellikleri, mekanik özellikler, ısı ile ilgili özellikler, su ve nem ile ilgili özellikler, ses, elektrik, ışık ile ilgili özellikler ve fiziko-kimyasal özellikler.

3. BÖLÜM

MALZEME SINIFLARININ DAVRANIŞ ÖZELLİKLERİ

Yapı malzemelerinin bir sistem içinde incelenebilmesi için sınıflandırma yapmak zorunlu olmaktadır. İstenen amaca yönelik çeşitli sınıflandırma kategorileri vardır. Bu sınıflandırma kategorileri şöyledir; kullanım şekline göre, iç yapı oluşumuna göre ve bünye esasına göre sınıflandırma.

Kullanım Şekline Göre Sınıflandırma:

- Taşıyıcı Malzeme veya Strüktür Malzemesi: Yapının etkisi altında bulunduğu çeşitli kuvvetler ve zorlamalar taşıyıcı yapı elemanları tarafından karşılanır. Taşıyıcı elemanların meydana getirilmesinde kullanılan malzeme strüktür malzemesidir. Bu malzemede herhangi bir kusur ya da bozukluğun bulunması yapının kısmen veya tamamen yıkılmasına sebep olur.
- Detay Malzemesi: Bir yapının detay kısımlarını oluşturan yerlerinde kullanılan malzemenin istenilen özelliklere sahip olmaması o yapı elemanının yıkılmasına sebep olmaz. Fakat buna karşılık yapının veya yapı elemanının kendisinden beklenen işlevleri görmemesine yol açar.
- Yarı Strüktür Malzemesi: Bu sınıfa giren malzemedan yapının çeşitli kuvvetlere karşı koymasından başka bazı işlevleri görmesi de istenir. Göreceği diğer işlevler ısıyı fazla iletmemesi, suyu veya rutubeti geçirmemesi gibi işlevler olabilir. Taşıyıcı duvarlarda kullanılan bir malzeme yarı strüktür malzemesidir.

İç Yapı Oluşumlarına Göre Sınıflandırma:

- İnorganik malzemeler: Kalsiyum, silisyum ve metalik esaslı malzemelerdir (doğal taş, kalsiyum esaslı bağlayıcılar, yapay taş, pişmiş toprak, cam ve metaller).
- Organik malzemeler: Karbon, hidrojen ve azot esaslı malzemelerdir (ahşap, bitüm, katran ve plastik).

Bünye Esasına Göre Sınıflandırma Örnekleri:

➤ Postacıoğlu'na Göre Sınıflandırma

1-Taş Bünyeli Malzemeler: Bu gruba giren yapı malzemeleri şunlardır:

- Doğal Taşlar
- Bağlayıcı maddeler (Çimento, Kireç, Alçı, Puzolanlar)
- Beton ve Harç
- Aglomeralar
- Seramik Malzemeler

2-Metaller

3-Plastik maddeler

4-Ahşap

5-Camlar

➤ Prof.Leopold Sautter'un Sınıflandırması:

1-Doğal taşlar ve topraklar

2-Mineral kaynaklı bağlayıcı maddeler ve bunlarla imal edilen malzemeler (kireç, çimento, alçı, kerpiç, çeşitli katkı maddeleri, çeşitli agregalar, beton ve harçlar)

3-Seramik malzemeler

4-Cam

5-Metaller

6-Ahşap

7-Sentetik Malzemeler

8-Bitümlü malzeme ve tutkallar

9-Boyalar ve Macunlar

Bu sınıflandırma İmar ve İskan Bakanlığı Yapı Malzemeleri Genel Müdürlüğü'nce kabul edilmiştir [8].

➤ Balanlı'ya göre sınıflandırma

1- Doğal taşlar (mermer, kumtaşı, granit, bazalt,...)

2- Kil / Toprak

3- Metaller (çelik, demir, bakır, alüminyum,...)

4- Ahşap (çıralı çam, köknar, gürgen, meşe,...)

5- Lifler (bitki lifi, hayvansal lifler, cam yünü, asbest lifi,...)

6- Plastikler, Lastikler (doğal kauçuk, yapay kauçuk, poliamit, poliüretan)

- 7- Cam / Silikatlar
- 8- Dolgular / Agregalar (kum, çakıl, pomza, vermikülit,...)
- 9- Bağlayıcılar (çimento, alçı, kireç, magnezyum,...)
- 10- Betonlar, Harçlar (kireç-çimento harcı, alçı harcı, kireç harcı, hafif beton)
- 11- Bitümlü gereçler (bitüm, katran, zift, asfalt,...)
- 12- Boyalar, Vernikler (vernikler, laklar, cilalar, asfar boya,...)
- 13- Birleştiriciler (cam macunu, sıkıştırıcılar, lehim,...)
- 14- Koruyucular (pas önleyiciler, yanmayı önleyiciler, su ve nem önleyiciler, mantar, böcek öldürücüler,...) [32].

Bu sınıflandırma örneklerinden de yararlanarak, bu tez kapsamında malzemeler bünye esasına göre, şu şekilde sınıflandırılmıştır;

- Doğal taşlar
- Bağlayıcılar (alçı, kireç, çimento, puzolanlar)
- Suni taş yapı malzemeleri (beton, harç)
- Pişmiş toprak yapı malzemeleri
- Cam
- Metaller
- Ahşap
- Plastikler
- Bitüm esaslı malzemeler
- Kompozitler

Doğru malzeme seçimi ve birarada kullanılacak malzemelerin uygunluğu açısından malzeme özellikleri bilinmelidir. Çalışmanın bu bölümünde, bünye esasına göre sınıflandırılan malzemelerin mekanik, fiziksel ve kimyasal çeşitli etkenler karşısında göstereceği davranış özellikleri incelenecektir.

3.1 DOĞAL TAŞLAR

3.1.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri

Atom Yapısı ve Kimyasal Bileşimi:

Doğal taşlar, karma iç yapılı (kristalli ve moleküllü sistemler birarada görülür) ve inorganik esaslı yapı malzemeleridir.

Yapıda kullanılan taşlar kimyasal yapılarına göre 3'e ayrılırlar:

-Kuarşlı taşlar: Temeli silis mineralidir. Bu, kumun temel maddesi olduğu için bunlara kumtaşları da denir.

-Silikat taşları (püskürük taşlar): Silikat mineralleri feldispat, hornblent, serpantin ve mika içerir. Bu taşlar sert, çoğu cila kabul edebilen yapıda kullanmaya elverişli taşlardır.

-Kalkerli taşlar: Temelinde kireç karbonatı olan kalsit bulunduğu için kireç taşı diye bilinirler. İşlenebilmesi ve harca tutunması elverişli yapı taşlarıdır [33, 34]. Tablo 3.1'de bazı doğal taş örneklerinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Bir bağlayıcıyla bağlandıkları zaman beton, harç vb. malzeme türlerini oluşturan kum, çakıl, kırmataş gibi agregalar da ufalanmış taş taneleridir (Bu doğal agregalardan başka genişletilmiş şist, kil, arduvaz, yüksek fırın cürufu gibi agregalar da vardır).

Kumlar ve çakıllar; atmosferik koşullar ve zaman etkisiyle kayaların, taşların parçalanıp sürüklenerek ufalanmasından meydana geldiğine göre en mukavemetli ve sağlam minerallerden oluşurlar. Tek başlarına kum taneleri birer mineral olup çoğu defa kuvarstan ibarettir. Çakıllar ise pekçok mineralden oluşurlar yani heterojendirler. Sileks, kuvars, granit vs. çakılları oluşturabileceği gibi kumtaşı ve kireçtaşı parçalarına da rastlanabilir [31].

Tablo 3.1 Doğal taşlarda malzeme özellikleri

	Granit	Bazalt	Mermer	Traverten
Kimyasal Bileşimi	feldispat, kuvars, mika	feldispat, piroksen, manyetit	CaCO ₃	CaCO ₃
İç Yapısı	iri taneli	ince ve camsı	kristalli	amorfor ve kristalli
Birim hacim ağırlığı (gr/cm³)	2.6	2.8-3.3	2.7-2.8	2.4
Özgül ağırlığı (gr/cm³)	2.59-2.73	2.8-2.9	2.6-2.9	2.5-2.6
Porozite (%)	1-4	1-3	0.2-0.3	-

Birim Hacim Ağırlığı, Özgül Ağırlık (Yoğunluk):

Taşların yapıda kullanılabilmesi için birim hacim ağırlığı 2.55 gr/cm^3 'ten küçük olmamalıdır. Doğal taşların özgül ağırlıkları ortalama olarak 2.7 gr/cm^3 'dür. Gözenekli taşların ağırlığı daha azdır (Tablo 3.1).

	birim ağırlık $\Delta \text{ gr/cm}^3$	özgül ağırlık $\delta \text{ gr/cm}^3$
Sert taşlar	2.5-2.7	2.5-3.0
Yumuşak taşlar	2.0-2.5	2.5-2.7 [25]

Birim hacim ağırlığı, ağır agregalarda $1.5\text{-}2.25 \text{ gr/cm}^3$, hafif agregalarda ise $0.5\text{-}1.5 \text{ gr/cm}^3$ arasında değerler almaktadır [31]. Birim hacim ağırlık değerlerini, taşların kökenlerinden çok şekilleri etkilemektedir. Yuvarlak nispeten küresel agregalarda yerleşme daha iyi olduğundan, birim ağırlık yüksek olabilir ($1.6\text{-}1.8 \text{ gr/cm}^3$). Kırmataş agregalarda ise bu değerler $1.3\text{-}1.5 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Birim ağırlık kumlarda daha düşük, çakıllarda daha yüksektir. Bu da taneler arası boşluğun bir sonucudur. Boşluk miktarı azaldıkça birim ağırlık artacaktır [35].

Agregaların özgül ağırlıkları $2.2\text{-}2.7 \text{ gr/cm}^3$ arasında değerler almaktadır [36]. Özgül ağırlık değerlerine agregaların jeolojik kökenleri de etkir; silisli özellikle kuvarslı agregaların özgül ağırlıkları 2.65 gr/cm^3 , kalkerli agregaların özgül ağırlıkları ise 2.70 gr/cm^3 'tür [35].

Gözenek Yapısı (Boşluk-Doluluk Oranı):

Doğal taşlar boşluklu malzemelerdir. Boşluk oranı arttıkça malzemenin mukavemetinde düşme, ısı yutuculuk değerinde artma görülür. Malzeme boşluğunun devamlılığı halinde su ve buhar geçirimsizlik değeri de artar. Dolayısıyla da donmaya dayanıksızdırlar.

Bir taşın porozitesi ve gözenek boyutu dağılımı hasarlar karşısındaki davranışlarını belirleyen çok önemli bir faktördür. Mikrogözenekler ($0.1\mu\text{m}$ 'den küçük gözenekler) tuz kristallenmesi ve donma-çözünme mekanizmalarına karşı taşların direncinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Boşlukların boyutu ve dağılımı, buharlaşmadan önce malzeme içine alınan ve tutulan su miktarına bağlıdır. Çünkü su tarafından işgal edilen boşluklar, su buharlaştıktan sonra malzeme içinde kalmaktadır [10]. Gözenekler ve bunların dağılımı taşın doğal

minerallerine de bağlıdır. Gözenek boyutu dağılımındaki değişiklikler bozulmaları hızlandırabilir.

Doğal taşlarda ve agregalarda mevcut boşluk miktarı su emme deneyi ile bulunur ve 3.1 no'lu denklemdeki gibi ifade edilir [36].

$$p = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times \delta$$

p : Porozite

P_1 : Malzemenin su içindeki ağırlığı

P_0 : Kurutulan malzemenin ağırlığı

δ : Kuru agreganın özgül ağırlığı (gr/cm³) (3.1)

Agrega tanelerini ıslatmak için kullanılan su, agreganın gözenek yapısına bağlıdır. Genelde kum ve çakılın doluluk oranı %60, boşluk oranı %40'dır. Agregaların boşluk miktarı betondaki çimento miktarını belirlediğinden, bu miktarı mümkün olduğunca düşük tutmak gerekir.

3.1.2 Mekanik Özellikleri

Taşın ıslak ya da kuru olmasının mukavemet üzerinde etkisi vardır. Özellikle kil içeren ıslak taşlarda mukavemet, kuru olduğu zamandaki mukavemetin 1/3'üne düşer [31].

Tablo 3.2 Doğal taşların mekanik özellikleri

	Granit	Bazalt	Mermer	Traverten
$\sigma_{\text{basınc}}$ (N/mm ²)	80-300	250-400	80-180	25-70
$\sigma_{\text{çekme}}$ (N/mm ²)	9.4-31.3		6-15	4-10
Sertlik (Mohs)	3 - 7	6	3	3
Elastisite Modülü (x1000 N/mm ²)	62		31-81	

Basınc ve Çekme Dayanımı:

Tablo 3.2'deki doğal taş örneklerinde görüldüğü gibi karma iç yapıdan dolayı, boşlukları nedeniyle çekme mukavemetleri, basınç mukavemetinden daha küçük değerdedir; çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin 1/8-1/60'ı arasına bulunup ortalama 1/30'u kadardır [31].

Basınç dayanımı püskürük taşlarda 120-140 N/mm²'den, tortul ve başkalaşmış taşlarda 35-50 N/mm²'den küçük, çekme dayanımı püskürük taşlarda 7.5-8 N/mm²'den, tortul ve başkalaşmış taşlarda 3-5 N/mm²'den küçük olmamalıdır [12].

Doğal taşlarda; $\sigma_{\max}$ N/mm²

basınç: 300-100

çekme: 30-10

Taşların ağırlığı basınca dayanıklılık hakkında kabaca bir fikir verebilir. Ağır taşlar basınca daha dayanıklı olurlar [34].

Kayma Dayanımı (Gerilmesi):

Doğal taşlarda emniyetli kayma gerilmesi (σ_{em}) 0.1 N/mm² 'dir [12]. Taş duvarda maksimum kayma gerilmesi ($\sigma_{\max}$) ise 0.3 N/mm² 'dir [16].

Sertlik ve Aşınma Dayanımı:

Taşlarda sertliğin ölçülmesi amacıyla uygulanan yöntemde, hangi taş diğerini çiziyorsa o serttir. Taşların sertliği mohs sertlik derecesine göre belirlenir [16].

Sertlik; zemin, basamaklar, yürüyüş yolları gibi yerlerde kullanılan taşlar için önemli bir özelliktir; fakat sertlik işlenebilirliği azaltmaktadır. Kalker ve mermerler (mohs 3) hornblend ve feldispattan (mohs 5.5-6) daha kolay işlenirler. Mohs değeri 6'dan yüksek olanların işlenmesi güçtür. Tırnakla çizilenlerin sertliği 2'den biraz yüksek, çinko ile çizilenlerin 3, adi cam tarafından çizilenlerin 4.5-5, çelik (çakı veya bıçak) ile çizilenlerin sertliği 5-6'dır [31].

Taşların aşınmaya karşı mukavemeti sertliğine olduğu kadar kohezyonuna da bağlıdır. Aşınmaya karşı mukavemeti yüksek olanların basınç mukavemeti de yüksektir.

Deformasyon-Elastisite Modülü:

Doğal taşlarda elastisite modülü ortalama olarak 10000 N/mm²'dir [16]. Tablo 3.2'de verildiği gibi mermerde bu değer (31-81) x1000 N/mm² arasında, granitte ise 62x1000 N/mm²'dir [13].

3.1.3 Isı ile İlgili Özellikleri

Tablo 3.3 Doğal taşların ısı ile ilgili özellikleri

	Granit	Bazalt	Mermer
Isı iletkenlik katsayısı ($\lambda = \text{W/m}^\circ\text{K}$)	3.5	3.5	2.3
Isısal genleşme katsayıları ($\alpha = \text{cm/cm}^\circ\text{C}$)	$(5.5-8.5) \times 10^{-6}$	9×10^{-6}	8×10^{-6}
Özgül ısı ($c = \text{Wh/kgK}$)			0.245

Isı Geçirgenliği ve İletkenliği:

Taşların ısı geçirgenliği taşın cinsine ve çıkarıldığı yere göre değişmekle beraber 0.55-3.5 W/m²K aralığında değerler almaktadır (Tablo 3.3). Kum ve çakıl için ısı iletkenlik katsayısı ise 1.40 W/m²K'dır. Isı geçirgenliği taşların yapısı ile ilgilidir ve gözenekli olup olmamasına da bağlıdır. Gözenekler hava ile dolu olursa geçirgenlik azalır, ancak gözenekler su ile dolu olursa, ısı geçirgenliği artar [31].

Isısal Genleşme:

Doğal taşlarda ısısal genleşme katsayısı (α) $(7-12) \times 10^{-6}$ cm/cm °C arasında değerler almaktadır [12]. Isısal genleşme mermer ve kireçtaşı düşük, granit, kumtaşı ve arduvazda ise yüksektir (Tablo 3.3).

Taşların genleşmesine olanak sağlamak için 3m'yi geçmeyecek aralıklarla hem yatay hem de düşey derz bağlantıları sağlanmalıdır.

Isı Biriktirme Kapasitesi:

Doğal taşlar, yüksek ısı depolama kapasitesine sahiptir, bu yüzden yavaş ısınır ve yavaş soğurlar.

Erime Sıcaklığı:

Volkanikler, bazalt ve killi taşlar yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır. Kalsiyum esaslı taşlar ise CO₂ kaybederek gözenekleşirler. Yüksek sıcaklıkta granit çatlar, kırılabilir ve yapraklanıp dökülür, kumtaşları ise yumuşar ve ufalanırlar. Kuvarlı taşlarda 573°C'de ani hacim değişiklikleri görülür [31].

Özgül Isı:

Taşların özgül ısısı hayli yüksek olup 0.20-0.25 Wh/kg°K arasındadır.(suyun=1 ise) Taşın nem derecesine göre özgül ısı da değişir; çünkü suyun özgül ısısı yani ısı tutuculuğu yüksektir. Nemli olup geçirgen olmayan taşlar serin ve soğuk olurlar, ısıtılmaları güçtür. Geçirgen olup suyu tutmayanlar ise çabuk ısınır ve çabuk soğurlar [31].

3.1.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri

Su Emme, Geçirimsizlik ve Kılcallık:

Doğal taşların ağırlıkça su emme yüzdesinin S_a %1.8'den büyük olması yapılar için tehlikelidir.

Ağırlıkça su emme	kapilarite katsayısı	basınçlı su geçirimsizlik katsayısı
S_a %	$K \text{ cm}/\sqrt{\text{sn}}$	$k \text{ cm/sn}$
0-1 (sert taşlar)	$10^{-6} - 10^{-7}$	$10^{-9} - 10^{-12}$
1-3 (yumuşak taşlar)		[16]

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.

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 [31]. Kireçtaşı ise suda kolaylıkla çözünür.

Islanma-kuruma olayları gözenekli taşların bozulmasında önemli bir yere sahiptir. Gözenekli taşlar ıslandığı zaman genişler ve kuruyunca büzülür. Tekrar eden ıslanma-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. Çözünebilen tuzlar, su ile gözeneklere taşınırlar. Tuzlar kristalleşince genişleyerek taşın iç yapısına zarar verir,

taşın yüzeyinde ise çiçeklenirler [37]. Makrogözenekli bir taş kristallenmeye mikrogözeneklilerden daha dirençlidir.

Agregaların emdiği su miktarı, taşın kaynağına, bünye ve gözenek yapısına bağlıdır. Kumların su emmesi genel olarak %2'nin üzerine çıkmamaktadır. Kuru kuma su ilave edilince, kapilerlik dolayısıyla başlangıçta hacmi artar, bir maksimumdan geçer ve kum tamamen doyunca yani suya gömülünce eski hacmine yaklaşır [31]. İri agregalarda su emme miktarı, tanelerin daha büyük boyutta olması sebebi ile %10'u geçebilmektedir [36].

Buhar Geçirgenliği:

Doğal taşlarda buhar geçirimsizlik katsayısı (δ) ortalama olarak 0.005 gr/m.h.mmHg'dır. Buhar difüzyon direnç faktörü mermer için $\mu = 100$ 'dür.

Doğal taşlarda higroskopik emicilik; havanın bağıl nemi, malzemenin doğası ve gözeneklerin çapına bağlı olan bir sınır değerin üzerinde olduğu zaman gerçekleşir. Küçük gözenekler higroskopik emiciliği destekler ve %100 bağıl nemin altında su ile dolabilirler.

Donma Mukavemeti:

Taşlarda donma olayı ıslandıkları zaman, yatay yüzeylerde ya da çatlaklarda su biriken yerlerde çok sık görülen bir olaydır. Donma olayında su emen taşlar kırılarak parçalanmak, çatlamak ve hatta toz haline gelmek tehlikesiyle karşı karşıyadırlar. Donmaya karşı mukavemet testleri için taşlar uzun bir dönem suya maruz bırakılırlar; 3 yıl dayanan taşlar kısmen dayanıklıdır, 7 yıl sonrasında etkilenmeyenler kesinlikle donmaya karşı dirençlidir. Donma olayı kireçtaşı ve kumtaşını, mermer, granit gibi su ve hava geçirmeyen taşlardan daha çok etkiler [19].

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 dayanabilirler [31]. Büyük gözenekli malzemeler küçük gözenekli malzemelere göre donmaya karşı daha fazla direnç gösterirler. Bunun nedeni büyük gözeneklerde buz kristallerinin yapıya zarar vermeden genişleyecekleri 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 çözölünce, su genişleyen kısma etki eder, tekrar donunca çatlağı bir miktar daha genişletir ve ilerleyen bir kama rolü oynamış olur.

Agregaların donmadan zarar görmeleri, tane çaplarının 2cm'den büyük, taneler içindeki kılcal boşluk çaplarının hidrostatik basınçlarının kolay boşalmasına imkan vermeyecek kadar küçük olmasına (0.005 mm'den küçük), porozite ve su emmenin fazla olmasına bağlıdır [35].

İçerdiği Nem Miktarı:

Agregaların içerdiği nem, ıslak tanelerin kuru yüzeyle doygun durumdaki tanelere nazaran yüzde cinsinden ağırlığındaki artıştır. P_2 ağırlığında ıslak taneler kuru yüzey doygun hale getirildiği zaman ağırlıklar P_1 oluyorsa agregadaki nem, 3.2 no'lu denklemdeki gibi hesaplanır:

$$m = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \quad (3.2)$$

Agregaların içerdiği nem miktarı, beton karışımına katılacak su miktarını etkilemektedir. Taneleri kaplayan su film tabakası, tanelerin birbirine yaklaşmasına engel olarak hacim kabarmasına neden olur [36].

3.1.5 Ses ile İlgili Özellikleri

Ses Geirimsilliği:

Taşlar ağırlığı yüksek olan bir malzeme türü olarak iyi ses yalıtımı özelliklerine sahiptirler. Boşluksuz, birim ağırlığı ve elastiklik modülü yüksek olan taşlarda ses geirimsilliği daha düşüktür.

Ses Yansıtma ve Yutuculuğu:

Taş, sert yapısından dolayı düşük ses yutuculuk değerine sahiptir. Doğal taşlardan mermerde ses yutuculuk değeri (α) 0.01 m/sn'dir (500 hz için) [12].

3.1.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri

Malzemelerin elektrik iletkenliği elektron yapılarıyla ilgilidir ve iletkenlik serbest elektron hareketiyle sağlanır. Doğal taşlar karma iç yapıya sahiptir; kristalli ve

moleküllü sistemler birarada görülür. Atomlar birbirlerine iyon bağlarıyla bağlandığı ve serbest elektronlarının olmaması dolayısıyla elektriği iletmezler.

3.1.7 Işık ile İlgili Özellikleri

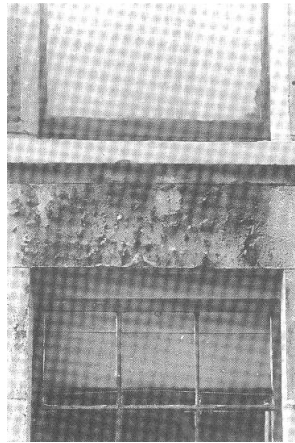
Doğal taşlar opak malzemeler olduğundan ışığı geçirmezler, kısmen yansıtır ve kısmen emerler. Koyu renkli olanlarda yutuculuk, açık ve parlak renkli olanlarda ise yansıtıcılık görülür. Ancak serbest elektronları bulunmadığından yansıtıcılık metallerdeki gibi fazla değildir.

3.1.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi :

Taşların yağmur, kar, don, sıcaklık farkları, rüzgar vs. gibi atmosferik koşullarla bazı kimyasal etkilere karşı gösterdikleri dayanıklılık, malzemelerin kimyasal, minerolojik yapılarına ve kullanıldıkları yere göre değişir.

Yağışlar yapıya doğrudan etkiyerek ve zararlı kimyasalları taşıyarak taşlarda bozulmalara yol açar. Yağmur damlaları, atmosferdeki karbondioksitin emilmesiyle oluşan karbonik asitten ibarettirler ve bu zayıf asit doğal taşlardaki karbonatları, daha kolay çözünen bikarbonatlara dönüştürmek üzere etkiler [38]. CO₂ içeren yağmur suları etkisiyle mermerin cilası bozulur, bazı kalkerler ve magnezyumlu taşlar girintili çıkıntılı bir hal alırlar. Killi maddeler içeren taşlar ise su ile temas edince, bunu emerek yumuşarlar. Alçıtaşı gibi suda kısmen eriyen taşlar yapıların dışında kullanılmamalıdır [31]. Çok gözenekli olan kumtaşlarında, yağmur etkisi çok derin olabilir ve su çok daha uzun süre minerallerle temas halinde olabilir.



Şekil 3.1 Taşta sülfat etkisi sonucu oluşan bozulmalar [30]

Hava kirliliği taşlarda önemli bir bozulma nedenidir. Asit hava kirleticileri yüksek oranlarda bulunursa bozulmalar daha hızlı gerçekleşir. Asit yağmurlarından gelen çözücü tuzların etkisi taşın doğal yapısına bağlıdır. Asit etkisi, taşların yüzeyinde pürüzlenme ve kabarmalara, ek yerlerinde ayrılmalara ve detay kaybına yol açmaktadır [37].

Hava kirliliğinin yoğun olduğu endüstriyel alanlarda sülfür bileşikleri yağmurda çözüldüğü zaman sülfürikasit oluşur. Bu sülfürikasit kireçtaşı, dolomit, kalkerli kumtaşları ve harçlardaki karbonatlarla reaksiyona girer ve yağmurla kolayca sökülmeyen sert, bazen de kabarcık şeklinde bir tabaka oluşturur [19]. Sülfatlar buharlaşma sonucunda, kristaller halinde, taşın yüzeyinde birikir ve beyaz lekeler meydana getirirler (Şekil 3.1).

Hava kirliliğinden dolayı olan kalsiyum sülfat formülasyonu kireçtaşı yüzeylerinde çözücü bir etkiye sahiptir. Yağmur alan yatay yüzeylerde kalsiyum sülfat yüzeyde bir tabaka oluşturmaz, çünkü bu tabaka yağmurla atılır; fakat düşey alanlarda yoğun ve kararmış bir kalsiyumsülfat tabakası oluşur ve bu tabaka yağmurun emilmesini önler [38].

Magnezyum karbonattan oluşan kireçtaşları, hava kirliliğine karşı kalsiyum karbonat yapılı olanlardan daha hassastırlar, çünkü magnezyum tuzları daha kolay çözünürler ve kristalleşme olayında genleşmeleri daha fazladır.

FeS_2 içeren kalker taşları atmosferik etkiler altında $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ haline geçer ve aynı zamanda demirsülfat ve H_2SO_4 içerir. Bu maddeler taşın karbonat halindeki kısımlarına etki ederek alçıyı oluştururlar ve böylece taş toz haline geçerek göçer [31].

Gözenekli taşların toprak ile doğrudan temasından kaçınılmalıdır. Çünkü bu taşlar kılcallık yoluyla topraktan bazı tuzları emerler. Topraktan gelen bu tuzlar, kristalleşince genişleyen bir kuvvet uygularlar ve taşlarda hasara yol açarlar.

Doğal taşlar, yüksek poroziteleri ve dolayısıyla da yüksek su emiciliklerinden dolayı bitkilerin gelişimini desteklerler. Mantar, yosun, liken, çalılık, yüzeyleri pürüzlü veya çatlak taşların üzerine tutunurlar ve taştaki nemle beslenirler. Özellikle bakteri ve yosunlar uygun nemlilik koşullarında çok hızlı gelişirler. Bazı bitkiler, özellikle kireçtaşı ve mermeri etkileyen, çözücü etkiye sahip asitleri salgırlar. Fakat en

büyük zarar, genişledikçe harçları yerinden çıkaran ve derz bağlantılarını açan köklerden gelir [37].

Güneş Radyasyonu Etkisi:

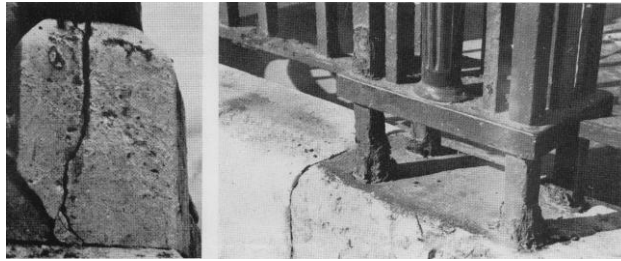
Güneş ışınları, malzeme özelliklerinde birtakım değişikliklere neden olur; atomlara yüksek enerji vererek, onların serbest hareket etmelerine neden olabilir, ayrışma, çözölmelere, eskimesine yol açarlar. UV ışınları taşlarda ayrışabilir pigmentlerin renk değiştirmesine neden olur [13].

Yangın Direnci:

İnorganik grupta yer alan taşın bünyesinde bulunan CaCO_3 , CaSO_4 ve Ca(OH)_2 yangın anında kimyasal değişmeye uğrayarak, malzemenin molekül yapısının bozulmasına yol açar. Kuvarslı taşlar 600°C 'de, kalker 900°C 'de hacim değişikliğine uğrar ve iç yapısında oluşan CO_2 ve H_2O 'nun ısınmasıyla taşı patlatır. Bazalt ve dolomit gibi taşlar bu etkilere daha dayanıklıdır. Kireçtaşları da yangında granit ve kumtaşlarından daha iyi davranır. Yangın etkisinde taş malzemede fiziksel değişim dışında ayrıca kimyasal etkiler sonucu molekül yapıları değişerek, başkalaşıma uğrarlar. Yangın sırasında mermer ve kireçtaşları kirece dönüşür.

Korozyon:

Demirli metallerin paslanması ve genişmesi, galvanizli çelikten gelen çinko tuzları da taşlarda ciddi hasarlara yol açar. Şekil 3.2'deki örnekte görüldüğü gibi demir paslanırken hacmi genişler ve temasta bulunduğu taşa basınç uygulayarak çatlamasına sebep olur [19].



Şekil 3.2 Demirin korozyona uğraması sonucu, içine gömüldüğü taşa yarılmalara [39]

Fiziksel ve Kimyasal Tutunma:

Taşların yüzey pürüzlülüğü aderanslarına iyi yönden etki yapmaktadır. Agregalardan kırmataşın aderans mukavemeti çakıllarinkinden daha yüksektir. Agregaların aderansındaki düşüklük betonun mekanik mukavemetinin de düşük bir değer almasına sebep olur.

3.2 BAĞLAYICILAR (Alçı, Kireç, Çimento, Puzolanlar)

Bağlayıcı maddeler, agrega adı verilen kum, çakıl, kırmataş gibi mineral içerikli malzemeyi birbirine bağlayarak yapay taş oluşumuna imkan sağlayan malzemelerdir. Bağlayıcı maddelerin plastikliğini kaybederek katı hale geçmesine priz denir. Priz olayını sadece havada yapabilen bağlayıcılara hava bağlayıcıları, hem havada hem su içinde katılaşabilen bağlayıcılara ise hidrolik bağlayıcılar denir. Yağlı kireç bir hava bağlayıcısı, çimento, su kireci ve alçı ise hidrolik bağlayıcıdır [35].

Puzolanlar kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde, kireç veya çimento gibi bağlayıcılarla karıştırılınca bağlayıcılık özelliği kazanan maddelerdir. Bu olay, adi sıcaklıkta çimento veya kirece su eklenmesi sonucu puzolanların, bu bağlayıcıların içindeki serbest kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile birleşmesiyle gerçekleşir [36].

Puzolanlar, kireç harçlarında kullanıldıklarında onları suya dirençli hale getirir. Çimento-kireç harçlarında kullanıldığı zaman, çimentoda su etkisiyle eriyen kireç, erimez duruma geçer ve çimento kimyasal etkilere daha dayanıklı olur. Çimento harçlarında ise çimentonun korozyona karşı mukavemetini yükseltmek, priz esnasında oluşacak ısı miktarını azaltmak, deformasyon yapma kabiliyetini artırmak, betonun işlenebilme özelliğini artırmak, su geçirimsizliği daha az olan harç ve beton üretmek için kullanılırlar [40].

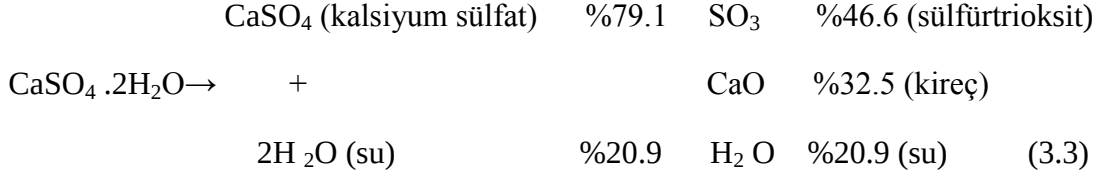
3.2.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri

Tablo 3.4 Bağlayıcıların malzeme özellikleri

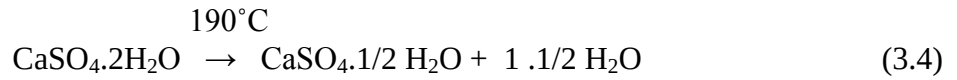
	Alçı	Kireç	Çimento
birim hacim ağırlığı (gr/cm³)	0.7-1	0.6-0.8	0.9-1.2
özgül ağırlık (gr/cm³)	2.55-2.65	2.20-2.45	2.9-3.15
asit-baz özellikleri	nötr	baz	baz

Kimyasal bileşimi ve Üretim Yöntemi:

Alçı: Alçı inorganik esaslı ve kristal yapılı bir bağlayıcıdır. Alçının hammaddesi alçıtaşıdır ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).



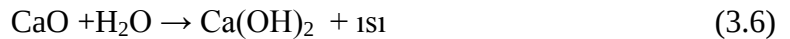
Alçı, alçıtaşının uygun sıcaklıkta dehidrasyona uğramasıyla elde edilir. 190°C civarında pişirilen alçıtaşı, alçı dediğimiz toz haldeki malzemeye dönüşür. Bazen bünyesinde yabancı maddeler de bulundurur, bunlar; CaCO_3 , kil, demiroksit, kum ve kolloidal silisyumoksittir. Bunların miktarlarının uygun oranlarda olması sertlik ve mukavemeti artırır [31].



Kireç: Hammaddesi kireçtaşı (kalker), tebeşir gibi kalsiyum karbonat (CaCO_3) kökenli kütleler ve dolomit gibi CaCO_3 , MgCO_3 'tan oluşan kütlelerdir. Kireç saf kalkerin 900°C 'nin üzerinde pişirilmesiyle elde edilir.



Bu reaksiyon sonunda meydana gelen kalsiyumoksit (CaO) sönmemiş kireçtir. Kireç ağırlığının 1/3'ü kadar su ilave edilerek kirecin söndürülmesi işlemi gerçekleştirilir.



Bu reaksiyon sonunda meydana gelen Ca(OH)_2 'ye sönmüş kireç denir. Reaksiyon önemli bir miktarda ısı meydana gelmesi ve hacim artmasıyla son bulur [36].

- %95 ve daha fazla CaO içeren; yağlı kireç
- %85-95 arası CaO içeren; zayıf kireç
- %65-85 arası CaO içeren; su kireçleri (hidrolik kireçler)

Su kireci %10-25 oranında kil içeren kalkerlerin pişirilmesiyle elde edilir ve hidrolik bağlayıcı sınıfına girer (su içinde katılaşabilir).

Çimento: Çimentonun hammaddeleri kalker ve kildir. Ayrıca prizi geciktirmesi için %3 oranında alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve erimeyi kolaylaştırmak için demir katılır.

Çimento bunların belli oranlarda karıştırılması ve yüksek sıcaklıkta pişirilmesiyle elde edilir. Kalker sıcaklık etkisiyle ayrışarak kirece (CaO), kil ayrışarak silis ve alümine (SiO_2 ve Al_2O_3) dönüşür, demir de demiroksit (Fe_2O_3) şeklinde ortaya çıkar [35].

Puzolanlar: Puzolanlar, kimyasal olarak SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 'den oluşan maddelerdir. Suyla karıştırıldıklarında çamur haline gelir, kuruduktan sonra tekrar eski hallerine dönerler. Ancak bunlar kireçle karıştırılınca suda erimeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşürler [40].

Birim Hacim Ağırlığı, Özgül Ağırlık (Yoğunluk):

Alçının birim hacim ağırlığı $0.7-1 \text{ gr/cm}^3$, özgül ağırlığı $2.55-2.65 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır [31].

Kirecin birim hacim ağırlığı $0.60-0.75 \text{ gr/cm}^3$, özgül ağırlığı $2.20-2.45 \text{ gr/cm}^3$, su kirecinin birim hacim ağırlığı $0.7-0.8 \text{ gr/cm}^3$, özgül ağırlığı ise $2.70-2.80 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Sıcaklık etkisiyle kirecin yoğunluğu artar ve hidrasyon kabiliyeti azalır [36].

Çimentonun birim hacim ağırlığı $0.9-1.2 \text{ gr/cm}^3$, özgül ağırlığı ise $2.9-3.15 \text{ gr/cm}^3$ arasında değerler almaktadır (Tablo 3.4). Özgül ağırlık çimentonun kalitesini belirleyen bir etken değildir, karışım oranlarının belirlenmesinde kullanılır [33].

Bağlayıcılar hiçbir zaman yapıda tek başlarına kullanılmadıklarından dolayı, içinde bulundukları kompozit malzemenin (harç, sıva, beton...) özelliklerine etki etmektedirler.

Gözenek Yapısı (Boşluk-Doluluk Oranı):

Alçı, boşluklu bir yapıya sahip olup porozitesi %25-60 arasında değerler almaktadır. Gözenekli yapısından dolayı mukavemeti düşük, birim hacim ağırlığı küçük ve dış etkenlere karşı dayanıklılığı zayıftır.

