

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOROZYON ONARIMINDA KULLANILAN BETON
TAMİR HARÇLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Burçak GÜVEN**

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Program : YAPI BİLGİSİ

MAYIS 2002

**KOROZYON ONARIMINDA KULLANILAN BETON
TAMİR HARÇLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Burçak GÜVEN
502991094**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Mayıs 2002**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa E. KARAGÜLER
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Erol GÜRDAL
Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY (MS.Ü)**

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Bu tezi n oluş masında katkıları ndan dolayı değerli danış mın hocam Doç. Dr. Mustafa E. KARAGÜLER başta olmak üzere İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Anabilim Dalı yapı malzemesi kürsüsüne, değerli hocaları mızdan Prof. Dr. Erol GÜRDAL'a, araştırma görevlisi Mahmut KÖSE'ye değerli arkadaşları m Mimar Saro Dİ ONYAN'a ve Mimar Ügen UYSAL'a, laboratuvar çalış m sırasında benden yardı mlarını esirge meyen Duratek yapı ki myasalı fır mısına, değerli laboratuvar teknisyeni İbrahi m ÖZTÜRK'e ve son olarak da desteğini hep yanı mda bildi ği maille me ve ağabeyi me teşekkür ederim

13 MAYIS 2002

BURÇAK GÜVEN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
2. GENEL OLARAK YAPIŞTIRICI LAR VE YAPIŞTIRICI TÜRLERİ	3
2.1. Yapıştırıcı Çeşitleri	5
2.1.1. Kimyasal tipleri Açısından Yapıştırıcılar	5
2.1.1.1 Poliüretan Yapıştırıcılar	5
2.1.1.2 Akriklik Yapıştırıcılar	6
2.1.1.3 Polyester Yapıştırıcılar	6
2.1.1.4 RF ve PRF tipi Yapıştırıcılar	7
2.1.1.5 Fenol Formaldehid Yapıştırıcılar	7
2.1.1.6 Melamin Üre Formaldehid ve Üre Formaldehid Yapıştırıcılar	7
2.1.1.7 Kazein Yapıştırıcılar	7
2.1.1.8 Polivinil Asetat ve Elastomerik Yapıştırıcılar	7
2.1.2 Formları Açısından Yapıştırıcılar	8
2.1.3. Yüksek Sıcaklıklara Dayanıklı Yapısal Yapıştırıcılar	8
2.2. Bazı Yapıştırıcıların Özelliklerini Anahatları	12
3. EPOKSİ YAPIŞTIRICI LAR VE EPOKSİ YAPIŞTIRICI LARIN KİMYASI	15
4. EPOKSİ YAPIŞTIRICI LARIN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	19
4.1. Kohezyon	19
4.2. Adhezyon	19
4.2.1. Mekanik Adhezyon	20

4.2.2	Spesifik Adhezyon	20
4.2.3	Elektrostatik Çekim	20
4.3	Viskozite	20
4.4	Penetrasyon	21
4.5	Kür ve Su ile Reaksiyon	22
4.6	Yapıştırıcı Derzinde Hava Kabarcıkları Oluşması	22
5.	EPOKSİ REÇİNELERİ İÇİN KATKI VE MADDELERİ VE DEĞİŞTİRİCİLER	23
5.1.	Sıvılandırıncılar	23
5.1.1	Non Epoksi Esaslı Sıvılandırıncılar	25
5.2.	Dolgu Malzemeleri	26
5.2.1.	Fiziksel Mekanik Özellikleri	26
5.2.2.	Termal Karakteristikler	27
5.2.3.	Rötre	27
5.2.4.	Elektrik İletkenliği	28
5.2.5.	Akışkanlık	28
5.2.6.	Sertlik (Dayanıklılık)	28
6.	YAPIŞTIRICILAR VE EPOKSİ REÇİNELERİNİN FARKLI MALZEMELER İLE ARA BAĞLANTILARI	30
6.1.	Beton	30
6.1.1.	Yüzey Hazırlanışı	30
6.1.2.	Bağlayıcı Yapıştırıcının Seçilmesi	32
6.1.3.	Montaj	32
6.2.	Çelik ve Dökme Demir	32
6.2.1.	Yüzey Hazırlanışı	33
6.2.2.	Bağlayıcının Seçilmesi	33
6.3.	Galvanize Çelik (Çinko Kaplı)	33
6.3.1.	Yüzey Hazırlanışı	34
6.3.2.	Bağlayıcı Yapıştırıcının Seçilmesi	34
6.4.	Paslanmaz Çelik	34
6.4.1.	Yüzey Hazırlanışı	34
6.4.2.	Bağlayıcının Seçilmesi	35

6.5. Alüminyum	35
6.5.1. Yüzey Hazırlanışı	35
6.5.2. Bağlayıcının Seçilmesi	36
6.6. Ahşap	36
6.6.1. Yüzey Hazırlanışı	36
6.6.2. Bağlayıcının Seçilmesi	37
6.6.3. Montaj	37
6.7. Takviyeli Hastik Fiber Takviyeli Poli mer Kompozitler	38
6.7.1. Yüzey Hazırlanışı	38
6.7.2. Bağlayıcının Seçilmesi	38
6.7.3. Montaj	38
6.8. Cam	39
6.8.1. Yüzey Hazırlanışı	39
6.8.2. Bağlayıcının Seçilmesi	39
6.9. Farklı Malzeme ler Arası Bağlantılar	39
7. EPOKSİ REÇİ NELERİ NİN YAPIŞ MA MEKANİZMASI	41
8. EPOKSİ REÇİ NELERİ İ LE BAĞ LANTI DİZAYNI	43
8.1. Taşı ma Dayanı ksızlığı (Yorul ma Yükl e mesi)	47
8.2. Çevresel Et kiler	49
8.3. Isı veya Ateş Et kileri	49
9. EPOKSİ REÇİ NELERİ N KULLANI MALANLARI	51
9.1. Endüstriyel ile İ lgili Uygul a mal ar	52
9.1.1. Şekillendir me	52
9.1.2. İnşaat Mühendisli ğ i ile ilgili Uygul a mal ar	53
9.1.2.1. Döşe me	53
9.1.2.2. Yol ve Köprü Kapl a mal arı	55
9.1.2.3. Bet on Bağ l a ma ve Çarıl m	55
9.1.3. Kalı pl a ma Bleş i kleri	56
9.1.4. Gö mme (Embedding)	58
9.1.5. Çok Yönl ü (Muhtelif)	58
9.1.6. Yağ Al anı Uygul a mal arı	58
9.1.7. Tepki Veren Olarak Epoksi Bazlı Poli merleri Oluştur mak	59
9.1.8. Epoksi Reçi ne Köpükleri	59

9.1.9. Epoksi Reçine Dengeleyiciler	59
10. BETON ELEMANLARDAKİ HASARLARIN VEYA ÇATLAKLARIN SEBEPLERİ VE ONARIMI	60
10.1. Elastik Betonun Çatlama	60
10.1.1. Elastik Büzülme Çatlama	60
10.1.2. Ourna Çatlama	61
10.2. Sertleşmiş Betonun Çatlama	61
10.2.1. Kuruma Büzülmesi	61
10.2.2. Isıl Gerilme	62
10.2.3. Kimyasal Reaksiyonlar	63
10.2.4. Havanın Etiklerine Maruz Kalma	65
10.2.5. Donatı Aşınması (Donatı Korozyonu)	66
10.2.6. Kötü İnşaat Uygulamaları	67
10.2.7. Aşırı İnşaat Yüklemeleri	68
10.2.8. Tasarım ve Detaylandırma Hataları	70
11. EPOKSİ SİSTEMLER	72
11.1. Beton Elemanlarının Onarımında Epoksi Sistemler ve Uygulamaları	73
11.1.1. Epoksi Enjeksiyon Sistemi	74
11.1.2. Kimyasal Ankraj Sistemi	79
11.2.1.1. Gereklilik Ankraj Boyu	82
11.2. Epoksi ile Zeminin Kaplama Sistemi	83
11.3. Beton Korozyonuna Karşı Epoksi Kaplamalı Donatı	84
11.3.1. Epoksi Kaplamanın Paslanmaya Direnci	85
11.3.2. Doğal Ortam Testleri	86
11.3.3. Hasar Verilmiş Epoksi Kaplamalı Çubukların Üzerinde Yapılan Testler	87
11.3.4. Epoksi Kaplama Aderans Mukavemetine Etikeleri	88
11.3.5. Epoksi Kaplamalı Donatı Kullanılırken Tasarımda Dikkat Edilecek Noktalar	89
12. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	92
12.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	92
12.1.1. Çiment o (Bağlayıcı Madde)	92
12.1.2. Agregalar	92
12.1.3. Taşır Harcı (C108)	92
12.1.4. Kimyasal Malzeme Olarak Epoksi	93

12.2 Kullanılan Deney Aletleri	93
12.2.1. F100 (Fırın)	93
12.2.2. Elçer	93
12.2.3. Tel Fırça ve Tepsiler	93
12.2.4. Teraziler	93
12.2.5. Deney Numune Kalıpları	94
12.2.6. Titreşim Masası	94
12.2.7. Deney Presi	94
12.2.8. Sarsma Tablası Deney Aleti	95
12.2.9. Ultrases Hızının Ölçülmesi Deney Aleti	95
12.2.10. Kompas	95
12.2.11. Çekme Deney Aleti (Pull-Off)	95
12.2.12. Taş Kesme Makinesi	95
12.3. Deneysel Yöntem	95
12.4. Beton ve Tamir Harcı Karışım Hesapları	96
12.4.1. Beton Karışım Hesapları	96
12.4.2. Tamir Harcı Karışım Hesapları	98
12.5. Deneyler ve Yapılışı	99
12.5.1. Agregalar Deneyleri	99
12.5.1.1. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler	99
12.5.1.2. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini	102
12.5.1.3. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık Tayini	103
12.5.2. Taze Beton ve Tamir Harcının Üretimi	105
12.5.2.1. Taze Beton Üretimi	105
12.5.2.2. Tamir Harcının Üretimi	108
12.6. Beton Deneyleri	108
12.6.1. Taze Harç ve Beton Üzerinde Yapılan Deneyler	109
12.6.1.2. Taze Tamir Harcında Kıvam Deneyi	110
12.6.1.3. Taze Betonda Birim Ağırlık Tayini Deneyi	110
12.6.1.4. Taze Tamir Harcında Birim Ağırlık Tayini Deneyi	112
12.6.2. Sertleşmiş Beton ve Tamir Harcı Üzerinde Yapılan Deneyler	113
12.6.2.1. Sertleşmiş Beton Üzerinde Eğilme Deneyi	113
12.6.2.2. Sertleşmiş Beton Üzerinde Basınç Deneyi	115
12.6.3. Sertleşmiş Tamir Harcında Yapılan Eğilme ve Basınç Deneyleri	118
12.7. Kesilerek veya Kırılarak İkiye Ayrılmış Beton Numunelerinin Epoksi Reçinesi ile Onarım İçin Yapılan Deneyler	120
12.7.1. Kullanılan Malzeme ve İzlenen Yöntem	120
12.7.2. Eğilmede Çekme Deneyi Uygulanmış Beton Numunelerinin Yapıştırılması	121