Çimentonun tanelerinin inceliği önemlidir. Çimentolarda boyutları 90μ 'dan büyük olan tane miktarının %14'ü geçmemesi istenir. İnceliği fazla olan çimento, agrega tanelerini daha iyi örter ve hidrasyon olayı daha hızlı gelişir. Çimentonun inceliği mekanik mukavemeti de artırmaktadır [36].

Asit-Baz Özellikleri:

Alçı nötr, kireç ise baz karakterdedir (Tablo 3.4). Çimento da açığa çıkardığı Ca(OH)_2 nedeniyle kuvvetli bir bazdır ve tüm asitlerden zarar görür.

3.2.2 Mekanik Özellikleri

Bağlayıcı maddelerin mukavemet kazanması;

- hidratasyon olayı
- katılaşma olayı (priz)
- sertleşme olayının gerçekleşmesiyle olur.

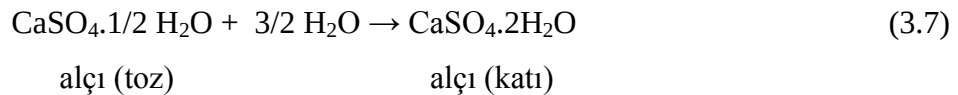
Hidratasyon, bağlayıcıların su ile yaptıkları kimyasal bir reaksiyondur. Hidratasyon zamana bağlı bir olay olduğu için mukavemet de zamanla artar. Hidratasyon hızının artması mukavemet artışının hızlanmasına yol açar.

Priz; bağlayıcı maddelerin katılaşma veya plastik deformasyon yapma kabiliyetini kaybetmesi demektir. Çok yavaş priz yapan bağlayıcı maddelerin çatlamadan, fazla deformasyon yapma kabiliyeti vardır. Yoğurma suyu miktarının fazla olması priz süresinin artmasına neden olur [36].

Priz olayı bittikten sonra sertleşme olayı başlar. Sertleşme, bağlayıcı maddelerin mekanik mukavemet kazanma olayıdır.

Ortam şartları da mukavemet üzerinde etkilidir. Sıcaklığın artması hidratasyonu hızlandırır, priz süresini kısaltır ve bağlayıcı maddenin mukavemeti hızla artar. Havanın rutubetinin düşük olması buharlaşmayı kolaylaştırdığından mukavemet artışını belirli bir derecede azaltmaktadır [36].

Alçının katılaşması ve sertleşmesi, üretim reaksiyonunun tersi reaksiyonla (hidratasyonla) gerçekleşir.



Bu reaksiyonla toz halindeki alçı ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) katı hale ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dönüşür. Alçının hidratasyonu çok hızlıdır. Hidratasyon ne kadar hızlı ise kristaller o kadar büyük ve mukavemet o kadar düşük olur. Alçıyı yoğurmada kullanılan su miktarının da mukavemet üzerinde etkisi vardır. Alçının katılaşması sırasında hidratasyon için gerekli su miktarı toz alçı ağırlığının %20'si kadar olmalıdır.

Kireç düşük mukavemetli bir bağlayıcıdır. Kirecin sertleşmesi üç aşamada olur; kuruma, Ca(OH)_2 formülünde kristalleşme ve havanın CO_2 'i ile birleşerek karbonatlaşmadır. Kuruma ve kristalleşme geçicidir, suyla karıştırılınca kireç tekrar yumuşar. Asıl sertleşme karbonatlaşma sonucudur [35].



Kirecin bu sertleşme reaksiyonu yavaş olur. Bu nedenle kireç havada sertleşen bir bağlayıcıdır. Su kireci ise su içinde katılaşabilir ve sertleşebilir.

Tablo 3.5 Bağlayıcıların Mekanik Özellikleri [12]

	Alçı				Kireç		Çimento
	kalıp a.	ince yapı a.	kaba yapı a.	şaplı a.	hava k.	su k.	
$\sigma_{\text{basınç}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	2	1.5	1.2	4	0.7-0.9	6	32.5
$\sigma_{\text{çekme}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	20	7.5	6	20	0.3-0.9		5.5

Toz halindeki kuru çimento, pratik bakımından hiçbir mekanik mukavemete sahip değilken, su ile yoğrulduktan sonra donup sertleşerek sağlam ve mukavemetli hale gelir. Çimentonun inceliği hidrasyon olayını hızlandırır. Hidrasyon olayının hızlı bir şekilde gelişmesi de çimentonun mukavemetinin kısa zamanda büyük değerler almasını sağlar [36]. Sıcaklık prizi hızlandırır, yoğurma suyu miktarının fazla olması prizi olumsuz yönde etkiler. Hidrasyon esnası ve sonrasında sıcaklığın yüksek olması yararlıdır. Ancak 35°C 'nin üstü sıcaklık ve $+5^\circ\text{C}$ 'nin altındaki soğuk hava mukavemet için sakıncalıdır. Havanın nemli olması da suyun buharlaşmaması için gereklidir [35].

Bağlayıcıların mekanik özellikleri içerisinde basınç-çekme dayanımları ve deformasyon yapabilme kabiliyetleri önemlidir (Tablo 3.5).

Basınç ve Çekme Dayanımı:

Alçının basınç mukavemeti $1.2\text{-}1.5 \text{ N/mm}^2$, çekme mukavemeti ise $6\text{-}7.5 \text{ N/mm}^2$ arasında değerler almaktadır.

Yağlı kirecin mekanik mukavemeti zayıftır. 28 günlük basınç mukavemeti 0.7 N/mm^2 'dir. Su kirecinin basınç mukavemeti yağlı kirecinkinden daha yüksektir; 6 N/mm^2 'dir [36].

Çimentonun beton içindeki basınç mukavemeti en önemli özelliklerinden biridir. Çimentonun 28 günlük basınç mukavemeti 32.5 N/mm^2 , çekme mukavemeti ise 5.5 N/mm^2 'dir [31].

Deformasyon-Elastisite Modülü:

Kireç yüksek miktarda deformasyon yapma kabiliyetine sahiptir. Çimentonun elastikiyet kabiliyeti ise düşüktür; elastisite modülü $45-59 \times 1000 \text{ N/mm}^2$ 'dir.

Çimentonun önemli bir özelliği rötre yapmasıdır. Rötire, çimento su ile karıştırıldıktan sonra hidrasyonun başlaması ile çimento hamurunun hacmindeki azalmadır. Bu olayın sebeplerinden biri cisim içinde kapilarite ve jel suyunun çeşitli etkiler altında hareket etmesi ve miktarının değişmesidir. Serbest su miktarının kaybolmasının rötre üzerinde etkisi yoktur. Su miktarındaki değişimler zamana bağlı olduğundan rötre zamanla birlikte artmaktadır. Çimento inceliğinin artması çimento hamurunun fazla rötre yapmasına neden olur. Havanın rutubetinin düşük olması, sıcaklığın artması da rötreyi artırır.

Çimentonun rötre yapması beton açısından sakıncalı bir olaydır. Rötire; betonun mekanik mukavemetinin özellikle çekme mukavemetinin azalmasına sebep olur, geçirimsizliği artırır, geçirimsizliğin artmasından dolayı betonun kimyasal mukavemetinde azalma olur, donma etkisinden daha fazla zarar görür, korozyonu kolaylaştırır [36].

3.2.3 Isı ile İlgili Özellikleri

Çimento ve kireç su ile karıştırıldığı zaman kimyasal reaksiyon sonunda ortaya çıkan ısı hidrasyon ısısıdır. Açığa çıkan ısı miktarı çimentonun tane inceliği, kimyasal bileşimi ve hidrasyon sırasındaki sıcaklığa bağlıdır. Eğer ısı hızlı bir şekilde ortaya çıkmazsa, ısısal genleşmeye yol açan, sıcaklıkta istenmeyen bir artış meydana gelebilir [33]. Bu ısı miktarının belli bir değeri geçmesi halinde, iç gerilmeler meydana gelebilir.

Isı Geçirgenliği ve İletkenliği:

Bağlayıcılar arasında alçı, boşluklu yapısı ve boşluklarında hareketsiz hava bulundurması nedeniyle en düşük ısı iletkenlik katsayısına sahiptir. Alçı, içindeki suyu verdikten sonra ısı transferini geciktirir, su ayrıldıktan sonra iyi bir yalıtkan olur.

Alçının ısı iletkenlik katsayısı 0.26-0.55 W/m °K, kirecin 0.76 W/m °K, çimentonun ısı iletkenlik katsayısı ise 0.87 W/m °K'dır (Tablo 3.6).

Tablo 3.6 Bağlayıcıların ısı ile ilgili özellikleri

	Alçı	Kireç	Çimento
Isısal iletkenlik katsayısı (W/mK)	0.26-0.55	0.76	0.87
Isısal genleşme katsayısı (cm/cm °C)	25 x10 ⁻⁶		14x10 ⁻⁶
Isı biriktirme kapasitesi (W/m ² °K)	6.5		
Erime ısı (°C)		2570	
Özgül ısı (Wh/kg°K)	0.23	0.27	0.29

Isısal Genleşme:

Alçının ısısal genleşme katsayısı 25 x10⁻⁶ cm/cm °C'dir [12]. Çimentonun ise ısısal genleşme katsayısı 14x10⁻⁶ cm/cm °C'dir [13]. Kirecin genleşmesi çimentonun genleşmesinin yaklaşık yarısı kadardır. Kireç harçlarının elastik yapısından dolayı ısısal genleşmelere karşı dayanımı vardır. Çimento harçlarında ise düşük elastikiyet özelliğinden dolayı ısısal genleşmeler sonucu çatlamalar olabilir.

3.2.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri

Su Emme, Geçirimsizlik ve Kılcallık:

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 [35].

Kireç suya dayanmaz, çözülür. Yağlı kireç 1 litre suda 1.3 gr erir. Bu yüzden su ile temas eden yapılarda yağlı kireç kullanılmamalıdır [36]. Sıvalarda ise bağlayıcı olarak çimento ile birlikte kullanılır.

	<u>kapilarite katsayısı (K cm/ √sn)</u>	<u>basınçlı geçirimsizlik kats.(k cm/sn)</u>	
çimento hamuru	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	[16]

Çimentonun su emiciliği düşüktür (%1.3-1.5) ve su etkisine karşı mukavemetlidir. Ancak çimento kurudukça sertleşmekte ve büzülme (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.

Buhar Geçirgenliği:

Bağlayıcılar arasında buhar difüzyonuna en fazla imkan veren alçıdır. Alçının su buharı difüzyon direnç sayısı $\mu = 6.2$, kirecin ise $\mu = 12$ 'dir [12]. Alçı, yalnızca yoğuşmayı geciktirmekle kalmayıp, aynı zamanda boşluklarında önemli oranda nem ve yoğuşma suyunu absorbe eder. Ortamdan aldığı nemi, nem oranı düşüncü tekrar geri vererek nemin dengelenmesini sağlar. Çimento ise yüksek bir buhar difüzyon direncine sahiptir ($\mu=30$).

Çimentonun Donmaya Mukavemeti:

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 değişen 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 suya bu basınçlar hidrostatik basınç olarak iletilir. 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 oranına ve katkı maddelerine bağlıdır [35].

3.2.5 Ses ile İlgili Özellikleri

Ses emicilik malzemelerin gözenek yapılarıyla ilişkilidir; gözenekli malzemeler sesi yansıtmadan emebilirler. Alçı da gözenekli bir yapıya sahip olduğu için ses emici özelliğe sahiptir. Ses emici malzemeler, yüzeyden yansıyan sesi azaltarak, ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünü sağlarlar.

3.2.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri

Elektrik iletkenliği elektron hareketiyle ilgili olup, serbest elektronlarla sağlanmaktadır. Bağlayıcı maddelerde serbest elektron varlığından söz edilemeyeceğinden elektrik iletkenliği aranmaz.

3.2.7 Işık İle İlgili Özellikleri

Işık geçirimsizlik, malzemenin opak ya da şeffaf olmasıyla, emme ve yansıtıcılık ise yüzey ve renk özelliklerine bağlıdır. Alçı ve kireç beyaz renkli olduğu için ışığı yansıtma özelliğine sahiptir.

3.2.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi:

Alçı, asitlerden etkilenmez. Rutubetli hava ile temas halinde olan alçı kısa zamanda bozulur (sertleşir). Özellikle deniz aşırı nakliyat tehlikelidir [31].

Kireç, suyun asit etkisinden etkilenir. Atmosferik gazlar kireç bazlı ürünleri etkiler. Çimento ve kireç bazlı ürünlerde (sıva, beton) asit sülfürik tuzu hareketi nedeniyle çatlamlar görülür.

Çimento atmosferik gazlardan ve asitlerden etkilenir. Bünyesinde asit etkisi meydana getiren CO₂ ve SO₃ gazı bulunan sular, florhidrit, nitrik, sülfürik ve klorhidrik asitler serbest kireci eriterek bağlayıcıların ayrışmasına neden olur, bünyesinde genleşme yaparak dağılmasına neden olan amonyum, potasyum ve kalsiyumsülfat (alçı) gibi maddeler kimyasal reaksiyon sonucu çimentoya zarar verir. Deniz suyundaki MgCl₂ de çimentoya zarar verir [12].

Yangın Direnci:

Malzemelerin yangın anındaki davranışları, yer aldıkları yangıncılık sınıflarına göre değişir. Alçı, kireç ve çimento, yapı malzemelerinin hiç yanmayan (A1) sınıfında yer almaktadır. Özellikle alçı bünyesinde su bulundurduğu için yangına karşı dayanıklı bir malzemedir. Yangın esnasında bünyesindeki su buharlaşır ve sıcaklık bu suyun buharlaşması için harcandığından, sıcaklığın 100°C'ın üzerine çıkması engellenmiş olur.

Korozyon:

Alçı, rutubetli ortamda demiri korozyona uğratar. Bunun için metaller bitümlü boyalarla korunabilir. Ayrıca alçının kireçle karıştırılması, korozyon etkisini azaltır [41].

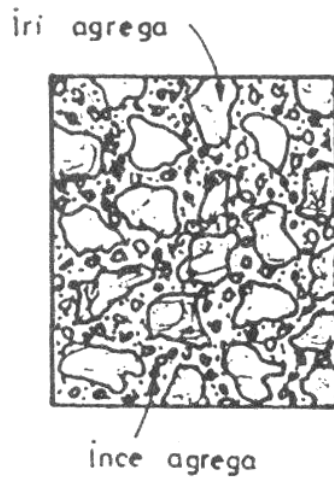
Fiziksel ve Kimyasal Tutunma:

Alçı iyi adezyon özelliklerine sahiptir. Kireç ve çimentonun uygun olmadığı bazı yerler için alçı kullanılabilir. Alçının aderansı tuğla, taş, demir vs. malzemelere karşı iyi olmasının yanında, ahşaba karşı zayıftır [31].

Kirecin de taş ve tuğla gibi her türlü yapı malzemesine iyi bir şekilde yapışma kabiliyeti vardır [36].

3.3 SUNİ TAŞ YAPI MALZEMELERİ (Harç, Beton)**3.3.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri****Kimyasal Bileşimi:**

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi beton, iri agregalar (çakıl, kırmataş vs.) ile bunların aralıklarını dolduran ince agregalar (kum) ve bu topluluğu birbirine bağlayan çimento ve su karışımının donması ve sağlamlaşmasından meydana gelir [31]. Agregalar betonun %60-75’ini oluşturur. Yeterli mekanik dayanıma sahip olmayan, su karşısında kararlı olmayan, sülfat etkisine yol açan, çimento ile alkali reaktivitesi olayına sebep olan agregalar betonda kullanılmazlar.



Şekil 3.3 Beton karışımının yapısı [9]

Harç, bileşimine göre ince agregâ (kum), bağlayıcı madde ve sudan yapılan bir yapı malzemesidir. Bağlayıcı türüne göre çimento harçları, kireç harçları, melez harç (kireç+çimento), alçı harçları adını alırlar [35].

Harçları içinde iri agregâ bulunmaması sebebiyle özel bir beton olarak kabul etmek mümkündür. Fakat fonksiyon bakımından betondan tamamen ayrılan başka bir malzeme olarak da ele alınabilir.

Harçların bileşimleri ve bağlayıcı maddenin miktarı kullanıldığı yere göre değişmektedir. Bunlar:

- duvarcılık harçları
- sıvalar
- şaplardır. [36]

Tablo 3.7 Suni taşların malzeme özellikleri

	Beton		Harç		
	Yoğun agregalı	Hafif agregalı	Kireç harcı	Çimento harcı	Alçı harcı
Birim hacim ağırlığı Δ (gr/cm³)	2.2-2.4	0.3-2	1.9	2.1	2.2
Yoğunluk ρ (kg/m³)	2600		1900		

Birim Hacim Ağırlığı, Özgöl Ağırlık (Yoğunluk):

İyi şartlar altında üretilmiş yoğun agregalı betonun birim hacim ağırlığı 2.2-2.4 gr/cm³, hafif agregalı betonunki ise 0.3-2gr/cm³'dür. Betonun ağırlığının küçük olması malzeme içinde fazla boşluk bulunduğunu ve düşük mukavemete sahip olabileceğini gösterir [36].

Harçların bağlayıcı türlerine göre birim hacim ağırlıkları Tablo 3.7'de verilmiştir. Harcın yoğunluğu 1900 kg/m³, betonun yoğunluğu ise 2600 kg/m³'dir [13]. Hafif betonların yoğunluğu daha düşüktür.

Gözenek Yapısı (Boşluk-Doluluk Oranı):

Betonun porozitesi onun geçirgenlik, ısısal iletkenlik, ses emiciliği gibi diğer özelliklerini de etkiler. İdeal beton boşluksuz ve sıkı bir yapıda olmalıdır. Dolu bir beton mekanik yönden yüksek mukavemetli olması yanında aynı zamanda

geçirimsizdir. Burada ince ve iri agrega oranları yani granülometri önem kazanmaktadır [31].

Beton üretiminde agrega tanelerinin çimentoya yapışabilmesi için tüm tane yüzeylerinin ince bir su filmi ile ıslanması gerekir. Tane boyutu küçüldükçe tanelerin toplam yüzeyi artar. Toplam yüzey arttıkça da bu yüzeyleri ıslatmak için gereken su artacaktır. Bu su hidratasyon için gerekenden fazladır ve çimentoya bağlanmaz. Bu fazla su nedeniyle oluşan boşluk beton niteliklerini zedeler, mukavemeti düşürür, geçirimliliği artırır.

Betonda üç tür boşluk sistemi vardır; jel boşlukları, kılcal boşluklar ve agrega boşlukları. İlk ikisi çimento hamurunda, üçüncüsü ise agregadadır.

Harçlarda hava boşluğu yüksek olur. Yerleşmiş harçta hava boşluğu %5'in üstündedir. Kompasitesi (doluluk oranı) yüksek, iyi işlenebilir bir harç yapımında kullanılan kumun granülometrisi büyük önem taşır [35].

Asit-Baz Özellikleri:

Beton karışımında kullanılan suyun asit özellikte olmaması, pH'nın 7 ve 7'nin üzerinde olması gerekmektedir [35].

3.3.2 Mekanik Özellikleri

Betonun mukavemeti onu meydana getiren agrega, bağlayıcı ve su miktarlarına bağlıdır.

Bu etkenlerden en önemlisi ise çimento/su oranıdır; yani $1m^3$ betona konulan çimento ağırlığının, su ağırlığına oranıdır [31]. Betonun mekanik mukavemeti ve elastikiyet modülü zamanla artış göstermektedir.

Harç türleri arasında çimento harcı yüksek mukavemete, alçı ve kireç harcı ise düşük mukavemete sahiptir.

Basınç ve Çekme Dayanımı:

Betonun mekanik mukavemetleri arasında en önemli olanı basınç mukavemetidir. Betonun basınç mukavemeti zamanın bir fonksiyonudur ve mukavemet yıllar sonra elde edilir. Ancak 28 günlük mukavemet esas alınır [36]. Betonun basınç mukavemeti $16-50N/mm^2$ 'dir [8]. Hafif betonların basınç mukavemeti düşüktür.

Basınç dayanımı betonun tüm pozitif nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkenlere dayanır, aşınmaz.

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler:

-Çimento ile İlgili Faktörler: Çimento cinsi ve miktarı ile basınç dayanımını etkiler. Çimento dozajının yüksek olması mukavemeti artırır, ancak çimento miktarının artması rötreyi artırır. Rötrenin artması çekme mukavemetinin yüksek değerler almasını engeller. Dayanımı etkileyen faktör sadece dozaj olmayıp çimento/su oranı da etkilidir. Agregada karışımında ince tane miktarı fazla ise çimento dozajı büyük olmalıdır.

-Su Miktarı ile İlgili Faktörler: Uygun miktardan az veya fazla miktarda su kullanıldığı zaman mukavemette azalma olur. Suyun az olması, çimentonun hidratasyon olayını tam olarak yerine getirememesinden dolayı, betonda boşluklar kalmasına neden olur. Fazla olması ise, çimentonun mukavemetini azaltarak boşlukları artıracaktır.

-Beton Kompasitesi: Beton kompasitesi 1m^3 betondaki katı elemanların (agrega ve çimento) kapladığı mutlak hacimlerin toplamıdır. Kompasitesi yüksek, dolu bir betonun basınç dayanımı doğal olarak yüksektir.

-Dış Etkiler: Rutubeti yüksek tutarak ve sıcaklığı 60°C 'nin üzerine çıkararak mukavemet artışı hızlandırılır. Bağıl nemin %50'nin altına düşmesi betondaki suyun buharlaşması ve hidratasyon için gerekli suyun kalmamasına yol açar [35, 36].

Gevrek bir malzeme olan betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının $1/8$ ile $1/14$ 'ü arasındadır. Beton $1.5\text{--}3.5\text{ N/mm}^2$ arasında çekme dayanımına sahiptir. Pratik olarak betonun hiç çekme almadığı, hemen çatladığı varsayılır ve beton sadece basınca çalıştırılır [35].

Çekme ve basınç dayanımlarının zaman içindeki artışı da farklıdır. Çekme dayanımı ilk günlerde artar, sonra artış hızı önemli ölçüde düşer.

Betonda meydana gelen çatlamların önemli bir sebebi çekme mukavemetinin yetersizliğidir. Bağlayıcı madde ile agrega taneleri arasındaki aderans çekme mukavemeti üzerinde önemli bir rol oynar. Aderansın zayıf olmasına sebep olan faktörler ve bu arada agrega tanelerinin kil ve silt ile kaplı bulunması çekme mukavemetinin çok düşük bir değer almasına sebep olur [36].

Harçta basınç mukavemeti, karışımdaki çimento oranı arttıkça artar, su miktarıyla ise ters orantılıdır [42].

Kayma Dayanımı (Gerilmesi):

Betonun kayma mukavemeti yaklaşık olarak çekme mukavemetinin 2.5 katıdır [31]. Betonun kayma mukavemeti 3N/mm^2 , kayma modülü (G) ise 10500N/mm^2 'dir [16].

Sertlik ve Aşınma Dayanımı:

Betonun aşınma dayanımı, karışımdaki çimentonun basınç mukavemeti ve inceliği ile doğru orantılıdır.

Betonda çimento miktarı agrega miktarına göre genel olarak daha azdır. Bu sebeple asıl aşınma agregaların aşınması sonucunda meydana gelmektedir. Bu bakımdan beton imalinde aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması ve harcın agregalara tutunabilme yeteneği betonun aşınmaya mukavemetini artırır [36]. Hafif beton yoğun betondan daha yumuşaktır ve aşınmaya karşı korunması gerekir.

Betonda aşınmayı kolaylaştırıcı faktörler: beton harcının çok ıslak olması, yüzeyde aşırı ve erken çalışma, agrega içindeki organik malzemeler, soğuk havalarda ısıtıcıların kullanılmasıyla yüzeyin karbonlaşmasıdır [37].

Deformasyon-Elastisite Modülü:

Yoğun agregalı betonların elastisite modülü 21000 N/mm^2 , hafif agregalı betonların ise 8000 N/mm^2 'dir [19].

Harcın deformasyon sonucu çatlamasından yapı gerek mukavemet gerek dış etkilere dayanıklılık bakımından önemli bir şekilde zarar görür. Çimento harçları yapı hareketlerinde elastikiyet göstermez ve çatlar. Kireç ve melez harçların (çimento + kireç) ise deformasyon yapma kabiliyeti vardır.

Harçların poisson oranları servis yükleri altında 0.20 değerini alır, kırılmaya yakın poisson oranı 1'e yaklaşır [35].

3.3.3 Isı ile İlgili Özellikleri

Isı Geçirgenliği ve iletkenliği:

Betonun ısı iletkenliği dozajla ve agreganın cinsiyle ilgilidir. Betonun ısı iletkenlik katsayısı $1.28\text{--}1.63\text{ W/mK}$ 'dır. Hafif betonun ısı iletkenliği daha düşüktür ($0.35\text{--}0.80\text{ W/mK}$) [16].

Harçların bağlayıcı türüne göre aldığı ısısal iletkenlik değerleri Tablo 3.8’de verildiği gibidir.

Tablo 3.8 Suni taşların ısı ile ilgili özellikleri

	Beton		Harçlar		
	yoğun agregalı	hafif agregalı	kireç harcı	çimento harcı	alçı harcı
Isısal iletkenlik k. λ (W/mK)	1.28-1.63	0.35-0.80	0.87	1.4	0.35
Isısal genleş.k. α ($\times 10^{-6}$) (cm/cm°C)	10-14	6.5-8	11-13		
Isı biriktirme k. S_{24} (W/m ² K)	18		12		
Özgül ısı c (Wh/kg °K)	0.29		0.267	0.29	0.256

Isısal Genleşme:

Sıcaklık değişiklikleri betonun genişlemesine neden olur, fakat bunlar geri dönüşümlü hareketlerdir. Betonların ısısal genleşme katsayısı, beton hacminin %80’ini oluşturan agrega türüne ve karışım oranlarına göre $6-14 \times 10^{-6}$ cm/cm°C arasında değişir (Tablo 3.8). Ortalama değer 10×10^{-6} cm/cm°C’ dir [19]. Islak betonda 8×10^{-6} cm/cm°C değerine düşebilir.

Harçların genleşme katsayıları $11-13 \times 10^{-6}$ cm/cm°C arasında değerler almaktadır.

Isı Biriktirme Kapasitesi:

Harcın ısı biriktirme katsayısı (S_{24}) 12 W/m²K, betonun ısı biriktirme katsayısı (S_{24}) 18 W/m²K’dır [12].

Özgül Isı:

Betonun ve harçların Tablo 3.8’de görüldüğü gibi özgül ısıları birbirine yakın değerler almaktadır. Ancak bu değerler malzemelerin nem miktarına göre değişebilmektedir.

3.3.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri

Su Emme, Geçirimsizlik ve Kılcalılık:

Beton üretimi sırasında meydana gelen rötne 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 dağılıma 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 veya su buharı difüzyon kurallarına göre kılcal geçirimsizlik meydana gelir.

Tablo 3.9 Suni taşların su ve nem ile ilgili özellikleri [12]

	Beton	Çimento harcı
Ağırlıkça su emme miktarı (Sa) (%)	1-8	1.30-1.50
Su geçirimsizlik katsayısı (k) (cm/sn)	10^{-7}	10^{-9}
Kapilarite katsayısı (K) (cm/$\sqrt{\text{sn}}$)	10^{-5}	10^{-6}
Rötre değeri (Δb) (%)	0.2-0.8	0.08-0.12

Betonun geçirimsizlik özelliği, 3.9 no'lu denklemde ifade edildiği gibi su geçirimsizlik katsayısı (k) ile belirlenir. Bu ortalama olarak 10^{-6} - 10^{-9} cm/sn arasında değerler almaktadır. Bu katsayı ne kadar küçükse betonun geçirimsizliği o kadar büyüktür [36].

D'arcy kanununa göre; $q = k \cdot \frac{p}{e}$

e : kalınlık (cm)

p : basınç (kg/cm^2)

k : geçirimsizlik katsayısı (cm/sn)

q : betondan sn'de cm^2 başından kg olarak geçen su miktarı (3.9)

Betonda geçirimsizliği etkileyen faktörlerden biri çimento dozajıdır. Çimento dozajının artması (300 kg/m^3) betonda geçirimsizliği azaltmaktadır. Hidratasyon hızı yüksek olan çimentonun geçirimsizlik bakımından durumu iyidir. Yani, çimentonun mukavemeti ne kadar büyükse geçirimsizlik katsayısı o kadar küçük değer almaktadır.

Diğer bir faktör çimento /su oranıdır. Bu oran düşükse iyi yerleşemeyen betonda büyük ve birbiri ile bağıntılı boşluklar oluşacağından geçirimsizlik artar. Oranın yüksek olması, çimento hamurunun buharlaşan fazla karma suyu nedeniyle kılcal

boşluklar içereceğinden yine geçirimsizliğe yol açar. Optimum oran mukavemet için gereken orandan bir miktar yüksektir [35].

Kılcalık, basınçlı su geçirimsizliğinden farklı bir süreçle meydana gelir. Burada su, yerçekimine rağmen ince kılcal boşlukların içinde yükselir. Zemin suyunun sıva içinde yükselmesi ve bina cephelerinde çiçeklenme denilen tuz birikmesi olayına yol açması buna dayanır.

Betonun su emiciliğinde 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 birbiriyle bağlantısız hava dolu gözenekler, ses ve su geçirgenliğini azaltır [42].

Islanıp kurduğu zaman betonda nem hareketleri (kuruma rötresi) meydana gelir. Beton kuruyunca büzülür, ıslanınca genişler, ilk zamanlardaki nem değişiklikleri geri dönüşümlü değildir, daha sonrakiler ise geri dönüşümlüdür. Rötre hareketleri karışımın zenginliği ve su/çimento oranı ile, rijit agrega kullanılmadığı ve hafif agrega kullanıldığı yerde artar. Rötre gerilimleri betonun çekme mukavemetini aşarsa, kırılmalar gerçekleşebilir. Hafif betonlarda nem hareketleri (kuruma rötresi) yüksektir. $825-497 \text{ kg/m}^3$ yoğunluktaki hafif betonların su emiciliği yoğun betonlardakinden 4-8 kat daha fazladır [19].

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 emicilik oranında hızlı su kaybını ve plastiklik özelliğinin kaybolmasını önler.

Harcın rötresi, bağlayıcı türü, miktarı ve su ile doğru orantılıdır. Yağlı kireç harçları bünyesine CO_2 aldığından hacim artmasına, çimento harçları hidratasyon olayı sonucu hacim eksilmesine (rötre) uğrar. Rötre dolayısıyla meydana gelen çatlaklar geçirimsizliği artırıcı ve mukavemeti düşürücü niteliktedir [12].

Harçta geçirimsizliği sağlamak için doluluğu artırmak gerekir. Bunun için de granülometri çok önemlidir. Harcın granülometrisini düzeltmek amacıyla pasif ya da aktif tozlar katılır. Çimento harçlarının geçirimsizliği ve mukavemeti yüksektir

(Tablo 3.9). Kireç harçları ise suda çözündüğünden suya maruz kalan yerlerde kullanılmamalıdır.

Buhar Geçirgenliği:

Betonun buhar geçirimsizlik katsayısı (δ) 0.003 gr/m.h.mmHg'dir. Ancak beton su buharına karşı tamamen geçirimsiz değildir.

Harçların bağlayıcı türüne göre buhar difüzyon direnç faktörleri şöyledir;

Çimento harcı $\mu = 30$

Çimento-kireç harcı $\mu = 25$

Kireç harcı $\mu = 15$

Kireç-alçı harcı $\mu = 9$

Alçı harcı $\mu = 4$

Donmaya Mukavemeti:

Donma çözülme tekrarlarında betonun zarar görmesi, boşluklarına girecek suyun donması ve donmadaki hacim genişlemesinden dolayıdır. Betonun boşluklarının tamamen su ile dolmaması halinde donma olayının zararlı bir etkisi bulunmamaktadır.

En az 25 donma-çözülme tekrarı sonunda basınç mukavemetinin %20'den veya dinamik elastisite modülünün %30'dan fazla azalması malzemenin donmaya dayanıklı olmadığını gösterir [35].

Betonun boşluklarında suyun donması sonucu %9'u bulan hacim artışının meydana getirdiği çekme gerilmeleri, betonun çekme mukavemetini aştığı takdirde betonda çatlaklar ve parçalanmalar görülür.

Betonun donma sonunda parçalanmasına neden olan en önemli faktör malzemenin içerdiği su miktarının fazla olmasıdır. Buna karşılık kuru betonlar yani boşluklarında su bulunmayan betonlarda donma olayı tamamen etkisizdir.

Betonun içindeki suyun bir kısmı yoğurma suyuna ait, bir kısmı da beton tarafından emilen sudur. Su, beton içine geçirimsizlik ve kılcallık olmak üzere iki şekilde girmektedir. Betonun donmaya karşı dayanıklılığı için yoğurma suyu miktarının az olması ve betonun geçirimsizlik özelliğine sahip olması gerekmektedir. Geçirimsizlik çimentonun hidratasyonu ile birlikte artmakta olduğundan betonların donmaya

dayanıklılıkları da zamanla birlikte artan bir özelliktir. Aynı şekilde kapilarite yolu ile betonun az su emmesini sağlamak da donmaya dayanıklılığı artırır [36].

İçerdiği Nem Miktarı :

Beton donup sertleşirken içindeki su miktarında, dolayısıyla da hacminde değişiklikler meydana gelir. Bu olay sadece hava ile temas ederek gerçekleşirse, hacmi küçülür, büzülür, rötreye yapar. Priz suyun içinde meydana gelirse hacim büyür. Böylece boyutlarındaki değişiklik zamanla birlikte artmakta ve beton ancak 1 yıl geçtikten sonra boyut bakımından kararlı bir durum almaktadır. Büzülme daha önemli olup, hacim genişlemesinin 4 katıdır. Rötreye, beton içindeki suyun buharlaşmasıdır. Havanın rutubet derecesinin düşük olması, buharlaşmayı kolaylaştırdığından rötreyi artırır. Betonun rötresi; çimentonun su tutma kabiliyeti azaldıkça, çimentonun inceliği büyüdükçe, çimento miktarı fazlalaştıkça, agregada ince tanelerin miktarı arttıkça, agregada çakıl veya kırmataşın boyutları küçüldükçe artar [8, 31].

3.3.5 Ses ile İlgili Özellikleri

Ses Geçirimsiliği:

Beton yapı elemanları ses yalıtımda yetersiz kalır. Sert bir malzeme olduğu için darbe sesini büyük bir oranda iletir. Bu yüzden yapı ve planlama olarak, ses yalıtımı ile ilgili problemlerde önlemler alınması gerekir. Diğer yapı malzemeleri gibi beton da ağırlığı oranında ses yalıtımı sağlar. Betonun birim hacim ağırlığı dolayısıyla yoğunluğu arttıkça ses geçirimsiliği azalır. Ancak betona sıva gibi bir bitiş malzemesi eklenmesi, ağırlığının bir miktar arttırılmasından daha iyi yalıtım sağlar [41]. Betonda sesin yayılma hızı 4000 m/sn'dir.

Ses Yansıtma ve Yutuculuğu:

Betonda birim hacim ağırlığı arttıkça, ses geçirimsiliğinden farklı olarak ses yansıtıcılığı da artmaktadır.

Betonda ses yutuculuk değeri (α) 0.02 m/sn (500 Hz için), çimento ve kireç harcında 0.02 m/sn, alçı harcında ise 0.03 m/sn'dir [12].

3.3.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri

Betonun elektrik iletkenliği dozajla, agreganın cinsiyle ve rutubet ile yani içinde bulunan oldukça iyi bir iletken olan suyun miktarı ile yakından ilgilidir. Bu bakımdan havada kurutmaya terkedilen betonun elektriksel direnci zamanla hızlı bir şekilde artar. Tamamen sertleşmiş kuru bir betonun iletkenliği $5-10 \times 10^{-7}$ ohm iken, pratikte ihmal edilebilecek kadar azdır [31, 36].

3.3.7 Işık ile İlgili Özellikleri

Işık ile ilgili özellikler malzemenin yüzey özelliklerine ve rengine göre, yansıtma, emme veya ışığı geçirme şeklinde olmaktadır. Beton suni taş bir malzeme olarak opak özelliktedir ve ışığı geçirmez. Açık renk beton yüksek yansıtıcılığa, koyu renk ise yutuculuğa sahiptir.

3.3.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi:

Dış ortam sertleşmiş betonu fiziksel ve kimyasal yönden hasara uğratır. Fiziksel etkenler arasında donma-çözülme, ardarda oluşan ıslanma-kurumayı, trafik araçları, kum fırtınaları, deniz, göl dalgalarının yaptığı aşınmaları sayabiliriz. Kimyasal etkenler arasında asitli, sülfatlı, klorlu suların ve atmosferin varlığı bulunur. Betonların kimyasal dayanıklılığını artırmak için, beton geçirimsiz olmalıdır [35].

Betonda atmosferik gazların etkisi: Atmosferdeki CO_2 ve SO_3 gibi gazlar yağmur suyu ile karışarak beton üzerinde karbonik (H_2CO_3) ve sülfürik (H_2SO_4) asit etkisinde bulunurlar. H_2CO_3 serbest kireci $\text{Ca}(\text{OH})_2$ haline getirerek suda erimesine, H_2SO_4 ise bünyesinde CaSO_4 oluşturarak hacimce genişlemeye ve dağılmaya neden olur [12].

Betonda suların etkisi: Yağmur, deniz suyu ve sülfatlı, sodyumsülfatlı, magnezyum sülfatlı zemin suları beton üzerinde etkilidir. Yağmur suyu, saf durumda bulunduğu çözme ve hidroliz kabiliyeti fazladır. Deniz suyu betonun gözenekli bir hal almasına neden olur. Betona tüm asitli sular zararlıdır, alkali suların ise zararı yoktur. Atık sular betona kuvvetli sülfat etkisi yapar. Bu suların içindeki SO_3 miktarı %0.1'i aştığı zaman betonda şişme ve parçalanma meydana getirir [12, 31].

Yağ, laktik asit ve inorganik asitler beton yüzeyinde lekelenmelere neden olabilir. Organik asitlerden molekül ağırlığı düşük olanlar betonu kemirir fakat hacmini değiştirmezler. İnorganik asitlerden H_2SO_4 , HCl ve HNO_3 betonu tahrip ederek, mukavemeti azaltır. Nitratlardan NH_4NO_3 , sülfatlardan $(NH_4)_2SO_4$ beton için zararlı etkiye sahiptir. Demir ve alüminyum da beton içinde veya yanında kullanılıncaya lekeler oluşabilir [31, 37].

Betonu hasara uğratan nedenlerden bazıları da biyolojik kökenlidir; betona zarar veren aerobik, anaerobik bakteriler, yosunlar da mevcuttur.