12.7.2.1. Mevcut Sertleşmiş Beton ile Taze Tamir Harcının Yapıştırılması	121
12.7.2.2. Mevcut Sertleşmiş Betonu Sertleşmiş Betona Yapıştırma	124
12.7.3. Kesme Makinesi ile Kesilmiş Beton Numunelerinin Yapıştırılması	125
12.7.3.1. Mevcut Sertleşmiş Beton ile Taze Tamir Harcının Yapıştırılması	126
12.7.3.2. Mevcut Sertleşmiş Betonu Sertleşmiş Betona Yapıştırma	126
12.7.4. Kesilerek veya Kırılarak İkiye Ayrılmış Beton Numunelerinin Epoksi Reçinesi Olan Taze Tamir Harcı ile Yapıştırılması	127
12.8. Sertleşmiş Beton Numuneler Üzerinde Ultrases Hızı Tayini Deneyi	128
12.9. Sertleşmiş Tamir Harcı Numuneleri Üzerinde Ultrases Hızı Tayini Deneyi	128
12.10. Kullanılan Epoksi Reçinesinin Yapışma Dayanımının Çekip Kırma Deneyi ile Tayini	129
13. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	131
KAYNAKLAR	137
EKLER	139
ÖZGEÇMİŞ	146

KISALTMALAR

mm	: Milli metre
°C	: Santigrat derece
ACI	: American Concrete International
ASTM	: American Society For Testing Materials
Mpa	: Megapascal
KN	: Kilonewton
N	: Newton
cm	: Santimetre
dm	: Desimetre
T.S	: Türk Standartları
gr	: Gram
kg	: Kilogram
m	: Metre
sn	: Saniye
B.S	: Beton sınıfı

SEMBOL LİSTESİ

C	: Çiment o dozajı
E	: Su Miktarı
K_k	: İncelik Modülü
V_A	: Agregaların hacmi
α	: Katsayı
f_c	: Amaç Mikave neti
f_{cc}	: Çiment onun Norm Mikave neti
K_G	: Katsayı
δ_c	: Çiment onun Birim Hacim Ağırlığı
r	: Çap
Δ	: Birim Ağırlık
$\sigma_{eğilme}$	: Eğilme dayanımı
P	: Deney presinde kırılma anındaki en büyük yük
L	: Deney presinde nesnetler arası mesafe
b	: Numunenin genişliği
h	: Numunenin yüksekliği
A	: Numunenin yük etkiyen ortalama kesit alanı
t	: Süre

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2 1 Bazı yapısal yapıştırıcıların tipik özellikleri	13
Tablo 2 2 Otak yapısal materyallerin tipik özellikleri	13
Tablo 2 3 Bazı yapısal yapıştırıcıların karakteristiikleri	14
Tablo 12 1 Kumun elek analizi sonuçları	100
Tablo 12 2 Kırma taşın elek analizi	101
Tablo 12 3 Kum ve kırma taş karışımının elek analizi	101
Tablo 12 4 Kumun birim ağırlığı	103
Tablo 12 5 Kırma taşın birim ağırlığı	103
Tablo 12 6 İri agreganın özgül ağırlığı	104
Tablo 12 7 Kumun özgül ağırlığı	105
Tablo 12 8 I. Üretim sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı	111
Tablo 12 9 II. Üretim sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı	112
Tablo 12 10 I. Üretim ta nır harcı numunelerinin birim hacim ağırlığı	112
Tablo 12 11 II. Üretim ta nır harcı birim hacim ağırlığı	113
Tablo 12 12 Beton numunelerinin basınç ve eğilme mukavemetleri	117
Tablo 12 13 Beton numunelerinin boyutları ve ağırlıkları	118
Tablo 12 14 Ta nır harcı numunelerinin boyutları ve ağırlıkları	119
Tablo 12 15 Ta nır harcı numunelerinin basınç ve eğilme dayanımları	120
Tablo 12 16 Eğilme ile kırılmış beton+epoksi +t. harcı numunelerinin eğilme dayanımları	124
Tablo 12 17 Eğilme ile kırılmış beton+epoksi +beton numunelerinin eğilme dayanımları	125
Tablo 12 18 Kesilmiş beton+epoksi +ta nır harcı numunelerinin eğilme dayanımı	126
Tablo 12 19 Kesilmiş beton+epoksi +beton numunelerinin eğilme dayanımı	127
Tablo 12 20 Epoksi siz sertleşmiş beton+ta nır harcı eğilme dayanımları	127
Tablo 12 21 Beton numunelerinin ultrases sonuçları	128
Tablo 12 22 Ta nır harcı numunelerinin ultrases sonuçları	129
Tablo 12 23 Çekip koparma deneyi sonuçları	130
Tablo 13 1 Ta nır harcı numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçları	131
Tablo 13 2 Beton numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçları	132
Tablo 13 3 Beton+epoksi +ta nır harcı numunelerinin eğilme dayanımları	133
Tablo 13 4 Beton+epoksi +beton numunelerinin eğilme dayanımları	134
Tablo 13 5 Epoksi siz sertleşmiş beton+ta nır harcı eğilme dayanımları	135

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1	Yapıştırıcılar için nemdiyagramı
Şekil 2.2	Fenolik reçine için sıcaklık ve mukavemet eğrisi
Şekil 2.3	Naylon esaslı yapıştırıcılar için sıcaklık ve mukavemet eğrisi
Şekil 2.4	Epoksi reçineler için sıcaklık ve mukavemet eğrisi
Şekil 2.5	Epoksi-fenolik reçineler için sıcaklık mukavemet eğrisi
Şekil 3.1	Etilen oksit ve epoksi grubu
Şekil 3.2	Ara bileşiğin dehidrohalojenize edilmiş hali
Şekil 3.3	Bisfenol ve epiklorhidrin esaslı diğlisid eteri
Şekil 3.4	Halohidrinin epoksi grubuna dönüşmesi
Şekil 5.1	Çok fonksiyonlu epoksi bileşikleri
Şekil 5.2	Trifenil fosfat ve bütrolaktone
Şekil 5.3	Çatlak Birleştirme
Şekil 6.1	Zayıf amaçlı mentoca zengin yüzeyini iyileştirilmesi
Şekil 7.1	Yapıştırma bölgesinin katlara bölünmesi
Şekil 8.1	Uygun ve uygun olmayan bağlantı dizaynları
Şekil 8.2	Tek kaydırma bağlantısı
Şekil 8.3	Çift kaydırma bağlantısı
Şekil 8.4	Basit tek kaydırma bağlantı için fotoelastik test
Şekil 8.5	Küt (düz) ek
Şekil 8.6	Eğimli ek
Şekil 8.7	Basamaklı ek
Şekil 8.8	Dışli ek
Şekil 8.9	Açılı ek
Şekil 8.10	T biçimli ek
Şekil 8.11	Kenarı iyileştirilmiş (kırılmış) ek
Şekil 8.12	Farklı birleşim türleri için yorulma eğrileri
Şekil 8.13	Perçinlenmiş veya yapıştırılmış ekler için yorulma dayanıklılığı
Şekil 11.1	Pakerler ve pakerlerin yerleştirilmesi
Şekil 11.2	Enjeksiyon pompa ve düzenekleri
Şekil 11.3	Enjeksiyon işleminin ayrıntılı şekli
Şekil 11.4	Donatıda kopma ile kırılma
Şekil 11.5	Düşük dayanımlı betonda koni biçiminde beton kopması
Şekil 11.6	Aderans yetersizliği ile donatının sıyrılması
Şekil 11.7	Koni biçiminde beton kopması ve aderans yetersizliği ile sıyrılma
Şekil 11.8	Gerekli ankraj boyları
Şekil 11.9	Epoksi ile zeminin kaplama işlemi
Şekil 11.10	Epoksi kaplamanın karşılaştırmalı grafiği
Şekil 11.11	Pas oluşturan alan-paspayı kalınlığı grafiği

Şekil 11.12	Epoksi kaplamalı çubuk	88
Şekil 11.13	Epoksi kaplamalı donatı	91
Şekil 12.1	Deney numune kalıpları	94
Şekil 12.2	Sarsma tablası deney aleti	95
Şekil 12.3	Kum ve kırntaş karışımının granülometri eğrisi	102
Şekil 12.4	Harcın kalıplara doldurulması	107
Şekil 12.5	Nu mnel er titreşim masasında	107
Şekil 12.6	Sarsma tablası deneyi	110
Şekil 12.7	Bet on numunel er üzerinde eğilmede çekme deneyi	114
Şekil 12.8	Bası nç Deneyi	116
Şekil 12.9	Ta mır harcı numunel er i üzerinde eğil me ve bası nç deneyi	119
Şekil 12.10	Eğil mede kırıl mş bet on+epoksi +bet on numunel er i	125
Şekil 12.11	Çeki p kopar ma deneyi (Pull-off)	130

KOROZYON ONARIMINDA KULLANILAN BETON TAMİR HARÇLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Günümüzde betonarme yapılar değişik etkiler altında çeşitli hasarlara uğramaktadırlar. Deprem etkisi, donatı korozyonu, yapının yanlış dizaynı, aşırı yüklenme, zararlı kimyasal ve fiziksel etkiler sonucu yapıda beton üzerinde kopmalar, çatlaklar veya kırılmalar olduğu görülmektedir. İşte bu tür hasarların onarımında yüksek özelliklere sahip yapı kimyasalları kullanılmaktadır. Bu kimyasallardan en önemileri de yapıştırıcılar ve özellikler epoksi reçineleridir.

Bu çalışmada da hasar gören yapı elemanlarının onarımında yaygın olarak kullanılan mevcut sertleşmiş betonun taze tamir harcına epoksi reçinesi ile yapıştırılması incelenmiştir.

İnşaat sektöründe beton yapı elemanlarında donatının (demirin) korozyona uğraması (paslanması) sonucu meydana gelen hasarlar tamir harcı ile onarılmaktadır. Ancak mevcut hasarlı beton elemanın yüzeyine sürülen tamir harcının yapışması için iyi olması için ara yüzeyde yapıştırıcı malzeme epoksi reçinesi kullanılmaktadır. Bu projede de bu olayı temsil eden çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda iki farklı malzemenin yapıştırılması ile oluşan yeni elemanın dayanıklılığı irdelenmiştir. Yapıştırılan iki malzemenin yük altında kaldığında kopmanın veya çatlamının yapışan ara yüzeyden olması istenmez. Onarılan kısmın tek bir parça gibi (hasar göremeden önceki hali gibi) çalışması istenir.

Bu amaçla, öncelikle genel olarak yapıştırıcılar ve türleri, yapıştırıcıların farklı malzemelerle ara bağlantıları, epoksi yapıştırıcılar, özellikleri ve epoksi reçinelerinin kullanım alanları ve epoksi reçineleri ile yapılan çeşitli onarım yöntemlerinden bahsedilmiştir. Sonrasında ise onarım yöntemlerinde yer alan, korozyona uğrayarak hasar gören betonların tamir harcı ve epoksi kullanılarak onarılması deneysel olarak incelenmiştir.

Kısacası bu deneysel çalışmada denenilen, epoksi yapıştırıcıların sertleşmiş betona ve taze tamir harcına yapışma özelliklerinin ve yapışma dayanımının yeterli olup olmadığıdır. Bunun için deney numuneleri üretilmiş (beton ve tamir harcı), yapıştırıcı epoksi kullanılarak mevcut sertleşmiş betona yapıştırılan taze tamir harcının yapışma dayanımı ve sertleşmiş betona yapıştırılan sertleşmiş betonun yapışma dayanımları eğilimde çekme deneyleri ile tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlar karşılaştırılarak ve literatürdeki çalışmalarla beraber ele alınarak mühendislik açısından uygunluğu tartışılmıştır.

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE FIXING MIXTURE USED IN REPAIRING CORROSION

SUMMARY

Today, ferroconcrete constructions suffer damages caused by different effects such as breaking-off, cracking and fracturing on concrete are observed as a result of earthquakes, iron (ferro) corroding, incorrect design of the construction, overloading, detrimental chemical and physical effects. High qualified construction chemicals are used in repairing these kind of damages. The most important ones are adhesives, especially epoxy resin.

In this study, adhering the existing hardened concrete, generally used in fixing the damaged construction elements, to the fresh fixing mixture with epoxy resin has been examined.

In construction sector, the damages, caused by corroding of iron (ferro) on the concrete construction elements, are repaired with fixing mixture. In order to be successful in adhering the fixing mixture on the surface of existing damaged concrete element, epoxy resin is used in between, as adhesive material. In this project, representing this subject, different experimental studies have been considered. As a result of these, the resistance of the new element that derives from adherence of two different materials have been investigated thoroughly. It is not desired that the breaking-off or cracking results from the interface when two adhered materials are subject to overload. The fixed part should work as one piece (like before the damage).

With this aim adhesives and their types in general, connecting of the adhesives with different materials, epoxy adhesives, their characteristics, their usage areas and different kinds of fixing methods with this material have been discussed firstly. After that, fixing the concrete, which is damaged because of corroding, using fixing mixture and epoxy has been experimentally examined.

Briefly in this study, it has been tested if the adhering characteristics and resistance of the epoxy adhesives to both concrete and fresh fixing mixture are sufficient or not. For this study, experiment samples have been produced (concrete and fixing mixture), adhering resistance of both of the fresh fixing mixture adhered on existing hardened concrete and on the hardened concrete have been determined with pulling experiments in bending using epoxy. Comparing the results and considering the studies in literature, the appropriateness of the study has been discussed according to engineering rules.

1. GİRİŞ

Yapıştırıcılar çok uzun yıllar uzay gemi ve otomotiv sanayiinde kullanılmıştır. Sanayiler tarafından kullanılan bağlantıların (eklemlerin) yapıştırılması ile ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Yeni dizayn yaklaşımlarının olabirirliliği ile uygun teknoloji den inşaat sanayiine geçiş ile kazanılan belirli avantajlar vardır, bunlarda inşaatın yapısal randımanını ve güvenilirirliliğini geliştirmiştir.

Yapıştırıcıların bir türü olan epoksi reçinesi ilke mizde 1980'lerin sonunda girdiği halde Avrupa ve Amerika'da 20. yüzyılda başlayan çalışmalarla bugünkü halini almıştır. Ülkemizde daha çok inşaat sektöründe kullanılan epoksi reçineleri diğer sektörlerde de kullanıldığı bilinmektedir. Epoksi reçineleri deprem felaketlerinden sonra bu son iki yıl içerisinde daha da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle depremsonrası duşan yapısal hasarların onarımında kullanılmaktadırlar.

Bu projede öncelikle yapıştırıcılar hakkında genel bilgi verilmiş sonra esas konu olan epoksi reçineleri incelenmiştir. Epoksi reçinelerinin kimyasal özelliklerinden, bağayıcı reçine türlerinden, epoksi reçinesinden, avantaj ve dezavantajlarından temel kullanım alanlarından ve uygulama yöntemlerinden söz edilmiştir. Günümüzde epoksi reçineleri onarı mharçlarıyla beraber özellikle hasar görmüş yapıların onarım ve güçlendir mesinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Beton korozyonu, beton tamarı, beton çatlaklarının enjeksiyon ile tamarı gibi konulara değinilmiştir. Deneysel çalışmalar yapılarak betonda hasar gören kısmın tamarinde tamar harcıyla beraber gerekli dayanım sağlayıp sağlamadığını tespit edilmeye çalışılmıştır. Böylece epoksi reçinelerinin özellikle şehrimizde yaşanan büyük depremsonrası uygun şekillerde kullanılması nın sağlanması nın yapısal güvenlik açısından faydalı olacağı düşünülmüştür.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu araştırmada, korozyon etkisi sonucu hasar gören yapıların, tamar harçlarıyla onarımında epoksi reçinelerinin kullanılması incelenmiştir. Öncelikli olarak özellikle hasar gören yapılarda sıkça kullanılmaya başlanan epoksi reçineleri hakkında ve

yapılarda meydana gelen hasar ve çatlakların sebepleri, onarımları hakkında literatür araştırması sonuçlarına yer verilmiştir.

Literatür araştırması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında ve günümüzde hasar gören yapıların onarımında kullanılan yöntemler dikkate alınarak deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada, korozyon onarımında kullanılan beton tamir harçlarının fiziksel ve mekanik deneyleri, eski beton ile tamir harcının yapışma dayanımına ilişkin mekanik deneyler ve korozyon önleyici olarak kullanılan epoksi reçineleri kullanılarak mevcut beton ile tamir harcının yapıştırılmasına ilişkin deneyler yer almaktadır.

Bu çalışmada, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, korozyon onarımında kullanılan beton tamir harçlarının onarım sonrası mekanik dayanımları ve yapıştırıcı olarak epoksi reçinesi kullanılması sonucundaki mekanik dayanımları irdelenmiştir.

2. GENEL OLARAK YAPIŞTIRICI LAR VE YAPIŞTIRICI TÖRLERİ

Yapıştırıcılar genel olarak en az iki malzemenin birbirine yapıştırılarak birleştirilmesiinde istenilen dizayn özelliklerini veren; epoksi, fenolik polya mid, polya mid ve silikon gibi malzemelerin kimyasal olarak birleştirilmesiinden oluşan karışımıdır [1].