Beton içindeki bileşenlerin karşılıklı etkileşimi sonucu oluşan zararlı etkiler de vardır. Bunlar, çimento içinde hacim sabitliğini bozan serbest kireç, manyezi, MgO ve serbest SO_3 , betonun karma suyunun oluşturduğu etkiler, alkali-agrega reaktivitesidir [35].

Harcın Dış Etkenlere Dayanıklılığı: Sıcaklığın yükselmesi harçların katılaşmasını hızlandırmakta, düşmesi ise geciktirmektedir. Güneş ve rüzgar etkisi kısa zamanda harcın suyunu alarak hidrasyonun tamamlanmasını engellemektedir. Alüminli çimento ile yapılan harçlar hariç don etkisi diğer harç türlerine zararlı etki yapar [12].

Güneş Radyasyonu Etkisi:

Güneş ışınlarının malzeme üzerinde genleşme, renk kaybı, atomik yapıda bozulmalar gibi çeşitli zararlı etkileri vardır. Özellikle taze betonun güneş etkilerinden korunması gerekir; çünkü güneşin ısıtıcı etkisi beton bünyesindeki yoğunlaşma suyunu uzaklaştırıp, erken rötre çatlaklarına ve betonda mukavemet düşmesine neden olur.

Yangın Direnci:

Normal Portland çimentosu ile yapılmış bir beton $100-150^{\circ}C$ 'den itibaren değişime uğramaya başlar. Önce kılcal, sonra jel boşluklarındaki su buharlaşır ve büzülme olur. Çatlakların belirmesi ile çekme dayanımı düşer, $300^{\circ}C$ 'den itibaren basınç dayanımı da azalmaya başlar. $400^{\circ}C$ 'de $Ca(OH)_2$ CaO 'ya dönüşür; hacmi %30 mertebesinde büzülür. Söndürme sırasında püskürtülen su CaO 'yu tekrar $Ca(OH)_2$ 'ye çevirir, bu kez de hacim genişleyerek hasar meydana gelir. $400^{\circ}C$ aşıldıkça silis jelleri de parçalanmaya başlar, $600-700^{\circ}C$ aşıldığında tüm öğeler harap olmuştur.

Betonda yangına karşı direnç agreganın özelliklerine de bağlıdır. Kalkerlerin kirece dönüşümü daha yüksek sıcaklıklarda, 800-900°C civarındadır. Yani kalker agregalı betonlar yangına nispeten dayanıklıdır. Ayrıca gözenekli ve hafif agrega betonlarında düşük yoğunluk yangına karşı daha iyi direnç sağlar. 600°C'yi aşan betonların mukavemeti ilk mukavemetlerinin ancak %20'si olabilir. Yüksek sıcaklığa dayanması istenen betonlarda özel agregalar gerekir: bazalt, yüksek fırın cürufu, ateş tuğlası kırıkları, manyezi tuğla kırıkları.... Bu arada çimentonun da dayanıklılığının artırılması gereklidir [35].

Korozyon:

Betonda korozyon, betonun veya beton içine gömülü çelik donatının, fiziko-kimyasal çevresel dış etkenler sonucu niteliklerini kaybetmeleri anlamına gelir. Bu iki süreç birbirini etkilemektedir. Örneğin, betonun deniz suyu etkisiyle çatlaması, donatıya klor iyonlarının daha hızlı erişmesine ve donatının daha çabuk korozyona uğramasına sebep olur, ayrıca donatının paslanması sonucu meydana gelen hacim artması, betonun parçalanmasının nedenidir.

Tatlı su, karbonik asitli, magnezyum tuzları ile yüklü ve sülfatlı su, asit etkisi, tuz etkisi ve karbonatlaşma betonda korozyona neden olan dış etkenlerdir. Betonun yüzeyi altındaki suda çözünen tuzların kristallenmesi sonucu tuzlara bağlı korozyon, atmosferde bulunan CO₂'nin hidrate çimento mineralleri ile nemli ortamda korozyona girmesiyle de karbonatlaşma görülmektedir. Bunlardan başka, beton içindeki reaksiyonlara bağlı oluşan korozyon türleri de vardır. Bunlar; alkali-agrega etkisi, alkali-silis reaksiyonu, alkali-karbonat reaksiyonu, uygun olmayan çimento kullanımı ve biyolojik korozyondur [43].

Betonarmenin korozyona karşı korunmasında agreganın türünden çok betonun kalitesi önemlidir.

Fiziksel ve Kimyasal Tutunma :

Betonda agrega ile çimento arasındaki aderans önemlidir ve bu çekme mukavemetini de etkilemektedir. Bu bağlantı fiziksel ve mekanik karakterlidir. Agrega taneleri arasındaki yabancı maddeler aderansın zayıflamasına neden olur.

Harcın aderansı bağlayıcının gücüne, harcın kıvamına, yapışacak yüzeyin pürüzlülüğüne, gözenekliliğine, büyüklüğüne, su miktarına, harcın su tutuculuk

özelliklerine, harcın hava boşluğu ve basınç mukavemetine bağlıdır. Kireç ve alçı harcı taş, tuğla ile iyi aderans sağlar, ancak alçı harcının ahşapla aderansı zayıftır.

Harcın yapışma mukavemeti mekanik bir olay olmaktan çok kimyasaldır. Harcın akışkanlığı artarken yapışma mukavemeti de artar. Çimentoya kireç eklemek harcın işlenebilirliğini ve dolayısıyla da yapışmasını kolaylaştırır. Harçta %12’yi aşan bir hava boşluğu varsa, yapışma özelliğinde azalma görülür. Hava boşluklarındaki artış harcın durabilitesini artırır ancak yapışma özelliğini düşürür. Harcın kuruma dönemindeki hava sıcaklığı ve bağıl nem de yapışmasını etkiler [42].

3.4 PIŞMIŞ TOPRAK YAPI MALZEMELERİ

3.4.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri

Atom Yapısı ve Kimyasal Bileşimi:

Kısmen iyonik kısmen kovalent bağ bulunan inorganik malzemelerdir. Bazıları amorf bazıları ise kristal yapılıdır. Ana maddesi kildir. Kil, tane boyutu 2μ ’dan küçük mineral tanelerinden oluşur [35].

Killer kayaların ve volkanik küllerin dış etkilerle bozulması ve ufalanması sonucu oluşurlar. Temel bileşenleri silis (SiO_2), alümin (Al_2O_3) ve sudur. Bunlardan başka demir, magnezyum ve krom oksitler, alkali ve toprak alkali bileşikleri bulunur [9].

Tablo 3.10 Pişmiş toprak malzeme özellikleri

	Tuğla	Gre Seramik	Kiremit
Birim hacim ağırlık (Δ) gr/cm³	1.2-1.8	> 2.2	1.9
Özgül ağırlık (δ) gr/cm³	2.5-2.7	2.7	

Birim Hacim Ağırlığı, Özgül Ağırlık (Yoğunluk):

Boşluklu ve delikli pişmiş toprak malzemelerin birim ağırlık değerleri boşluksuz ve camlaşmış olanlarıkinden daha düşüktür. Birim ağırlık değerleri mekanik dayanımları ile doğru orantılıdır [44].

Deliksiz pişmiş toprak malzemelerin birim hacim ağırlık değerleri özgül ağırlık olarak kabul edilebilir. Pişmiş toprak malzemelerden tuğla, gre seramik ve kiremit için birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerleri Tablo 3.10’da verilmiştir.

Gözenek Yapısı (Boşluk-Doluluk Oranı):

Porozite malzemenin durabilitesini belirleyen en önemli özelliklerinden biridir ve malzemenin pişirme sıcaklığına göre değişmektedir. Pişirme sıcaklıkları 800-950°C civarında olanlarda porozite %6-8 iken, 1300-1450°C sıcaklıklarda pişirilenlerde bu oran %1'den az değerler almaktadır [35].

Gre (karolar, sıhhi tesisat elemanları...) ve porselenler (sıhhi tesisat elemanları, elektrik izolatörleri,...) gözeneksiz, sırlanmamış (tuğla, kiremit,...) ve sırlanmış (fayans, seramik gibi) ürünler de gözenekli pişmiş toprak ürünleri oluştururlar.

3.4.2 Mekanik Özellikleri

Seramik yapı malzemelerinin mekanik özellikleri kullanma yerine bağlı olarak belirlenir. Örneğin eğilme dayanımı kaplama malzemeleri ile örtü malzemelerinde aranan bir özelliktir. Taşıyıcı ve yük çekebilir özellikli olanlar tuğla ve yer kaplamalarıdır.

Seramik malzemeler bünye yapısı yönünden kırılgan karakterde malzemelerdir. Bu tür malzemelerin mekanik zorlamalar altında kırılmaları ani olur ve malzeme çok az deformasyon yapar.

Tablo 3.11 Pişmiş toprak malzemelerin mekanik özellikleri

	Tuğla	Gre Seramik
Basınç mukavemeti N/mm²	3-30	180-200
Kayma mukavemeti N/mm²	0.4	
Sertlik Mohs		6
Elastisite Modülü N/mm²	5000	

Basınç ve Çekme Dayanımı:

Basınç mukavemetleri çok yüksek olmakla beraber çekme mukavemetleri çok düşüktür. Kilin yanma derecesi ve üretim metodu basınç mukavemetini etkiler. Yüksek basınç mukavemeti yüksek yanma sıcaklığı ile ilgilidir [42].

Gevrek olduklarından iç yapı kusurları, gerilme yığılmasına neden olur; dolayısıyla çekme etkisinde kolay kırılırlar. Seramiklerde basınç mukavemeti çekme mukavemetinin ortalama 8 katıdır. Isıl işlemlerle yüzeyde artık basınç gerilmeleri

oluşturarak çekmeye karşı mukavemetleri artırılabilir [9]. Pişmiş toprak malzemelerin çekme mukavemeti betonun çekme mukavemetinden yüksektir.

Tuğla ve gre seramiklerin basınç mukavemet değerleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

Kayma Dayanımı (Gerilmesi):

Seramiklerin kaymaya karşı direnci çok yüksektir, plastik şekil değiştirmeksizin kırılırlar. Tuğla için maksimum kayma mukavemeti 0.4 N/mm^2 ’dir.

Sertlik ve Aşınma Dayanımı:

Çok sert ve gevrekler, kolay çizilmez ve aşınmazlar. Karo fayansların sırlı yüzey sertliği Mohs birimine göre en az 4 olmalıdır [44].

Özel aşındırıcı amaçla üretilmiş seramikler, diğer tüm metal malzemeleri aşındırma ve kesmede kullanılacak kadar sert özelliğe sahiptirler.

Aşınma dayanımı seramik yapı malzemelerinde daha çok döşeme kaplaması olarak kullanılanlarda söz konusu olan bir özelliktir.

Deformasyon-Elastisite Modülü:

Darbelere karşı kırılındırlar, kırılma süresi kısa olup gevrek malzemelerdir. Plastik şekil değiştirme oluşmadan kırılırlar. Plastik şekil değiştirme molekül zincirlerinin doğrulup birbiri üzerinde kayması sonucu oluşur. Pişmiş toprak malzemelerde ise polimerlerdeki bu davranış görülmez [9].

Tuğla için elastisite modülü 5000 N/mm^2 ’dir.

3.4.3 Isı ile İlgili Özellikleri

Tablo 3.12 Pişmiş toprak malzemelerin ısı ile ilgili özellikleri

	1.2 Tuğla	Gre Seramik	Kiremit
Isı iletkenlik katsayısı (λ) W/mK	0.47 - 0.79	1.05	0.7
Isısal genleşme k. (α) ($\times 10^{-6}$) cm/cm°C	5 - 8	5 - 9	
Isı depolama kapasitesi (S) Wh/m³K	415 - 464		
Özgül ısı (c) Wh/kgK	0.245	0.245	

Isı Geçirgenliği ve iletkenliği:

Genellikle ısıyı az iletirler. Bazı pişmiş toprak malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları Tablo 3.12’de verilmiştir. Özel olarak porozitesi yüksek ve lif şeklinde üretilen seramikler ısı izolasyonu en yüksek ve ısıya dayanıklı malzemelerdir. Isıyı iyi iletmesi için üretilen seramikler fırınlarda ve metal eritme kapaklarında kullanılmaktadır [19].

Seramik malzemelerin ısı iletkenliği, hacim ağırlıklarının azalması ile küçülür. Boşluklu seramik malzemelerin ısı iletkenliği boşluksuz seramiklerinkinden daha küçüktür. Malzemede ısı geçirimsizlik istenildiği hallerde, boşluk oranı artırılmaya çalışılır.

Isısal Genleşme:

Seramiklerin ısı genleşme katsayıları düşük olmakla beraber iç yapıya önemli derecede bağlıdır (Tablo 3.12).

Sırlanmış seramik malzemelerde genleşme nedeniyle önemli hasarlar ortaya çıkabilir. Sır ile sırlanan seramik malzemenin genleşme katsayılarının farklı oluşu sonucu sırda pullanma, kopma ve çatlamlar görülür [44].

Isı değişikliklerine ve şoklara dayanıklıdırlar (100-500 °C gibi sıcaklıklardan normal oda ısısına aniden soğutulduğunda seramiklerde herhangi bir tepki görülmez.).

Erime Sıcaklığı:

Pişmiş toprak malzemelerin erime sıcaklıkları yüksektir (1000-1400 °C).

Killeri yüksek sıcaklığa dayanımları yönünden 3’e ayırabiliriz:

-Refrakter Killer: Alümin oranı yüksek (%40 civarında), yabancı madde oranı düşük killerdir. 600°’nin üzerinde erime derecesine sahiptirler.

-Yüksek Erime Dereceli Killer: Erime sıcaklıkları 1350-1600° C arasındadır. Düşük oranda kuvars, mika ve CaCO₃ içerirler.

-Düşük Erime Dereceli Killer: Erime sıcaklıkları 1350°C’nin altındadır. Kum, CaCO₃, demiroksit, mika ve organik madde içerebilirler [35].

3.4.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri

Tablo 3.13 Pişmiş toprak malzemelerin su ve nem ile ilgili özellikleri

	Tuğla	Gre Seramik	Kiremit
Ağırlıkça su emme yüzdesi (Sa) %	8-18	geçirimsiz	9-18
Su geçirimsizlik katsayısı (k) cm/sn	10^{-6} - 10^{-8}		
Kapilarite katsayısı (K) cm / $\sqrt{s}$	10^{-2} - 10^{-4}		
Buhar difüzyon direnç faktörü (μ)	5-10	300	37-43

Su Emme, Geçirimsizlik ve Kılcalılık:

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. Dona dayanıklılık aranan tuğlalarda su emme değerinin düşük olması istenir [44].

Su emme derecesi de kile, üretim metoduna ve yanma ısısına bağlıdır. Plastik killer ve yüksek sıcaklıkta pişmiş ürünler daha düşük emiciliğe sahiptir [42].

Tuğla ve kiremit üretiminde kullanılan kilin kuruma ve yanma esnasında %15-45 arası rötre yapması normaldir. Yanma sonrası, killi ürünlerde emilen suya göre gerçekleşen, dönüşümü olmayan genleşme tuğlalarda, döşeme ve duvar kaplamalarında sorun yaratabilir. Kimyasal yapısı birbirinden farklı olan killerden yapılan ürünler aynı boyut değişikliğini göstermez. Bu yüzden benzer killerden yapılan ürünler birarada kullanılmalıdır.

Islanma ve su emmeye karşı pişmiş toprak malzemeler sırlı olarak kullanılmalıdır. Su geçirimsizlik tuğla ve kiremitte önem kazanır (Tablo 3.13).

Buhar Geçirgenliği:

Tuğla duvarın buhar geçirimsizlik katsayısı 0.014 gr /m.h.mmHg'dır. Tuğla, kiremit ve gre seramik ürünlerin su buharı difüzyon direnç faktörleri Tablo 3.13'de verilmiştir. Özgül ağırlık arttıkça buhar difüzyon direnci de artmaktadır.

Donmaya Mukavemeti:

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 [42]. Donma tehlikesi en fazla, su emme ve sıcaklık düşmelerinin birarada olduğu hallerde görülür.

3.4.5 Ses ile İlgili Özellikleri

Ses Geçirimsizliği:

Ses yalıtım özelliği pişmiş toprak ürünlerden tuğlalarda önem kazanmaktadır. Duvar dolgu malzemesi seçiminde ses geçirim direnci önemli bir faktördür. Duvarlar sesi emerek ve yansıtarak gürültü iletimini önlerken, daha önemlisi bölücülük göreviyle duvarın bir tarafından diğer tarafına sesin geçişini önlerler.

Ses geçişinde, duvarın bir tarafındaki ses dalgaları duvarın diyafram gibi titreşmesine neden olur. Titreşen duvar diğer taraftaki havayı da titreştirerek yeni ses dalgaları üretir. Buna göre duvarın titreşime karşı direnç yeteneği arttıkça, sesin geçişine direnci de artar. Bu direnç duvarın ağırlığı ile ilgilidir; homojen bir duvarda ses geçiş kaybı duvarın ağırlığının logaritmasıyla orantılıdır (Tablo 3.14) [33].

Ses yalıtımı açısından taşıyıcı tuğlalarla yapılan yapı, iskelet yapılardan daha iyi sonuç verir. Delikli tuğlaların daha iyi ses yalıtımı sağladığı düşünülse de aynı kalınlıktaki dolu tuğla (ağırlık- yalıtım kuralına uygun olarak) daha etkili sonuçlar verir [41].

Tablo 3.14 Duvarın ağırlığına göre ses geçiş kaybındaki değişim [33]

Duvarın ağırlığı kg/m^2	Ortalama ses azaltma faktörü, dB
154	48.8
186.5	55.2
162.5	54.6
239	53.7
425	57.2

Ses Yansıtma ve Yutuculuğu:

Ses yansıtma, ses dalgalarının katı bir yüzeye çarptıktan sonra geri sıçramasıdır. Ses emicilik, ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesidir ve bu akustik malzemelerle sağlanır. Pişmiş toprak ürünlerin çoğu, sertlik ve yüksek yoğunlukları dolayısıyla çok az ses emerler [33]. Sıvasız tuğla için ses yutuculuk değeri (α) 0.02-0.05 m/sn (500Hz için), fayanslarda ses yutuculuk değeri 0.01 m/sn, sırlı seramikte ise 0.01-0.02 m/sn arasındadır [12, 13].

3.4.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri

Elektrik iletkenliği malzemelerin elektron yapılarıyla ilgilidir ve elektriksel alan etkisinde serbest elektron hareketleriyle sağlanır. Pişmiş toprak malzemeler iyonik bağlı olup serbest elektronları olmadığından genellikle yalıtkan veya dielektrik malzemelerdir. Elektrik iletmezler fakat elektrik alanına tepki gösterirler. Elektriksel alan etkisinde oluşan kutuplaşma nedeni ile yüzeylerinde büyük ölçüde elektron depo edebilirler [9].

3.4.7 Işık ile İlgili Özellikleri

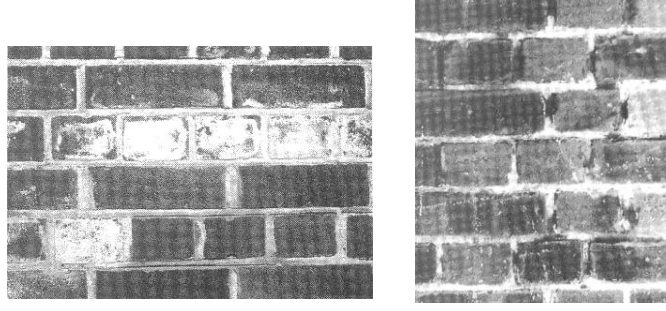
İyonik bağlı seramik türü malzemelerde elektronlar ana atomlara kuvvetle bağlıdır. Bu malzemelerden morötesi ışınların altındaki bütün radyasyonlar geçebilir. Arı seramikler görünen ışık dalgalarına karşı saydamdırlar [9]. Açık renk ve parlak yüzey özelliğine sahip pişmiş toprak malzemelerde ışık yansıtıcılık görülür.

3.4.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi:

Pişmiş toprak malzemeler kimyasal yönden kararlı ve dış etkilere karşı dayanıklıdırlar.

Bütün pişmiş toprak tuğlalar değişik miktarlarda çözünen tuzlar içerirler. Bu tuzlar ya malzemenin kendi bünyesinden kaynaklanır ya da tuğlaların yanması sırasında kullanılan yakıttaki sülfür bileşikleriyle reaksiyonu sonucunda ortaya çıkar. Tuzlar lekelenmeye, çiçeklenmeye, tuğlaların bozulmasına, harçların genleşme ve parçalanmasına neden olabilir [19].



Şekil 3.4 Yüzeyde ve harçta çiçeklenme [30]

Çiçeklenme, N. Toydemir'in de açıkladığı gibi [44] boşluklu seramiklerde görülen kimyasal bir olaydır. Çiçeklenme, harçta ve pişmiş toprak malzemede bulunan suda eriyebilen nitelikteki tuzların malzemedeki kılcal boşluklardan hareket ederek yüzeye çıkmaları ve burada suyun buharlaşması sonucu birikmesi olayıdır (Şekil 3.4). Çiçeklenmeye sebep olan suda eriyebilen nitelikteki tuzların başlıcaları sülfatlar ve klorürlerdir.

Pişmiş toprak malzemenin uygulanmasında kullanılan harçtaki bağlayıcı maddede bulunan serbest kireç, pişmiş toprak malzemede bulunan Na_2SO_4 ile birleşerek $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ meydana getirir ve bu da çiçeklenmeye sebep olur.

Pişmiş toprak içinde CaO veya MgO olarak bulunan kireç veya manyezi, su ya da nem ile karşılaştığı zaman hidroksit haline dönüşür ve bir hacim artması meydana gelerek pişmiş toprak malzemeye zarar verir.

Duvar ve döşeme kaplamalarında kullanılan pişmiş toprak malzemelerin asit ve alkalilere karşı dayanıklı olması gerekir.

Güneş Radyasyonu Etkisi:

Seramik malzemeler, genellikle metaloksitlerle renklendirilmiş olduklarından güneş ışınlarına karşı iyi dayanım gösterirler [44].

Seramiklerin radyasyona karşı direnci metallerden daha azdır. İyonik bağa sahip seramiklerde elektronlar ana atomlara bağlıdır. Radyasyonla yörüngesinden uzaklaştırılan bir elektron başka bir kusurlu bölgede tutulup kalır ve metallerde olduğu gibi geri dönemez, dolayısıyla kalıcı bir etki oluşur. Ayrıca radyasyonla yer değiştiren iyonlar sonucu özellikler değişirse de yüksek sıcaklıkta tavlama ile yer değiştiren iyonlar tekrar ilk konumlarına dönebilir. Buradan da yüksek sıcaklıkta radyasyonun seramikleri daha az etkilediği sonucu çıkarılabilir. Radyasyon sonucu

seramiklerin genellikle sertlik ve mukavemeti artar ve daha da gevrekleşirler. Diğer taraftan ısısal iletkenlik azalır, fakat iyon sal yük farkları nedeni ile elektriksel iletkenlik yükselir. Ayrıca radyasyon seramiklerde renk değişimi doğurur [9].

Yangın Direnci:

Pişmiş toprak malzemeler yangında ortaya çıkan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda pişirildiklerinden yangına karşı direnç gösterirler.

Alüminat oranı arttıkça ateşe dayanıklılık artarken kilin içinde demir bileşik leri ve CaCO_3 bulunması bu malzemelerin ateşe dayanıklılığını düşürür.

Korozyon:

Pişmiş toprak esaslı malzemeleri korozyondan korumak için sırlama yapılır. Sırı oluşturan silikat camlarıdır ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$). Sırla alttaki seramiğin uygunluk göstermemesi sonucu sırda çatlama lar meydana gelir. Çünkü sırların genleşme katsayısı seramiğinkinden büyüktür [35].

Fiziksel ve Kimyasal Tutunma:

Pişmiş toprak ürünlerden tuğlanın düşük nemsal ve ısısal hareketleri dolayısıyla, sıvalarla adezyonu iyidir. Kuruması iyi sağlandığı sürece boya türleri için de adezyonu iyidir. Ayrıca tuğla taşlarla birlikte de kullanılabilir. Fakat bazen tuğladan gelebilecek lekeleri önlemek için taş yüzeylerin bitümle boyanması gerekebilir.

3..5 CAM

Cam, sıvı haldeki düzensiz yapısını aynen koruyarak katıla ş an bir malzemedir [9].

3.5.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri

Kimyasal Bileşimi:

İnorganik bir malzeme olan cam belirli minerallerin yüksek sıcaklıklarda birleştirilip, daha sonra kontrollü olarak soğutulmasıyla oluşur. Bu işlem kristalizasyon olmadan katıla ş mayı sağlar. Camı oluşturan mineraller silikat, sodyumoksit ve kalsiyumoksitdir [42].

Adi camın formülü $5\text{SiO}_2.\text{CaO}.\text{Na}_2\text{O}$ 'dır. Cam amorf bir bünyeye sahip olması sayesinde şeffaf olmaktadır. Adi camlar alkali ve alkali-toprak metallerin

silikatlarından şekillenmiş bir sistem olup, bazen bir miktar alüminyum ve magnezyum da katılır [31].

Birim Hacim Ağırlığı, Özgül Ağırlık (Yoğunluk):

Hacim ağırlıkları ana bileşenlerinin oranına ve cinsine göre değişir. Adi camlarda birim hacim ağırlık 2.5 gr/cm^3 , kristal camlarda 3 gr/cm^3 , flint camında 2.6 gr/cm^3 tür. Cam malzeme boşluksuz yapıda olduğundan özgül ağırlık ve birim hacim değerleri birbirine eşittir. Bazı özel kullanım alanları için daha yoğun camlar gerekir. Özellikle laboratuvarlarda x ışınları ile yapılan çalışmalarda 4.6 gr/cm^3 yoğunlukta ve %50 kurşunoksit içeren camlar kullanılması gereklidir [45].

Gözenek Yapısı (Boşluk-Doluluk Oranı):

Malzemenin gözenek yapısı onun birim ağırlığını, su emiciliğini, mukavemetini, ısı ve ses yalıtım özelliklerini etkiler. Cam gözenekli bir malzeme değildir.

Katı-Sıvı-Gaz Özellikleri:

Cam mekanik olarak rijit olduğundan dolayı katı gibi davranır. Bununla birlikte mineral katıların çoğu, belirli geometrik düzende sıralanmış atomlarla kristal bir yapıya sahiptirler. Camda, bir sıvının karakteristik özellikleri olarak atomlar gelişigüzel ve düzensiz sıralanmışlardır. Fakat cam yapımında kullanılan hızlı soğutma işlemiyle gelişigüzel sıralanan atomlar dondurulur. Bu yüzden cam, katının ve sıvının bazı özelliklerini birleştirir [42].

3.5.2 Mekanik Özellikleri

Camlar katı cisimlerin mekanik özelliklerine sahip olmakla beraber akışkanlarda olduğu gibi tam bir izotropi arzederler [31]. Opak camlar şeffaf olanlardan daha zayıftırlar [19].

Tablo 3.15 Camın mekanik özellikleri

		Cam
Basınç mukavemeti	N/mm²	400-1200
Çekme mukavemeti	N/mm²	30-90
Sertlik	Mohs	5-6
Elastisite modülü	N/mm²	73000

Basınç ve Çekme Dayanımı:

Camın mekanik mukavemeti, onun kırılma etkilerine karşı gösterdiği dirençle belirlenir. Cam genellikle gerilme ve eğilmeyle kırılır (çekme kuvvetleri).

Basınç mukavemeti yüksek fakat çekme mukavemeti çok düşüktür. Çekme mukavemeti $30-90 \text{ N/mm}^2$, basınç mukavemeti $400-1200 \text{ N/mm}^2$ 'dir (Tablo 3.15).

Cam, çekme yükü altında yorulur. Bu içteki çekme gerilmeleri yüzey çatlaklarını genişletir ve yüzeylerin kimyasal hasara uğramasına neden olur, fakat yeni kırılmalar başlatmak için yeterli değildir [46].

Sertlik ve Aşınma Dayanımı:

Cam çok sert ve gevrek bir malzemedir. Mohs birimine göre camın sertliği 5-6 arasındadır. Bu düzeydeki sertlik cama iyi bir aşınma direnci kazandırır. Yüzey sertliği işlenebilirlik özellikleri için olduğu kadar saydamlık ve aydınlatma bakımlarından da önemlidir. Böylece parlak yüzeyli cam ürünler saydamlıklarını hemen hemen sınırsız bir ölçüde koruyabilirler [31, 45].

Deformasyon-Elastisite Modülü

Sıradan bir cam kırılma noktasına kadar elastiklik gösterir. Camın elastisite modülü 73000 N/mm^2 'dir. Cama, bükülmesi ya da gerilmesine neden olacak bir baskı uygulandığı zaman, bu etki kaldırılınca cam orijinal şekline tekrar geri dönecektir. Eğer kuvvet artarak uygulanırsa, cam kırılabilir, fakat kırılma noktasında deforme olmayacaktır [42].

3.5.3 Isı ile İlgili Özellikleri

Tablo 3.16 Camın ısı ile ilgili özellikleri

			Cam
Isı iletkenlik katsayısı	(λ)	W/mK	0.8 - 1.05
Isısal genleşme katsayısı	(α) ($\times 10^{-6}$)	cm/cm°C	6 - 9
Isı biriktirme kapasitesi	(S_{24})	W/m ² °K	10
Erime sıcaklığı	°C		800 - 1500
Özgül ısı	(c)	Wh/kg °K	0.2

Isı Geçirgenliği ve İletkenliği:

Cam yoğun bir malzeme olmasına rağmen iyi bir ısı iletkenidir (Tablo 3.16). Yüzey dirençleri o kadar yüksektir ki, 6mm kalınlığında çift cam tabaka ısısal direnci %3 artırır. Yaklaşık 20mm boşluklu çift cam tek bir tabakadan geçen ısı kaybını yarıya indirir. Tipik bir çift cam yaklaşık 105 mm kalınlığındaki tuğla duvarın sağlayacağı ısı yalıtımını sağlar [19].

Yapıların cam alanlarından geçen ısı miktarı, ısıtma ve havalandırma yüklerinin belirlenmesinde önemlidir. Cam, metallerin çoğundan daha düşük ısı iletkenliğe sahiptir, fakat güneş enerjisinin büyük bir miktarı radyasyon yoluyla doğrudan camdan iletebilir. Cam yüzeyiyle temas eden hava akımları da konveksiyon yoluyla iletebilirler. Bunun için kışın ısı kaybı, yazın ısı depolama genellikle yapının cam alanlarında daha büyüktür [42].

Isısal Genleşme:

Normal camın ısısal genleşme katsayısı $9 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ \text{C}$ 'dir (Tablo 3.16). Bu değer çeliğinkine oldukça yakın, alüminyumunkinden 3 kez daha küçüktür. Ayrıca pencere doğraması üretiminde kullanılan bazı plastik malzemelerinkinden 10-20 kez daha küçüktür. Bu özellik, camın birlikte kullanıldığı pencere doğraması malzemesi ile ilişkisi yönünden önem kazanır [45].

Isısal genleşme değeri, farklı cam türlerine göre de değişiklik gösterir. %96 oranındaki silika camının ısısal genleşme katsayısı $0.8 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ \text{C}$, borosilikat camının (ısıya dirençli pyrex camı olarak bilinir) $3.2 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ \text{C}$, ısısal şoka direnç ile korozyona direncin birleştiği alüminoborosilikat camının genleşme katsayısı ise $4.2 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ \text{C}$ 'dir [46].

Camın ısısal genleşme özelliği özellikle boyalı ya da reflektifli camlar için önemli bir özelliktir, çünkü bu camlar güneş enerjisini normal camdan daha çok yutar ve genişir. Bir cam tabakası ısıtıldığı zaman merkezi bölgesi kenarlarından daha hızlı ısınır ve daha fazla genişir. Bu farklılık camda zayıf noktalara ve kırılmalara neden olur. Isısal kırılmaları önlemek için camın kenarları kuvvetli olmalı ve düzgün kesilmelidir [42]. Güneş kontrol camları ısısal gerilme kırılmalarına karşı daha dayanıklıdır.

Ani sıcaklık değişikliklerine maruz kalan camda, yüzey ve iç ortam arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan kırılmalara yol açan tehlikeli gerilmeler ortaya

çıkabilir. Camın yüzeyinde basınca yol açan ani ısı, çekmeye yol açan ani soğumadan daha az tehlikelidir. Temperli camlar bu açıdan avantajlıdır, çünkü zaten basınç altındadırlar [46].

Isı Biriktirme Kapasitesi

Isı depolama ısı yalıtımı ile birlikte düşünülmesi gereken ısısal bir özelliktir. Büyük ısı depolama kapasitesine sahip malzemeler yavaş ısınır ve yavaş soğurlar, ağırlıkları fazladır; yoğunlukları ve ısı iletkenlikleri yüksektir. Camın günlük ısı biriktirme kapasitesi (S_{24}) $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dır [13]. Camda kışın ısı kaybı, yazın ısı depolama görülür.

Erime Sıcaklığı:

Camın yumuşama sıcaklığı $500\text{-}600^\circ \text{C}$ ler arasında bulunmaktadır.

Camların belirli bir erime noktası yoktur, ortalama olarak $800\text{-}1500^\circ \text{C}$ arasındadır. Isıtıldığı zaman ilk önce bükülebilecek kadar yumuşar. Daha sonrası ısıtmalar onu işlenebilecek duruma, kalın ve şurubumsu bir sıvı haline getirir. En sonunda yüksek sıcaklıklarda, ince ve su kıvamında sıvı haline gelir [33].

Özgül Isı:

Malzemenin özgül ısısı, ısınabilme ve soğuma kabiliyetini belirler. Camın özgül ısısı $0.20 \text{ Wh/kg}^\circ \text{K}$ 'dır [13].

3.5.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri

Su emicilik ve geçirimsizlik özellikleri malzemenin gözenek yapısına bağlıdır. Cam boşluksuz bir malzeme olduğu için su emiciliği yoktur. Boşluksuz olduğu için birim hacim ağırlığı ile özgül ağırlığı birbirine eşittir. Camların buhar geçirgenliği de çok düşüktür. Buhar difüzyon direnç faktörü malzemenin aynı kalınlık ve şartlardaki hava tabakasının kaç katı direnç gösterdiğini belirtir ve bu değer cam için $\mu = 10000$ 'dir.

3.5.5 Ses ile İlgili Özellikleri

Ses Geçirimsizliği:

Normal kalınlıktaki tek tabaka cam, kötü bir ses yalıtkanıdır ve normal kalınlıklar arasındaki yalıtım değerleri farkı çok azdır. Ses geçiş kaybı desibel birimi ile ölçülür. Tek tabaka cam $29\text{-}34\text{dB}$ ses azaltıcı etkiye sahiptir. Çift cam yapılarında iyi bir ses yalıtımı için gereklidir. Özellikle tek çerçeve ile rijit olarak birbirine

bağlanmamış ve aralarında belli mesafede boşluk bırakılmış camlar, daha iyi ses yalıtımı sağlarlar. 100mm genişlikten daha az boşluklar, ses yalıtımı için ısı yalıtımında olduğundan daha az etkilidir. Daha geniş boşluklarla sağlanan yalıtım avantajları, pencere kenarlarına yerleştirilen ses emicilerle de düzenlenebilir. Bu şekilde tasarlanmış bir çift cam 45dB kadar sesi azaltabilir. 12mm kalınlığındaki tek bir cam tabakası, düşük frekanslardaki trafik gürültüsü için etkilidir [19, 41].

Ses Yansıtma ve Yutuculuğu:

Camın ses tutuculuk değeri 30dB (6mm'lik tek cam), ses emme katsayısı (α) 0.02 m/sn'dir.

3.5.6 Elektrik İle İlgili Özellikleri

Cam, kuvvetli ve yönlü iç bağlarla bağlı bir malzemedir. Atomların dış elektronları bu bağlarla kısıtlanır ve bu yüzden bunlar elektrik akımını iletmede metallerdeki elektronlar gibi serbest değildirler. Cam yüksek elektrik direncine sahiptir ve pratikte elektrik yalıtkanıdır. Diğer taraftan, cam sıvıdır ve metal iyonları (hareket etmekte serbest ve akımı taşıyabilen) içerir. Camda viskozite o kadar yüksektir ki, cama bağlı olan metal iyonları hareket etmekte serbest değildirler. Sonuç olarak sıcaklık yükselirken viskozite azalır, viskozite azaldıkça camın elektrik direnci de azalır. Yüksek sıcaklıklarda, cam bir miktar elektrik akımı taşıyabilir. Camın elektrik iletkenliği, cam yapısındaki metal iyonlarının hareketine bağlıdır [46].

Camın elektrik iletkenliği çok düşük [10^{-10} (ohm.m)⁻¹] olduğu için pek çok elektrikselsel ürünlerde kullanılabilir.

3.5.7 Işık ile İlgili Özellikleri

Işık Geçirgenliği:

Cam, ışığı düzgün kırma özelliğine sahip, güneş radyasyonuna geçirirli saydam bir yapı malzemesidir. Saydamlık oranı %80-95'dir. Hiçbir cam tamamen saydam değildir. 6mm'lik normal cam için saydamlık oranı % 66'dır.

İletilen ışık miktarı camın kalınlığına, yüzey bitişine ve kaplama türüne bağlıdır. 3mm kalınlığındaki cam, günışığının ortalama %91'ini iletirken, 25mm kalınlığındaki cam %78'ini iletir.

Güneş ışınları cama düştüğü zaman, bağlı olan enerjinin bir kısmı yansıtılır, bir kısmı malzeme tarafından emilir, kalan kısmı yapı içine ısı kazancı olarak iletilir. Normal cam genellikle %85-90 geçirgenliğe sahiptir. Sıradan camlar için, emme oldukça düşük bir orandadır ve toplam enerjinin en büyük kısmı iletilir [33].

Cam hem kızılötesi hem de ultraviyole ışınları emer. Normal camın ışığı emmemesinin nedeni camı oluşturan malzemelerin karakteridir, bu açıdan malzeme seçimi önemlidir. Normal cam görünen ışığı emmez [46].

Işık Yansıtma Özelliği:

Işık bir foton akımıdır. Fotonlar tarafından taşınan önemli bir miktar enerji vardır. Metal bir kütleye ışık düştüğü zaman, fotonlar tarafından tutulan enerji emilir ve metalin içindeki serbest elektronlarla bu enerji tekrar ışık şeklinde yayılır. Bu elektronlar bu enerjiyi emme ve açığa çıkarmakta serbesttirler. Bunun için metal, üzerine düşen ışığı yansıtır. Normal camlarda elektronlar bu şekilde serbest değildirler, belirli enerji seviyelerinde rijit bir şekilde birbirlerine bağlıdırlar ve metalik yansıma gerçekleşmez. Normal cam ışığı metalik hassasiyette yansıtmaz [46].

Camın kırılma indisi 1.51, yansıma oranı %10-12'dir [9].

Cam, ışığın yansıtma ve yutma derecelerinde farklı şekillerde davranabilir. Camın kalınlığına ve rengine bağlı olarak, normal camdan daha fazla ışık yutması için hafifçe renklendirilen cam, ışığı %21-75 oranında geçirebilir. Cam ince bir yansıtıcı tabakayla kaplandığı zaman, bu tabakanın doğasına bağlı olarak büyük bir oranda ışığı yansıtır ve görünür ışığın %8-50'sini geçirir [42].

3.5.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi :

Camlar hidroflorik asit, fosforik asit ve kuvvetli alkalilerden etkilenirler. Hidroflorik asit özellikle cam yüzeylerin işlenmesinde yüzeyin matlaştırılması için kullanılır. Temizlenmeyen alkali boya lekeleri ve hatta yeni betondan cama sızan su, sorunlara yol açabilir. Cam tabakalar arasındaki havalandırılmayan boşluklarda oluşan yoğunlaşma da zararlı olabilir ve camlar üst üste yığıldığında ıslanmalarına izin verilmemelidir [19].

İçine kireç katılmamış camlar su karşısında stabil değildirler. Bu tür camlara su camı denir. Normal pencere camları ve su ile teması olabilecek her türlü camın su karşısında stabil olabilmesi için bileşimine kireç katılması zorunludur [45].

Bazı koşullar altında cam çözünebilir. Sıcak alkali solüsyonları ve yüksek sıcaklıkta su sodakireç camının çözülmesine neden olabilir. Fakat bu kimyasallarla genellikle laboratuvar koşullarında karşılaşılır, normal çevresel şartlar altında cam sağlam ve dayanıklı bir maddedir [42].

Alkalilere karşı direnç için, soda ve kireç yerine, bor ve alüminyum oksitleri kullanmak daha iyidir ve bu alüminoborosilikat camı, laboratuvar ve endüstriyel camlar gibi kritik yerlerde kullanılır [46].

Yeni yapılmış bir cam, birkaç saat için normal atmosfer koşullarına maruz bırakılmış camdan daha kuvvetlidir.

Güneş Radyasyonu Etkisi:

Sıradan bir cam güneşin ultraviyole ışınlarının çok az bir miktarını iletir.

Adi camlar kızılberisi radyasyonlara karşı 2μ kadar saydamdır. Ultraviyole ışınlar karşı saydamlık genellikle SiO_2 oranıyla artar, kurşunlu camlar bu radyasyonlara karşı çok az saydamdırlar [31].

Yangın Direnci:

Sıradan bir cam yanıcı olmasa bile, yangında kırılır ve daha sonra erir, çift cam tek cama göre avantajlı sayılmaz. Cam iyi bir ısı iletkenidir ve camdan geçen ışınlar, diğer yanıcı malzemeleri tutuşturabilir. Tabakaların yangın direnci, camın türü ve kalınlığına, yükseklik/genişlik oranına, bağlantı şekline, çerçeve türüne ve yapıya göre değişiklik gösterir. Yeterli kalınlıkta ve uygun yerleştirilmiş bazı cam türleri, bütünlük ve çökmeye direnme bakımından bir derece yangın direnci gösterebilirler fakat yalıtımı sağlayamazlar [19].

Pyrex denilen ateşe dayanıklı camlar, iki kez kristalleşmiş camlardır. Bileşimleri normal camlarla aynıdır [35].

Korozyon:

Hidroflorik asit karbonat-kireç camına temas edince korozyona sebep olabilir. Sıcaklık arttıkça camların korozyon direnci azalır ve zamanla cam paslanır. Bu da

şundan ileri gelmektedir; sıcakta hızlı bir şekilde camda bir kristalleşme meydana gelir. Bunun sonucunda cam yarı şeffaf bir hal alır. Hatta tamamen buzlu bir hal bile alabilir, mukavemeti de değişir [47].

3.6 METALLER

3.6.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri

Tablo 3.17 Metallerin malzeme özellikleri

	Kimyasal bileşimi %	Birim hacim ağırlık gr/cm^3
Demir	< 0.2 C	7.8
Çelik	0.3 - 0.6 C	7.9
Bakır		2.7
Alüminyum		8.9

Atom Yapısı ve Kimyasal Bileşimi:

Metallerde aynı veya benzer tür atomlar oldukça sık ve düzenli biçimde dizildiklerinden tümü kristal yapılıdır [16].

Metallerin, tuzlar ve kısmen kristal yapıya sahip olan plastikler gibi diğer kristal maddelerden farkı atomlar arasındaki bağın biçiminden ileri gelir [17]. Ancak kristal yapıyı oluşturan atom bağları arasındaki mesafe farklılıkları ve yerleşme şekilleri aynı metalin çeşitli allotropik hallerini belirlemektedir. Bu nedenle, mekanik ve fiziksel özelliklerinde az çok farklılıklar ortaya çıkar.

Birim Hacim Ağırlığı, Özgül Ağırlık (Yoğunluk):

Bazı metallerin birim hacim ağırlıkları Tablo 3.17’de verilmiştir. En hafif metal alüminyumdur; granitle yaklaşık aynı yoğunluğa (2.6 gr/cm^3) sahiptir, en yoğun metal olan kurşunun ağırlığı yaklaşık 11.4 gr/cm^3 ’tür [19].

Katı-Sıvı-Gaz Özellikleri:

Metaller ısı ile sıvılaştırılabilirler, soğutulunca tekrar katılaştırılabilirler.

3.6.2 Mekanik Özellikleri

Metallerin mekanik özellikleri yalnız atom türleri ve kristal yapılarına değil, büyük ölçüde tane büyüklüğü ve tane biçimine de bağlıdır [17].

Saf halde yumuşak ve düşük mukavemetli olmalarına karşılık alaşımlandırma, soğuk şekil verme ve ısıtma işlemleriyle sertlik ve mukavemetleri birkaç kat artırılabilir [9].

Demirli olmayan metallerin mukavemetleri, demirli olanlardan daha küçüktür.

Tablo 3.18 Metallerin mekanik özellikleri

	Demir	Çelik	Bakır	Alüminyum
Çekme mukavemeti N/mm ²	355	350 - 400	230	70-140
Kayma mukavemeti N/mm ²		230		
Sertlik Brinell	830	990-1240	460	150-400
Elastisite Modülü (x10³) N/mm ²	120 - 172	210	96 - 132	68 - 72

Basınç ve Çekme Dayanımı:

Çekme mukavemeti metalin kopmadan önce kaldırabileceği en fazla yükür (kopma yükü). Bazı metallerin çekme mukavemetleri Tablo 3.18’de verilmiştir.

Sertlik ve Aşınma Dayanımı:

Sertlik metal ve alaşımların, mekanik aşınmalara karşı gösterdiği mukavemettir. Sertlik Brinell prensibine göre tayin edilir. Metal türlerine ait sertlik değerleri Tablo 3.18’de verilmiştir.

Deformasyon-Elastisite Modülü:

Metallerde kristal yapının erime dolayısıyla dağılmasından başka, bir de sadece şeklinin bozulması vardır ki buna deformasyon denir. Şekil değiştirme daimi ise plastik deformasyondur. Saf metaller yumuşaktır, yani plastik deformasyonları çok kolaydır.

Metaller kırılma süresi uzun olan sünek malzemelerdir, kırılmadan önce önemli ölçüde plastik şekil değiştirirler. Elastisite modülleri yüksektir (Tablo 3.18).

Elastiklik iyon-atomlar arasındaki bağların esnemesinden yani aralarındaki mesafenin uzalıp kısalmasından ileri gelir. Plastiklik kristallere ait bir özelliktir. Saf metallerin plastikliği fazladır [31].

Metal iyonlarının yer değiştirmesi bunlar ile elektron bulutu arasında elektrostatik kuvvetlerde önemli bir değişiklik yaratmaz. Yani metalik bağ bozulmaksızın atomlar

birbirlerine göre  telenebilirler. Metallerin plastik  ekil değiştirme kabiliyetinin temelinde yatan özellik budur [17].

Çekme, d ğme, burma, ezme... gibi i ler metali sertle tirir, daha mukavemetli ve sağlam hale getirir. Çünkü strüktürün mükemmelliği bozulur ve yapı düzensiz, sıkı ık bir hal alır [31].

3.6.3 Isı ile İlgili  zellikleri

Tablo 3.19 Metallerin ısı ile ilgili  zellikleri

	Demir	�elik	Bakır	Alüminyum
Isısal iletkenlik k. (λ) W/mK	58-70	29-52	385	204
Isısal genleşme k. (α) (10^{-6}) cm/cm�C	12	15.1	16	23
Erime sıcaklığı �C	1530	1400	1083	658

Isı Geçirgenliği ve İletkenliği:

Metallerin ısı iletkenliğinin iyi olu u, serbest elektronların varlığı ve hareketliliğine dayanır. Metallerde elektronlar düzensiz bir şekilde hareket ederler. Bu hareketler büyür ve geni lerse sıcaklık yükselir ve karşılıklı  arpı malarla elektronlardan elektronlara iletilir. Elektron sayısı ne kadar çok olursa, bu aktarma olayı o kadar çabuk ve kolay olur [31]. Isı iletkenliği de artan sıcaklıkla azalır. Bazı metallerin ısı iletkenlik katsayıları Tablo 3.19’da verilmiştir.

Isısal Genleşme:

Demirli metallerin ısısal genleşme katsayısı demirsizlere oranla daha düşüktür. Alüminyum ve alaşımları yüksek ısısal genleşme katsayısına sahiptir (Tablo 3.19). Paslanmaz  eliklerin lineer genleşme katsayıları ise 17.5×10^{-6} cm/cm  C’dir.

Erime Sıcaklığı:

Metalin erimesi, sıcaklığın etkisi ile kristal yapısının   z l p dağılması demektir. Metalin erime noktası karakteristik bir özellik olup, saflık ölçüsünü teşkil eder.

Metallerde erime sıcaklığı 232-1800  C’dir. Bazı metal türlerine ait erime sıcaklığları Tablo 3.19’da verilmiştir.

3.6.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri

Malzemelerin özgül ve birim hacim ağırlığı, onların su geçirimsizliği hakkında bilgilenmemize yardımcı olur. Metaller boşluksuz malzemeler olup özgül ve birim hacim ağırlıkları birbirine eşittir, dolayısıyla da metaller su ve su buharını geçirmezler.

3.6.5 Ses ile İlgili Özellikleri

Sesin yansıması, ses dalgalarının bir yüzeye çarpıp geri dönmesidir ve akustiğin önem kazandığı mekanlarda sakıncalı bir durumdur. Sesin yansımasını azaltmak için gözenekli malzemeler tercih edilir. Ancak metallerin yoğun yapıları dolayısıyla ses yansıtıcılıkları yüksektir.

Sesin yayılma hızı (C); alüminyumda 5200 m/sn, kurşunda 1300 m/sn, çelikde 1000-4000 m/sn'dir [12].

3.6.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri

Metalin iki ucu arasında bir potansiyel farkı meydana gelince, elektronlar düzensiz hareketlerinin aksine, bir kutuptan diğerine, belli bir istikamette taşınırlar. Elektriksel alan uygulandığında eksi kutba doğru hareket etmekte olan elektronlar yavaşlar, artı kutba doğru gitmekte olanlar hızlanır, bunun sonucu net bir akım oluşur [26]. Bu elektron akışına elektriğin iletilmesi denir. Bu olay elektronların sayısı, tekil ve çoğul hareketleriyle ilgilidir. Metallerde sıcaklık ne kadar yüksek olursa, elektriğin geçmesi o derece güçleşir, yani mukavemet artar [31].

Elektriksel gerilim uygulanmasıyla bir atomun etki alanını terk edip, bir diğer atomun etki alanına giren elektronlar yeni konumlarına ulaşınca kadar atom uzaklığının birçok katı kadar yol kateder. Kafes yapısındaki kusurlar elektronun alabileceği bu serbest yol uzunluğunun azalmasına yol açar.

elektrik iletkenliği $\times 10^7(\text{ohm.m})^{-1}$

demir	:	1.03
paslanmaz çelik	:	0.14
bakır	:	5.85
alüminyum	:	2.95

Yabancı atomlar içeren metallerde iletkenlik daha düşük olur. Artan sıcaklıkla elektriksel direncin artması da serbest yol uzunluğunun kısılmasından ileri gelir. Yüksek sıcaklıklarda atomların titreşim genliklerinin büyümesi, hareket eden bir elektronla bir atomun çarpışma olasılığını artırır.

Elektrik iletkenliği için en dış iki enerji seviyesi önem taşır. Bakır ve gümüş gibi atomları tek valans elektronlu metallerde enerji seviyesinin yarı dolu olması nedeniyle iletim özellikleri çok iyidir [17].

Alüminyum ve bakır elektrik iletkeni olarak kullanılan iki metaldir.

3.6.7 Işık ile İlgili Özellikleri

Işık Geçirgenliği:

Kuvvetli emme ve yansıtma özelliğine sahip metallerin tümü opaktır ve ışığı geçirmezler. Ancak çok ince metal filmler ($0.1\mu\text{m}$ 'den az) ışığı bir miktar geçirebilir.

Işık Yansıtma Özelliği:

Metaller yüzeye gelen fotonları kuvvetle emer, aktive olmuş elektronlar hemen geri dönerek emdikleri enerjiyi tekrar fotonlar halinde çok az kayıpla yayarlar. Bu nedenle özellikle yüzeyleri düzgün metallerde yansıtma oranı çok yüksek olup %100'e yakındır. Elmasta kırılma indisi 2.417, yansıtma oranı %17'dir, bu nedenle elmas parıltılı gözükür. Metallerde yansıtma oranı ile emme katsayısı büyüktür, dolayısıyla ışığı kuvvetle emerek yansıtırlar [9].

3.6.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi:

Korozif etken ve nemden metalleri korumak ve emici malzemelerle temasından sakınmak gerekir. Portland çimentosundan açığa çıkan sodyum ve potasyum hidroksitleri çinko, alüminyum ve kurşun için devamlı nemli koşullarda zararlıdır [19].

Metaller suyun asit etkisinden etkilenen malzemelerdir.

Alkaliler, sülfürik asit, hidroklorik asit, karbonatlar alüminyumun yapısını bozar. Alüminyum ıslak harç, sıva ve betonla temas edince de kimyasal olay meydana gelebilir. Bu yüzden alüminyum ürünlerinin yüzey koruması önemlidir. Alüminyum

beton gibi emici malzemelerle temas ederse bitümlü boya tabakası, çinko kromat ya da ayırıcı plastik bir tabaka ile korunmalıdır [42].

Güneş Radyasyonu Etkisi:

Metaller güneş radyasyonu etkisinde aşırı ısınırlar.

Metaller radyasyona karşı plastiklerden ve seramiklerden daha dayanıklıdırlar. Gamma ve beta radyasyonları metallerde iyonlaşma oluştursa dahi sürekli bir elektron bulutunun varlığı nedeni ile elektronlar hemen eski yerlerine geri döner ve etki hızla kaybolur. Özellikle gamma radyasyonu metallerin elektriksel iletkenliğini etkilemez [9].

Yangın Direnci:

Metallerde yangın etkisi karşısında ani mukavemet düşmeleri görülür. Alüminyum ilk 5 dakikada, çelik ise ilk 20 dakikada mukavemetinin %90'ını kaybeder. Çeliğin mukavemeti 600 °C'de 400 N/mm²'den 100 N/mm²'ye düşer. Alüminyum, çinko, kurşun gibi diğer metaller bu sıcaklıklarda erirler.

Korozyon:

Korozyon, metallerin ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonu sonucu malzeme özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesidir.

Kimyasal korozyon metallerin ortamla doğrudan reaksiyonudur; yani metal ile reaksiyona giren diğer element arasında doğrudan bir elektron alışverişi söz konusudur. Bu sırada metal elektron verir. Kimyasal korozyonda diğer element çoğunlukla oksijen olduğundan, reaksiyon ürünü metal oksittir. Örneğin,



Elektrokimyasal korozyonda konum olarak çoğunlukla farklı yerlerde oluşan iki kısmi reaksiyon vardır. Teknikte rastlanan korozyon hasarlarının nedeni genellikle elektrokimyasal olaylardır.

Elektrokimyasal korozyonun her iki kısmi reaksiyonunda da elektriksel yüklerin karşılıklı değişimi zorunludur. Bu değişim metallerde elektron iletimi yoluyla kolayca gerçekleşebilir. Metalin dışındaki akım ise bir elektrolit yardımıyla sağlanır.

Elektrolit, içinde iyon hareketi olan bir ortamdır. Elektrolitler çoğunlukla sıvı çözeltiler olmakla birlikte, toprakta veya tuz eriyiklerinde de iyon iletimi mümkündür.

Elektrolit içine bir doğru akım kaynağının elektrotları daldırılırsa negatif yüklü iyonlar pozitif elektroda (anoda) doğru hareket eder ve bu nedenle anyon olarak adlandırılırlar. Negatif elektroda (katoda) ise pozitif iyonlar (katyonlar) yönelir. Her iki elektrotta da elektrokimyasal olaylar oluşur.

Anot reaksiyonunda elektron verildiğinden bir oksidasyon (yükseltgenme) söz konusudur.

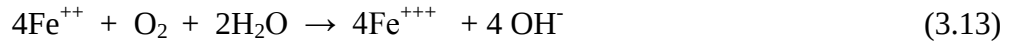
Oksijen korozyonunda, elektrolit tarafından havadan alınan oksijen aşağıdaki reaksiyona girer:



Elektrolitte fazla oksijen varsa korozyon hızlı olur. En çok rastlanan oksijen korozyonu demir ve çeliğin paslanmasıdır.



Anot reaksiyonu ile elektrolite ulaşan Fe^{++} iyonları tekrar oksitlenerek oksijen reaksiyonu için elektron sağlarlar:



$\text{Fe}(\text{OH})_3$ ara bileşiğinden suyun ayrışması ile çözünmeyen pas meydana gelir. [27]



Korozyon yüksek sıcaklıklarda daha hızlıdır. Yıkıcı korozyon atmosferik kirliliğin varlığında, farklı metallerin elektrik temasında bulunduğu nemli koşullarda meydana gelir [19].

Hava ile olan korozyona demir dayanıksız, bakır, alüminyum ve çinko ise dayanıklıdır. Alüminyumun üzeri, havayla temas ettiği zaman ince bir alüminyum oksit tabakasıyla kaplandığından korozyona dayanıklıdır. Tuzlu su ve alçı demiri,

çimento ve kireç ise kurşunu, kil ürünlerindeki sülfatlar bakır, kurşun ve çinkoyu korozyona uğratır.

Birbirleriyle temasta bulunan iki ayrı metal rutubetli ortamda pil teşkil ederek korozyona uğrar ve bu sırada elektroliz yoluyla metallerden biri eriyip taşınır. Soy metaller, aktif olanları kimyasal olarak aşındırır.

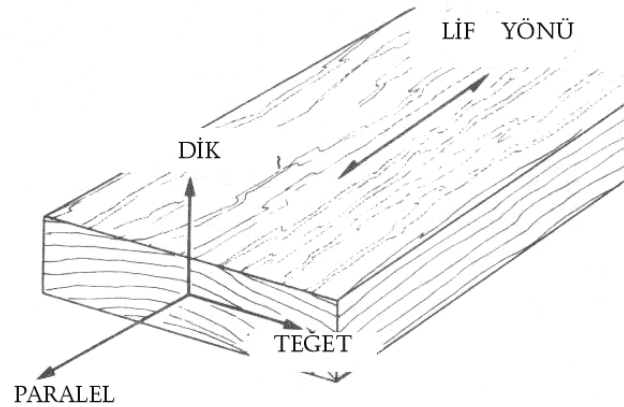
3.7 AHŞAP

3.7.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri

Tablo 3.20 Ahşabın malzeme özellikleri

	Birim hacim ağırlık (Δ) gr/cm ³	Özgül ağırlık (δ) gr/cm ³
Çam	0.50	1.05
Meşe	0.89	0.8
Ladin	0.43	
Kayın	0.86	

Kimyasal Bileşimi:



Şekil 3.5 Ahşapta liflere göre farklı doğrultular [33]

Ahşap; lifli, heterojen, anizotrop (özellikleri doğrultuya bağlı) ve organik esaslı bir yapıdadır (Şekil 3.5). Ahşabın kimyasal yapısı selülozdan ibarettir $(C_6H_{10}O_5)_n$. Ağaç olgunlaştıkça bünyesine lignin alır. Lignin karbonhidrat sınıfından olmayan $(C_{10}H_{13}O_3)_y$ yapısında bir maddedir. Bunları birbirine bağlayan diğerleri ise yarıselüloz ve pektindir [31]. Yumuşak ahşap sert ahşaptan daha çok lignin içerir.

Kuru ahşapta bunların oranları ortalama olarak şöyledir: %45-60 selüloz, %10-25 yarıselüloz, %20-35 lignin [19].

Selüloz lignin ile birlikte ince uzun boru şeklindeki hücrelerin cidarlarını oluşturur. Pektin bu hücreleri birbirine bağlar, jelleşme özelliği nedeni ile su alınca önemli ölçüde şişer, kuruyunca büzülür. Bundan dolayı ahşabın liflere dik doğrultudaki boyutları rutubete bağlı olarak çok değişir [9].

Birim Hacim Ağırlığı, Özgül Ağırlık (Yoğunluk):

Bir ahşabın ağırlığının tüm hacmine bölünmesi ile ahşabın birim hacim ağırlığı elde edilir. Bu değer ağaç türlerine göre farklılık gösterir (Tablo 3.20). Ahşabın yetiştirme ortamının, senelik halka genişliğine, ağacın gövde yüksekliği ve yetiştiği yerdeki yön durumunun birim ağırlığa etkisi vardır. Birim hacim ağırlıkları genellikle 0.4-0.8 gr/cm³ arasında değişmektedir. Ahşabın birim ağırlığı arttıkça mukavemeti ve ısı iletkenliği artar. Nem miktarının her %1 oranında değişmesi ahşabın ağırlığında %0.5 oranında değişikliğe neden olur [19].

Kuru ahşabın gözenekli haldeki ağırlığının, kuru haldeki hacmine bölünmesi sonucu özgül ağırlığı elde edilir. Ahşabın tam kuru veya rutubetli olması durumunda, özgül ağırlığı değişir. Farklı türler için özgül ağırlık 0.36-1.54 gr/cm³ arasındadır. Hücre boyutları ve hücre duvarının kalınlığı özgül ağırlığı etkiler [42].

Gözenek Yapısı (Boşluk-Doluluk Oranı):

Ağacın büyüme esnasında, hücreleri büyük miktarda su içerir (büyüyen ağacın su miktarı, kuru ağırlığının %50-200'ü kadardır). Kuruma sonrası bu suyun büyük miktarı buharlaşır ve hücrelerinde büzülme gerçekleşir. Buna rağmen bu büzülme, hücre duvarlarının eriyip kaybolmasına neden olmaz, çünkü malzeme içinde boşluklar vardır. Bu boşluklar, hayli etkili kılcal tüplerdir. Kılcal kanalların boyut ve şekli öncelikle ahşabın türüne bağlıdır. Bunlar ağacın tepesine kadar ulaşabileceği gibi, sürekli olmayabilirler [10].

Asit-Baz Özellikleri:

Ahşapların çoğu asit özellik gösterir ve nemli koşullarda depolanırlarsa asetik asit üretirler [19].

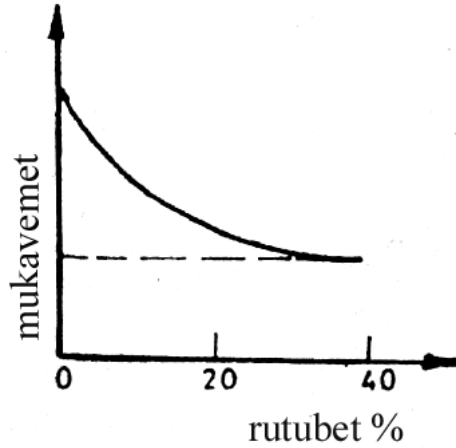
3.7.2 Mekanik Özellikleri

Ahşabın mukavemetine etki eden faktörler: birim ağırlığı, ısı ve rutubet derecesi, lif açısı, budaklar, yıllık halkaların yön ve genişlikleridir. Mukavemet birim ağırlıkla doğru orantılıdır.

Tablo 3.21 Ahşabın mekanik özellikleri

	Basınç m.		Çekme m.		Kayma m.	Sertlik	Elastisite modülü	
	(N/mm ²)		(N/mm ²)		(N/mm ²)	Brinell	(N/mm ²)	
	$\sigma_{//}$	$\sigma_{\perp}$	$\sigma_{//}$	$\sigma_{\perp}$	τ	H	$E_{//}$	$E_{\perp}$
Çam	104	2.1	37.9	4.6	3.6	7	10000	300
Meşe	90	4	61	11	11	41	12500	600
Ladin			31.1	4		14	8300	
Kayın	66	2.3	36.5	12	5.4	25	12500	600

Lifler ve trakeidler ahşabın mukavemet unsurlarıdır. Hücre boşlukları geniş olanlar yumuşak ve az mukavemetli olurlar. Lifler uzun olursa eğilme mukavemeti artar. Liflerin seyrekliği ve düzensiz dağılmış olmaları eğilmeyi kolaylaştırır. Yıllık halkaları dar olanlar daha hafif ve yumuşak olurlar [31].

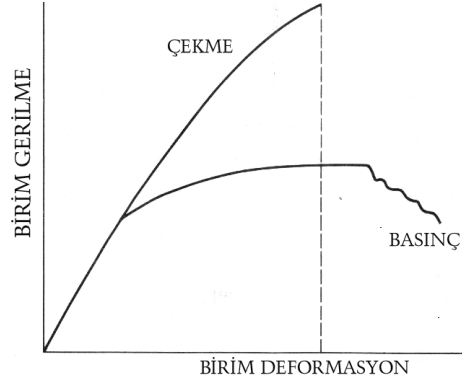


Şekil 3.6 Ahşapta rutubet oranının mukavemete etkisi

Ahşaptaki su miktarının mukavemet üzerine önemli bir etkisi vardır. Basınç mukavemeti su miktarına bağlı olarak değişir. Su miktarı arttıkça, lif doyma noktasına varılncaya kadar, mukavemette bir azalma görülmektedir. Su miktarı, lif doyma noktasını geçerse artık mukavemette bir değişme görülmemektedir (Şekil

3.6). Çünkü bu durumda liflerin çeperleri su ile tamamen doymuş olmakta, suyun fazlası liflerin ortasındaki boşluğa dolmaktadır. Ahşabın mukavemet özellikleri, liflere paralel doğrultuda ve kuru durumda en yüksek olmaktadır [48].

Basınç ve Çekme Dayanımı:

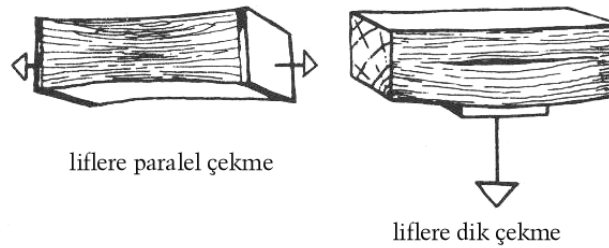


Şekil 3.7 Liflere paralel yönde basınç ve çekme mukavemeti [33]

Ahşap anizotrop bir malzeme olduğundan, mukavemet özellikleri liflerin doğrultusuna bağlı olarak değişmektedir (Şekil 3.7). Liflere paralel basınç ve çekme mukavemetleri liflere dik yönden daha yüksektir (Tablo 3.21). Ahşabın öz odun tarafından basınç, diri odun tarafından da çekme direnci yüksek mukavemet değerlerine sahiptir (selüloz eğilme ve çekme, lignin de basınç mukavemetini sağlar).

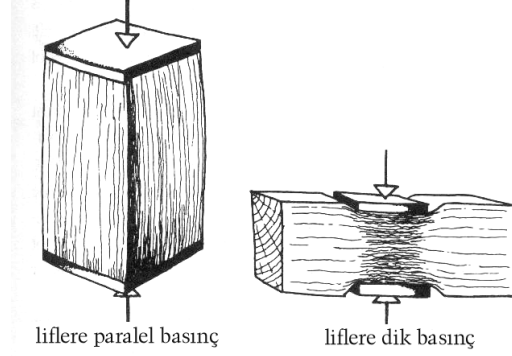
Mukavemeti yoğunlukla birlikte artar, nem miktarının yükselmesiyle azalır. %28-30'dan daha fazla nem miktarı içeren ahşabın mukavemet özellikleri, %12 nem miktarındaki ahşabın üçte ikisi kadardır. Sıcaklığın 1°C yükselmesi mukavemeti %0.3 oranında düşürür [19].

Basınç ve eğilme hallerinde mekanik özellikler yükün devam süresine de bağlıdır. Uzun süreli bir yük altında ahşabın deformasyonları da yavaş fakat sürekli olarak artar [48].



Şekil 3.8 Çekme etkisinde ahşap [33]

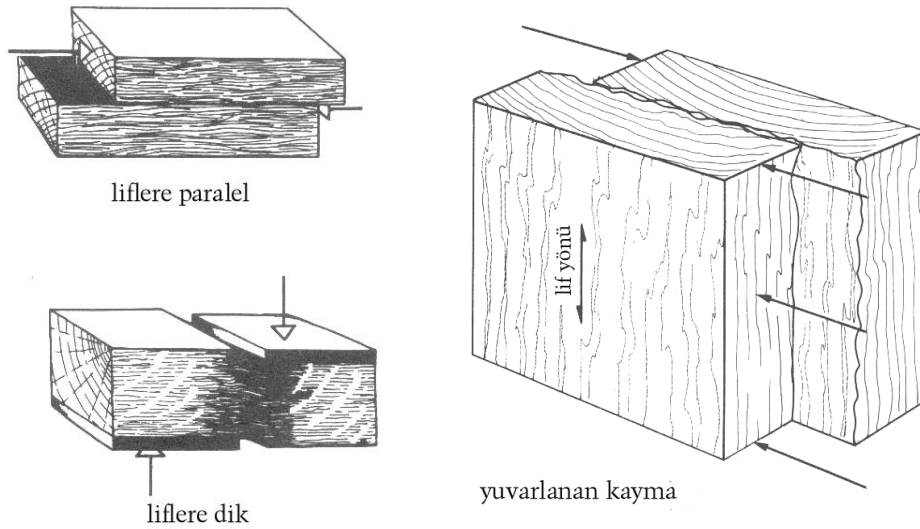
Liflere paralel çekme mukavemeti ahşabın en kuvvetli özelliğidir (Şekil 3.8), fakat pratikte bu özellik budaklar ve yarıklarla etkilenir. Budaklar basınç direncinde %22, çekmede %85 direnç düşmesi meydana getirirler. Liflere dik yöndeki çekme mukavemeti ise zayıftır. Liflere paralel çekme mukavemeti, dik yöndekinin 30 katıdır [9, 19].



Şekil 3.9 Basınç etkisinde ahşap [33]

Liflere paralel basınç, hücrelerin bükülmeye karşı dirençlerine bağlıdır ve dik yöndekinden 2-5 kez daha büyüktür (Şekil 3.9). Liflere paralel yöndeki basınç mukavemeti, bu yöndeki çekme mukavemetinin yarısı kadardır. Liflere dik yöndeki basınç, hücrelerin yassılaşmasına sebep olabilir, yüksek miktarda yük olmasa dahi büyük miktarda deformasyon meydana gelebilir [33].

Kayma Dayanımı (Gerilmesi):

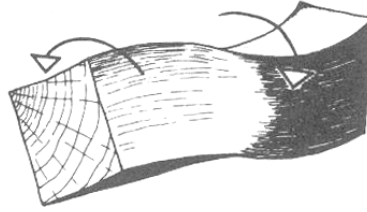


Şekil 3.10 Ahşapta farklı doğrultularda kayma direnci [33]

Ahşap liflere dik yönde yüksek bir kayma mukavemetine sahiptir. Liflere paralel bir düzlemde kayma meydana geldiği zaman, aynı yönde kayma tepkisi gerçekleşir (Şekil 3.10). Liflere dik kaymada dokunun normal (dik) düzleminde zarar ortaya çıkar. Yuvarlanan kayma liflere paralel bir düzlemde gerçekleşir, fakat kayma yönü liflere paralel bir düzlemde liflere dik açıdadır [33].

Burulma Dayanımı:

Ahşap tasarımında burulma dayanımı pek göz önünde bulundurulmaz (Şekil 3.11). Burulmaya karşı mukavemetin belirlenmesinde rijitlik modülü kullanılır [33]. Maksimum burulma kuvvetinin değeri liflere paralel yöndeki basınç kuvvetinden daha yüksek, bu yöndeki çekme kuvvetinden daha düşüktür.



Şekil 3.11 Ahşapta burulma [33]

Sertlik ve Aşınma Dayanımı:

Yabancı bir cismin darbe etkisi ile, bünyesine girmesine karşı ahşabın gösterdiği mukavemete sertlik denir. Sertlik 20-80 brinell arasındadır (Tablo 3.21).

Yüksek nem seviyesinde, ağacın sertliği sıcaklık düşmesiyle azalmakta, düşük nem seviyesinde (örneğin %12) ise sertlik sıcaklığın düşmesiyle artmaktadır. Yumuşak ağaçlar daha kolay aşınırlar. Ahşabın öz odun kısmı diri oduna kıyasla daha dayanıklıdır [49].

Sertlik ağacın direnci hakkında kesin ve doğru bir fikir vermediğinden daha çok ağacın işlenmesi ve aşınmaya karşı dayanması bakımından önemlidir. Ayrıca sertlik, birleşimlerde önemli bir rol oynar. Çivi, bulon, vida ve kama kullanımı da bu özellikle ilgilidir [50].

Deformasyon-Elastisite Modülü:

Elastisite modülü liflere paralel doğrultuda $7000-14000 \text{ N/mm}^2$, çapsal doğrultuda ise $500-1000 \text{ N/mm}^2$ 'dir (Tablo 3.21). [26] Liflere dik yöndeki hareketler lif boyunca gerçekleşen hareketlerden 50 kez daha fazladır [19].

Suya doymuş ahşap havada kurumuş malzemeye kıyasla daha küçük bir mukavemet ve elastiklik modülüne sahiptir.

3.7.3 Isı ile İlgili Özellikleri

Tablo 3.22 Ahşabın ısı ile ilgili özellikleri

	Isı iletkenlik k.	Isısal genleş.k.		Isı biriktirme kapasitesi	Özgül ısı
	W/mK	cm/cm °C ($\times 10^{-6}$)		W/m ² °K	Wh/kg °K
	λ	$\alpha_{//}$	$\alpha^{\perp}$	S_{24}	c
Çam	0.31	5.4	34.1	3.7	0.7
Meşe	0.21	3.4	28		
Ladin	0.22				
Kayın	0.17				

Isı Geçirgenliği ve iletkenliği:

Ahşap, hücreli yapısı ve bünyesindeki selüloz nedeniyle ısı geçirimsiz bir malzemedir (Tablo 3.22). Çünkü, hücreler arasında kalan ince hava boşlukları sıcak ve soğukun geçmesine engel olur ve ayrıca selülozun kendisi de kötü bir iletken [31].

Ahşabın ısısal iletkenliği türlere, özgül ağırlığına ve nem içeriğine göre değişmektedir. Ağırlıkça hafif olanlar daha iyi yalıtandır. Nem içeriği azaldıkça yalıtkanlık özelliği artar [42]. Nem miktarının %1 artışı karşısında ısı iletkenlik katsayısında %1.25 lik bir yükselme görülür.

Isısal iletkenlik lif doğrultusuna göre de değişir. Ahşap ısıyı liflere paralel yönde ısısal doğrultuya kıyasla daha fazla taşır.

Isısal Genleşme:

Sıcaklık etkisiyle ahşabın boyutlarında değişiklikler olur, yani sıcaklığın etkisi altında hacim genişler ve soğğun etkisiyle hacim bñzñlñr. Fakat bu değışiklikler, rutubet dolayısıyla meydana gelen değışikliklerin yanında ihmal edilebilecek kadar azdır. Çünkü, sıcaklığın yükselmesiyle hacmi genişleyen ahşap, aynı zamanda rutubetin azalmasıyla bñzñlecektir.

Isı sebebiyle genişleme, çap doğrultusunda lif doğrultusuna kıyasla daha fazladır. Isısal genleşme katsayısı liflere paralel yönde $4-9 \times 10^{-6}$, dik yönde $30-50 \times 10^{-6}$ cm/cm °C'dir [19]. Sert ağaçlar, ısısal değışimlerden yumuşak ağaçlara kıyasla daha fazla etkilenmektedir.

Isısal genleşme, malzemede meydana gelen iç gerilmeler, ısı değışim hızı ve ısı iletkenlik katsayısı ile ilgilidir. Ani ve büyük ısı değışimleri, küçük ve yavaş ısı değışimlerinden daha zararlıdır. Büyük boyutlarda kullanılan ahşap malzeme daha fazla genişlemektedir. Vidalı veya elastik yapıştırıcılarla yapılan tespitler bunu engellemektedir. Özellikle farklı genleşme katsayılarına sahip malzemeler biraraya getirildiğinde vidalı veya elastik yapıştırıcılarla hareketli birleşmeler sağlanmalıdır [49].

Isı Biriktirme Kapasitesi:

Ahşap düşük bir ısı biriktirme kapasitesine sahiptir. Bunun için kolay ısınır ve dokununca sıcak bir malzemedir. (Tablo 3.22)

3.7.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri

Su Emme, Geçirimsilik ve Kılcallık:

Ahşap su emici bir malzemedir (S_a : %15-100). Emilen su, hücre zarlarını oluşturan selülozun birbirine komşu olan zincir moleküllerinin hidroksil gruplar ile karşılıklı olarak tespit ettikleri su molekülleridir. Su emildiği zaman lifleri meydana getiren zincirlerin arası açılır ve böylece hacim büyür yani ahşap şişer. Şişme ve bñzñlme ahşabın üç yönünde aynı değildir. Lifler yönünde hiçbir değışiklik görülmez. Teğet yöndeki değışiklik radyal yöndeki değışikliğin 2-3 katıdır. Yoğun ahşap yumuşak ahşaba nazaran daha çok bñzñlñr.

Liflerin, adsorbsiyon yoluyla tespit ettikleri su ile doymuş hale geldikleri duruma doymuşluk noktası denir. Doymuşluk noktası ahşabın serbest suyunu kaybettikten sonraki durumudur; %28 civarındadır [31].