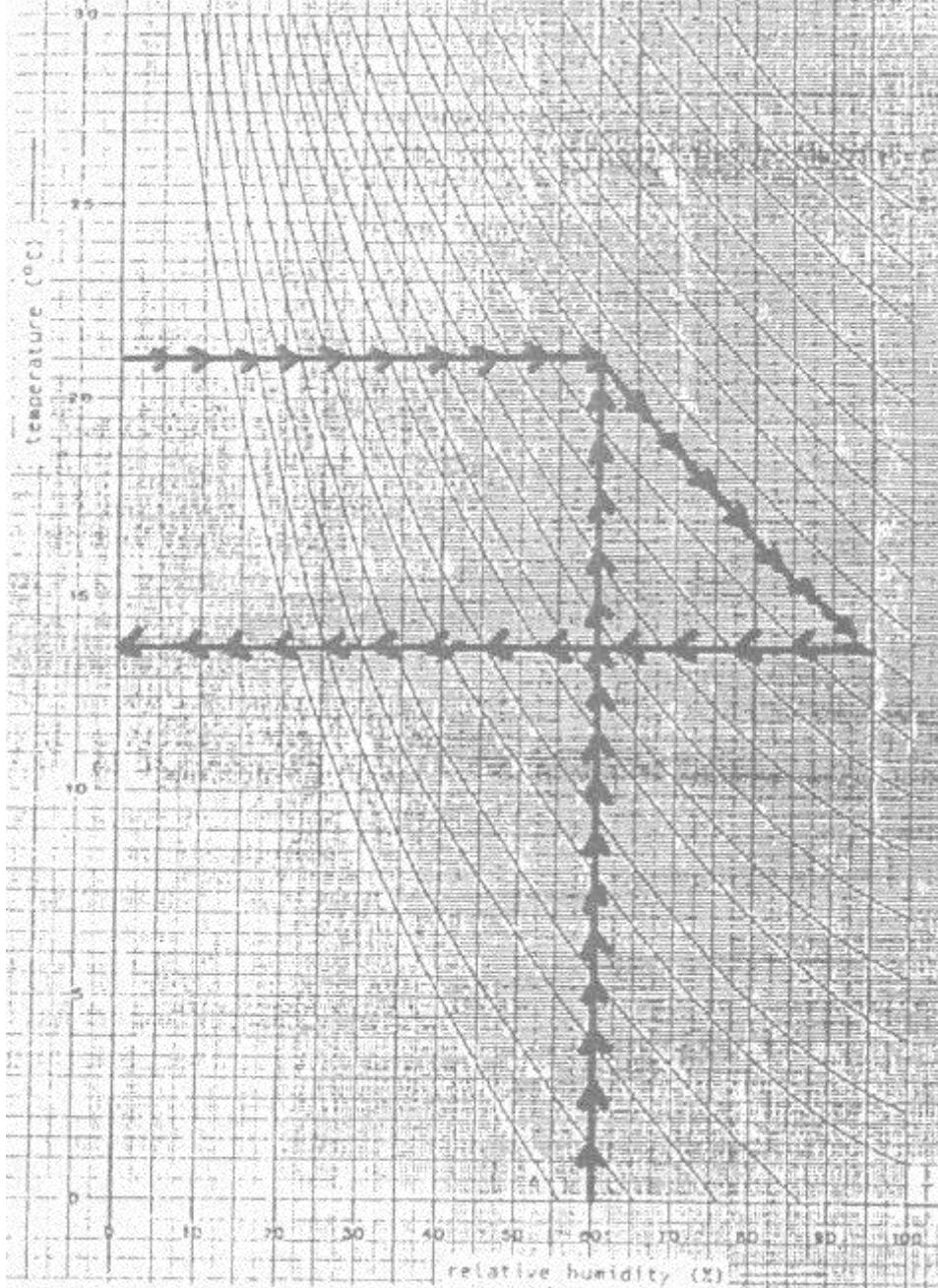
Yapısal yapıştırıcılar mukavemetleri açısından, yapısal ve yapısal olmayan yapıştırıcılar olarak iki ana gruba ayrılır. Yapısal yapıştırıcılar; esnekliği ya dayanıklı, sıvıya dayanıklı ve yüksek kayma mukavemetine sahiptirler. Elastik uzama bakımından, yapıştırıcıları sadece düzenli yorulma yükleri ile sınırlanmak gerekir. Ama aynı zamanda yapıştırıcının, çatlaklar etrafında oluşan yükler içinde ekstra uzama kapasitesine sahip olması gerekir [1].

Yapıştırıcılar kullanılmadan önce fil m sıvı ve toz gibi çeşitli for mlarda olabilirler. İyi bir yapışma için yapıştırıcı kalınlığı, 0,05 ile 0,15 mm arasında olmalıdır. Yapışma öncesi birleşme yüzeylerindeki nemiz olması, yapışma işleminin en can alıcı ve nihai ürünün kalitesini etkileyen en önemli noktadır. Ayrıca yapıştırıcının kuruma süresince kalınlık kaybı da, dizayn ve analiz açısından gözönüne alınması gereken bir kriterdir.

Yapıştırma işlemini için kullanılan yapıştırıcı ve yapışma astarları uygun soğuk hava depolarında saklanmalıdır. Yapıştırıcı ve yapışma astarlarının saklanması ve depolama şartları şekil 2.1 de verilen nemdi yagramının yardımı ile saptanır. Soğuk hava depolarından çıkarılan yapıştırıcı ve yapışma astarlarının kullanılabilmesi için buzlarının çözülmesi gerekir. Bütün yapıştırıcılar, kimyasal yapılarından dolayı kabuklaşma süresine sahiptirler. Yani ömürlü malzemedirler. Eğer bu çözülme işlemini yanlış yapılırsa, yapıştırıcı ve yapışma astarlarının kabuklaşma süresi düşer. Depodan çıkarılan malzemelerin buzlarının çözülmesini sağlamak için kullanılan sıcaklığın 30°C 'yi geçmesi gerekir. Bu sıcaklığın aşılması, yapışmada kullanılacak yapıştırıcı ve yapışma astarlarının bozulmasına neden olur [1, 2].

Şekil 2.1 de, oda sıcaklığı 21°C ve bağıl nem %60 olan bir ortamda yapışma işlemini yapıldığında, yapıştırıcının ve yapışma astarının ısıtılması gereken minimum sıcaklığın nasıl bulunabileceği bir örnek ile açıklanmıştır. Görüldüğü gibi

yoğuşmanın başladığı bağıl nem %95 olarak kabul edilir. -18°C 'deki soğuk hava deposundan çıkarılan yapıştırıcı ve yapışma astarları üzerinde yoğuşma oluşmasını önlemek için, yapıştırıcı ve yapışma astarlarının ısıtılması gereken minimum sıcaklık $13,8^{\circ}\text{C}$ olarak bulunur.



Şekil 2.1 Yapıştırıcılar için nem diyagramı

2.1. Yapıştırıcı çeşitleri

Günümüzde kullanılan modern yapıştırıcılar, kimyasal tipleri ve formları açısından iki ana grup olarak sınıflandırılırlar [3].

- a) Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar
- b) Formları açısından yapıştırıcılar

2.1.1. Kimyasal Tipleri Açısından Yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar kimyasal tipleri açısından,

- a) Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar
 - Anaerobikler
 - Siyanoakrilatlar
 - Sertleşmiş akrilikler
 - Epoksiler
 - Poliüretanlar
 - Modifiye edilmiş fenolikler
- b) Fiziksel değişimle sertleşen yapıştırıcılar
 - Sıcak eriyikler
 - Kauçuk yapıştırıcılar
 - Polivinil asetatlar (PVA)
 - Basınç gerektirmeyen yapıştırıcılar

olarak iki gruba ayrılırlar.

2.1.1.1. Poliüretan Yapıştırıcılar

Poliüretan yapıştırıcılar birçok mümkün uygulamalarıyla çok hünerli yapıştırıcılardır. Yağlara ve kimyasallara yüksek tolerans gösteren ve suya yeterli

direnci olan uzun bir ömür gösterirler. Bununla beraber epoksilere göre bir miktar zayıftırlar ve buhar etkilerine ve sünmeye daha müsaittirler.

Bazı formlasyonlara göre 60°C olan uygulamaya bunları yapıştırılmış materyallerin kuru tutulduğu yapısal ve yarı yapısal aplikasyonlarda uygun kılabilir. Bunlar genellikle katalizör olarak buhara dayanan yekpare formlasyonlarının yanı sıra genellikle 2 bileşenli formlarda sağlanırlar. Yekpare ürünler genellikle sandviç panel aplikasyonlarında kullanılır. İki parçalı ürünler ahşap bileşimi ve onarımında kullanılırlar ancak ahşabın nem oranına duyarlıdırlar. Poliüretan yapıştırıcıların uygun olduğu strüktüel materyaller doğal taş ve ahşap içerir. Çünkü alkali etkileşimlerine dayanıklı değildirler, genellikle doğru formüle edilmediikleri sürece betonla kullanıma uygun değildirler.

Bununla beraber demiryolu taban plakalarını beton yol yataklarına yapıştırmak amacıyla kullanılırlar.

İskandinavya da poliüretanlar sağlık ve güvenliğin artırılması amacıyla epoksilere tercih edilmişlerdir.

2.1.1.2 Akrilik Yapıştırıcılar

Akrilik yapıştırıcılar çok çeşitli iyileşme (kürlenme) mekanizmalarının yanı sıra birçok materyali kapsar. Yapısal aplikasyonlarda minimal yüzey hazırlığıyla çok çeşitli aderansları yapıştıran güçlendirilmiş akrilikler kullanılır. Genellikle iki bileşenli olarak üretilirler.

Termoplastik akrilikler özellikle yükseltilmiş ısılarda belirleyici sünme göstermeye yatkındırlar. Akrilik yapıştırıcıların uygun olduğu aplikasyonlar sandviç ve kaplama panelleri içerir. Özellikle ulaşılabilenece yapışma yüzeylerinin aplikasyonları için uygundur. Örneğin metal-metal veya metal-plastik.

2.1.1.3 Polyester yapıştırıcılar

Polyester yapıştırıcılar yapıştırmaya gücünde hızlı bir artışın istendiği uygulamalarda kullanılırlar. 0°C altındaki derecelerde yapışmayı sağlayan formleri mevcuttur. Fakat yapısal yapıştırıcılar olarak kullanılırlar, birçok durumda zayıf çekme payları, nemli ve ıslak ortamlarda tolerans eksiklikleri yüzünden sınırlıdır.

2.1.1.4 Resorsinol Formaldehid (RF) ve Fenol Resorsinol Formaldehid (PRF) Tipi Yapıştırıcılar

Ahşapla kullanılmaya uygun bir dizi yapıştırıcıdır. İngiliz ve Avrupa standartlarına göre düzenlenmişlerdir. Yapışma, oda sıcaklığında yada daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Bu tip yapıştırıcılar çok güçlü ve uzun ömürlü hava şartlarına, suya, buhara ve tuzlu suya karşı tamamen dayanıklıdır.

İç ve dış mekanlarda laminasyon ahşap ve benzeri durumlarda uygulanır. En iyi sonuç ince bir tabaka uygulaması ile alınır. Çünkü yapıştırıcı malzemeler gözeneklerin doldurulmasını gerektiren durumlarda kullanılmaya uygun değildir.

2.1.1.5 Fenol Formaldehid (PF) Yapıştırıcılar

Bunlar özellikle yapısal kontraplakların sıcak pres (baskı) fabrikasyonlarında ve benzer materyallerde kullanılan sıcak kürlenmiş (iyileştirilmiş) yapıştırıcılarıdır. RF ve PRF tipi yapıştırıcılar ile aynı dayanıklılık özelliklerine sahiptirler. Eğer PF'ler oda sıcaklığında küleneceklerse yapısal amaçlarla kullanıma kısıtlayan, ahşaba zarar verne yatkinlikları olan güçlü asitler gerekir. Üretim koşullarının dışında kullanılması istenmez.