Buhar Geçirgenliği:

Ahşap higroskopik yapısı nedeniyle havadaki nemi bünyesine alabilmekte ve havaya nem verebilmektedir. Nem emdiği zaman genişler, kuruduğu ya da nem kaybettiği zaman büzülür. Ahşap kesildikten sonra havadaki nem oranıyla bir denge sağlayıncaya kadar nem kaybetmeye başlar. Kurutularak uygun nem içeriğine getirilir. Tablo 3.23’de görüldüğü gibi, ahşabın buhar geçirgenliği, içerdiği nem miktarına göre değişmektedir.

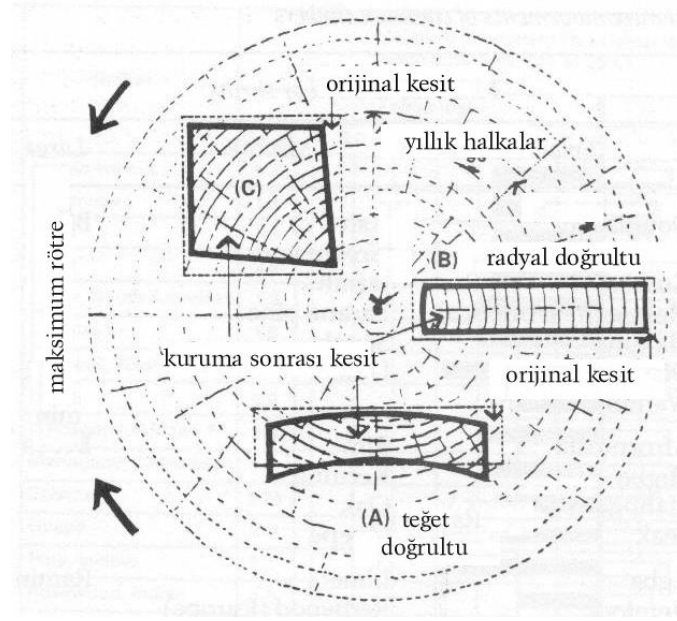
Tablo 3.23 Ağaç türleri için nem durumuna göre buhar difüzyonu [13]

<u>su buharı difüzyon direnç değerleri (μ)</u>		
çam için	%4 nemli durumda	$\mu = 230$
	%6 nemli durumda	$\mu = 160$
	%8 nemli durumda	$\mu = 110$
gürgen için	%10 nemli durumda	$\mu = 70$
	%15 nemli durumda	$\mu = 11$
	%20 nemli durumda	$\mu = 8.5$
	%30 nemli durumda	$\mu = 2$
	%40 nemli durumda	$\mu = 1.5$
	%50 nemli durumda	$\mu = 1.9$

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

İç mekanda kullanılacak ahşabın denge nem oranı % 6-12, dış mekanlar içinse % 12-15 arasındadır.

Şekil 3.12’de görüldüğü gibi doyma noktasının altındaki nem oranında çalışmadan dolayı ahşapta boyut değişiklikleri görülür. Liflere paralel yönde çalışması önemsizdir, en büyük boyut değişikliği büyüme halkalarına teğet yöndedir. Sert ve ağır ağaç türleri yumuşak ve hafif olanlardan daha fazla çalışır [42].



Şekil 3.12 Ahşapta kuruma sonrası şekil değişiklikleri [31]

İçerdiği Nem Miktarı :

Ahşap, nemli bir malzeme ile ya da suyla temasta olduğu zaman, yüksek bir nem miktarına sahiptir. Higroskopik yapıda olduğundan havanın nem miktarıyla dengeye gelinceye kadar nem alır ya da verir. Nem miktarı, 3.15 no'lu denklemde belirtildiği gibi ahşaptaki suyun ağırlığının kuru ahşabın ağırlığına oranının yüzdesidir [19].

$$\text{Nem miktarı} = \frac{\text{Ağırlık} - \text{kuru ağırlık}}{\text{kuru ağırlık}} \times 100 \quad (3.15)$$

Ahşap, bünyesindeki nem miktarına göre 4 gruba ayrılabilir:

- %13'ten az → kurutulmuş ahşaptaki nem oranı
- %13-17 → açık havada kurumuş ahşabın nem oranı
- %18-22 → piyasada kuru kabul edilen ahşabın nem oranı
- %23-30 → yarı kuru veya az kuru ahşabın nem oranı

Ahşabın hücreleri bol miktarda su içerir ve bu su ahşapta 3 farklı şekilde bulunur:

1-Ahşabın kimyasal yapısını teşkil eden selüloz ve ligninin moleküllerine kimyasal olarak bağlı bulunan bünye suyu: kurutma sırasında yok olmaz, miktarı değişmez, sabittir.

2-Selülozun adsorbsiyon yoluyla elde ettiği su: ahşabın şişmesine neden olur (adsorbsiyon suyu-emme suyu) ve ahşabın içinde bulunduğu ortamın rutubet derecesiyle ilişkilidir.

3-Hücre içlerini veya hücre aralarını dolduran su: kapilerlik suyu veya serbest su adını alır [31].

Hücre boşluklarındaki serbest su kesimi izleyen günlerde buharlaşır. Ahşap kururken, serbest su tamamen gitmeden, hücre duvarındaki su verilmez. Hücre boşluğu tamamen boşken, hücre duvarı tamamen doymuş ve ahşap doyma noktasına ulaşmıştır. Doyma noktası nem içeriğinin %25-30 arasında olduğu zamandır. Nem miktarı doyma noktasının altına düştüğü zaman, ahşabın boyutlarında değişiklikler, çalışma denilen büzölmeler görülür. Ortamın nemi emildiğinde ise ahşabın hacmi genişler ve şişme meydana gelir. Boyut değişimleri ile buna neden olan nemlilik derecesi arasındaki bağıntı doğrusaldır [42].

$$\text{Çalışma (\%)} = \frac{\text{boydaki değişim}}{\text{orjinal boy}} \times 100 \quad (3.16)$$

Ahşap anizotrop bir malzeme olduğundan, çalışma miktarı doğrultuya göre değişmektedir (Tablo 3.24).

Tablo 3.24 Ahşabın çalışma miktarının doğrultuya bağlı değişimi [33]

Yön	Çalışma %
Radyal	3 - 6
Teğet	5 - 12
Boyuna	0.1 - 0.2
Hacimsel	7 - 18

3.7.5 Ses ile İlgili Özellikleri

Ahşap, iç yapısının hava boşluklu dokusundan dolayı ses tutucu bir malzemedir. Bu, türlerine ve liflerin doğrultularına göre farklılık gösterir.

Ses emme özelliği özgül ağırlığının artması, yüzey pürüzlülüğü, kalınlık ve rutubet artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Ahşapta ses emicilik değeri (α) 0.06-0.10 m/sn (500Hz için) değerleri arasında değişmektedir.

3.7.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri

Elektrik geçirgenliği nem derecesine bağlı olarak değişir. Kuru halde elektrik iletmeyen bu malzemenin, rutubet derecesinin artmasıyla iletkenliği de artar ve doymuşluk noktasında maksimuma erişerek sabit kalır. Elektrik iletkenliği yöne göre de değişir; aksiyel yönde teğet yöne göre 2-4 kat fazladır [31].

3.7.7 Işık ile İlgili Özellikleri

Işık ile ilgili optik özellikler, ışık dalgalarının malzemedeki elektronlar, elektriksel kutuplar ve iyonlarla etkileşmesi ile sağlanır. Işık geçirgenliği malzemenin yüzeysel durumuna ve rengine bağlıdır. Ahşap opak bir malzemedir ve ışığı geçirmez. Açık renk boyananlarda ışığı yansıtma, koyu renkli olanlarda ise yutuculuk görülür.

3.7.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi :

Yüksek selüloz ve lignin miktarı, düşük yarıselüloz miktarı, düşük geçirgenlik, düzgün doku, alçak nem miktarı ahşabın kimyasal direncinin iyi olmasını sağlar.

Ahşap dokusu, selüloz ve ligninden beslenen bakteri, mantar, böcek ve kurtlar tarafından hızla ayrıştırılmakta ve kesit zayıflayarak parçalanmaktadır. Bu tür canlılardan bir kısmı ahşapta yumurtlamak ve yaşamlarını sürdürmek için birtakım delikler açmakta, ancak önemli bir kısmı da beslenmek için selüloz ve lignini kimyasal ayrışmaya uğratarak malzemeyi kısa zamanda toz haline getirmektedirler [50]. Selüloz parçalandığı zaman ahşap, kırılgan ve kahverengimsi bir görünüm alır. Lignin çözüldüğü zaman ise yumuşak ve beyaz selüloz kalır [33].

Termitler genelde sıcak iklimlerde ve böcekler nemli ortam şartlarında bulunurlar. Mantarların gelişebilmesi için gerekli şartlar %20'yi aşan nem oranı, yiyecek, hava ve uygun sıcaklık miktarıdır. Mantarlar biyolojik bozulmalara, küf ve lekelere neden olur.

Bütün ahşaplar ultraviyole ışınlarının, akan suyun etkisiyle grileşir, yağmur ve rüzgar aşındırıcılarıyla pürüzlenir. Bakteri, küf ve kimyasal gazlardan kaynaklanan renk değişiklikleri, sürekli ıslanma ve kuruma sonucundaki çatlaklar diğer aşınma etkileridir.

Metallerle karşılaştırıldığında, ahşap alkalilere ve zayıf asitlere karşı iyi direnç gösterir. Kuvvetli alkali çözeltiler ahşapta yumuşamaya sebep olur. Alkoller ise direnç kaybı ve şişme yaparlar. Asit ve alkollerin uzun süre teması ile hidroliz olayı sebebiyle ahşapta bulunan karbonhidratlar bozulmakta ve ahşap malzeme zarar görmektedir [49].

Su ve toprağın içinde sürekli kalan ahşap bazı değişikliklere uğrasa da (kararma), mukavemetine etki etmez. Ancak bu temasın daimi olması şarttır, aksi takdirde ahşap kolayca bozulur ve çürür [31].

Topraktan veya ıslak duvardan gelen inorganik tuzlar, ahşabın kimyasal yapısının bozulmasında ufak bir rol oynarlar.

Havanın uzun teması sonucunda karbon yavaş yavaş oksidasyona uğrar, ahşap kararır.

Güneş Radyasyonu Etkisi:

Güneş radyasyonunun ısısal etkisiyle ahşap malzemenin iç yapısında bazı kimyasal değişimler, ayrışma ve çözümler meydana gelmektedir. Morötesi ışınların meydana getirdiği parçacıklar ahşabın atom yapısını bozmakta, eskime, oksidasyon sonucu yanma ve kararmaya sebep olmaktadır. Yüzeyden 2-3 mm derinliğe kadar etkileyebilen morötesi ışınlar bu kısımda yer alan moleküllerin parçalanmasına sebep olmaktadır [49].

Ahşap koruyucu bir tabakayla kaplanmadıkça renklerinde değişme, parlak griden koyu griye dönüşüm, yüzeyinde pürüzlenme, yamulma gibi aşınmalar ve mekanik mukavemette düşmeler görülür.

Yangın Direnci:

Ahşap yanıcı bir malzemedir. Yangında ahşap malzemede 170 °C'ye kadar kuruma, 270 °C'ye kadar CO, CO₂ ve su buharı çıkışı, 250-300 °C'de tutuşma görülür.

Yanma hızı ahşabın kesit boyutuna, rutubetine, özgül ağırlığına ve reçine miktarına göre değişik değerler gösterir. Reçine fazlalığı yanmayı hızlandırır. Alevli yanma sonucu ahşabın yüzeyinde kömürleşmiş tabaka oluşur. Bu tabaka dıştaki yüksek sıcaklığın iç tabakalara nüfuz etmesini belli bir süre için engeller.

Korozyon:

Ahşap malzemeye birlikte kullanılan metaller, nem etkisiyle ahşabın yapısında bulunan bazı maddelerle kimyasal tepkimeye girer ve korozyon oluşur. Korozyon olayı sonucunda ahşap yüzeyinde koyu renkte lekeler görülebilir. Çoğunlukla bu lekeler ahşabın hava ve gün ışığı etkisi altında kaldığı durumlarda meydana gelir [49]. Ayrıca zayıf asit içeren bazı ahşap türleri metalleri korozyona uğratar. Bu tür ahşapların metallerle temasından kaçınılmalıdır.

Fiziksel ve Kimyasal Tutunma:

Ahşap üzerine boya uygulanacaksa, boyanın ahşap yüzeyine tutunabilmesi için yüzeyin yeterince pürüzsüz olması, ayrıca ahşabın iyi kurutulması ve yüzey neminden arındırılmış olması gerekmektedir.

3.8 PLASTİKLER**3.8.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri****Atom Yapısı ve Kimyasal Bileşimi:**

Kovalent bağlı malzemeler olan plastiklerin ana elemanı karbon olup bunun yanında çoğunlukla H, bazılarında Cl, F, O, N, S bulunabilir.

Plastiklerin ana maddesi doymamış hidrokarbonlardır. Doymamış hidrokarbonlarda karbon atomları arasında iki veya daha fazla kovalent bağ vardır (C_mH_{2m+2}). Plastiklerin dev moleküllerinin oluşmasının nedeni karbonun yine karbonla birleşebilme özelliğine sahip olmasıdır. Zincirdeki (m) sayısı arttıkça molekülün boyutu büyür, aralarındaki zayıf bağ sayısı artar, önce gaz halinde iken sonra sıvı, daha sonra katı olur ve mukavemet de artar.

Plastikler kovalent bağın sürekliliği ve atomların diziliş biçimine göre iki tür moleküler yapıya sahiptir; termoplastikler ve termosetler. Termoplastikler (lineer polimerler), kovalent bağlarla bir boyutta zincir şeklinde dizilirler, moleküller arası bağlar zayıf türdendir. Isıtılınca zayıf bağlar koptuğundan kolayca yumuşarlar, soğuyunca sertleşir ve tekrar kullanılabilirler. Termoset (uzayağı polimerleri) denilen ikinci tür yapıda, merler üç boyutlu uzayda sürekli kovalent bağ oluştururlar. Bu tür polimerler üretim süresinde sertleştikten sonra ısıtılma yolu ile yumuşamazlar, aşırı sıcaklıkta kovalent bağlar koparak parçalanır, tekrar kullanılamazlar. Bazı

termoplastikler, molekül zincirleri arasında çapraz kovalent bağ oluşumu sonucu termosetlere dönüşürler [9].

Malzemelerin özellikleri kimyasal yapılarıyla büyük oranda bağıntılıdır. Bir polimerin özelliklerini etkileyen en önemli faktör, polimeri oluşturan molekülün büyüklüğü yani içindeki mer sayısıdır. Diğer faktör moleküllerin diziliş şekilleri ve moleküller arası oluşan kuvvetli bağlardır. Makromoleküller kendi içlerinde kovalent bağlı olmakla beraber aralarında zayıf Van der Waals bağlarıyla birleşmişlerdir. Bu yüzden termoplastikler kolayca eğilirler, kaymaya direnç göstermezler. Ancak, termosetlerde moleküller arası kovalent bağlar da oluşur ve mekanik dayanım yükselir. Bu yan bağlar dallanma şeklinde gelişir.

Termoplastik ve termosetlerin bu farklı davranışları moleküllerin yapılarından kaynaklanır. Termoplastik molekülleri uzun, ipliğimsi, birbirleriyle birleşmemiş moleküllerdir. Termosetlerde ise moleküller dallanır ve komşu moleküller arasında bağ köprüleri oluşur [35].

Termoplastiklerde sıcaklık artınca moleküller arası zayıf bağlar kopar, molekül zincirleri birbiri üzerinde kolaylıkla kayar, sıvı hale dönüştükten sonra da zincirler bütünlüğünü korur. Soğurken yan zayıf bağlar tekrar oluşarak katılaşmayı sağlar. [9]

Tablo 3.25 Plastiklerin birim hacim ağırlık değerleri

	Birim hacim ağırlığı gr/cm ³
PVC (yumuşak-sert)	1.24-1.38
Polietilen	0.92
Teflon	2.13-2.25

Birim Hacim Ağırlığı, Özgül Ağırlık (Yoğunluk):

Plastiklerin genel özellikleri moleküler yapıya bağlıdır. Elemanlarda kovalent bağ sayısı en fazla 4 olabileceğinden hacimsel atom yoğunluğu küçüktür, bu nedenle özgül ağırlığı düşük ve hafif malzemelerdir [9]. Özgül ağırlıkları çoğunlukla 0.9 – 2.3 gr/cm³’ün arasındadır. Bazı plastiklerin birim hacim değerleri Tablo 3.25’de verilmiştir.

3.8.2 Mekanik Özellikleri

Mekanik özellikleri yükleme hızına, yükleme süresine ve sıcaklığa bağlıdır. Hızlı artan yük etkisinde çok daha az şekil değiştirerek daha yüksek mukavemet gösterir. Yüksek sıcaklıkta viskoz davranış gösteren bir plastik düşük sıcaklıkta rijit ve gevrek olabilir [9].

Tablo 3.26 Plastiklerin mekanik özellikleri

	PVC (yumuşak-sert)	Polietilen	Teflon
Çekme mukavemeti N/mm ²	10-60	8-28	21-25
Basınç mukavemeti N/mm ²	70-90	28-64	
Sertlik Brinell	80-100	10-30	20
Elastisite Modülü N/mm ²	30-100	200-700	350

Basınç ve Çekme Dayanımı:

Plastiklerin pek çoğunda yüksek basınç ve çekme dayanımı elde edilebilir (Tablo 3.26).

Mukavemet özelliklerinin en önemlisi çekme mukavemetidir. Plastiklerin çoğunun çekme mukavemeti ahşaba yakın ve çelikten biraz daha küçüktür.

Termoplastiklerin çekme mukavemeti (7 N/mm²) termosetlerinkinden (90 N/mm²) daha düşüktür [19].

Kayma Dayanımı (Gerilmesi):

Kayma dirençleri düşüktür. Bir molekül zincirinde radikallerin aynı tarafta, farklı taraflarda, belirli bir düzen içinde veya tamamen rastgele oluşu moleküllerin kayma olayında etkin olur [35].

Sertlik ve Aşınma Dayanımı:

Plastiklerde sertlik mukavemetten daha önemlidir. Elastiklik modülü arttıkça sertlik artar. Plastikler genellikle çelik, cam ve diğer yapı malzemelerinden daha az serttir. Bu yüzden yük altında diğer malzemelere göre daha fazla dönme yaparlar. Naylon, polikarbonat, polietilen, polivinilklorid iyi sertlikteki plastiklerdendir. Bazı plastik türlerine ait sertlik değerleri Tablo 3.26’da verilmiştir.

Plastikler aşınma direncine karşı cam ve çelik gibi iyi performans göstermezler, ancak ahşaptan daha dayanıklıdır. Naylon, polipropilen, melamin ve poliüretan aşınmaya iyi direnç gösteren plastiklerdir [33, 42].

Deformasyon-Elastisite Modülü:

Hem elastik hem de plastik şekil değiştirebilirler. Tablo 3.26’da verilen değerlere göre elastisite modülleri metallerden daha düşüktür (ort. %1’i kadar). İç yapıya ve sıcaklığa bağlı olarak viskoz davranıştan gevrek davranışa kadar geçiş gösterirler. Malzeme elastik deformasyon ve akma sınırını geçtikten sonra mukavemet düşmesi görülür ve bu maksimum değere ulaşıncaya kopma meydana gelir [13].

Baskı altında plastiklerde, molekül yapısından dolayı oda sıcaklığında boyut değişikliği görülür. Eğer baskı uzun sürerse deformasyon sürekli olabilir ve malzemenin yapısını bozabilir. Termosetler ve güçlendirilmiş plastikler boyut değişikliğine daha dirençlidir, ama uzun süre için beton ve çelik kadar dayanıklı değildir [42].

Termoplastikler genellikle sünektir, kırılmadan önce plastik şekil değiştirirler. Oda sıcaklığında sabit gerilme altında sünekleme nedeni ile sürekli şekil değiştirirler. Termoset plastikler ise sert ve gevrek, plastik şekil değiştirme olmadan kırılırlar [9].

3.8.3 Isı ile İlgili Özellikleri

Tablo 3.27 Plastiklerin ısı ile ilgili özellikleri

	PVC	Polietilen	Teflon
Isısal iletkenlik katsayısı W/mK	0.17	0.35	0.23
Isısal genleşme katsayısı ($\times 10^{-6}$) cm/cm°C	70-80	12-24	8-15
Erime sıcaklığı °C	80	125-105	327

Isı Geçirgenliği ve iletkenliği:

Plastikler iyi ısı yalıtkanlarıdır ve yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirler (Tablo 3.27). Bunda molekül yapıları ve iç bağların kovalent oluşu etkilidir. Metallerden daha düşük, fakat ahşaptan daha yüksek ısı iletkenliğine sahiptirler.

Isısal Genleşme:

Bağları zayıf olan plastikler yumuşak olup kolay erirler ve ısı genleşmeleri büyüktür. Isısal genleşme değerleri $7 - 210 \times 10^{-6} \text{ cm/cm } ^\circ\text{C}$ arasındadır (Tablo 3.27) [19].

Termosetler, termoplastiklerden daha az genişirler. Bu boyut değişiklikleri bükülmeye, kırılmaya neden olabilir. Birleşim yerleri harekete olanak vermelidir. Fakat metallerle olan bağlantılarına dikkat edilmelidir, çünkü iki malzemenin genleşme katsayıları arasında büyük farklar vardır [42].

Isı Biriktirme Kapasitesi:

Plastiklerin ısısal iletkenlik özellikleri ahşapla birbirine benzer ancak ısı depolama kapasitesi ahşaptan daha yüksektir.

Erime Sıcaklığı:

Isıya karşı düşük dayanım gösterirler. Yüksek sıcaklıklarda mukavemet özellikleri düşer. Kesin erime noktaları yoktur; bu ortalama değer olarak $80-295 ^\circ\text{C}$ 'dir (Tablo 3.27). Erime yavaş yavaş katı halden viskoz hale geçiş şeklindedir.

Termoplastikler $60-110^\circ\text{C}$ 'de yumuşarlar. Yüksek sıcaklık etkisiyle termoplastiklerde kovalent bağlar kopmaz, fakat zayıf bağların kopması sonucu zincirler birbiri üzerinde kolaylıkla kayarlar. Termosetler ısıya karşı daha iyi direnç gösterirler, sıcaklık artınca mukavemet azalır fakat yumuşamazlar. Aşırı sıcaklıkta ayrışır ve kavrulurlar. Bazı yardımcı maddeler katılarak bu direnç artırılabilir [9, 42].

3.8.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri**Su Emme, Geçirimsizlik ve Kılcallık:**

Plastiklerin suya karşı dayanıklılıkları genelde iyidir. Plastiklerin pek çoğu az su emer, istisna olarak selüloz asetat ve naylonun bazı türleri nem emerek şişerler. Plastiklerde su emme (S_a) %0.01-2 arasındadır (Tablo 3.28). Ancak bazıları özellikle su buharına karşı duyarlı olurlar ve bozulabilirler.

Tablo 3.28 Bazı plastik türlerine ait su emicilik değerleri

<u>Su emicilik</u>	<u>%</u>
PVC yumuşak-sert:	0.1
Polietilen	0.01
Teflon	0.1

Buhar Geçirgenliği:

Plastikler su buharını geçirmez. Ancak polipropilen ve silikon düşük nem emiciliğe sahiptir [33].

3.8.5 Ses ile İlgili Özellikleri

Ses emicilik gözenek yapısıyla ilişkilidir. Plastikler boşluksuz yapılarından dolayı ses emici özellik göstermezler, yansıtıcılıkları fazladır. Plastik ürünlerden linolyumun ses yutuculuk değeri 0.03 m/sn'dir (500 Hz için) [12].

3.8.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri

Elektrik iletkenliği malzemenin elektron yapısıyla ilgili olup, serbest elektronların varlığına bağlı bir özelliktir. Plastiklerde, metallerdeki gibi serbest elektron bulunmadığından elektrik iletkenlikleri çok düşüktür. Bazı plastik türlerinin elektrik dirençleri aşağıda verilmiştir.

<u>elektrik direnci</u>	<u>ohmxcm²</u>
PVC yumuşak-sert	10 ¹⁵ -10 ¹⁶
Polietilen	10 ¹⁸ -10 ¹⁷
Teflon	10 ¹⁵ -10 ¹⁸

3.8.7 Işık ile İlgili Özellikleri

Arı halde saydamdırlar ve ışığı geçirirler. Plastiklerde tamamen opaklıktan, akriliklerde %92'ye varan oranlarda şeffaflık sağlamak mümkündür. Bileşimine birtakım maddeler katılarak ışık geçirgenliği kontrol edilebilir.

Akrilik, metil ve polikarbonat geçirgen özellikteki plastiklere örnek verilebilir. PVC'lerin ışık geçirgenliği akrilik ve polikarbonat malzemelerden daha düşüktür. Özellikle polikarbonat, çatı ışıklıklarında ışık geçirgen örtü malzemesi olarak kullanılmaktadır. Işık geçirgenliği şeffaf olanlarda %60-76, opak olanlarda ise %34 civarındadır. Işık yansıtma özellikleri ise kötüdür.

3.8.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi :

Plastikler, atmosfer ve dış etkilere yüksek dayanım gösteren, sudan etkilenmeyen ve doğada yok olmayan malzemelerdir (özellikle termoset plastikleri daha dayanıklıdır). Akrilikler, epoksi, silikon ve polivinil klorür hava etkenlerine karşı iyi direnç gösteren plastik türleridir [33].

Kimyasal etkilere dayanıklılıkları yüksektir. Çoğunlukla asitlere, bazlara iyi dayanırlar. Buna karşılık organik solventlere (aseton, eter, ksilen, glikol vb.) dayanıklılıkları iyi değildir [35]. Teflon, PVC, melamin, epoksi, naylon, polietilen, polipropilen gibi plastik türleri kimyasal etkilere yüksek dayanım gösterir.

Güneş Radyasyonu Etkisi:

Güneş ışığı, özellikle UV ışınları, plastiklerin kırılması, çatlaması, depolimerize olması ve renklerinin bozulmasında önemli birer faktördür. UV ışınları, plastiklerin oksidasyon ve bozulmasına yol açan kimyasal reaksiyonlar başlatır. Bu reaksiyonlar sıcaklık, oksijen ve nem varlığında hızlanan reaksiyonlar zinciridir [19].

Plastiklerde var olan kovalent bağlar radyasyon etkisi ile koptuktan sonra tekrar oluşmadığından kalıcı tahribat meydana gelir. Radyasyon, organik cisimlerdeki hidrojen çekirdeğini ve elektronları kolaylıkla koparıp uzaklaştırır, geriye iyonize olmuş atomlarla serbest köklü moleküller kalır. Bunlar aralarında birleşebileceği gibi havadan oksijen de alabilirler. Genel olarak polietilen, naylon, doğal kauçuk ve polistrende radyasyonla çapraz bağlar artar, sertlik ve mukavemet yükselirken süneklik azalır, akriliklerde, selülozlarda, polivinil klorür ve teflonda ise ayrışma olur, mukavemet azalır [9]. Akrilikler rengin solmasına karşı dirençlidirler.

Yangın Direnci:

Yüksek sıcaklıklar plastikler için daima tehlikelidir. Bazı türleri 300-400°C'ye kadar dayanmakla beraber (teflon, melamin vb.) çoğunluk 80°C'nin aşılması halinde zarar görür [35].

Yangına dayanıklı olmamakla beraber yavaş yanarlar (sellülozikler hariç) ve alevsiz halde kendiliklerinden sönerler. Flor, nitrojen, sülfür bileşikleri ve özellikle klor içeren plastikler yangın sırasında CO₂, CO, SO₂ gibi zararlı gazlar yayarlar.

Plastikler çoğunlukla 80°C'nin üzerinde yumuşarlar, bu sınırın üzerinde kullanılmaya elverişli değillerdir. Termosetlerde bu sınır 150 °C'e kadar çıkabilir [9, 42].

Korozyon:

Plastikler kuvvetli bağlara sahip ve serbest elektron içermeyen malzemeler olduğundan bu malzemelerde elektrokimyasal korozyon oluşmaz. Ancak solventlerin plastiklerde yaptığı tahribat gibi kimyasal korozyona maruz kalabilirler.

Fiziksel ve Kimyasal Tutunma

Plastik türlerinden epoksi, fenolik ve aminoresinler iyi yapışma kalitesindedirler[33].

3.9 BİTÜM ESASLI MALZEMELER (Bitüm, petrol zifti, kömür katranı ve katran zifti)

3.9.1 Malzeme İç Yapı Özellikleri

Bitümlü malzemeler çeşitli hidrokarbon karışımlarına verilen genel bir isimdir. Genellikle kullanılan bitümlü malzemeler katran, zift ve asfalttır.

Bitümlü malzemeler bir aile olsa da, birbirleriyle karışımı ve birbiri üzerine uygulanmasından kaçınılmalıdır.

Doğal bitümler ve kömür katranı zehirli olabilir. Kömür katranı bitkiler için zehirli olan fenol içerir. Zift macunu sıcakken duman içerir, kapalı ortamlarda solunması önlenmelidir [19].

Bitümler, kristal olmayan bir katı ya da karbondisülfitte çözünebilen karışık hidrokarbonlardan oluşan viskoz (yapışkan, yarı sıvı) malzemelerdir, ısıtılınca yumuşarlar, su geçirmezler ve adezyonları iyidir.

Bitüm ve katranın temelini hidrokarbonlar oluşturur. Alkenler ($C_{2n}H_{2n}$) petrol, bitüm ve katranların bünyesinde bulunur [31]. Asfalt petrolün rafine edilmesiyle üretilir.

Bitüm ve katranın birim hacim ağırlığı 1-1.2 gr/cm³, asfaltın özgül ağırlığı (γ) 2.1gr/cm³'dür.

Bitümlü malzemeler doğal halde gaz, sıvı, yarıkatı ya da katı olabilirler ve karbondisülfitte tamamen çözünürler [33]. Yol yapımında kullanılan asfalt genellikle yarıkatıdır, çakıl, kum ve kırmataşla karıştırılmadan önce ısıtılarak sıvı hale getirilmelidir.

3.9.2 Mekanik Özellikleri

Yük altında bitümlü malzemelerin akışkan hale gelme eğilimi vardır. Bu etki yük altında sıkıştırılan alanlarda görülür ve zeminde sandalye, masa ayağı gibi noktasal yükler etkisiyle oyulabilir. Kullanım yerine göre doğru malzemeyi seçmek gerekir.

Bitümlü malzemeler alt yapı işlerinde kullanılıyorsa, zemindeki farklı hareketler, asfalt ve zift macunu gibi rijit malzemelerin çatlamasına neden olabilir. Bunlar izole edici bir membran üzerine uygulanmalıdır.

Sertlik ve aşınma dayanımı bitümlü malzemelerin zemin kaplaması olarak kullanıldığı yerlerde önem kazanmaktadır. Zeminin ısı ve yürüme trafiği ile yumuşaması, çukurlaşmalara neden olur ve malzeme cilalansa bile çizilmeye karşı yeterli sertlikte değildir.

3.9.3 Isı ile İlgili Özellikleri

Bitümün ısı iletkenliği 0.17 W/mK, asfaltın ise 0.7-0.81 W/mK'dır.

Bitümlü malzemeler ısı etkisinde plastik hale dönüşürler. Eğer bu malzemeler ısı kaynaklarının yakınında kullanılırsa yumuşama görülür. Asfaltın ısısal genleşme katsayısı $170-230 \times 10^{-6} \text{ cm/cm } ^\circ\text{C}$ 'dir.

Hidrokarbon molekülleri ışık ve sıcaklığın etkisiyle polimerleşirler ve katılık artar [31].



Kömür katranı bitümden daha düşük sıcaklıklarda erir, kolayca oksidasyona uğrar. Kömür katranı ve zift düşük sıcaklıklarda yumuşar, daha az plastiktir, sıcaklık değişikliklerine direnci daha düşüktür ve bitümden daha pahalıdır [19].

3.9.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikleri

Su Emme, Geçirimsilik ve Kılcallık:

Bitümlü malzemeler su ve su buharı geçişine karşı dirençlidirler. Bunun için yapıda çoğunlukla neme karşı koruma amaçlı kullanılırlar. Sıcak uygulanan malzemeler ya da çözücüyle kullanılanlar, bitümlü emülsiyonlardan suyun basıncına daha dayanıklıdır [19].

Belirli koşullar altında bitümdeki inorganik tuzlar tarafından su emilebilir. Zift ve asfaltın su emiciliği arasında çok az fark vardır ve her ikisinin de emiciliği düşüktür [33].

Buhar Geçirgenliği:

Bitümlü malzemeler gözeneksiz yapıda olduklarından dolayı su buharına karşı geçirimsizdirler.

Donmaya Mukavemeti:

Uzun süre şiddetli soğğun tesirine maruz kalan bitümler kırılganlaşır ve çatlarlar, yani plastikliklerini kaybederler. Şiddetli soğuklara en iyi mukavemet eden oksidasyon bitümleridir [31].

3.9.5 Ses ile İlgili Özellikleri

Bitümlü malzemeler gözeneksiz ve yoğun yapılı malzemeler olduğu için ses geçirimsizlikleri düşüktür. Boşluksuz yapılarından dolayı ses emicilikleri yoktur. Zeminde kullanılan bitümlü malzemeler bir ölçüde ses azaltıcı etkiye sahiptir.

3.9.6 Elektrik ile İlgili Özellikleri

Elektrik iletkenliği elektron hareketiyle ilgili olup, serbest elektronlarla sağlanmaktadır. Bitümlü malzemelerde serbest elektron varlığından söz edilemeyeceğinden elektrik iletkenliği aranmaz.

3.9.7 Işık ile İlgili Özellikleri

Işık geçirimsizlik, malzemenin opak ya da şeffaf olmasıyla, emme ve yansıtıcılık ise yüzey ve renk özelliklerine bağlıdır. Açık renkli olanlar ışığı yansıtıp, koyu renkli olanlar ise emebilirler.

3.9.8 Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çeşitli Kimyasallar ve Dış Atmosferik Koşulların Etkisi :

Bitümlü malzemeler uzun ömürlü olarak bilinirler, fakat güneş ışığı, mekanik zararlar gibi faktörlerden etkilenebilirler.

Alkali cisimler hidrokarbonlu malzemeleri korozyona uğratırlar. Bitümlü malzemelere asitlerin etkisi ise yok denecek kadar azdır [31].

Genelde bitümlü ürünler asitlere, alkalilere karşı dirençlidir ve doğal bitümler bunların türevlerinden daha dayanıklıdır. Zift, yağlara karşı bitümden daha dayanıklı olsa da, bunlarla temasından sakınılmalıdır [19].

Güneş Radyasyonu Etkisi:

Güneş ışığına uzun bir dönem maruz kalmak, bitümlü malzemeleri olumsuz yönde etkiler, etkilenme derecesi ise malzemenin türüne göre değişir; özellikle zift, güneş ışığı ve ısı etkisiyle zarar görür. Çatı kaplamaları altındaki ısı yalıtımı, yapı tarafından emilen ısıları önler ve kaplamalar ısınarak bozulabilir. Bu riski önlemek için, maruz kalan yüzeyler ışık yansıtıcı bir malzeme ile bitirilmelidir (örneğin; kireç badana, alüminyum boya, mineral parçaları, taş kırıkları...).

Bitümlü malzemeler yüksek sıcaklıklarda yük altında akışkan hale gelirler, düşük sıcaklıklarda ise çatlarlar. Kullanmadan önceki aşırı ısıtmadan zarar görürler, fakat serilmeleri sırasında soğutmadan kaçınılmalıdır [19]. Açık renkli olanlar güneş ısını yansıtabilir.

Yangın Direnci:

Yangın bitümlü malzemeler üzerinde hem fiziksel hem de kimyasal değişikliklere yol açar. Bitümlü malzemeler normal alevlenici (B2) ve yanıcı malzeme sınıfında yer alırlar. Yangın esnasında, mukavemetlerini kaybedip, akışkan hale gelir ve erirler. Ayrıca yangın sırasında yanıcı duman ve zehirli gaz oluştururlar. Bitümlü malzemeler yanıcı olmasına rağmen, asfalt macunu ve zift macunu gibi kompozit ürünler alev almazlar ve yanmayı desteklemezler [19].

3.10 KOMPOZİTLER

Kompozit malzeme kavramı, bir malzemenin yetersiz yönlerini geliştirmek ya da istenilen belirli performanslarda malzeme üretmek üzere başka birtakım malzemelerle fiziksel olarak karıştırarak ya da bir araya getirerek elde edilen yüksek performanslı malzemeler için kullanılır. Malzemelerin birleşmesi fiziksel bir birleşimdir, malzemeler birbiri içinde çözülmezler.

Kompozit malzemeler insan yapısı oluşu, en az iki malzemenin bileşim veya karışımından oluşması, bu karışımın üç boyutlu oluşu, kompozit malzemeyi oluşturan malzemedeki onu oluşturan bileşenlerde bulunan özelliklerin bulunmaması

gibi özellikleri ile diğer malzemelerden ayrılabilirler [51]. Cam elyafı polyster levhalar, çelik donatılı beton elemanlar bunlara örnektir.

Kompozit malzemeler, matris denilen sürekli faz ile dağınık faz denilen iki ana fazdan oluşur. Dağınık faz, matris içerisinde dağınık halde bulunurken, matris bağlayıcı görev yapar. Matrisin başlıca görevleri, kuvvetleri liflere iletmek, lifleri ortamın etkisinden korumak ve kompozitin tokluğunu artırmaktır [52].

Kompozitlerde lifler kuvvet yönüne paralel veya dik yönde veya rasgele dağılmış durumda bulunurlar. Lifler yönlenmiş durumda iken kompozit büyük ölçüde anizotrop olur, lifler rastgele dağılmış ise düzlemsel boyutta izotrop olur [9].

Kompozitlerin özelliklerinde, matris ile dağınık fazın viskoziteleri, elastiklik modülleri, parça büyüklükleri ve şekilleri, lif çapı, lif boyu, kompozitin lif hacim oranı, lif yönelimi vb. birçok parametre önemli rol oynar [11, 52].

Kompozit Malzemelerde Aranılan Özellikler:

1-Mekanik performansı artırmak (mekanik performansı artırmak için katılan maddelerin belli bir oranı aşmaması ve ekonomik olması gerekmektedir)

2-Güvenliğin iyileştirilmesi

3-Kimyasal etkilere karşı dayanıklılığın artırılması

4-Maliyet fiyatının azaltılması (amaç daha az malzeme ve emekle aynı işi yapabilmektir) [51]

Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması ve Genel Özellikleri:

1-Bağlayıcı madde aglomereleri

2-Liflerle donatılı kompozitler

3-Lamine kompozitler

4-Sandviç kompozitler [51]

Kompozit malzemelerin sahip olduğu özellikler farklı malzeme türlerine göre değiştiğinden burada özelliklerinden sadece genel olarak bahsedilecektir.

Yapıların özellikle yatay ve az eğimli yapı elemanlarında (döşeme ve çatı) kullanılan kompozit malzemelerin yeterli basınç mukavemetine sahip olması gereklidir. Basınç mukavemetinin yetersiz olduğu durumlarda malzemeyi takviye ederek yayılı ve noktasal yüklere karşı önlem alınmalıdır.

Özellikle genişlemeye karşı ve eğilmeden oluşan çekme gerilmelerinin karşılanabilmesi için kompozit malzemelerin yeterli çekme mukavemetine sahip olması gerekmektedir.

Kompozit malzemelerin çekme mukavemeti liflerin kopması ile sona erer. En uygun kompozit yapısında lifler kuvvet doğrultusuna paraleldir [9].

Kompozit malzemelerin yüksek ısı tutuculuk özelliklerinin olması istenir. Genelde yalıtım malzemesi olarak kullanımının yaygın olması nedeni ile ısı iletkenlik katsayılarının düşük olması önem taşımaktadır. Isı tutuculuk seviyesi, kompozit malzemelerin kullanılacağı yerin koşulları ile belirlenir.

Kompozitler anizotrop olduğundan ısıl genişmeleri doğrultulara bağlıdır [9].

Kompozit malzemelerin değişik dış etkenlere karşı şişme ve büzülme gibi deformasyonlar yapmaması beklenir. Boyutsal yönden kararlı bir malzeme olması, değişik malzemelerin karışmasından oluşması açısından önemlidir.

Kompozit malzemeler kendilerinden beklenen performansları yerine getirebilmeleri için ıslanmamalı ve nem almamalıdır. Aksi takdirde gözenekleri su ile dolar ve fonksiyonunu yerine getiremez duruma gelebilir. Bazı zamanlarda kompozit malzemeler bir buhar kesici ile beraber kullanılabilir.

Kompozit malzemelerin su buharını bazı koşullarda hiç geçirmemesi istenir. Bu durum mekanın özelliğine ve yapı elemanının konstrüksiyon tipine bağlıdır. Normal olarak, tüm yapı malzemelerinin binanın nefes alması için, su buharını biraz geçirmesi tercih edilmektedir. Fakat gereğinden fazla su buharı geçirmesi ise kullanıldığı eleman üzerinde yoğunlaşmaya neden olup çürümeye yol açmaktadır. O yüzden kompozit malzemelerin buhar difüzyon direnci kullanılacak mekan ve koşullara göre oluşmaktadır.

Kompozit malzemeler tüm yapı malzemeleri gibi kimyasal etkiler altında kalmaya maruzdur. Kullanım yerine göre kompozit malzemelerin belirli kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması istenir. Günümüzde bazı asit ve kimyasal etkilere dayanımı olan kompozit malzemeler üretilmektedir.

Kompozit malzemelerin, türüne ve bileşenlerine bağlı olarak çeşitli hayvan, böcek gibi parazitleri bünyesinde barındırmaması ve özelliklerini zamanla kaybetmemesi gerekmektedir.

Genelde yanmazlık ideal bir durum olsa bile, kompozit malzemelerin kullanıldığı yerin gerektirdiği alt ve üst limitlere uygun olmak koşulu ile kullanılabilmesi mümkündür. Sıcaklığın 1500 °C üstünde olduğu zaman yanmayan ya da bozulmayan bir yapı malzemesi yoktur. Fakat belirli bir dereceye kadar yanmayan malzemeler vardır (750 °C). Tüm malzemelerin sonuç olarak yanabilme özelliğinin bulunması nedeniyle malzeme seçiminde zararlı gaz çıkarmayanları tercih etmek gerekir.

Birçok kompozit malzeme hafifliği, pürüzsüzlükleri, dokuları dolayısıyla mekanik etkilere maruz kalabilecekleri şekilde kullanılabilirler. Bu yüzden başka bir malzeme ile korunmaları gerektiğinden, sıva tutuculuk özelliğinin olması istenir [52].

3.11 Bölüm Sonucu

Malzemeler kullanım yerine, iç yapı oluşumuna ve bünye esasına göre sınıflandırılabilir. Bu bölümde malzemeler, daha önce yapılmış sınıflandırma örneklerinden de yararlanılarak bünye esasına göre 10 çeşit malzeme sınıfına ayrılmıştır: doğal taşlar, bağlayıcılar, suni taş yapı malzemeleri, pişmiş toprak yapı malzemeleri, cam, metaller, ahşap, plastikler, bitüm esaslı malzemeler ve kompozitler.

Bu malzeme sınıflarının özellikleri, mikro ölçekte ürün bazına inmeden incelenmiştir. Çünkü malzeme seçimi yapılırken doğru yerde doğru malzeme kullanımı ve farklı malzemelerin birbirleriyle uyumunun sağlanması için farklı malzeme türlerinin sahip olduğu bünye özellikleri bilinmelidir.

4. BÖLÜM

MALZEMELERİN ISI VE SU İLE İLGİLİ ÖZELLİKLERİNDEN KAYNAKLANAN HASARLAR VE DIŞ DUVAR ÖRNEĞİ

Malzemelerin birarada kullanılabilmesi için, etkenler karşısında göstereceği davranışların uyumlu olması gerekir. Çalışmanın 3.Bölümü'nde malzeme sınıflarının herbirinin mekanik, ısı-su, ses vs. gibi çeşitli etkenler karşısında göstereceği davranış özellikleri açıklandıktan sonra, bu bölümde malzeme özelliklerinin farklılığından kaynaklanan hasarların incelenmesi için etkenler içinden ısı-su ile ilgili özellikler seçilmiştir. Çünkü malzemelerin ısı ve su ile ilgili özelliklerinin farklılığının hasar oluşumunda önemli bir yeri vardır. Malzemeler kendi bünye özellikleri ve dış etkenler dolayısıyla az ya da çok nemlidirler. Malzemenin nemliliği o anda içinde bulundurduğu su miktarı ile belirlenir ve bu nemlilik malzemenin su ile ilgili özellikleriyle bağlantılıdır.

Yapı elemanlarında nem hasarlarının oluşumunda birinci etken nem kaynağının varlığı, ikinci etken ise yapı elemanını oluşturan malzemelerin nemlenme ile ilgili özellikleridir. Hava, zemin, yağış veya başka bir kaynaktan yapı elemanına ulaşan nem, yapı malzemesinin nemlenme özelliklerine göre malzeme içine ilerler, içinde tutulur veya kolayca dışarı atılır. Bu nedenle yapı elemanının hasar görmesinde elemanı oluşturan malzemelerin nemlenme ile ilgili özellikleri önemlidir [25].

Her yapı elemanı tüm su kaynaklarından yapım ve kullanım sürecinin her evresinde aynı oranda etkilenmez. Belirli bir süre direkt olarak suya maruz kalan yapı elemanlarında görülecek hasar ve problemlerin engellenmesi için malzeme özellikleri ve yapı fiziğine etkisi bilinmelidir. Örneğin, suyun yapı elemanı bünyesine girmesi ve buharlaşması için geçen süre ve sınır değerleri, malzemenin absorpsiyon ve buharlaşma özelliklerine bağlıdır. Bu değerler absorpsiyon ve buharlaşmaya izin veren açık gözenekli malzemeler ile kapalı gözenekli malzemeler arasındaki kullanım farkını belirler [30].

Islanma ve su emmeye karşı malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken özellikler kendini en çok kargir ve ahşap malzemelerde gösterir. Seçilen taş çeşidinde ağırlıkça su emme değerinin %1'den küçük olması, pişmiş toprak malzemenin sırlı olarak kullanılması, betonun katkılı veya yüzeyinin su geçirimsiz bir örtüyle kaplanmış olarak uygulanması, ahşap malzemede ise geniş yapraklı ağaçlar yerine, iğne yapraklı ağaçlar tercih edilerek, en az deformasyonu veren aksiyel yönde ve aralarında nem deformasyonu için belli bir miktar aralık bırakılması, geçmeli ve elverdiğince küçük parçalar halinde uygulanması gerekir. [53].

Malzemelerin ısı etkisi karşısında göstereceği davranışlar, onların ısı ile ilgili özelliklerine göre değişmektedir. Yoğun malzemeler sıcaklık değişikliklerine daha yavaş cevap verirler, daha fazla ısı depolarlar ve bunu yavaşça geri bırakırlar.

Malzemelerin ısı ve su ile ilgili özellikleri birbirinden ayrılamaz ve sürekli olarak birbirleriyle etkileşim içindedir. Isı korunumunun yetersizliği ısı kaybına yol açacağı gibi, yoğunlaşma olaylarıyla da su ile ilgili hasarlara da neden olmaktadır. Aynı şekilde yetersiz bir nem korunumu, ısı geçirme direncini zayıflatarak ısı kayıplarına da yol açmaktadır.

4.1 Malzemelerin Isı ve Su ile İlgili Özellikleri ve Etkileşimleri

Çalışmanın bu bölümünde 2. ve 3.Bölüm'de yapılan literatür araştırmasından yararlanarak, malzeme sınıflarının ısı-su ile ilgili özellikleri bünye yapılarıyla ilişkilendirilip, sayısal değerlere bağlı olarak karşılaştırılması yapılacaktır. Daha sonra malzemelerin yan yana gelişlerinde, ısı –su ile ilgili özelliklerine bağlı olarak sıklıkla karşılaşılan sorunlara ilişkin örnekler verilecektir. Bu örnekler genellikle metal, ahşap, beton, harç, tuğla malzeme türleri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

4.1.1 Malzemelerin Isı ve Su ile Özelliklerinin Karşılaştırılması

Isısal İletkenlik Yönünden Karşılaştırma:

Isısal iletkenliği en yüksek olan malzeme metaldir (Tablo 4.1). Isısal iletkenlik atom yapısı ile ilişkili olduğundan metallerde bu serbest elektronlarla sağlanır. Diğer kovalent ve iyonik bağlı malzemelerde serbest elektronlar olmadığı için iletim, atomların ısı titreşimleri ile sağlandığından daha düşüktür. Metallerden sonra doğal taşların ısı iletkenliği yüksektir. Gözenekli ve boşluklu taşlarda iletkenlik daha

Tablo 4.1 Malzemelerin Isı ve Su ile İlgili Özellikleri

Isı, Su ve Nem ile ilgili Performans Özellikleri	Sembolü	Birimi	Doğal Taşlar	Suni Taş Yapı malzemeleri					Pişmiş Toprak Malzeme	Cam	Metaller	Ahşap	Plastikler	Bitümlü Malzemeler
				Beton		Harçlar								
				Yoğun Agregalı	Hafif Agregalı	Kireç Harcı	Çimento Harcı	Alçı Harcı						
Isısal İletkenlik Kats.	λ	W/m²K	0.55 - 3.5	1.28 - 1.63	0.35 - 0.81	0.87	1.4	0.35	0.38 - 1.05	0.81	29 - 383	0.14- 0.38	0.15-0.35	0.17 - 0.81
Isısal Genleşme Kats. (x10 ⁻⁶)	α	cm/cm°C	7-12	10 - 14	6.5 - 8	11 - 13			5 - 9	6 - 9	12 - 33	// 4 - 5 ⊥ 30 - 50	7 - 210	170 - 230 (asfalt)
Günlük Isı Biriktirme K.	S ₂₄	W/m² °K	-	18		12			-	10	-	3.7 (çam)	-	-
Erime Sıcaklığı	-	°C	-	-		-			1000 - 1600	800 - 1500	232 - 1500	-	80 - 295	-
Özgül Isı	c	Wh/kg °K	0.20 - 0.25	0.29		0.267	0.29	0.256	0.245	0.2	-	0.7	-	-
Ağırlıkça Su Emme Yüzdesi	S _a	%	0.1 - 11	1 - 8		12.2	1.3 - 1.5	32	8 - 22	emici değil	emici değil	15 - 100	0.01 - 2	çok düşük
Su geçirimsizlik Kats.	k	cm/sn	10 ⁻⁹ -10 ⁻¹²	10 ⁻⁷		-	10 ⁻⁹	-	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸ (tuğla)	-	-	-	-	-
Kapilarite Kats.	K	cm/√sn	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁷	10 ⁻⁵		-	10 ⁻⁶	-	10 ⁻² -10 ⁻⁴ (tuğla)	-	-	-	-	-
Buhar Geçirimsizlik Katsayısı	δ	gr/m.h.mmHg	0.005	0.003		-			0.014 (tuğla duvar)	-	geçirimsiz	-	geçirimsiz	-
Buhar Difüzyon Direnç Fak.	μ	-	100 (mermer)	29		15	30	4	5- 43	10000	-	2 - 70	-	-

düşüktür. Düzenli dağılmış çok küçük hava gözenekleri bulunan malzemelerin iletkenliği, düzensiz dağılmış büyük gözenekli malzemeye göre daha azdır. Yoğun agregalı betonların ısı iletkenliği hafif olanlardan daha fazladır. Çünkü, kütlesi büyük olan malzemelerin yoğunluğu da fazla olacağından ısı iletkenlik artmaktadır. Bağlayıcıların özelliklerini karşılaştırma açısından, kullanıldığı yere göre bir ürün olarak önem kazanır. Harç türleri içinde alçı harcının ısısal iletkenliği kireç ve çimento harcından daha düşüktür. Ahşap ve plastiklerin ısı iletkenliği diğer malzemelerden daha düşüktür. Isı iletimi iç yapıyla ilişkili olduğundan bu malzemelerin birim ağırlıkları da düşüktür. Ahşabın nemlilik durumuna göre iletkenliği değişmektedir. Nemlilik artınca ısısal iletkenlik de artmaktadır. Plastikler ise ısı yalıtım malzemesi olarak da kullanılabilirler.

Isısal Genleşme Yönünden Karşılaştırma:

Isısal genleşme, ısı değişimleri ile farklı titreşime uğrayan atomların birbiri arasındaki mesafelerin değişmesidir ve malzeme iç yapı özelliklerine bağlıdır. Isısal genleşme sonucu, atomlar arasındaki ortalama mesafe artar. Isısal genleşmesi yüksek olanların bağ enerjisi düşüktür. Isısal genleşmesi en fazla olan malzemeler plastikler ve bitümlü malzemelerdir (Tablo 4.1). Plastikler, aralarında zayıf bağ bulunan zincir şeklindeki moleküllerden oluştuğu için genleşmeleri yüksektir. Moleküller arasında oluşan çapraz bağlar ve kısmen kristalleşme, ısısal genleşmeyi azaltır. Genleşme sıralamasında daha sonra ahşap ve metaller yer alır. Ahşap anizotrop bir malzeme olduğundan atomların diziliş sıklığı doğrultuya bağlıdır ve ısısal genleşme katsayısı da doğrultu ile değişir. Ahşabın liflere dik ve paralel yönde genleşmesi farklıdır; dik yönde bu değer daha fazladır. Ancak ahşabın nem hareketleri sonucunda büzülüp genişlemesi daha büyük değerler aldığından, ısısal genleşmesi bunun yanında önemsizdir. Betonun genleşme katsayısı agrega türüne bağlıdır; yoğun agregalı betonların genleşmesi hafif olanlardan daha fazladır. Betonun nemli olması genleşme katsayısını düşürür. Pişmiş toprak malzeme ve camın genleşme katsayıları düşüktür ve birbirine yakın değerler almaktadır. Isısal genleşmesi küçük olan pişmiş toprak malzemeler ısı şoka da dayanıklıdırlar. Metallerle plastiklerin bağlantılarına dikkat edilmelidir, çünkü bu iki malzemenin genleşme katsayıları arasında fark oldukça fazladır.

Isı Biriktirme Kapasitesi Yönünden Karşılaştırma:

Isı depolama ısı yalıtımı ile birlikte düşünülmesi gereken bir ısısal özelliktir. Isı biriktirme kapasitesi ile ısısal yalıtım olgusu birbirinin karşıtı durumlardır yani ısı iletkenliği yüksek olan malzemelerin, ısı depolama kapasiteleri de yüksektir. Isı depo etme yeteneği malzemenin ağırlığı ve gözenek yapısıyla da ilişkilidir. Ahşap ve plastikler düşük ısı depolama kapasitesine sahiptirler, kolay ısınır ve dokununca sıcak malzemelerdir. Taşların ısı depolaması yüksektir, yavaş ısınır ve yavaş soğurlar. Beton ve cam malzemenin ısı depolaması da ahşaptan daha yüksek değerdedir (Tablo 4.1). Küçük ısı depolama kapasitesine sahip malzemeler hava sıcaklıklarındaki değişikliklere daha çok cevap verirler.

Erime Sıcaklığı Yönünden Karşılaştırma:

Pişmiş toprak ve cam malzemelerin erime sıcaklıkları yüksektir (Tablo 4.1). Bunlar çoğunlukla iyonik bağlı malzemelerdir. İyonik bağ enerjisi arttıkça erime sıcaklığı da artar. Bu malzemelerde atomlar arası mesafe azdır ve sert malzemelerdir. Pişmiş toprak malzemelerden 1600 °C'nin üzerine kadar dayanabilen refrakter malzemeler de vardır. Plastik ve bitüm esaslı malzemeler moleküler yapıdaki malzemeler olup düşük erime sıcaklığına sahiptirler. Plastikler kovalent bağlı malzemelerdir ve kovalent bağlı malzemelerde yüksek erime sıcaklığı görülmez. Metallerde demir ve çelik yüksek erime sıcaklığına sahipken kurşun, bakır, alüminyum düşük erime sıcaklığı gösterir. Erime sıcaklığı yüksek malzemeler dayanıklılıklarını erime sıcaklığı düşük malzemeye göre daha uzun süre korurlar.

Özgül Isı Yönünden Karşılaştırma:

Bir yapı malzemesinin özgül ısısı, onun sıcaklık değişimleri karşısındaki davranışını belirlemek açısından oldukça önemlidir. Ahşap yüksek özgül ısıya sahiptir. Doğal taşlar, alçı, beton, cam, harç ve pişmiş toprak malzemelerde özgül ısı ise daha düşük olup birbirine yakın değerler göstermektedir (Tablo 4.1). Özgül ısısı yüksek malzeme sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenir. Malzemenin nem miktarı arttıkça özgül ısı değeri de artmaktadır.

Su Emicilik Yönünden Karşılaştırma:

Ahşap higroskopik bir malzeme olduğundan su emiciliği yüksektir. Doğal taş, beton ve agregalar, pişmiş toprak malzemeler boşluklu malzemeler olduğu için su emicilikleri yüksektir (Tablo 4.1). Betonun emiciliği agregaların yoğunluğuna

bağlıdır; hafif agregalarda emicilik daha yüksektir. Bu boşluklu malzemelerin aldıkları değerler, porozitelerine göre çeşitlilik gösterir. Porozitenin küçük olması halinde geçirimsizlik azdır. Porozite büyük olsa da, boşluklar birbirine bağlı bulunmuyorsa, geçirimsizlik yine küçük bir değer alır. Boşluklar birbiri ile bağıntılı iken geçirimsizlik porozite ile birlikte artar. Metallerin ve camların su emicilikleri yoktur, boşluksuz malzemelerdir. Plastik ve bitümlü malzemelerin ise su emicilikleri çok düşüktür.

Su Buharı Geçirgenliği Yönünden Karşılaştırma:

Malzemenin özgül ağırlığı arttıkça difüzyon direnci yükselir. Metaller, cam, plastik ve bitümlü malzemeler su buharını geçirmezler. Ahşabın nem alıp verme kapasitesi yüksektir. Doğal ve yapay taşlarda buhar geçirimsizliği düşüktür. Bağlayıcı türlerine göre alçı harcının buhar geçirimsizliği en yüksektir, çimentonunki ise en düşüktür.

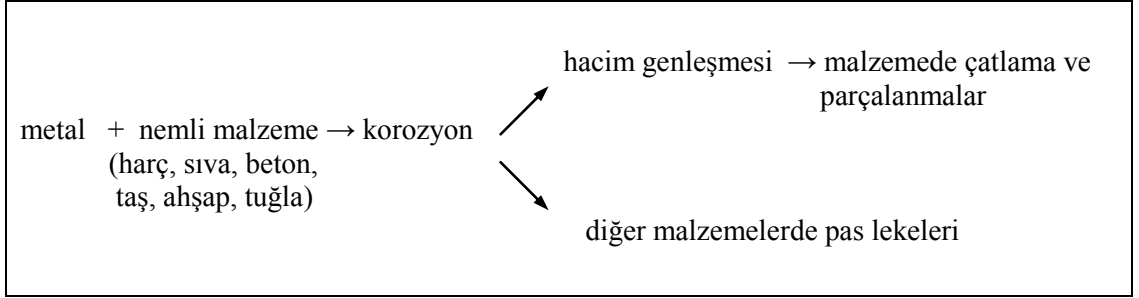
Donma Mukavemeti Yönünden Karşılaştırma:

Doğal taş, agrega, beton ve pişmiş toprak gibi boşluklu malzemeler donma olayına maruz kalabilirler. Bu malzemelerin donmaya dayanıklılığı su geçirimsizliklerine ve boşluk yapılarına göre değişmektedir. Küçük gözenekli malzemelerin kapilaritesi yüksektir ve büyük gözenekli olanlardan donmaya daha az dayanıklıdır. Malzemelerin donmaya dayanıklılığı, doyma derecesinin %80 veya daha küçük olmasına bağlıdır (suyla dolu gözenek hacminin toplam gözenek hacmine oranı doyma katsayısını verir). Sert taşlarda ağırlık cinsinden su emme oranının %1'den küçük olması donmaya dayanıklılığı gösterir. Betonun donmaya dayanıklılığı büyük ölçüde agregaların özelliklerine bağlıdır; iri agregalarda donmaya mukavemet daha düşüktür.

İçerdiği Nem Miktarı Yönünden Karşılaştırma:

Plastik, cam, metal ve bitümlü malzemeler nem içermezler. Boşluklu malzemelerde ise gözenek boyut ve dağılımı, içindeki nem miktarı oranını etkiler. Betondaki nem miktarı, agregaların nem miktarına bağlıdır. Ahşap, bünyesinde nem bulunduran bir malzemedir, havanın nem miktarıyla dengeye gelinceye kadar nem alır ya da verir. Higroskopik bir malzeme olduğundan atmosferin bağıl nemine bağlı olarak nem oranı çeşitlenir.

4.1.2 Malzemelerin Yan Yana Gelişlerinde Isı ve Su ile İlgili Özelliklerine Bağlı Olarak Sıklıkla Karşılaşılan Hasar Örnekleri



Şekil 4.1 Metallerin nemli malzemelerle ilişkisi

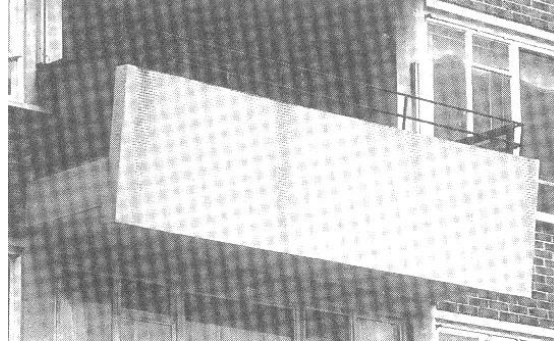
- Metallerin harç, sıva, beton, tuğla, taş, ahşap gibi nem içeren, emicilikleri yüksek malzemelerle temasından kaçınılmalıdır (Şekil 4.1). Çünkü bu malzemeler Şekil 4.2'deki örnekte de görüldüğü gibi su açığa çıkararak ya da korozif etkenler sağlayarak korozyona sebep olabilirler. Islak olduğu zaman çimento ve kireç, alüminyum ve kurşun gibi demirsiz metallerin bazılarında korozif etkiye sahiptir. Demirsiz metallerin çoğu alkali ve asit etkisine karşı hassastır. Bunlar alkali beton, çimento ya da kireç harcı ve asit özellikteki alçı sıvayla temas edince metaller kalın bitüm tabakalarıyla korunmalıdır [39]. Betonarmede betonun su emmesi, çeliğin korozyonuna neden olabilir. Burada emici malzemelerin yapımı esnasında kullanılan su miktarı da önemlidir.



Şekil 4.2 Harcın metalde yol açtığı korozyon [30]

Metaller, korozyon sonucunda kendilerinin bozulmasının yanında birlikte kullanıldığı malzemeyi de etkiler, temizlenmesi imkansız pas lekeleri oluştururlar [54]. Korozyona uğrayan metallerin hacimlerinde genişleme olur. Korozyonun büyümesi, metalin temasta olduğu malzemelerin çatlamasına,

kırılmaya ya da bozulmalarına neden olabilir (Şekil 4.3). Korozyona uğrayan metal yüzeyinden akan yağmur suyu ya da başka kaynaklı su, korozyon parçalarının bir kısmını bitişikteki malzemeye taşıyabilir [39].



Şekil 4.3 Demirdeki korozyonun seramik kaplamaya etkisi [30]

metal + ısı iletkenliği düşük malzemeler → ısı köprüsü → yoğunlaşma

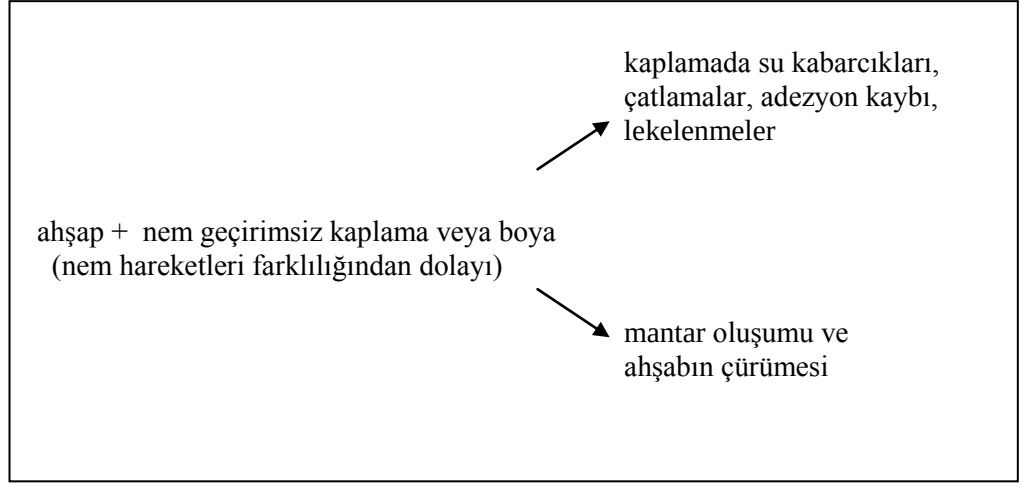
Şekil 4.4 Metallerin ısı iletkenliği düşük malzemelerle ilişkisi

- Metaller; yüksek ısı iletkenliğine sahip malzemeler olduklarından, düşük ısı iletkenliğine sahip malzemelerle birlikte kullanıldıklarında oluşan ısı köprüleri sonucu yoğunlaşmaya neden olurlar (Şekil 4.4). Kolay işlenebilirliği ve yumuşak olması nedeniyle çatı kaplaması olarak kullanılan kurşun ve bakır malzemede bu olaya rastlamak mümkündür. Sıcak ve nemli hava, metal kaplamanın iç tarafında, çiğ noktasının altında bir sıcaklıkla karşılaşarak yoğunlaşır [54].

ahşap + harç → çatlamlar → ahşabın çürümesi
(nem hareketindeki farklılık sonucu)

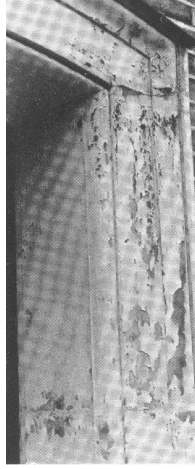
Şekil 4.5 Ahşabın harçlarla ilişkisi

- Ahşap, çalışan bir malzeme olduğu için hiçbir zaman harç ile birlikte ortak davranış göstermez, arada mutlaka çatlamlar olur. Bu çatlaklardan giren su ahşabı çürütür (Şekil 4.5).

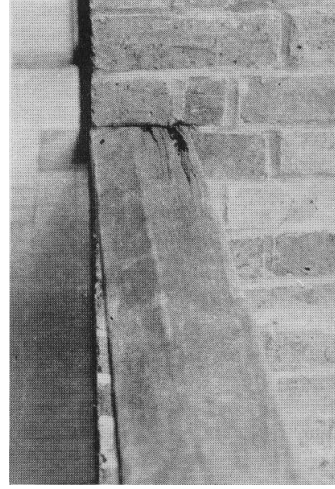


Şekil 4.6 Ahşabın nem geçirimsiz malzemelerle ilişkisi

- Ahşap higroskopik olması nedeniyle nem değişikliklerine karşı oldukça duyarlıdır. Ahşaptaki nem oranı havadaki nem oranına bağlı olarak değişiklikler gösterir. Ahşapta, havanın nemliliğindeki ani değişimler sonucu, çeşitli deformasyonlar oluşur [54].



Şekil 4.7 Ahşapta adezyon kaybı sonucu boya tabakasında kabarmalar [10]



Şekil 4.8 Ahşap-tuğla ilişkisi [39]

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 (Şekil 4.6). Burada nemin buhar basıncı, adezyon kaybına ve kabarmalara, tabaka üzerinde doku ve lekelenmelere neden olabilir (Şekil 4.7). Boya tabakasının çatlaması sonucu, çatlaklardan giren su, ahşap malzemeyi ıslatır. Üzerindeki

boya tabakasından dolayı buharlaşıp çıkamayan 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 [55].

ahşap + nemli malzeme → ahşabın bozulması ve çürütmesi
(tuğla, beton, taş vs.)

Şekil 4.9 Ahşabın nemli malzemelerle ilişkisi

- Ahşabın diğer nemli malzemelerle yan yana kullanılması (özellikle tuğla, beton ya da taş malzemelerle) bozulmalarına neden olabilir (Şekil 4.9). [56] Şekil 4.8’de ahşap malzemenin tuğla gibi gözenekli ve nem emici bir malzeme ile ilişkisi sonucu hasara uğramasına ait bir örnek görülüyor.

nemli beton, harç ve sıva + boya tabakası → boya tabakasında
dökülme ve çatlamlar,
adezyon kaybı

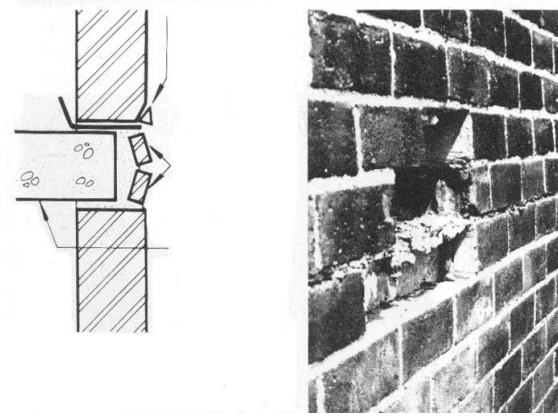
Şekil 4.10 Nemli malzemelerde boya tabakası

- Beton, harç ve sıva alkali özelliktedir ve bu özellik kullanılan kumdan kaynaklanmaktadır. Nemin varlığında alkaliler, boya tabakası üzerine etki ederler. Alkali ile temas eden boya tabakası yumuşak, yapışkan ve kısmen suda çözünür bir hal alır (Şekil 4.10). Nem koşulları devam ederse, yapışkan sarı renkli bir sıvıya dönüşür ve sulu yapışkan kabarcıkları oluşur. Kuruma ile bu yapışkanlık yok olabilir, fakat dökülme ve çatlamlar görülebilir, tabaka bağlayıcılığını kaybedip gevrekleşir [30].

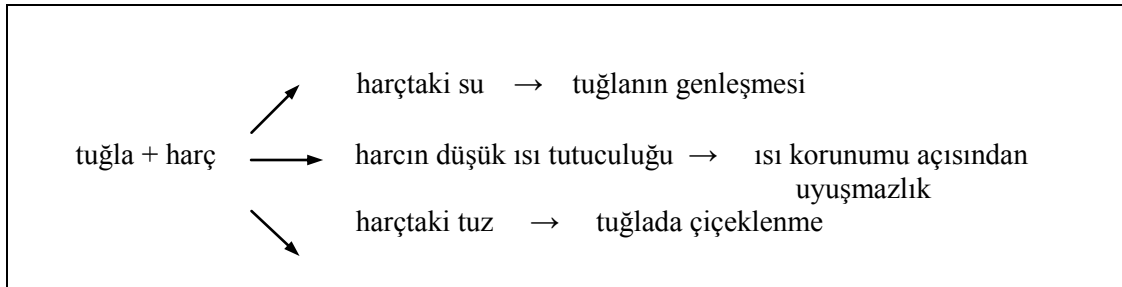
beton + kaplama tuğlaları → kaplama tuğlalarının dökülmesi
(farklı nem hareketleri dolayısıyla)

Şekil 4.11 Beton ve kaplama tuğlaları ilişkisi

- Beton ve tuğlanın farklı miktarlarda rötre yapması sonucu, kaplama tuğlaları dökülebilir (Şekil 4.11). Kil ürünleri ıslanırken genişir, kururken büzülür. Genleşme ilk başta hızlıdır; daha sonra yavaş bir şekilde gerçekleşir. Genleşme tamamen geri dönüşümlü değildir. Beton da kururken rötre yapar. Tuğlalar betondan su emerek genişirken, betonda da büzülme görülür [55]. Şekil 4.12’de farklı nem hareketleri dolayısıyla kaplama tuğlalarının dökülmesi hasarına bir örnek görülüyor.



Şekil 4.12 Farklı nem hareketleri dolayısıyla kaplama tuğlalarının dökülmesi [56]



Şekil 4.13 Tuğla- harç ilişkisi

- Harçların su emiciliği yüksek olursa, harçtan gelen su etkisi, tuğlanın genişmesine neden olabilir. Tuğlanın su emiciliğinin yüksek olması ise, harcın suyunu emmesine yol açacağından, harcın sertleşmesine ve tuğlayla adezyonunun kaybolmasına yol açar (Şekil 4.13).

Tuğlada çiçeklenmeye neden olan tuzlar, tuğlanın kendi bünyesinden gelebileceği gibi, harçtan da kaynaklanabilir.

Belli bir ısı korunumu taşıyan tuğlalar ile, ısı korunum değeri taşımayan derz harçları arasında ısı korunumu açısından uyumsuzluk vardır. Tuğlanın ortaya koyduğu ısı korunum düzeyi, derz harcının ortaya koyduğu düşük değerle aşağı itilmektedir [57].

4.2 Isı ve Su ile İlgili Hasarların Tüm Yapı Hasarları İçindeki Yeri

Yapıdaki hasarların temel nedenleri;

- nemlilik
- hareketler (fiziksel değişim)
- kimyasal ve biyolojik değişimdir.

Fiziksel değişim hareketlerinin temel nedenleri arasında da sıcaklıktaki değişiklikler ve nem değişiklikleri gelir [56].

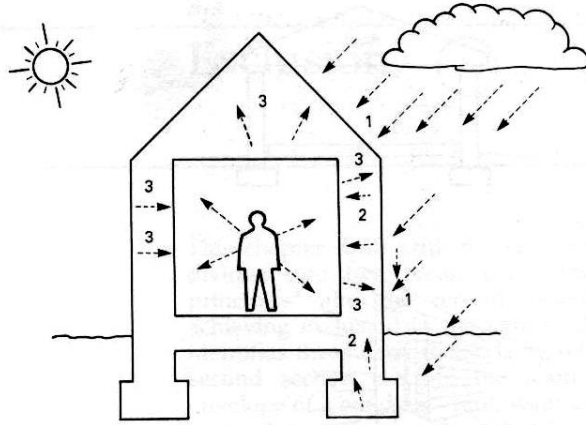
Malzemede su, nem ve ısı faktörleri nedeniyle meydana gelen hasarlar önemli bir yer tutar. Isı genleşmeleri farklı olan metal, cam, beton gibi malzemelerde ısısal genleşme sonucu meydana gelen iç gerilmelerin oluşturduğu çatlamlar, gözenekli olan doğal ve suni taş malzemenin dış cephede kullanılmasıyla, ısı düşmesi ve gözeneklere dolan suyun donması sonucu hacim genleşmeleri ile meydana gelen parçalanmalar, ısı geçirimsizliği saptanmadan detaylandırılan malzemelerin sebep olduğu ısı kayıpları, su izolasyon malzemelerinde ısısal genleşme ve erime sonucu görülen bozulma ve çatlamlar, bu tür hasarların en belirgin örnekleridir. Ayrıca iç ve dış buhar basınçlarının farklılığı sonucu yapı elemanları içinde yoğunlaşan ve su haline dönüşerek yapının zamanla çürümmesine ve tahrip olmasına yol açan nem de önemli bir faktördür. Bu tür bir buhar kondansasyonu sonucu sıva dökülmeleri, ısı izolasyon maddelerinin değerini kaybetmeleri, boya bozulmaları, taş ve tuğlanın zamanla ufalanarak dökülmeleri olağandır. Diğer açıdan buhar ve su geçirimsizliği çeşitli yüzeysel lekelenmelere, çiçeklenmelere ve özellikle kalsiyum sülfat çiçeklenmeleriyle hacimsel genleşme göstereceğinden parçalanmalara sebep olmaktadır [58].

4.2.1 Suyun Yapı Hasarları Üzerindeki Etkisi

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.

- **Suyun Yapıya Girişi:** Suyun yapı elemanlarına girmesi önlenmeli ve buna karşı geçirimsiz bir tabaka oluşturulmalıdır.



1. Akan su
Kaynakları: -yağış
-servis
2. Kılcallık
Kaynakları:
-zemin suyu
-gözenekli malzemelerden emilen su
-birbirleriyle temasta
-birbirleriyle temasta olan malzemeler arasındaki su
3. Su buharı
Kaynakları:
suyun buharlaşması
-suyun buharlaşması
-insan aktiviteleri

Şekil 4.14 Su kaynakları ve iletimi [30]

Suyun yapıya giriş yolları (Şekil 4.14):

- Yer altı ve zemin suları
- Yağış suları
- İnşaat sırasında yapı bünyesinde kalan su
- Yapı elemanını çevreleyen havanın rutubeti
- Yapıdaki hasarlar ve yanlış uygulamalarla sızan sular [20]

Yapım aşamasında kullanılan su, malzemeler normal kuru durumlarına varmadan önce buharlaşmış olmalıdır. Yalnızca yüzeyin kuruması yeterli değildir, malzemenin içinde de su kalmamalıdır.