2.1.1.6 Melamin-Üre Formaldehid (MUF) ve Üre Formaldehid (UF) Yapıştırıcılar

Bunlar orta seviyede su dayanımı olan bu yüzden temel olarak korunmuş şartlarda veya havanın en kötü etkilerinden korunmuş koşullarda uygun olan ahşap karıştırıcılarıdır. 10°C ve daha yukarısını kapsayan ısı yelpazesinde işlenirler (kürlenirler). Uygun olarak dondurulmadıkça birleştirme çizgisinin 0,1 milimetreden daha kalınduğu uygulamalarda kullanılmalıdır.

2.1.1.7 Kazein yapıştırıcılar

Bunlar süttten üretilmişlerdir. Suyla üre-for maldehidlerden daha az dayanıklıdır. Ama tamamen korunmuş iç mekan ahşap işlerinde yük taşıyıcı olarak kullanıma içi uygun bulunmuşlardır. Bakteriyel ve mantarsal saldırılardan çabuk etkilenirler.

2.1.1.8 Polivinil Asetat ve Elastomerik Yapıştırıcılar

Bunlar lamineantları ahşaplara birleştirme gibi, taşıyıcı olmayan iç mekan uygulamaları ile sınırlandırılmışlardır. Neme karşı limitli dirençleri vardır. Çapraz

bağlı polivinil asetat yapıştırıcılar daha daha kuvvetli ve uzun ömürlüdürler. Ama hala yapısal olmayan amaçlarla sınırlandırılmıştır.

2.1.2. Formları Açısından Yapıştırıcılar

Modern yapıştırıcılar, kullanılmadan önce fil m sıvı, macun, toz gibi çeşitli formlarda olabilirler. Kullanım yeri olarak, yani formu bakımından yapıştırıcılar çeşitli gruplarda değerlendirilebilir. Bu gruplar;

- a) Macun tipi yapıştırıcılar
- b) Fil m tipi yapıştırıcılar
- c) Düşük viskoziteli yapıştırıcılar
- d) Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar
- e) Reçineler
- f) Köpükler

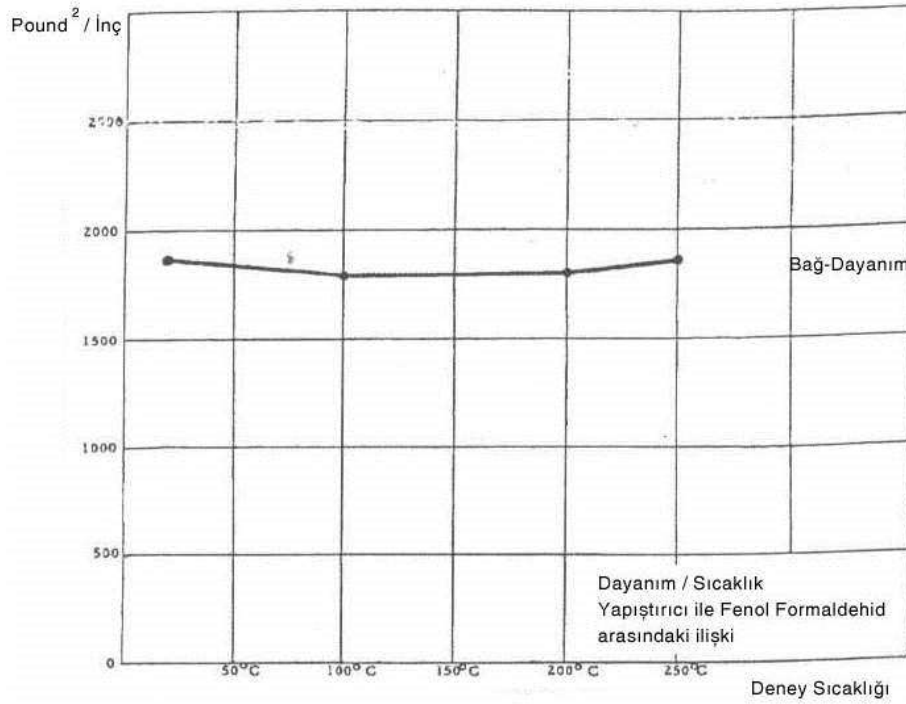
2.1.3. Yüksek Sıcaklıklara Dayanıklı Yapısal Yapıştırıcılar

Genel olarak yapısal yapıştırıcılar metal, seramik ve polimer malzemelerden oluşur. Polimerler, organik esaslı malzemeler, yüksek sıcaklıklara dayanma mukavemetleri düşüktür [2].

Polimer esaslı yapıştırıcılar, termosetler ve termoplastikler olarak ikiye gruba ayrılırlar. Termosetler ve termoplastikler arasındaki en önemli fark, termosetlerin sertleşmesi için moleküller yapıda çapraz bağların oluşması gerekirken termoplastikler böyle bir bağ oluşturmazlar. Ayrıca termoplastiklerin ısıtılıp soğutuldukları anda önceki şekillerini tekrar kazanabilmeleri mümkünken termosetler sertleştikten sonra, tekrar ısıtıldıkları anda bozulurlar [3].

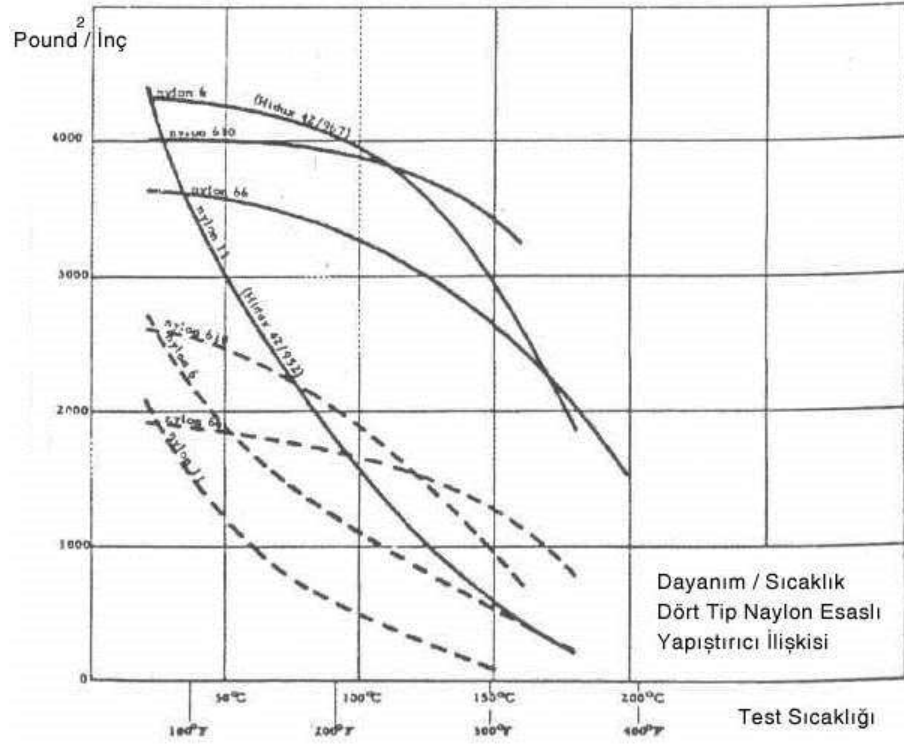
Bildiği gibi yapıştırıcılar, belirli bir sıcaklığın üstünde kimyasal özelliğini kaybederler. Yapıştırıcıların kimyasal özelliğini kaybettiği bu sıcaklığa, yumuşama noktası adı verilir. Yumuşama noktası yüksek bir değere sahip olan yapıştırıcılar, yüksek sıcaklıklara dayanıklı yapıştırıcıdır. Bu yapıştırıcılara, metalik yapıştırıcı da denilebilir. Bütün polimer malzemelerin yumuşama noktası düşüktür. Bu yüzden yapıştırıcının yüksek sıcaklığa dayanımını arttırmak için, yapıştırıcının kimyasal bileşimindeki fenolik ve epoksi reçine oranını arttırmak yada polimer oranını düşürmek gerekir [3].

Poli ner malze nelerin tñmñnñ yapıştı rıc ı nı n kimyasal i çeri ğ i nden atarak sadece fenolik re ç i ne kullan ı m, 250° C ‘ ye kadar dayan ı mlı yapıştı rıc ı lar ı n el de edil mesi ni sa ğ ladı. Ş ekil 2.2 de sadece fenolik re ç i ne kullan ı lmış 600 lb (pound)/dk çek me geril mesi ne maruz yani bir dak ı kda 272,4 kg lık geril meye maruz bırak ı lıyor, 1,27 cm (1/2 inch) yapış ma uzunlu ğ unda ve 2,54 cm (1 inch) geni ş li ğ i ndeki yapış ma birleş mesi i ç i n, sıcaklı k/mukave met eğ risi gör ù lüyor. Ş ekil 2.2 de de gör ù ldü ğ ü gi bi, yüksek test sıcaklı kları nda birleş me mukave meti nde ö ne mli bir azal ma ol ma mış tır.



Ş ekil 2.2 Fenolik re ç i ne i ç i n sıcaklı k/ mukave met eğ risi

Ş ekil 2.3 de ise, fenolik re ç i neli ve re ç i nesiz nayl on esaslı yapıştı rıc ı lar i ç i n, sıcaklı k/ mukave met eğ rileri gösteril miş tir. Gör ù ldü ğ ü gi bi fenolik re ç i ne esaslı yapıştı rıc ı lar, yüksek sıcaklı klarda daha yüksek çek me mukavemeti ver nektedir.