- **Suyun Yapıda Yayılması:** “2.2.4 Su ve Nem ile İlgili Özellikler”

bölümünde bu konu daha geniş ele alınmıştır.

- kapillarite yolu ile: Yapı malzemesi ile temas eden su, malzeme bünyesindeki kılcal kanallarda, kapiler basınç etkisi ile malzeme içinde yükselir.

- basınç etkisiyle su hareketi: Malzemenin basınçlı su geçirirliliği, gözeneklerine ve malzemeyi meydana getiren tanelerin çapına göre değişmektedir.
- buhar difüzyonu ile: Buhar basıncı nedeniyle malzemelerin, bünyelerinden buhar akımı geçirmelerine difüzyon denir.

- **Suyun Yapıdan Çıkışı:** Yağışlarla duvar içine girebilen su, yağış sonrası dışarı atılabilmeli, duvar kuruyabilmelidir. Yapıya giren suyun çıkışı da sağlanmalıdır. Aksi takdirde suyun yapı bünyesinde tutulması sakıncalıdır. Malzemelerin higroskopik emicilik özelliği de nemin malzeme içinde tutulmasına yol açar.

Yapı bünyesinde tutulan nem, buharlaşmak ve kurumak için yapıda serbest bir yüzey bulmakta zorlanır. Malzemelerin geçirgen olmayan tabakaları ya da buhar iletimine dirençli malzemeler, nemin yapıdan çıkmasını etkilerler. Dış yüzeyden buharlaşamayan nemin iç yüzeye su buharı şeklinde iletimi zordur. Nemin yapı içinden serbest yüzeye iletilmesi, öncelikle malzemelerin yapısına bağlıdır. Ayrıca ısı ve buhar basıncı da etkilidir. Bu etkenler, nemin yapı içinde bir yerden bir yere hareket etmesini engeller ve tutulan nemin yoğunlaşmasına neden olur. Yoğuşan su, ilk başta yapı içinde dağılacak, sonra buharlaşabileceği yere doğru hareket edecektir [30, 56].

4.2.2 Isının Yapı Hasarları Üzerindeki Etkisi

Doğal atmosfer, ısısal açıdan mevsim, gece-gündüz, coğrafi enlem, yön ve benzeri parametrelere bağlı değişiklik göstermektedir. Bu değişiklikler içinde insanın kendini dış etkilerden koruması, sağlıklı bir ortamda yaşayabilmesi için gerekli konfor şartları sağlanmalıdır. Bu konfor şartları soğuk dönemde mekanı sıcak tutmak, sıcak dönemde de serin tutmaya yönelik, uygun malzeme ve elemanlarla sağlanmaktadır [13]. Yapıda gerekli ısısal şartların sağlanamaması sonucu ısı kayıpları ve ısısal yönden konforsuzluk ortaya çıkmaktadır. Isı kayıplarının miktarı, ısıtmanın istendiği dönemde dış hava sıcaklığı ile iç hava konfor sıcaklığı arasındaki farkla belirlenir.

Isının yapı üzerindeki diğer etkileri ise ısısal gerilmeler ve genleşmelerdir. Isı enerjisi emen malzemelerin sıcaklığı yükselir, iç enerjisi artar ve buna bağlı olarak boyutlarında değişiklikler (boyda uzama, hacimde büyüme) görülür. Yapıdaki genleşmeler mevsimlere ve bölgesel koşullara göre farklılıklar gösterir. Ayrıca

yapıların yer ve konumuna göre farklılıklar gösterebileceği gibi yapı eleman ve malzemeleri de güneş ısısından farklı derecelerde etkilenmektedirler.

- **Isı Kaynakları:**

Yapıda ısı kaynakları şunlardır:

- güneşten gelen ısı
- kimyasal olaylardan oluşan ısı
- yapay ısıtma araçlarından oluşan ısı
- eylemlerden oluşan ısı [59].

Güneşten gelen ısı miktarı, bölgenin enlemine, denizden yüksekliğine, meteorolojik karakterine, yerleşim çeşitine, yapı kabuğunun boyutu, şekli, yüksekliği, yönlenmesi ve yüzey özelliklerine göre değişmektedir [60].

Çevresel iklim koşulları zamana bağlı olarak değiştiğinden yıl boyunca, ısısal konfor şartlarının doğal olarak sağlanması mümkün değildir ve yılın belli dönemlerinde yapay ısı kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır.

- **Isının Yayılma Yolları:**

Isı enerjisinin sıcaklıkları farklı olan iki ortam arasında yayılması üç yolla olur:

- Isı iletimi (kondüksiyon)
- Isı taşınımı (konveksiyon)
- Isı ışıınımı (radyasyon)

Isının yayılma yollarına daha önce “2.2.3.1 Isı Geçirgenliği ve İletkenliği” bölümünde daha geniş yer verilmiştir.

- **Sıcaklık Etkisinde Değişken Faktörler:**

Yapının doğal ısı kaynağı olan güneş ısısından etkilenmesi pek çok faktöre bağlıdır. Bu faktörler aşağıda kısaca ele alınacaktır.

Yapının opak ve saydam bölümlerinin güneş ısısı karşısındaki davranışları farklıdır. Saydam bölümler, gündüzleri güneş ışıınımını doğrudan iç ortama aktararak iç ortam sıcaklığını etkiler. Opak bölümler ise, güneş ışıınımının bulunduğu saatlerde üzerlerine çarpan ışıınımı ısı enerjisine çevirerek depolar ve güneş ışıınımının bulunmadığı saatlerde depoladığı enerjiyi iç ortama vererek ısı kaynağı görevi görür [60].

Tablo 4.2 Dış yüzey emicilik katsayısının yüzey özelliklerine bağlı değişimi

Yüzey	Emicilik Katsayısı (%)
Metal olmayan siyah yüzeyler	0.85 – 0.98
Kırmızı tuğla, beton, taş, koyu renk boyalar	0.65 – 0.80
Sarı tuğla ve taş	0.50 – 0.70
Beyaz tuğla, kiremit, beyaz boya, badana	0.30 – 0.50
Parlak alüminyum, yaldız boya, bronz boya	0.30 – 0.50

Opak yüzeylerde güneş ışıınımı etkisi malzemenin yüzey özelliklerine göre değişmektedir. Her malzemenin iç yapısı, nemlilik durumu, rengi ve pürüzlülüğü gibi yüzey özelliklerine bağlı olan emicilik katsayısı (α) vardır (Tablo 4.2). Malzeme yüzeyinin nemliliğinin artması ile emicilik artar, ancak yüzey kururken olan buharlaşma sonucunda, kazanılan enerjiden fazlası kaybedilmektedir. Yüzeyin rengi ne kadar açıksa, yansıma oranı o kadar fazla ve emme oranı ise düşüktür. Malzeme yüzeyinde pürüzlülüğün artması da emiciliği artırmaktadır. Emme oranı, güneş ışıınının geliş doğrultusuna da bağlıdır; ışınlar yüzeye ne kadar dike yakın gelirse emme oranı da o oranda artar. Opak yüzeylerin emiciliklerinin soğuk dönemde maksimum düzeyde, sıcak dönemde ise minimum düzeyde olarak ısısal konfor şartlarının sağlanması istenir [60].

Ülkemizde pek çok bölgede yaz-kış ve gece-gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları oldukça büyüktür. Hızlı ve büyük sıcaklık değişimleri (yazın bir günlük değişim) küçük ve yavaş sıcaklık değişimlerinden (bütün bir yıl boyunca meydana gelen değişimler) daha zararlıdır. İklimsel farklılıklar da önemlidir. Türkiye, yıllık en düşük sıcaklık ortalamaları ve nem faktörleri göz önüne alınarak, 1. Bölge (Antalya, Adana, İzmir...), 2. Bölge (Balıkesir, İstanbul, Rize...), 3. Bölge (Ankara, Afyon, Bolu...), 4. Bölge (Ağrı, Erzurum, Van...) olmak üzere dört farklı iklim bölgesine ayrılmıştır. Çeşitli bölgelerde yapılacak yapılarda, ısı yalıtımını sağlamak için seçilen malzemelerin bölgelere göre olan ısısal değerleri sağlaması gerekir [61].

Isısal etkiler yapının yönlendiriliş durumuna göre değişmektedir. En çok yağışlı ve rüzgarlı cephe kuzey cephesi, gün süresince ısı farkları en fazla olan ise batı cephesidir.

4.3 Hasarların Dış Duvar Üzerinde İncelenme Nedeni

Malzemelerin ısı, su ve su buharı geçirgenliği ile ilgili hasarlar daha çok katmanlı yapı elemanlarında ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada farklı malzemelerin etkileşiminde ortaya çıkabilecek hasarları incelemek için, katmanlı yapı elemanı olarak “dış duvar” seçilmiştir. Çünkü dış duvarlar, etkileri büyük boyutlara ulaşan ve bünyedeki yetersizliklerden kaynaklanan hasarların yığılma noktalarıdır. İç ortamla dış ortamı birbirinden ayıran dış duvar, çok yönlü pek çok etki altında kendisinden beklenen çeşitli fonksiyonları yeterli düzeyde yerine getirmesini beklediğimiz yapı elemanıdır [62].

Modern inşaat tekniği uygulamalarından önce masif duvarlar taşıyıcılığı dolayısıyla çok kalın yapılmakta ve bu kalınlık duvarlara yeterli ısı yalıtımını kazandırmaktaydı. Genellikle difüzyon direnci düşük taş, tuğla, kerpiç, kireç sıva gibi malzemeler kullanıldığından su buharının içerden dışarıya duvar geçişlerinde akımı önleyici bir tabakaya rastlanmamakta ve yoğunlaşma olmaksızın su buharı dış havaya karışmaktaydı. Kalın duvarlarda doyma nemliliklerinin yüksek oluşu dolayısıyla çok düşük sıcaklıklarda az miktarda yoğunlaşma olsa bile meydana gelen nem, duvara zarar verecek miktara erişmeden yaz mevsiminde tekrar kuruma imkanına sahip olmaktadır [20].

Günümüzde dış duvarlar taşıyıcılık niteliklerini kaybederek sadece dış ortam ile iç ortamı ayıran bölücü ve koruyucu bir eleman haline gelmişlerdir. Böylece homojen ve kalın bir duvar yerine, ayrı ayrı işlevleri olan, farklı malzeme ve katmanlardan oluşacak şekilde tasarlanmaya başlanmıştır. Yapı fiziği ile ilgili sorunların çözümü, yalıtım ve koruma malzemeleri ile sağlanmaya çalışılmaktadır [26, 63].

Dış duvar kendini içten ve dıştan etkileyen tüm etkilere karşı, kendini oluşturan katmanların tümünün niteliklerinden oluşan ortak bir davranış ortaya koyar. Katmanlar duvardan beklenen işlevleri karşılayacak şekilde seçilip düzenlenmelidir. Her bir katmanın belli bir işlevi vardır. Katmanların bu işlevleri karşılayamaması veya eleman bünyesinde yanlış sıralanması yapıda hasarlara yol açmaktadır. Özellikle duvarın yetersiz ısı tutuculukta olması, çok ince ve iletken malzeme ile yapılmış duvarlarda içten gelen su buharının duvar yüzeylerinde meydana getirdiği yoğunlaşma, bozulmaların ve hasarların en önemli kaynağıdır. Dış

duvarda, duvar ve kaplamanın farklı malzeme özelliklerinin göz önüne alınması gerekir. Çünkü, hiçbir katman diğerlerinden bağımsız değildir [26, 62].

Dış duvarları genel olarak 3 katman olarak ele alırsak bu katmanların özellikleri şöyle olmalıdır:

- Dış duvar iç kaplama malzemelerinin karşılaması gereken işlevler: rutubet dengeleyici ve buhar kesici olmalı (yüksek difüzyon direnci)
- Gövdenin karşılaması gereken işlevler: ısı biriktirici olmalı, sıcaklık değişimleri ile uyum içinde olmalı, ısı geçişini yeterli düzeyde engellemeli
- Dış duvar dış kaplama malzemesinin işlevleri: sıcaklık değişimleriyle bozulmamalı, genleşmeyi kontrol edebilmeli, su emmemeli, yağmur suyunu geçirmemeli, difüzyon olayını engellememeli (difüzyon direnci düşük olmalı), bileşen içindeki yoğunlaşma suyunun kurummasını kolaylaştırmalıdır.

4.4 Dış Duvar Örneğinde Malzemelerin Isı ve Su ile İlgili Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar

Farklı malzeme katmanlarından oluşan dış duvarlarda, malzemelerin ısı-su ile ilgili özelliklerinin farklılığı ve uyumsuzluğu hasarlara neden olmaktadır. Ancak hasar nedenleri bilindiği takdirde hasar oluşumunu önlemek mümkündür. Tablo 4.3’de malzemelerin ısı ve su ile ilgili özelliklerinin farklılığından kaynaklanan hasarlar özetlenmiştir. Tabloda, hasarlara sebep olan özellikler-bu özelliklerin farklılığından ortaya çıkan değişim-hasar ilişkisi incelenmiştir. Malzemelerin ısı-su ile ilgili özelliklerinden; ısı geçirgenlik ve iletkenliği, ısısal genleşme, su emicilik ve geçirimsizlik, buhar geçirimsizliği ve donma mukavemeti ele alınmıştır. Birarada kullanılan malzemelerde bu özelliklerin farklılığının yol açtığı fiziksel ve kimyasal değişim, hasar nedenlerini ortaya koymaktadır..

Hasar oluşumunu azaltmaya yönelik olan çalışmanın bu bölümünde, uygun yerde uygun malzeme kullanılması amacıyla, dış duvarda birarada kullanılan malzemelerin ısı iletkenlik, genleşme, su emicilik, buhar geçirimsizlik ve donma özelliklerinin farklılığının yol açtığı sorunlar ayrı başlıklar halinde incelenecektir.

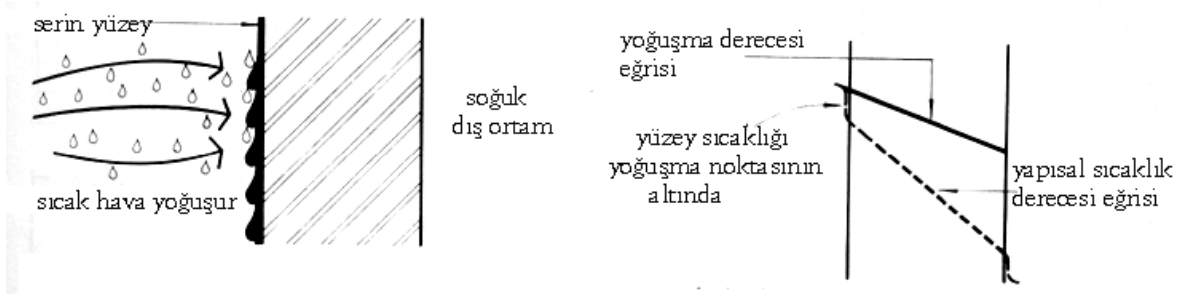
Tablo 4.3 Malzemelerin ısı ve su ile ilgili özelliklerinin farklılığından kaynaklanan hasarlar

SEBEP	DEĞİŞİM		HASAR
4.4.1 Isı Geçirgenliği ve İletkenliğindeki Farklılıklar	İç yüzey sıcaklıklarında farklılıklar ve ısı köprüleri	Yoğuşma	ısı geçirgenlik katsayısında yükselmeler, kaplama malzemelerinde kabarma ve dökülmeler, metallerde korozyon, ahşapta deformasyon, çiçeklenme, küflenme
		Isıl gerilmeler	çatlamalar
		Isı kayıpları	ısısal konforsuzluk
4.4.2 Isısal Genleşme Farklılıkları	İç gerilmeler ve ısısal deformasyon		çatlamalar, kaplamalarda dökülmeler, ek yerlerinde ayrılmalar
4.4.3 Su Emiciliğindeki ve Geçirimliliğindeki Farklılıklar	Malzeme bünyesindeki tuzların çözünmesi		yüzeyde lekeler-görünüş bozuklukları, çiçeklenme, adezyon kaybı
	Tuzların kristalizasyonu		sıvalarda ve kaplama malzemelerinde kabarma ve dağılmalar, çatlamlar, adezyon kaybı
	Suyun malzeme bünyesinde tutulması		malzemelerin ısı geçirgenlik dirençlerinde azalma, çürüme, küflenme, iç gerilme çatlakları, çiçeklenme, kaplamalarda kabarma, patlama, erime, metallerde korozyon
4.4.4 Buhar Geçirimliliğindeki Farklılıklar	Yoğuşma		malzemelerin ıslanması, şişme-büzülme, sıva dökülmeleri, boya bozulmaları, ısı yalıtım maddelerinin değerini kaybetmesi, taş ve tuğlanın ufalanarak dökülmesi, küflenme, organik ve neme hassas malzemelerin bozulması, kaplama malzemelerinde kabarma, çatlama ve patlamalar, malzemelerin ısı geçirgenliğinde artış
	Nem hareketine bağlı deformasyon		çatlamalar, bağlayıcılığın yok olması
4.4.5 Donma Mukavemetindeki Farklılıklar	Hacim genleşmeleri ve iç gerilmeler		parçalanmalar, çatlamalar, dökülmeler, malzeme iç yapısında bozulmalar

4.4.1 Dış Duvarda Malzemelerin Isı Geçirgenlik ve İletkenlik Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar

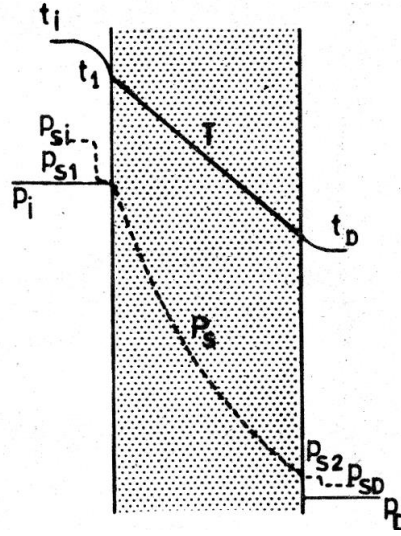
Duvar ve döşemelerin sınırladığı iç ortam, yaz ve kış belirli sıcaklık derecelerinde tutulmaya çalışılır. Bu sıcaklık derecesi, kullanılan hacme ve hacmi kullanan kişilerin alışkanlıklarına göre 18 ° ile 24 °C arasında değişir. Dış ortam sıcaklığı ise mevsimlere ve günün saatine bağlı olarak değişimler gösterir. Isı akımları, iç ve dış ortam arasında sıcaklık farkı olduğu zaman, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklık tarafına doğru olmaktadır [64]. Yazın ısı akım yönü dışarıdan içeriye, kışınsa içeriden dışarıya doğrudur. Bu ısı akımı iç ve dış ortamın sıcaklığına, bağıl nemine ve yapı kabuğunun niteliklerine bağlıdır [65].

Farklı malzemeler biraraya getirildiğinde, bu malzemelerin yoğunlukları, ısı iletkenlik değerleri, özgül ısıları farklı olduğu için iç yüzey sıcaklıkları da farklı, buna bağlı olarak iç hava sıcaklıkları da farklı olacaktır [66]. Malzeme iç yüzey sıcaklıklarındaki farklılıklar yüzey yoğuşmasına neden olmaktadır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Yüzey yoğuşması [56]

Malzeme yüzeyinde yoğuşma, ortam iç sıcaklığı ve ortamdaki bağıl neme bağlıdır [53]. Ortam sıcaklıkları ile malzeme yüzey sıcaklıkları arasındaki fark attığı takdirde yüzey yoğuşması görülür. İç ortam bağıl nemi sabit olduğuna göre, kabuk iç yüzeyinin sıcaklığı düştükçe, bu noktada bağıl nem yükselir. Yapı elemanının hava ile temas ettiği yüzünün sıcaklığı, havanın yoğuşma noktasına eşit veya daha düşük olursa, bağıl nem %100'e ulaşarak, hava içindeki su buharının bir kısmı o yüzeyde yoğuşarak su olarak ortaya çıkar [20]. Doymuş buhar basıncına erişilen yerde yoğuşma olur; başka bir ifadeyle iç yüzey sıcaklığı t_1 'e karşılık gelen doyma basıncı (P_s) o noktadaki gerçek buhar basıncı (P_i) ile çakışmaktadır (Şekil 4.16) [65].



Şekil 4.16 Yoğuşmada buhar basıncı faktörü [65]

Havanın tutabileceği su buharı miktarı sıcaklık değişimleriyle birlikte değişmektedir. Sıcaklık arttıkça havanın tutabileceği su buharı miktarı da artar, maksimum su buharı içeren hava doymuştur. Yoğuşma, havadaki su buharı miktarının, bu sıcaklıkta taşıyabileceği maksimum su buharı miktarını aştığı takdirde görülen, atmosferdeki su buharının sıvı hale dönüşmesi olayıdır [30].

Yoğuşma olayı bir ısı yalıtım fonksiyonudur. Isı yalıtımının yetersiz olduğu durumlarda ortaya çıkabilir. Isı yalıtımı yeterli olsa da eleman katmanlarının yanlış sıralanması yoğuşmaya yol açabilir [21].

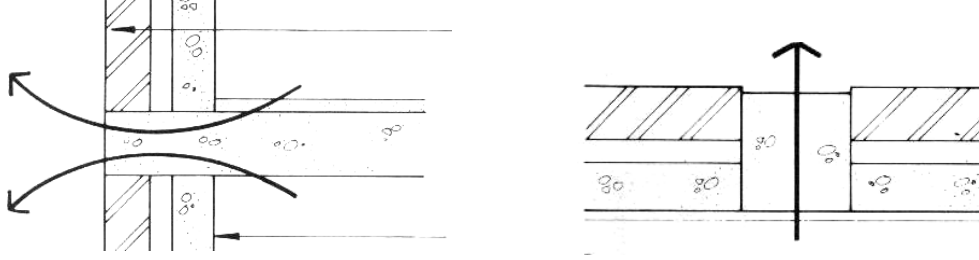
Yoğuşma olayına etki eden faktörler:

- havada bulunan su buharı
- yapı elemanlarının su ve su buharı ile ilgili özellikleri
- sıcaklık farklılıkları ve yapı elemanlarının ısı transferi

Yüzey yoğuşmasında ısı yalıtımının süreksizliği önemlidir, ısı köprüleri oluşur ve sıcak hava yoğuşur. İç yoğuşma ise sıcaklık farklılıkları da dahil olmak üzere farklı buhar basınçlarından kaynaklanmaktadır [67].

Isı köprüleri, bir yapı bileşeni bünyesinde etraflarına göre daha az ısı geçirgenlik direncine sahip olan, yani bileşenden geçen ısının soğuk tarafa doğru akmasında köprü görevi gören bölgelerdir [21]. Isı köprüleri genellikle eleman yapısında davranış açısından farklı malzemelerin bağlantı yerlerinde ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.17’de görüldüğü gibi iskelet yapılarda dolgu duvar elemanları ile iskelet elemanları

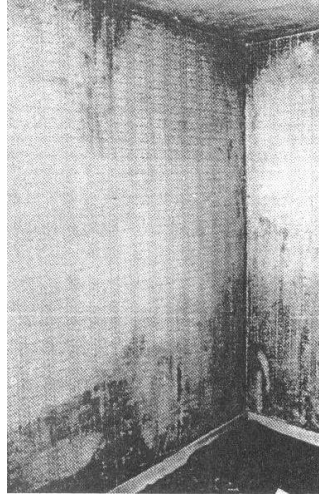
farklı malzemelerden oluştuklarından daha yoğun, dolayısıyla ısı iletimi daha fazla olan iskelet elemanları ısı köprüsü oluştururlar [68].



Şekil 4.17 İskelet yapıda dolgu ve taşıyıcı malzeme arasında ısı köprüsü oluşumu[56]

Yoğuşan su buharı malzemenin ısı geçirgenlik katsayısını olumsuz yönde etkilemektedir. Sudan ısı geçişi daha fazla olduğundan, malzemelerin ısı tutuculuğu azalmaktadır.

Yoğuşma olayı, yapı elemanı içindeki metal elemanları korozyona uğratmakta, ahşabın deformasyonuna sebep olmakta, akış yönünde yüzeysel çiçeklenmelere ve kaplama malzemelerinin kabarma ve dökülmelerine neden olmaktadır (Şekil 4.18). Özellikle homojen olmayan ve birkaç malzemenin biraraya geldiği yapı elemanlarında ortaya çıkan bu sorunun çözümü için, detaylandırmalarda yoğuşma hesaplarının yapılması ve bu hesaplardan çıkan sonuçlara göre malzemelerin yan yana getirilmesine dikkat edilmelidir [53].

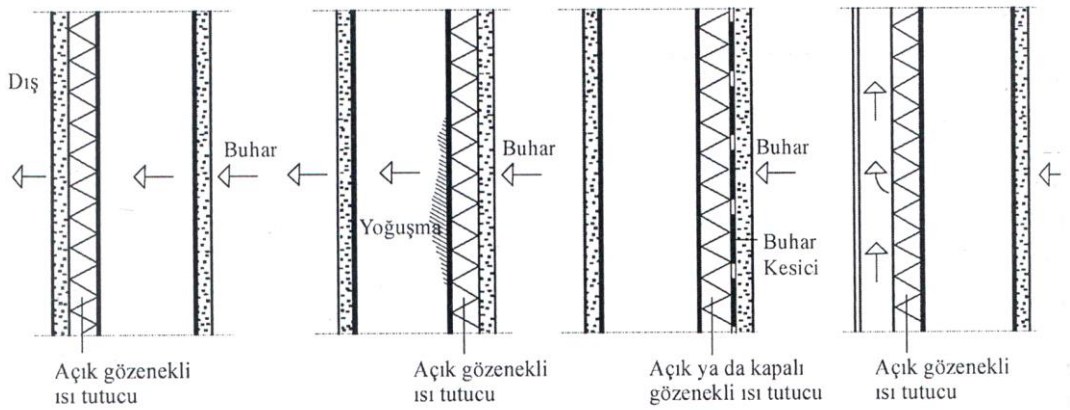


Şekil 4.18 Yüzey yoğuşması sonucu küf oluşumu [30]

Duvar kesitini oluşturan malzemelerin düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olması ısı köprülerini ve ısı kayıplarını önleyerek gerekli ısısal konfor şartlarının sağlanmasına yardımcı olur. Isısal dirençleri yüksek malzeme seçimi yoğuşmayı

önleme yöntemlerinden biridir. Isısal etkilere bağlı olarak malzeme birleşimlerinde ortaya çıkan yoğuşma hasarlarının giderilmesi için ısı yalıtımı ile de önlemler alınabilir. Havanın nem miktarı havalandırma ile kontrol edilebilir, havanın sıcaklığı ısıtma ya da havalandırma ile azaltılabilir, yüzey sıcaklığı ise ısı yalıtımına bağlıdır. Yüzey sıcaklığı iç ortam sıcaklığına ne kadar yakın olursa, yüzeysel yoğuşma olasılığı da o kadar azalmaktadır. Isı yalıtımı ile malzeme yüzey sıcaklıkları yoğuşma noktasının üzerine çıkarılarak yoğuşma önlenir [30].

Isı yalıtım malzemesinin kendisinden beklenenleri karşılayabilmesi için, diğer malzemelerle beraber kullanılarak eleman haline getirilmesi söz konusudur. Bu durumda ısı yalıtkanının yeri, beraber kullanılan malzemelerin ısı iletkenliği, yoğunluğu, ısınma ısı ve buhar difüzyon direnç faktörleri göz önüne alınarak eleman tasarımını yapmak daha gerçekçi ve daha yüksek performanslı yapı elemanının elde edilmesini sağlayacaktır (Şekil 4.19) [18].



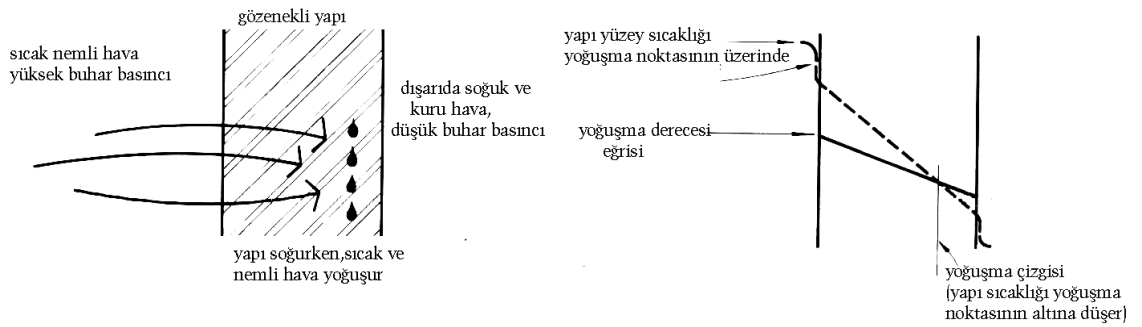
Şekil 4.19 Isı yalıtım ve buhar kesici malzemeleri yapıdaki yerleri [13]

Isı köprüleri, ısı geçirgenlik direncinin düşük olmasından dolayı ısı kayıplarına yol açmaktadır. Isı kayıpları, yapının ısı etkilerinden korunmasını engelleyeceği için ısısal yönden konforsuzluk yaratır ve farklı yüzey sıcaklıkları konforsuz bir ortam oluşturarak kullanıcıların performansını düşürür. Isı kayıplarının yüksek olması, iç hacimleri ısıtmak için daha çok enerji harcanmasına ve böylece yakıt giderlerinin artması yanında çevrenin de gereksizce kirlenmesine neden olmaktadır [68].

Isı köprüsü oluşunca, yüksek düzeyde sıcaklık farklarına bağlı olarak ısı gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Bu gerilmelerin kısıtlanması, malzemelerde çatlamalara, dış katmanlarda oluşacak çatlaklardan sızan su da, duvarın ıslanmasına ve yapı hasarlarına neden olmaktadır.

Yapı elemanlarının ısı yalıtma yeteneği, ısı geçirgenlik direnci ile belirlenmektedir. Burada yapı elemanını oluşturan malzemelerin cinsi, ısı iletkenlik katsayıları ve kalınlıkları önemlidir. Yapı elemanında ısı yalıtma yeteneği, kalınlığın büyümesi veya ısı iletkenlik katsayısının küçülmesi ile artar.

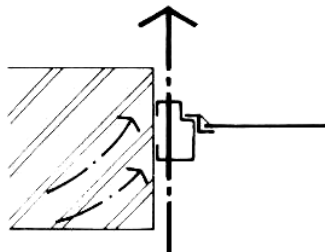
Duvarların incilmesiyle birlikte ısı geçirgenlik dirençleri önemli bir miktarda düşmüştür. Isı geçirgenlik direnci düşük bir duvarda buhar difüzyonu sırasında buhar, kolaylıkla yoğuşma sıcaklığının altına inerek su haline gelmekte ve yoğuşma ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.20). Yoğuşma sonucunda oluşan su, kılcal yolla emilir ve duvar içinde ilerleyerek duvar bünyesini nemlendirir.



Şekil 4.20 İç yoğuşma [56]

Duvarların ısı geçirgenlik dirençlerinin yükseltilmesi ve duvar yüzeyinde meydana gelen yoğuşmanın önlenmesi amacıyla duvarlar tabakalı olarak yapılmaya ve ısı yalıtım malzemesi kullanılmaya başlanmıştır.

Düşük ısı geçirgenlik direncinden dolayı, duvarın dış yüzey sıcaklığı çok düşük oluyorsa, buradaki ısı akımı, kullanıcı sağlığı açısından sakıncalı olup, ısısal yönden konforsuzluk yaratır.



Şekil 4.21 Doğrama-duvar arasında ısı köprüsü [56]

Duvarlarda döşeme-dış duvar bağlantıları, doğrama lentoları, doğrama boşlukları gibi sürekliliğin sağlanamadığı noktalarda ısı köprüleri oluşur ve ısı kayıpları ortaya çıkar (Şekil 4.21). Örneğin geleneksel tuğla duvarlarda, belirli bir aralıkta ısı

korunumu değeri taşıyan yapı taşları ile bunlar arasında geleneksel bağlantı sağlayan ve belli bir ısı korunum değeri taşımayan derz harçları arasında ısı korunumu açısından uyumsuzluk vardır. [57] Dış duvarda kaplama malzemesinin değişiklik gösterdiği yerlerde de (tuğla-sıva gibi) ısı kayıpları ve ısı köprüleri oluşmaktadır.

Duvar sistemi içinde ısı geçirgenlik direnci farklı malzemelerin neden olacağı hasarların önlenmesi, ısı geçirgenlik direnci düşük malzeme ya da bileşenin ısı tutuculuk değerinin artırılması ve malzemenin yüzey sıcaklık derecesinin yükseltilmesi ile sağlanır. Bu amaçla kullanılacak yalıtım malzemesinin duvarın iç yüzüne uygulanması yoğuşma olasılığını artırmaktadır. Bu durumda, yalıtım malzemesi içinde oluşabilecek yoğuşmanın engellenebilmesi için duvar iç yüzeyine bir buhar kesici uygulanmalıdır. Isı yalıtım malzemesinin duvarın dış yüzüne doğru kaydırılması yoğuşma olasılığını azaltmaktadır. Bu durumda, ısı yalıtım malzemesinin buhar difüzyon direnci yüksek olmayan malzemeden seçilerek, buhar difüzyon akımını kesmesi önlenmelidir [59].

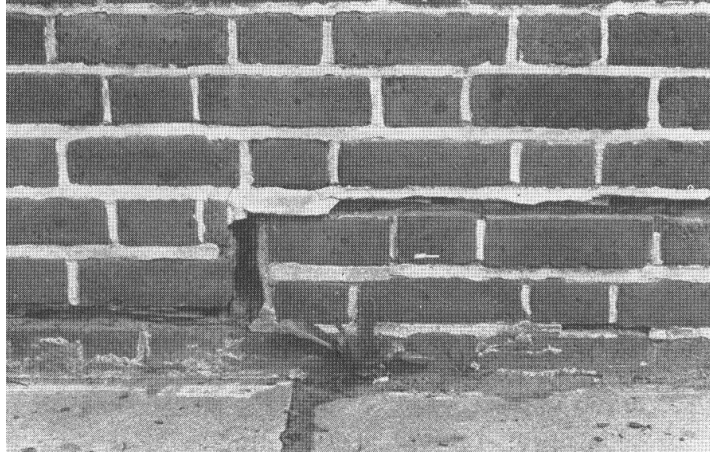
4.4.2 Dış Duvarda Malzemelerin Isısal Genleşme Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar

Sıcaklığın yükselmesi malzemelerde genleşme etkisi yapar. Bütün malzemeler sıcaklık etkisiyle genişir ve büzülürler. Boyutlardaki bu değişiklikler kendi başlarına zararsızdır. Bir yapıda uyumsuz malzemelerin kombinasyonu sonucundaki farklı hareketler problemlere sebep olabilir [55]. Çünkü, ısı etkisi ve koşullar değişmediği halde ısısal genleşme özellikleri farklı olan malzemelerin, boyutlarındaki değişim miktarları da birbirinden farklıdır. Etki ve koşullar aynı tutulduğu halde sıcaklık değişmesi halinde malzemeler farklı tepkiler gösterirler [69].

Isısal genleşme, malzemede meydana gelen iç gerilmeler, sıcaklık değişim hızı ve malzemelerin ısı iletkenlik değerleriyle ilgilidir [70]. Yapı bütününe hareketinden bağımsız olarak bu etki dış kaplama malzemeleri arasında ve aynı yapı elemanında beraber kullanılan farklı ısısal genleşme katsayısına sahip malzemelerde deformasyon sonucu ek yerlerinden ayrılmalara, çatlama, kabarma ve dökülmelere neden olmaktadır.

Genleşmenin kısıtlanması da gerilme hareketleri sonucunda hasarlara yol açabilmektedir. Farklı genleşme katsayısına sahip malzemelerin birarada kullanılması halinde malzemelerin hareketine olanak verecek detaylar

kullanılmalıdır. Yapının farklı kısımları farklı hızlarda ısı alışverişinde bulunuyorsa, bu hasarlara neden olan gerilmeler daha da tehlikelidir. Malzemenin genleşmesinin hasar oluşturmaması için uygun bir noktada dilatasyon derzi yapılarak, elastik bir malzeme ile doldurulmalıdır [70]. Şekil 4.22’de ısısal hareketlere uygun genleşme bağlantıları bırakılmadığı için tuğla duvarda genleşme çatlakları görülmektedir.



Şekil 4.22 Tuğla duvarda genleşme hasarı [10]

Sıcaklığın yükselmesi, kaplama ve koruma malzemelerini olduğu kadar, duvar malzemelerini ve taşıyıcı sistemi de etkiler ve bunların boyutlarının değişmesine neden olur. Bu nedenle taşıyıcı sistemde 25-30 m’de bir genleşme derzi yapmak gerekmektedir [71].

Duvar dolgu malzemesi ile taşıyıcı sistemdeki genleşme miktarları arasındaki farklılık önemlidir. Dolgu malzemesi seçilirken taşıyıcı iskelet sistemin genleşme miktarları hesaba katılmalıdır [69]. Farklı duvar dolgu malzemelerinin birarada kullanılması sonucu, bunların farklı genleşmesi, üzerindeki sıvayı çatlatabilir. Sıvanın çatlaması ise, bu çatlaklardan suyun girişini kolaylaştırarak, malzemenin ıslanmasına ve yeni bir tür hasar oluşumuna yol açar.

Cephe kaplamaları, ısı ve nem değişimlerinden duvara göre daha fazla etkilenir. Bunun için kaplama ve duvarın farklı deformasyon göstermeleri gerilmelere neden olur. Kaplamanın hareketinin kısıtlanması ise, basınç gerilmelerinin artışına neden olacaktır. Isıya bağlı gerilmeler; duvar ve kaplamaların ısısal genleşme katsayılarının farkı arttıkça, kaplamanın rengi koyulaştıkça ve dış duvar tabakasının ısı depolaması fazlaştıkça artar [72].

Dış kaplamanın ısısal genleşme katsayısı, gövdenin ısısal genleşme katsayısına yakın olmalıdır. Bu durum sağlanamıyorsa, derzler ve derzlerin elastik harçla doldurulması ile bu etkiler en aza indirilebilir. Derzsiz ve rijit derzli ufak elemanlardan oluşmuş kaplamalar, ısısal genleşme ile birbiri üzerine basınç gerilmeleri uygularlar, aderansın zayıf olduğu yerde veya köşelerde malzemede ayrılma ve dökülmeler görülür. Bu durumda belirgin derzli ve elastik derz dolgularının kullanılması, ısısal genleşmeden ileri gelecek bozulmaları önleyebilir [64].