Şekil 2.3 Naylon esaslı yapıştırıcılar için sıcaklık/ mukavemet eğrisi

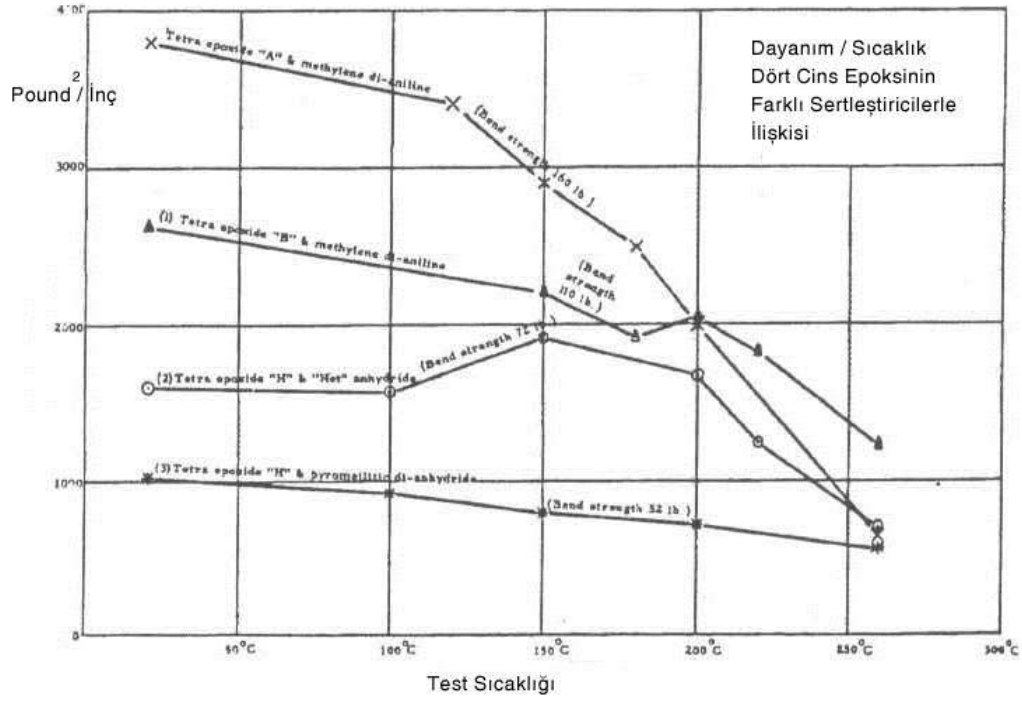
Metal yapıştırıcılar olarak bilinen yüksek sıcaklığa dayanıklı, çok çeşitli malzemeler arasında mukemmel yapışma sağlayan fenolik esaslı yapıştırıcılar, ideal şartlarda ve ideal oranlarda karıştırılması sonucunda, yapıştırıcı da kırılma olmaksızın yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet vermenin yanı sıra iyi bir dolgu malzemesi olarak da kullanılırlar.

Bir başka yüksek sıcaklığa dayanıklı yapıştırıcı tipi ise, epoksi reçine esaslı yapıştırıcılardır. Epoksi yapıştırıcılar, kimyasal yapısından dolayı oldukça esnek ve ısı dayanımı yüksek malzemelerdir. Epoksi reçinelerin yumuşama noktası, molekülleri arasındaki çapraz bağların sayısının artırılması ile yükseltilir. Epoksi reçinelerin yumuşama noktasının artırılması ile yüksek sıcaklığa dayanıklı yapıştırıcılar elde edilmiştir [3].

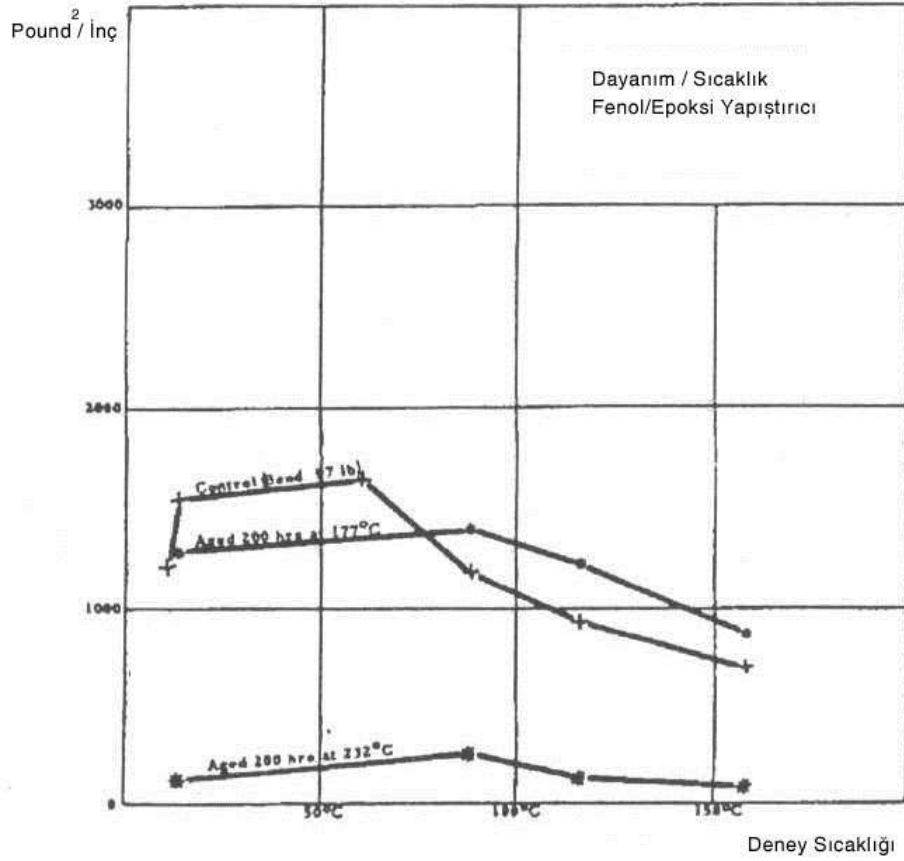
Epoksi reçinelerin yumuşama noktasını arttırmak için içeriğindeki sertleştiricinin fonksiyonel olarak artırılması gerekir. Şekil 2.4 de, farklı sertleştiriciler ile karıştırılmış epoksi reçinelerin sıcaklık/ mukavemet eğrileri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, sertleştiricinin fonksiyonel olarak artırılması ile yüksek sıcaklıklarda daha yüksek mukavemet elde edilir [1-3].

Yüksek sıcaklıklara dayanıklı yapıştırıcıları elde etmenin diğer bir yolu ise, epoksi reçineler ile fenolik reçinelerin birbirine belirli oranda karıştırılmasıdır. Belirli

oranda karıştırılan bu tip yapıştırıcılar, yüksek sıcaklıklarda daha yüksek mukavemet vermesine rağmen, aynı zamanda kırılgandır. Kırılganlığın artması ise, kopma ve eğilme mukavemetinin azalmasına neden olmuştur. Şekil 2.5 de epoksi reçineler ve fenolik reçinelerin birbirine karıştırılması ile elde edilen değişik yapıştırıcılar için, sıcaklık/ mukavemet eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Epoksi reçineler için sıcaklık/ mukavemet eğrileri



Şekil 2.5 Epoksi-fenolik reçineler için sıcaklık/ mukavemet eğrileri

2.2 Bazı Yapıştırıcıların Özelliklerinin Anahatları

Aşağıdaki tablolardan Tablo 2.1 yapısal uygulamalarda kullanılan yapıştırıcıların bazı tipik özelliklerini gösterir. Bunlar sadece gösterici olarak değerlendirilmelidir. Sıklıkla kullanılan ahşap yapıştırıcıları için değerler genellikle ahşabın kendisiinden daha sağlam olarak varsayıldıkları için katılmamıştır. Tablo 2.1'deki değerler sık kullanılan yapısal malzemeler için Tablo 2.2'de karşılaştırılabilir. Tablo 2.2'de metaller için alınan kesme ve gerilme kuvvetleri akma sınırındadır. Bunların son değerleri belirgin şekilde daha yüksek olacaktır. Tablo 2.3'de ise bazı yapıştırıcıların belirli uygulamalar için belirli tipteki reçinelerin uygunluğu belirtilmek amacıyla kullanılan karakteristik göstergeleri verir.

Bu belirtilmelidir ki; kıyaslamalar yapıştırıcıların kullanılacağı maddelerle değil diğer yapıştırıcılardır.

Tablo 2.1. Bazı yapısal yapıştırıcıların tipik özellikleri

ÖZELLİK	EPOKSİ	POLİ ÜRETAN	AKRİLİK	POLYESTER
Kesme mukavemeti (N/mm ²)	15-35	15-25	15-25	??
Kayma (kesme) modülü (KN/mm ²)	0.5-2	0.1-0.2	0.01-0.02	??
Kesme göçmesi deformasyonu (%)	5-50	50-200	50-200	??
Çekme mukavemeti (N/mm ²)	20-40	15-25	15-35	10-25
Çekme modülü (KN/mm ²)	1-10	0.5	0.5	??
Çekme şekil değiştirme (%)	1-4	10	50	6
Cam hale geçiş (°C)	35-100	35-80	-100	30-70
Poisson oranı	0.3-0.4	0.4	0.43	??
Isıl genleşme (10 ⁻⁶ /°C)	30-70	40	50	30-70

Tablo 2.2. Otak yapısal materyallerin tipik özellikleri

ÖZELLİK	DEMİR	BETON	AHŞAP	ALÜMİNYUM ALAŞIMLAR
Kesme mukavemeti (N/mm ²)	120	1-3	5-16	150
Çekme mukavemeti (N/mm ²)	250	1-5	8-40	240
Çekme modülü (KN/mm ²)	200	N.A	4-17	70
Çekme şekil değiştirme (%)	5	0.01	0.9-5	7-15
Poisson oranı	27	0.15	0.3-0.7	0.3
Isıl genleşme (10 ⁻⁶ /°C)	12	8-12	2-10	23

Tablo 2.3 Bazı yapısal yapıştırıcıların karakteristikleri

KARAKTERİSTİKLER	EPOKSİ	POLİ ÜRETAN	AKRİLİK	POLYESTER	RF & PRF	PF
Sünme dayanımı	çok iyi	zayıf	zayıf	yeterli	??	??
Ne m dayanımı	çok iyi	yeterli	iyi	yeterli	çok iyi	çok iyi
Isı dayanımı	iyi	yeterli	yeterli	iyi	??	??
Soğuk veya sıcak kür	her iki si de	soğuk	soğuk	soğuk	her iki si de	sıcak
Kürlenme zamanı	orta/uzun	orta/kısa	kısa	kısa	??	kısa
Boşluk doldurma	evet	evet	hayır	evet	evet	??