Yapı dış duvarında ısısal genleşmeleri önlemek amacıyla; genleşme katsayıları birbirinden farklı sıva türü ve duvar bileşenini biraraya getirmemek ve karkas binalarda strüktürü, ısısal hareketlerden doğacak gerilmeleri karşılayacak biçimde tasarlamak gerekir. Örneğin kireç bağlayıcılı sıvaların, elastik yapısından dolayı ısısal genleşmelere karşı dayanımı vardır. Ancak çimento bağlayıcılı sıvalarda, düşük elastikiyet özelliği ve kinetik enerji etkileşimi ile oluşan ısısal genleşmeler sonucu sıva yüzeyinde çatlamalar meydana gelir. Ayrıca astar yüzeyinin farklı genleşme, su emme, ısı ve buhar geçişine sahip malzemelerden oluşması ve yeterli önlemlerin alınmaması sonucu da sıva yüzeylerinde hasarlar görülür [73].

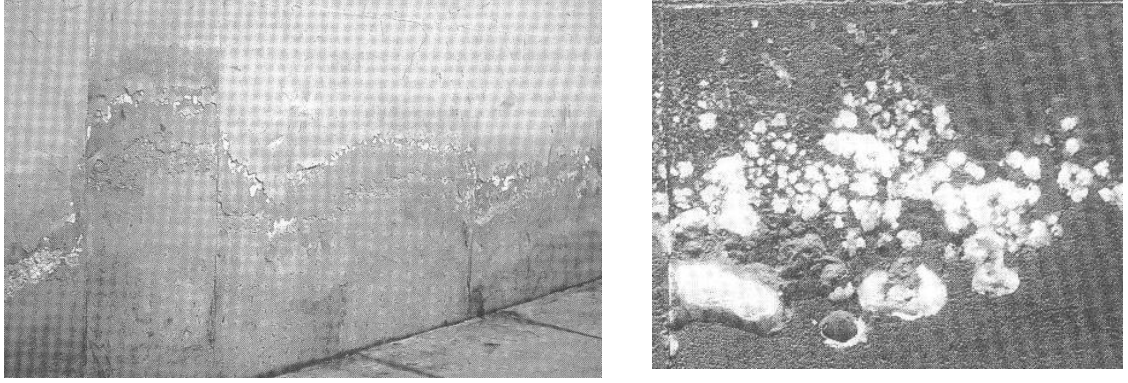
Parapet duvarını oluşturan malzeme ile parapet duvarının oturduğu taşıyıcı yapı farklı malzemeden olduğu takdirde (parapet duvarı genellikle tuğla, altındaki taşıyıcı yapı ise betonarme kırıstır) bu iki malzeme farklı miktarda genleşecek ve farklı miktarlarda büzülecektir. Sonuçta iki ayrı malzemenin arakesitinde ve bu arakesiti örten sıvada çatlaklar oluşacaktır [74].

4.4.3 Dış Duvarda Malzemelerin Su Emicilik ve Geçirimlilik Özelliklerinin Farklılığından Kaynaklanan Hasarlar

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 [67].

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 yol açar. Malzemeler arası su transferi, çözünen tuzların da taşınmasına sebep olur. Çözünen bu tuzlar çiçeklenmeye neden olur.



Şekil 4.23 Betonda çiçeklenme [30]

Çiçeklenme; tuzların çözünmesi ve suyun buharlaşması sonucunda gözenekli malzemelerin yüzeyinde ve yakınlarında çözünebilir tuzların depolanmasıdır (Şekil 4.23). Çiçeklenmenin sonucu olarak boya, sıva gibi bitiş malzemeleri yüzeyle olan adezyonlarını kaybedebilirler. Çiçeklenmeye neden olan tuzlar malzeme bünyesinde bulunabileceği gibi, topraktan gelen suyun içinde de bulunabilir [30].

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 görülür ve tuzlar sıva tabakası altında çöker ve şişer, duvarla bağımsız kabukların oluşmasına ve dökülmesine neden olur. Dışarıda ise bu tuzlar yüzeyde beyaz lekelerle sebep olur [26].

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 lekeler oluşur.

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, emilebilir sıvı miktarının yüzdesidir ve doyma ile sınırlanır. Emme özellikleri malzemenin porozitesi ile ilgilidir, gözenekli malzemelerde

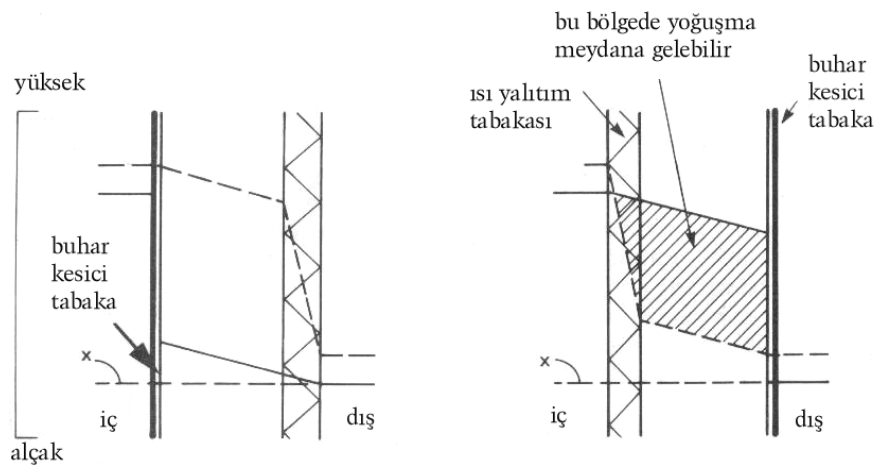
emcilik fazladır. Malzemenin emiciliği yüksekse, suyun akış hızı ve lekelenmeler azalır. Malzemelerin eriyebilirlik özelliği arttıkça lekelenme eğilimi de artar [30].

4.4.4 Dış Duvarda Malzemelerin Buhar Geçirirlik Özelliklerindeki Farklılıklardan Kaynaklanan Hasarlar

Yapı elemanının bir yanında sıcak, diğer yanında daha soğuk hava bulunuyorsa, sıcak tarafta soğuk tarafa göre çok daha fazla su buharı molekülleri vardır. Isının daha soğuk tarafa akması gibi, buhar molekülleri de daha az basınç olan yöne akarlar [21].

Buhar difüzyonu, yapı elemanının her iki tarafındaki buhar basınç farkından oluşan su buharı hareketidir. Buhar difüzyonu olayı kesitteki malzemelerin buhar geçirgenlik özelliklerine, ortam sıcaklığına, ortam ile eleman yüzey sıcaklık farkına ve yüzeydeki nem hareketlerine göre değişmektedir [65].

Havada su buharının bulunma yüzdesi sıcaklığa ve bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. 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 da bağlı nem denir. Bağıl nemin yaptığı basınç, doymuş buhar basıncının bağıl nem yüzdesi ile çarpımından bulunur. Ortamın bağıl nemi sıcaklık arttıkça düşer, sıcaklık azaldıkça bağıl nem fazlalaşır, %100 değerine vardığı zaman havanın taşıma kapasitesinin üstündeki su, buharı su şeklinde yoğuşur [64].



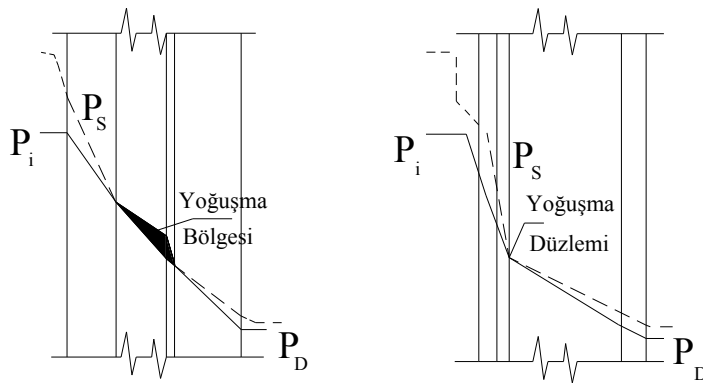
x = iç buhar basıncının dışarıya eşit olduğu yoğuşma noktası sıcaklık derecesi

Şekil 4.24 Buhar kesicinin yeri [30]

Yapı kabuğunu oluşturan malzemeler, difüzyon olayına karşı birbirinden farklı dirençler ortaya koyabilirler. 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 [20]. Malzemelerin difüzyon dirençleri buhar akım yönünde azalacak şekilde tasarlanmışsa, buhar dış ortama duraksamadan çıkar (Şekil 4.24). Katmanlara ait difüzyon dirençlerinin buhar akım yönünde artarak sıralanması ise, buhar akışının yavaşlatılması ve yapı kabuğu içinde uzun süre kalması demektir [57]. Difüzyon direnci yüksek malzemelerin olduğu yerde hava ve yüzey sıcaklığının düşmesi dolayısıyla malzeme yüzeyinin soğuması ve havadaki nem oranının artması sonucu havanın içinde bulunan buharın bir kısmı yoğunlaşıp su haline dönüşür [70]. Bu olaya yoğunlaşma denir. İki türlü yoğunlaşma vardır:

- Görünür yoğunlaşma: Yüzeyde gerçekleşen yoğunlaşmadır.
- Gizli yoğunlaşma: Katmanlaşmış bir yapı kabuğu içinde su buharının kesitin bir yerinde yoğunlaşmasıdır.

Buhar difüzyonuna karşı benzer fiziksel performans gösteren katmanlı yapı elemanlarında yoğunlaşma bölgesi söz konusu iken, farklı nitelikteki malzemelerden oluşan kabuk kesitinde ise düzlemsel yoğunlaşma söz konusudur (Şekil 4.25) [65].

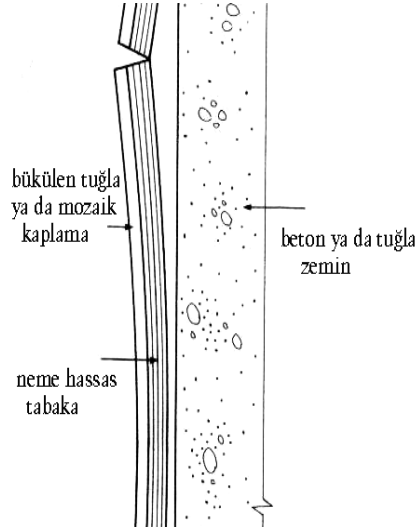


Şekil 4.25 Düzlemsel ve bölgesel yoğunlaşma

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 [30].

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. Islanan ve ısı iletkenliği artan yapı kesitinde yoğunlaşma daha da artar. Nemlenen kabuk elemanı iç ortam konforunu olumsuz etkiler. Kesit ıslanmadan etkilenmeyecek malzemelerden oluşsa bile, yoğunlaşan suyun buharlaşmak istemesi sonucu oluşan kuvvetler kesitin buhar difüzyon direnci yüksek katmanlarını zorlayarak hasarlara neden olabilirler [65].



Şekil 4.26 Farklı nem hareketleri sonucu kaplama malzemesinde bükülme ve kırılmalar [56]

Malzemeler nemlenme sonucunda şekil ve hacim değişikliğine 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. Zemin rötreye uğrarken, üzerine kaplanan bitiş malzemesinde basınç etkisi görülür. Şekil 4.26'daki örnekte de görüldüğü gibi bu basınç etkisini karşılamak için, bitiş malzemesi dışa doğru bükülecek ve bu da kırılmasına yol açacaktır.

Nem hareketleri sadece nem emme ve verme kabiliyeti olan malzemelerde görülür. Bazı gözenekli malzemeler diğerlerinden daha fazla miktarda nem emebilir. Malzemelerin nem miktarlarındaki hızlı değişimler ve kısıtlanan nem hareketleri kırılmalara neden olmaktadır.

Nem hareketleri geri dönüşümlü veya dönüşümsüz olabilir. Ahşap ve pişmiş toprak malzemelerde geri dönüşümü olmayan nem hareketleri görülür. Fakat ahşap higroskopik bir malzeme olduğundan geri dönüşümlü nem hareketleri daha büyük ve

daha önemlidir. Bu hareketler kendisinin ya da kaplandığı bitirme malzemelerinin (sıva, boya gibi) çatlamasına yol açar.

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.

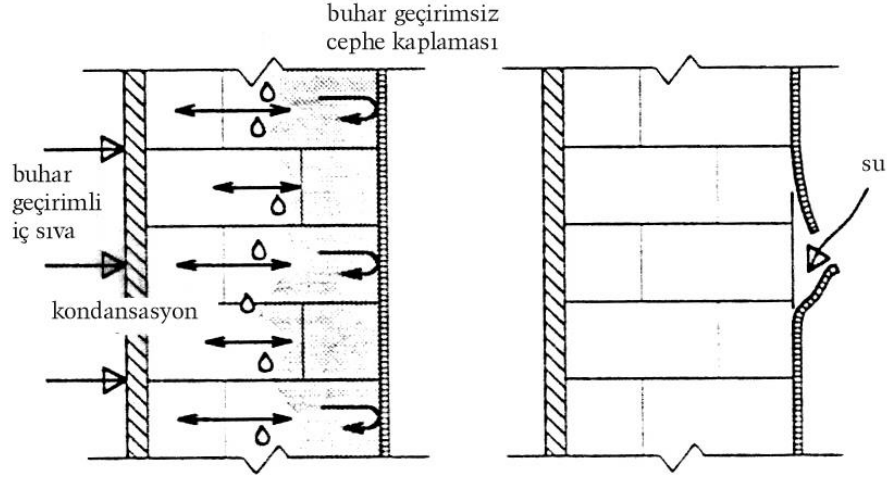
Farklı nem hareketlerinden kaynaklanan çatlamalar pişmiş toprak malzemelerden yapılan döşeme kaplamalarında da görülür. Kaplama-zeminin farklı hareketleri ve hareketteki kısıtlama, kaplamanın zemine adezyonunun çimento ile sağlanmasından kaynaklanmaktadır [10].

Duvar yapımında kullanılan hemen hemen tüm yapı malzemeleri, az veya çok gözenekli yapıları nedeniyle, çevredeki nemi bünyelerine alma, depolama, taşınmasını sağlama ve tekrar bünyelerinden atma özelliğine sahiptir. Nem taşınma tipleri arasında, olağan koşullarda, sürekli olarak meydana gelen ve en etkili olanı, buhar difüzyonudur. Çok katmanlı duvarlarda kullanılan farklı malzemelerin farklı nem geçirgenlik özelliklerine sahip olmaları nedeniyle, taşınan nem bazı katmanlardan hızlı bir şekilde geçerken, bazı nem geçirgenlik direnci yüksek katmanların önünde birikmesi söz konusu olabilmektedir. Dış duvarlardaki nemliliğin en önemli ve sürekli nedeni buhar difüzyonu sonucu oluşan nem birikmesidir [63].

Duvar bünyesinde istenmeyen kesimlerde veya istenmeyen miktarda yoğunlaşma, elemanın nemlenmesine neden olur ve nemlenmeden kaynaklanan olaylar dizisini başlatır. Bu, duvarın tüm fiziksel 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 direnci, buhar difüzyon direnci yüksek oldukları 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 yoğunlaşma olasılığı artacaktır (Şekil 4.27). Su buharının dışarı atılamayıp bu geçirimsiz tabaka altında yoğunlaşarak 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 [26].



Şekil 4.27 Cephe kaplama malzemesinin buhar geçirimsizliği dolayısıyla yoğuşma [12]

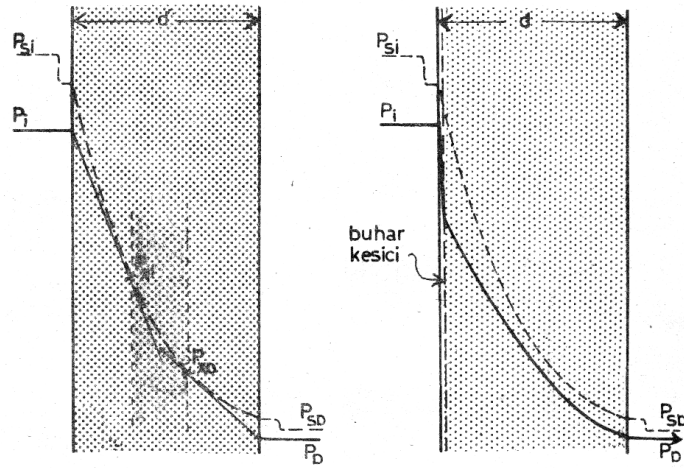
Buhar geçirgenliği düşük olan sıvalarda nem oranının ve sıcaklığın değişmesi sonucu buhar, sıva kaplaması altında yoğuşarak birikir ve genişleme sonucu çatlamalara neden olur [73].

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. [26]



Şekil 4.28 Duvarda malzemelerin ısı ve buhar geçirgenlik dirençlerinin yönü [30]

Kesit içinde su buharı yoğuşması halinde bunun önlenmesi veya 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 (Şekil 4.28) [30]. Bu sayede nemin ısı yalıtım malzemesine geçmesi de önlenmiş olur. Böylece kesitin iç ve sıcak tarafında yer alan buhar difüzyon direnç faktörü yüksek buhar kesici malzeme katmanı ile P buhar basıncı kesitin içine azalarak girmekte (Şekil 4.29) ve P_s doyma basıncını ifade eden kesikli çizgiye değmemektedir (yoğuşma yok) [65].



Şekil 4.29 Duvar kesitinde buhar kesicinin rolü [65]

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 direnci 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 zorunlu olur [57].

4.4.5 Dış Duvarda Malzemelerin Donma Mukavemeti Özelliklerinin Farklılıklarından Kaynaklanan Hasarlar

Suyun gözenekli malzeme bünyesine girdikten sonra hasarların önemli nedenlerinden biri donma etkisidir. Donma etkisi malzemenin nem kapasitesi ve ortamın sıcaklık hareketleriyle ilgilidir. Sıcaklık azalıp 0°C'nin altına düştüğü zaman malzeme boşlukları içine emilmiş su donarak buz haline geçer. Bu geçişte %9 oranında bir hacim artışı olur [75]. Katı hale geçerek hacim genişlemesine uğrayan su malzemede iç gerilmelere neden olur. Bu da malzemeyi genişlemeye uğratarak çatlama, parçalanma ve dökülmesine neden olur.

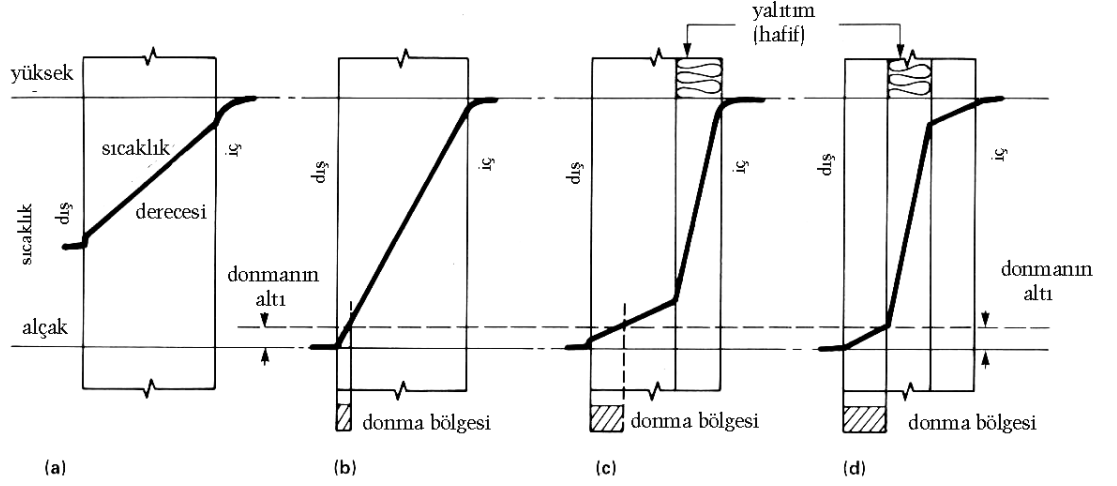
Malzemenin nerede ve nasıl kullanılacağı aşamasında donma direnci bilinmelidir. Donmanın gerçekleşebileceği yerlerde daha dayanıklı malzemeler seçilmelidir. Donmaya mukavemet özellikleri farklı olan malzemelerin birarada kullanılması sonucunda, donma mukavemeti düşük olan malzemenin donmasıyla genişlemesine ve çevresindeki diğer malzemelere zarar vermesine sebep olabilir.

Donma hareketinden kaynaklanan kırılmalar, ısısal ve nemsal hareketlerden kaynaklananlarla kıyaslandığında daha önemsizdir. Donma olayı malzeme yüzey tabakalarının parçalanıp dökülmesine yol açar ve başka nedenlerden oluşan kırılmaları daha kötü hale getirir, kırılmalar dışında yapısal zayıflığa neden olur [10].

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. Aynı porozitedeki malzemelerden doyma katsayısı düşük olan donma hasarlarına daha dayanıklıdır. Küçük gözenekli malzemelerin kapilarite ile emme kuvvetleri daha yüksektir ve bünyelerine aldıkları suları büyük gözeneklilerden daha zor bırakırlar; dolayısıyla donma hasarlarına daha açıktırlar. Malzeme bünyesine su girişi engellendiğinde, donma etkilerine karşı da korunmuş olacaktır [25].

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 (Şekil 4.30). 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 [30, 73].



Şekil 4.30 Isı yalıtım malzemesinin duvardaki yerine göre donma bölgesinin genişliği [31]

4.5 Bölüm Sonucu

Farklı malzeme performansı sebebiyle hasar oluşumunda, malzemelerin ısı ve su ile ilgili özellikleri önemli bir yer tutar. Su ve ısı etkisine maruz kalan malzemelerde görülecek hasar ve problemlerin engellenmesi için malzeme özellikleri ve yapı fiziğine etkisi bilinmelidir. Malzemelerin ısı ve su ile ilgili özellikleri birbirinden ayrılmaz. Su ile ilgili özelliklerdeki yetersizlik, malzemelerin ısı ile ilgili özelliklerini de olumsuz yönde etkiler ve bunun tersi ifade de doğrudur.

Farklı malzeme katmanlarından oluşan dış duvarlar, çok yönlü pek çok etki altında kalan bir yapı elemanı olup, bünyedeki yetersizliklerden kaynaklanan hasarların yığılma noktalarıdır. Bu bölümde birarada kullanılan malzemelerin ısı ve su ile ilgili performans özelliklerinin farklılığından kaynaklanan hasarlar dış duvarlar üzerinde incelenmiştir. Hasara sebep olan özellikler, bu özelliklerin farklılığının yol açtığı değişim ve hasar ilişkileri Tablo 4.3’de özetlenmiştir. Bu ilişki doğrultusunda, ortaya çıkan hasar nedenleri aşağıda sıralanmıştır;

- Birarada kullanılan malzemelerin ısı geçirgenlik ve iletkenliklerindeki farklılıklar; ısı köprüleri ve iç yüzey sıcaklıklarında farklılıklara yol açarak

yoğuşma, ısı gerilmeler ve ısı kayıpları gibi hasar nedenleri ortaya çıkarmaktadır.

- Sıcaklığın değişmesi halinde, malzemelerin farklı tepkiler göstermesi ısısal genleşme katsayılarının farklı olmasından kaynaklanmakta ve ısısal deformasyon, iç gerilmeler gibi değişimler sonucu yapıda çeşitli hasarlara neden olmaktadır.
- Farklı su geçirimsizliğine sahip malzemelerin yan yana kullanılması, suyun yapı dışına çıkışını engelleyip malzeme bünyesinde kalması, çözünen tuzların suyla taşınması ve kristalizasyonu sonucu hasar oluşumuna yol açmaktadır.
- Birlikte kullanılan malzemelerin buhar geçirimsizlik özelliklerinin farklılığının göz önünde bulundurulmaması sonucu nem hareketine bağlı deformasyon ve yoğuşma gibi hasar nedenleri görülebilir.
- Malzemenin nerede ve hangi amaçla kullanılacağı aşamasında donmaya direnci de bilinmelidir. Donma mukavemeti farklı malzemeler hacim genleşmeleri ve iç gerilmeler sonucu donma hasarlarına neden olur.

Yapının kendisinden beklenen işlevleri sağlayabilmesi için, bu hasarlara neden olan faktörlerin bilinmesi, onarım yapmaktan daha önemlidir. Ancak hasar nedenleri bilindiği takdirde, hasarı gerçek anlamda ortadan kaldırmak ya da oluşumunu önlemek mümkündür. Bu da malzeme özelliklerinin bilinmesine ve buna bağlı olarak uygun yerde kullanılmasına bağlıdır.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR

Malzeme performansı; farklı malzemelerin aynı koşullarda ya da aynı malzemenin farklı koşullarda farklı davranış göstermesine bağlıdır. Bu çalışmada aynı koşullarda farklı malzemelerin davranış özellikleri (değişken olmayan parametreler) ele alınmıştır.

Birarada kullanılan malzemelerin farklı özelliklere sahip olması ya da farklı koşullar altında bulunmasının malzemede fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu yapı hasarlarına yol açtığı görülmüştür. Yapıda hasar oluşumunu engellemek için öncelikle bunları ortaya çıkaran faktörlerin tespit edilmesi ve ortadan kaldırılması gerekmektedir. Malzemede hasar oluşturan faktörlerin bilinmesi malzeme seçimi açısından da önemlidir. Bu nedenle, malzeme seçiminde her bir malzemenin sahip olduğu özelliklerin önemli bir yeri vardır. Ancak malzeme özelliklerinin bilinmesi ve kullanılacağı amaca göre iyi bir performansla sahip olması yeterli değildir. Çünkü malzemenin sahip olduğu özellikler, soyutlanmış malzeme olarak değil, yapıda kullanıldığı yere ve birarada kullanıldığı diğer malzemelerle etkileşimine göre değerlendirilmelidir.

Mekanik, fiziksel, kimyasal etkenler karşısında malzemelerin göstereceği davranışlar bünye özelliklerine göre değişmektedir. 2. Bölüm’de malzeme iç yapısı, mekanik, ısısal, su-nem, ses, elektrik, ışık ile ilgili ve fiziko-kimyasal özellikler başlıkları altında malzemelerin bünye özellikleri hakkında, literatür araştırması yapılarak genel bilgiler verilmiştir.

Farklı malzemelerin birlikte uyum içinde kullanılması ve doğru malzeme seçimi için malzeme türlerinin sahip olduğu bünye özellikleri bilinmelidir. Bu amaçla 3.Bölüm’de doğal taşlar, bağlayıcılar, suni taşlar, pişmiş toprak malzemeler, cam, metaller, ahşap, plastikler, bitümler ve kompozit malzeme sınıflarının davranış özellikleri incelenmiştir.

Yapıdaki hasarların temel nedenleri arasında ısı ve nem hareketlerine bağlı değişimler gelir. Malzemede ısı, su ve nem faktörleri nedeniyle meydana gelen hasarlar önemli bir yer tutar. 4. Bölüm’de ısı ve su ile ilgili malzeme özellikleri birbirleriyle ilişkili olduğu için beraber ele alınmıştır. Bu bölümde, birarada kullanılan malzemelerin ısı ve su ile ilgili performans özelliklerinin farklılığından kaynaklanan hasarlar, farklı malzeme katmanlarından oluşan dış duvarlar üzerinde incelenmiş ve hasara sebep olan özellikler-bu özelliklerin farklılığının yol açtığı değişim-hasar ilişkisi tablo ile özetlenmiştir (Tablo 4.3). Bu doğrultuda, hasarı ortaya çıkaran nedenler şöyle sıralanabilir:

- Birarada kullanılan malzemelerin ısı geçirgenlik ve iletkenliklerindeki farklılıklar; ısı köprüleri ve iç yüzey sıcaklıklarında farklılıklara yol açarak yoğunlaşma, ısı gerilmeleri ve ısı kayıpları gibi hasar nedenleri ortaya çıkarmaktadır.
- Sıcaklığın değişmesi halinde, malzemelerin farklı tepkiler göstermesi ısısal genleşme katsayılarının farklı olmasından kaynaklanmakta ve ısısal deformasyon, iç gerilmeler gibi değişimler sonucu yapıda çeşitli hasarlara neden olmaktadır.
- Farklı su geçirimsizliğine sahip malzemelerin yan yana kullanılması, suyun yapı dışına çıkışını engelleyip malzeme bünyesinde kalması, çözünen tuzların suyla taşınması ve kristalizasyonu sonucu hasar oluşumuna yol açmaktadır.
- Birlikte kullanılan malzemelerin buhar geçirimsizlik özelliklerinin farklılığının göz önünde bulundurulmaması sonucu nem hareketine bağlı deformasyon ve yoğunlaşma gibi hasar nedenleri görülebilir.
- Malzemenin nerede ve hangi amaçla kullanılacağı aşamasında donmaya direnci de bilinmelidir. Donma mukavemeti farklı malzemeler, hacim genleşmeleri ve iç gerilmeler sonucu donma hasarlarına neden olur.

Yapının kalitesinin ve kendisinden beklenen işlevlerin karşılanması; kullanılacak malzemenin özelliklerine, uygulanma koşullarına ve birarada kullanılacak malzemelerin uygunluğuna bağlı olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Anon**, 2002. Türk Yapı Sektörü Raporu, YEM
- [2] **Çaylı, E.**, 1998. Yapı Ürünleri Seçiminde Enformasyon Sistemi Önerisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [3] **Taş, E.**, Ekim 2002. Yapı Malzemesi Seçiminde Mimarların Davranış Biçimleri, *Yapı Dergisi Eki*, 251, YEM, İstanbul
- [4] **Kafesçioğlu, R.**, Aralık 2001. 60 yıl Öncesinden Bugüne Baktığımda Mimarlık Eğitimi ve Uygulamasında Gördüklerim ve Bir Model Önerisi, *Yapı* 241, YEM, İstanbul
- [5] **Gürdal, E.**, 2002. Yapı Korunumu ve Hasarları Yüksek Lisans Ders Notları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi
- [6] **Sirmen, A. Y.**, 1997. Performans Yaklaşımı ile Yapı Bileşenlerinin Değerlendirilmesi için Bir Yöntem, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] **Van Vlack, H. L., çev. Sifoğlu, R. A.**, 1990. Malzeme Bilimine Giriş, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [8] **Postacioğlu, B.**, 1966. Yapı Malzemesi Esasları; Cisimlerin Genel Özellikleri, Cilt 1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [9] **Onaran, K.**, 1999. Malzeme Bilimi, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul
- [10] **Addleson, L.**, 1972. Materials For Building, Cilt 1, London: Iliffe
- [11] **Illston, J. M.**, 1994. Construction Materials: Their Nature and Behaviour, London: E&FN Spon
- [12] **Eriç, M.**, 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür yayınları, İstanbul
- [13] **Gürdal, E., Tanaçan, L., Toydemir, N.**, 2000. Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayınları, İstanbul
- [14] **Postacioğlu, B.**, 1975. Yapı Malzemesi Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul
- [15] **Gürdal, E.**, 2001. Yapı Malzemelerinin Eleman Bünyesi Üzerindeki Davranışları, Yüksek Lisans Ders Notları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi

- [16] **Kocataşkın, F.**, 1972. Yapı Malzemesi Bilimi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [17] **Bargel, H. J., Schulze, G., çev. Güleç, Ş., Aran, A.**, 1985. Malzeme Bilgisi, Gebze: TÜBİTAK
- [18] **Gürdal, E.**, Isı İletkenliği Katsayısının Malzeme Özellikleri ile İlişkileri, *Yapı 80*, YEM, İstanbul
- [19] **Everett, A.**, 1994. Mitchell's Materials, England
- [20] **Özer, M.**, 1974. Yapıların Isı, Su ve Buhar Yalıtımları, İstanbul
- [21] **Baldaş, A., Kantar, F.**, 1976. Yapı Fiziği, 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] **Yücesoy, L.**, 1984. Yapılarda Isı ve Buhar Etkisi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi
- [24] **Yılmaz, Z.**, Yapı Elemanlarında Yoğuşma Kontrolü, Ders Notu, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi
- [25] **Kuzuimamlar, D.**, 1995. Kargir Yapılarda Nem Problemlerinin Teşhis ve Çözümü, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [26] **Eriç, M., Ersoy, H. Y., Gürdal, E., Toydemir, N.**, 1989. Yapı Fiziği Açısından Cephe Kaplamaları Sorunları ve Çözüm Yolları, *Dizayn Konstrüksiyon 47*
- [27] **Özgünler, M., Serteser, N., Acun, S.**, Ekim 2002. Yangın Güvenliği Açısından Taşıyıcı Sistemde Malzeme Seçimi, I. Ulusal Yapı Malzemesi Kongre Bildirileri I, İstanbul
- [28] **Eriç, M.**, 1983. Yangının Malzemeye Etkisi, Birinci Ulusal Yangın Kurultayı Bildirileri, ODTÜ Matbaası, Ankara
- [29] **Anon.**, 2002. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
- [30] **Addleson, L., Rice C.**, 1991. The Performance of Materials in Buildings, Oxford, England
- [31] **Artel, T.**, 1961. Yapı Malzemesi, Kader Basımevi, İstanbul
- [32] **Balanlı, A.**, 1997. Yapıda Ürün Seçimi, Y.T.Ü Mimarlık Fakültesi, İstanbul
- [33] **Smith, R. C., Andres, C. K.**, 1988. Materials of Construction, New York: Mc Graw-Hill
- [34] **Enüstün, B.**, 1947. Yapı Malzemesi; Harç, Beton, TC. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara

- [35] **Akman, S.**, 1987. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [36] **Postacıoğlu, B.**, 1969. Yapı Malzemesi Dersleri; Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [37] **Wilson, F.**, 1984. Building Materials Evaluating Handbook, New York
- [38] **Richardson, B. A.**, 1995. Remedial Treatment of Buildings, Oxford: Butterworth-Heinemann
- [39] **Addleson, L.**, 1972. Materials For Building, Cilt 3, London: Iliffe
- [40] **Mavi, Ö.**, 2000. Kireç Harçları ve Sıvaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [41] **Handisyle, C. C.**, 1967. Building Materials Science and Practice, London, Architectural Press
- [42] **Olin, H. B., Schmidt, J. L., Lewis W. H.**, 1995. Construction: Principles, Materials and Methods, New York
- [43] **Delikanlı, F.**, 2001. Donatılı Betonda Korozyon Hasarı ve Giderilme Yolları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [44] **Toydemir, N.**, 1976. Seramik Yapı Malzemeleri, İstanbul
- [45] **Toydemir, N.**, 1990. Cam Yapı Malzemeleri, İstanbul
- [46] **Amstock, J. S.**, 1997. Handbook of Glass in Construction, New York: McGraw-Hill
- [47] **Postacıoğlu, B.**, 1957. Yapı Malzemesi Notları, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [48] **Kocataşkın, F.**, 1966. Yapı Malzemesi Olarak Ahşap, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [49] **Doğan, D.**, 1997. Ahşap Malzemesinin Atmosfer Koşullarındaki Davranışı Sonucu Meydana Gelen Sorunlar ve Koruma Yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [50] **Dilber, K. K.**, 2001. Taşıyıcı Sistem Malzemesinin Seçimindeki Etmenler, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [51] **Toydemir, N.**, 2002. Çağdaş Yapı Malzemesi Yüksek Lisans Ders Notları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi
- [52] **Yıldırım, B.**, 1998. Sandviç Kompozitler ve Mimarlıkta Kullanım Olanakları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- [53] **Eriç, M.**, Mayıs 1988. Malzemeye ve Yapıya Etkili Olan Su Sorunları, *Yapı 81*, YEM
- [54] **Keser, Ü.**, 2000. Kargir Yapılarda Hasar Nedenleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [55] **Simpson, J. W., Horrobin, P. J.**, 1970. The Weathering and Performance of Building Materials, Aylesbury: Medical and Technical Publishing Co. Ltd.
- [56] **Addleson, A.**, 1992. Building Failures: A Guide to Diagnosis, Remedy and Prevention
- [57] **İlgaz, T.**, Dış Duvarlarda Isı Korunumu
- [58] **Eriç, M.**, 1975. Yapı Malzemesi Üretim ve Uygulama Hataları, *Yapı 12*, YEM
- [59] **Yıldız, A.**, 1998. Konut Dış Duvarlarında Isı Yalıtım Sürekliliğinin Sağlanması Üzerine Bir İnceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [60] **Tavil, A. Ü.**, 1995. Opak Yüzeylerde Güneş Işınımı Etkisinin Yüzey Pürüzlülüğü ile Değişimi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [61] **TS-825**, Nisan 1998. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [62] **Kafesçioğlu, R.**, 1984. Yapıda Dış Kaplama ve Sorunları, *Cephe Kaplama Malzemeleri ve Dış Doğramalar Semineri*, YEM
- [63] **Altun, C.**, 1997. Buhar Difüzyonunun Dış Duvarların Nem ile İlgili ve Isıl Performansına Etkilerinin Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [64] **Gürdal, E.**, 1986. Dış Duvarların Tasarımında Isı ve Rutubet Faktörlerinin Etkisi, *Yapı 66*, YEM
- [65] **Özgür, İ. Ü.**, 1982. Yapı Elemanlarına Su Buharının Etkisinin İncelenmesi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi
- [66] **Ulusoy, M.**, 1998. İstanbul Yöresi İçin Isıtma Enerjisi Açısından Uygun Bina Kabuğu Alternatiflerinin İç Yüzey Sıcaklığına Bağlı Olarak Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [67] **Addleson, L.**, 1972. Materials For Building, Cilt 2, London: Iliffe

- [68] **Aygün, M., Kuş, H.**, 1994. Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamaları, *Yapı 148*, YEM
- [69] **Karaca, H.**, 1998. Yapılarda Hareket Problemleri ve Derz Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [70] **Akın, A.**, 1997. Yapı Kabuğundaki Dış Sıva Hasarlarının Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [71] **Vural, M.**, Kargir Yapı Dış Yüzeylerinde Boya Uygulamalarına Yönelik Sorunların Belirlenmesi ve Çözüm Önerileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [72] **Avlar, E.**, 1998. Yapılarda Su ve Nem Korunumu, Y.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul
- [73] **Tuna, G.**, 1998. Yapı Dış Yüzey Sıvalarında Oluşan Sorunların Belirlenmesi ve Çözüm Önerileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [74] **Toydemir, N.**, Mayıs 1988. Çelen (Parapet) Duvarlarında Yapısal Sorunlar ve Çözüm Önerileri, *Yapı 81*, YEM
- [75] **Kocataşkın, F.**, 1975. Yapı Malzemesi Bilimi, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Mimar Nazlı Tekin, 19.12.1979 İstanbul doğumludur. İlköğrenimini 1993’de Haznedar Abdi İpekçi İlköğretim Okulu’nda tamamlamıştır. 1997’de İstanbul Pertevniyal Lisesi’nden okul dokuzuncusu olarak ve 2001 yılında da Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü’nden bölüm yedincisi olarak mezun olmuştur. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı Yapı Bilgisi Programı’nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.