3. EPOKSİ YAPIŞTIRICI LAR VE EPOKSİ YAPIŞTIRICI LARI N

Kİ MYASAL YAPISI

Epoksi reçineleri, prepolimer ve sertleştirici olmak üzere iki bileşenli olarak satılırlar. Epoksi yapıştırıcılar fiyatlarının oldukça yüksek olmasına rağmen oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Kolay kullanılabilir oluşları, hacimlerini muhafaza etmeleri, aşınmalar, kimyasal etkilere ve korozyona karşı mukavemetlerinin yüksek olması, mekanik özelliklerinin çok yüksek olması çok çeşitli malzemelerle (metal, ahşap, cam, seramik, plastik, beton) olagüstü yüksek aderans sağlamaları, komponentlerin oluşturduğu reaksiyonda uçucu maddeler açığa çıkmadığı için sertleştiklerinde diğer yapıştırıcılara göre daha az rötre yapmaları, termoset olmaları ve istenen özelliklere göre değişik yapıştırıcı türlerinin yapılabilmesi en önemli özellikleri arasında sayılmaktadır [4, 5].

Epoksi reçinelerini ilk olarak bir İsviçre firması olan Ciba AG 1946 yılında piyasaya sürmüştür. Moleküller yapıları itibarıyla çok değişik reaksiyon malzemeleri ile birleşebilen epoksi reçinesinden çok çeşitli ürünler elde edilebilmektedir. Epoksi kimyası bu yüzden günden güne gelişmekte ve her sene yeni malzemeler kullanıma sunulmaktadır. Epoksi kimyasının çeşitliliği, epiklorhidrin, alkol, asitler, asitanhidratlar ve amin grupları gibi aktif hidrojen içeren değişik bileşimlerin, poliadisyon reaksiyonları ile birleşip hidroksil grupları oluşturulabilmesinin sonucudur. Başka bir deyişle kullanılabilir reaktif malzemelerin çokluğu, çok çeşitli epoksi reçinelerinin elde edilmesini sebebiştir [6].

Sertleştiriciler ve katkı maddeleri, epoksi tutkalına farklı viskozite, pota ömrü, ısı ve kimyasal v.b maddelere karşı dayanıklılık ve sertlik kazandırır.

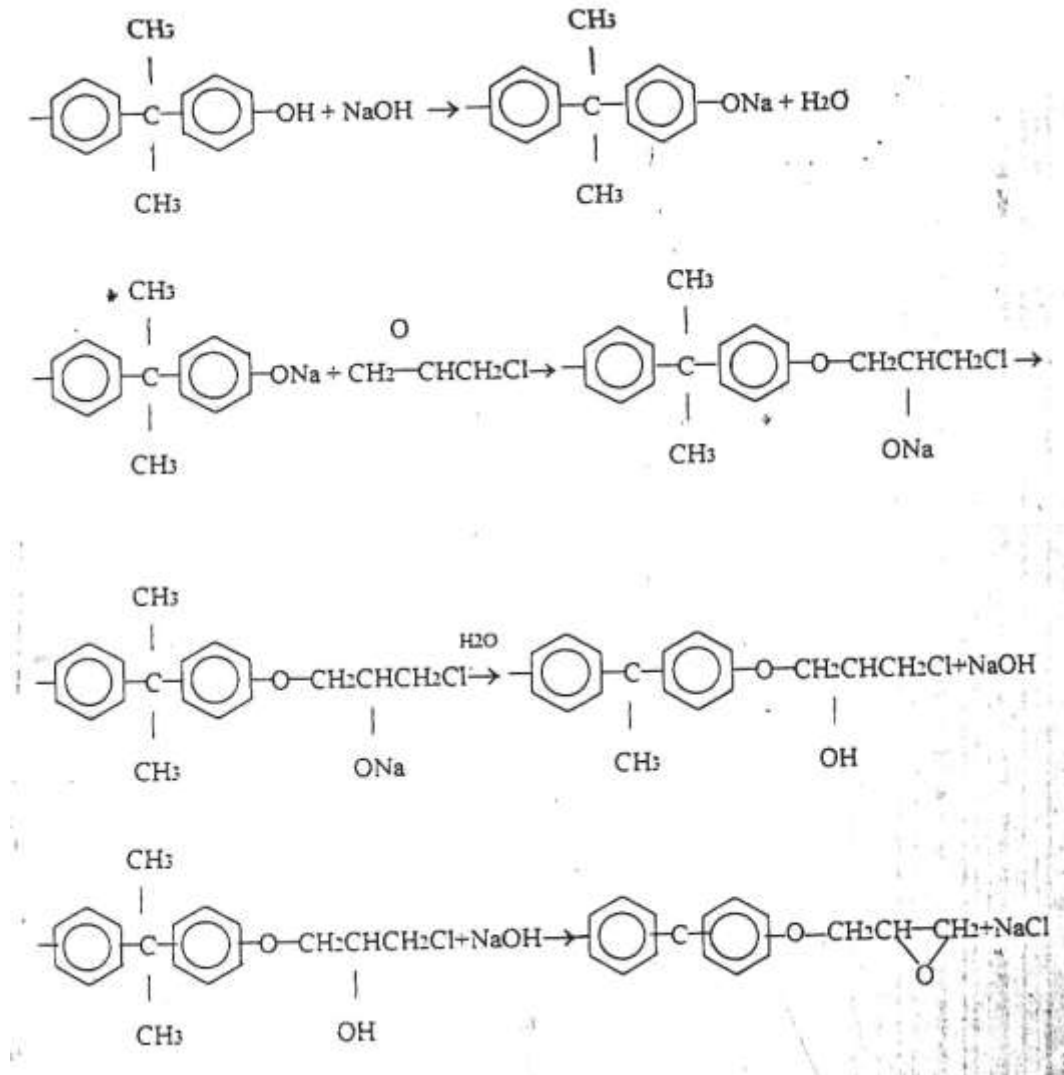
Epoksi yapıştırıcıların kimyasal yapısı incelendiğinde yukarıda belirtilen özellikleri ve çeşitli ürünler elde edilme sebebi daha iyi anlaşılır.

Epoksi reçineleri biri oksijen olmak üzere, üç elemanlı bir hal kadan oluşur. Epoksi reçine adı, etilen oksid veya oksiran grubu olarak adlandırılan 1,2 veya α -epoksi gruplarına dayanılarak verilmiştir. Şekil 3.1 de yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi reçinelerinin çoğu, epiklorhidrin ile aktif bir hidrojen bileşiminin reaksiyonu

DGEBA epoksi reçinelerin prepolimeri ve aynı zamanda ana maddesidir. Epoksi reçinelerinde epiklorhidrin alkali ile dehidrohalojenize edilmiş olduğu için iki fonksiyonlu bir monomer olarak görev görür [6];

❖ Sıvı epoksi reçineleri için katalizör olarak kostik soda (NaOH) kullanılıp epiklorhidrinin ilk karbon atomunun halka açılım ve fenolik hidroksil grubuna bileşimi sağlar.

❖ Dehidrohalojenasyon görevi yaparak halohidrinin epoksi grubuna dönüşmesine yol açar.



Şekil 3.4 Halohidrinin epoksi grubuna dönüşmesi

Epoksi Yapıştırıcıların Prepolimer Ürünleri :

a) Katı Epiklorhidrin Bisfenol A Reçineleri:

Yüksek moleküler ağırlığı olan katı epoksi reçineleri ya Bisfenol A NaOH ve epiklorhidrin ile doğrudan doğruya ya da DGEBA'nın Bisfenol A ile zincir uzantı reaksiyonu ile üretilir. Genellikle yüksek molekül ağırlığı olan polimerlerin tutkallarda kullanılması pratik değildir. Düşük reaktifliği olması, yüksek ısı ve basınç gerektirmeleri, yapıştırıcıların sertleşme ve kürlerini zorlaştırır [4-6].

b) Novalac Reçineleri:

Novalac reçineleri, fenol ya da kreosol'un, bir asit katalizörü yardımıyla formaldehit ile kondanse edilmesinden üretilmektedir. Novalac reçineleri, standart Bisfenol A ile mukayese edildiklerinde, çapraz halka şebekesi yoğunlukları fazla olduğu için ısı ve kimyasal dayanıklılıkları da fazladır. Ayrıca bu reçinelerin viskoziteleri düşük olduğu için kullanımları Bisfenol A reçinelerinden daha fonksiyondur [4-6].

c) Esnek Epoksi Reçineleri:

Düşük yoğunluklu ve esnek ürünler olan bu tip reçineler, propilen glikol ve gliserin gibi poliolardan iki basamaklı işleme sentez yoluyla elde edilmektedirler.

4. EPOKSİ YAPIŞTIRICILARIN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Epoksi yapıştırıcılar birleştirdikleri elemanların üzerindeki mekanik yükleri yapıştırılan yüzey boyunca birbirlerine aktarırlar ve dolayısıyla yapıştırılan elemanların tek bir parça gibi çalışmasını sağlarlar. Örneğin laminane ahşap malzeme ile doğal ahşap malzemenin daha sağlam ve büyük boyutta yapı elemanları yapmak, üst üste yapıştırılan ince ahşap parçalarını tek bir parça olarak kullanmak mümkündür. Epoksi yapıştırıcı ile birleştirmenin avantajı çivi, kama, perçin v.s ile noktasal birleştirme yerine yüzeysel birleştirme sağlayabilmesi ve elemanlarda kesit zayıflaması problemini yaratmamasıdır. Aşağıda sırasıyla epoksi yapıştırıcının derz mukavemetini etkileyen fiziksel ve kimyasal özellikler anlatılmıştır [5].

4.1. Kohezyon

Kohezyon kuvveti, bir homojen cismin içindeki atomların ya da bir sıvının içindeki atom veya moleküllerin birbirlerini valans bağları ile çekme kuvvetidir. Cisimlerin kopma dirençleri ve sıvılardaki yüzey gerilişleri bu kohezyon kuvvetlerine bağlıdır.

Kohezyon kuvveti ile, iki katı malzemeyi teorik olarak birbirine yaklaştırıp yapıştırmak mümkün ise de bu pratikte uygulanmayan bir metottür. Olayı mikroyüzey boyutunda incelediğimizde, en düzgün yüzeyli maddenin bile yüzey pürüzlülüğünün fazla pürüzlü kalacağı için kohezyon etkisi ile yapıştırılmayacağı görülür. Ayrıca cisimlerin yüzeyleri üzerindeki oksidasyon tabakaları da, nem ve toz parçacıkları da bu tür yapıştırmada büyük zorluklar çıkarırlar [6].

4.2. Adhezyon

Adhezyon, iki ayrı homojen malzemenin yüzeylerine dik doğrultuda etki eden valans kuvvetlerinin meydana getirdiği, iki yüzeyin molekülleri, atomları ve iyonları arasında oluşan malzemelerin birbirine yapışmasını sağlayan iç kuvvetlerin toplamıdır. İki ayrı malzemenin adhezyon kuvveti ile birbirine yapışmasını sağlamak için sıvıların katı cisim üzerinde akma özelliğinden yararlanılarak cismin yüzeyi ile epoksi yapıştırıcı arasında tam temas oluşturulur. Adhezyon; mekanik adhezyon, spesifik adhezyon ve elektrostatik çekim olmak üzere üç şekilde açıklanmaktadır [6].

4.2.1. Mekanik Adhezyon

Katı cisimleri birbirlerine yapıştırmak için kullanılan sıvı haldeki yapıştırıcılar, penetrasyon (yapıştırıcının yapıştırılacak malzemenin bünyesine girmesi anlamına gelir) özellikleri ile cisimlerin yüzeylerini ıslatarak, çıkıntıların etrafının sarar, boşlukları doldurur ve kapiler boşluklardan malzemeni içine nüfuz eder. Yapıştırıcı sertleştiğinde mekanik ankraj mesafesini görür. Mekanik adhezyonu, yapışacak malzemenin yüzey tekstürü, porozitesi ve sertliği etkilemektedir. Bu tip adhezyonda, iki yüzeyin molekülleri arasında düşük çekme kuvvetleri bulunsun bile ahşap gibi yüzeyi pürüzlü malzemelerde iyi sonuç almaktadır [6].

4.2.2. Spesifik Adhezyon

Epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemenin yüzeyinin molekülleri arasında, birinci ya da ikinci dereceden valans kuvvetleri oluşarak ve bazı hallerde iki malzemenin molekülleri, yapıştırıcı ile reaksiyona girerek yapışma sağlanması olayı spesifik adhezyon olarak tanımlanmaktadır. Örneğin ahşap malzemenin yüzeyine sürülen epoksi yapıştırıcı, ahşabın hücrelerinin arasına nüfuz ederken, hücre çeperlerini ıslatır ve bu sayede yapıştırılan cisimlerin arasında moleküler kuvvetlerin oluşması geniş bir alanda gerçekleşir. Moleküler bağ kuvvetlerinin etkin olduğu iç yüzeylere “halki yada etkin moleküler temas alanı” denilmektedir [6].

4.2.3. Elektrostatik Çekim

Yapıştırılan malzeme ile yapıştırıcının içindeki polar gruplarının bu iki malzeme arasında birbirlerini çekme kuvvetleri oluşturmasıdır. Elektrostatik çekimle, yapıştırıcı ile malzeme arasında elektron transferi meydana gelir. Bu tip adhezyonun yapıştırımadaki önemi hususunda görüş ayrılıkları bulunmaktadır. Bazı kimyacılar elektrostatik çekimin yapışma için birinci derecede önemli olduğunu vurgularken, bazıları da bunun önemsenecek derece de az bir çekim kuvveti olduğunu savunmaktadırlar.

4.3 Viskozite

İyi bir mekanik ve spesifik adhezyon için epoksi yapıştırıcıların viskozitesi ve uygulanırken bu viskozitenin değişim süresi, tutkal hattının oluşmasında çok önemli bir faktördür. Yapıştırıcının viskozitesi, uygulanacak malzemenin yüzeyi tarafından emilecek ve yüzeydeki pürüzlükleri dolduracak bir düzeyde olmalıdır. Epoksi

yapıştırıcı malzemenin boşluklarını kavrayarak ankraj görevini üstlenmeli fakat diğer taraftan da, malzeme tarafından gereğinden fazla emilmelidir.

Epoksi yapıştırıcının içindeki katı madde miktarı (konsantrasyonu) arttıkça viskozitesi de artar. Bu da yapıştırıcının malzemeye uygulama süresini azaltır ve sürülmesini zorlaştırır. Epoksi yapıştırıcıların viskozitesini arttırmak için en yaygın olarak kullanılanlar silikalar, kal ker unu, alçı, mika, asbest, bentonit gibi maddelerin yanı sıra, toz haline getirilmiş alüminyum ve çinko gibi metallerde epoksi sistemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca gereğinden fazla yüksek viskoziteli epoksi yapıştırıcılar, ıslatma ve penetrasyonu sağlamazlar ve bu da mekanik ve spesifik adhezyonu, dolayısıyla da yapıştırıcı birleşiminin direncini negatif yönde etkiler [5].

Düşük viskoziteli epoksi yapıştırıcıları, cam, seramik gibi malzemelerle penetrasyonlarının fazla olması dolayısıyla iyi temas sağladıklarından, çok olumlu sonuçlar vermesine rağmen, ahşap ile uygulamalarında problemler çıkmaktadır. Hatta, viskozitesi düşük epoksi reçineleri ahşaba indirilerek poli mer-ahşap malzeme üretmek için araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin, 1985 yılında Schroeder ve Parameswaran'ın Hamburg Üniversitesi'nde yaptıkları çalışmada, özgül ağırlığı 1gr/cm^3 den fazla olan sarıçam bile en basit metotla dahi viskozitesi düşük epoksi reçinesi endirilebildiği saptanmıştır [5,6].

4.4 Penetrasyon

Epoksi yapıştırıcının yapıştırılacak malzemenin bünyesine girmesi anlamına gelen penetrasyon, ahşapta hücrelerarası boşluklarını içine girmesiyle oluşan makroskopik özellikli kapiler penetrasyon ve hücre çeperlerine nüfuz etme yoluyla mikroskopik özellikli hücre çeperi penetrasyonu olmak üzere iki türlü görülür. Sıvı haldeki yapıştırıcı, kapilerite ile traheid duvarlarından yukarı çıkarak traheidleri sarar. Aynı zamanda yapıştırıcının içindeki düşük moleküllü çözücü sıvılar, difüzyon yolu ile emildikleri için penetrasyon yapmış yapıştırıcının viskozitesi de yükselir. Yapıştırıcının bu iki tip penetrasyon ile hücre tabakalarına geçmesi "iç yapıştırıcı derzini" oluşturur.

Epoksi yapıştırıcı, yapıştırılacak ahşabın yüzeyinin kesilmesi dolayısıyla, yüzeyde açılmış olan hücre dokusunun içine girerken, ahşabın yüzeyine yaptığı aç ve traheid boyu penetrasyonu doğrudan etkiler. Yapıştırıcıda verilen basınç kuvveti ve yapıştırıcı miktarı da penetrasyonu etkileyen başlıca nedenlerdir. Yapıştırıcı derzinde penetrasyon mekanik adhezyonun oluşmasını etkileyen en önemli faktördür [6].

4.5 Kür ve Su ile Reaksiyon

Epoksi yapıştırıcıların uygulanmasında, su ile teması, tutkalın su ile reaksiyona girerek aderans ve mekanik özelliklerin negatif yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. Yapıştırıcının sertleştikten sonra bünyesine su alması durumunda ise, mekanik ve zamanla bozulma gibi özelliklerini pozitif yönde etkilenmesine rağmen, epoksi tutkallarının su absorpsiyonları zararlı olarak kabul edilmektedir. Ancak, sertleştikten sonraki su absorpsiyonları %0,25 ile %8 gibi çok küçük oranlar arasında değişen epoksi yapıştırıcıların, bu verilerden anlaşıldığı gibi suya karşı son derece dayanıklı oldukları saptanmıştır [4-6].

Epoksi yapıştırıcıların kürü ise, kullanılan sertleştirici maddeye göre değişik olmaktadır. Örneğin, sıvı epoksi reçinelerinin soğuk sertleşmesi istendiğinde sertleştirici olarak trietilen, alifatik poliaminler (etilendiamin gibi) ve poliamidoaminler kullanılır. Bu sertleştiriciler normal sıcaklıkta (genellikle 15-20° C den itibaren) aktiftirler. 80-100° C sıcaklıkta sertleşen epoksi reçineleri elde etmek için aromatik aminler, daha yüksek sıcaklıkta ise anhidritfital asidi ya da benzeri poliasitlerin anhidritleri kullanılır. Çevresel faktörlere, mekanik gerilmelere ve asitlere karşı iyi dayanıklılık gösteren anhidritler içeresinden, kimyasal maddelere karşı en iyi dayanıklılığı ise aromatik aminler ile sertleştirilen epoksi sistemleri sağlamaktadır [4-6].

Genellikle prestetutulma süreleri 12-24 saat arasında değişmektedir. Bu süre, ortam sıcaklığının artması ile azalmaktadır. Ancak 200° C 'nin üstünde uygulanan yapıştırma sağlıklı olmamaktadır.

4.6 Yapıştırıcı Derzinde Hava Kabarcıkları Oluşması

Malzemenin dokusu içine giren sıvı yapıştırıcı, gözeneklerin ve yüzeydeki girintilerini içine nüfuz ederek iç hücre duvarlarını kaplar. Viskozitenin çok yüksek, yani yüzey geriliminin fazla olduğu hallerde yapıştırıcı, girintiler ile yeterli teması sağlayamaz ve bu bölgelerde hava hapis olur. Yapıştırıcı hattında, ya da yapıştırıcının kendi içine hava kabarcıklarının oluşması, yapıştırıcı birleşiminin dirençsiz olmasına neden olmaktadır. Endüstride kullanılan yapıştırıcı ve püskürtme makineleri ile yapıştırıcıda hava kabarcıkları oluşması kaçınılmazdır [6].

Diger yapıştırıcılara göre epoksi reçinelerinin en büyük avantajı hava kabarcığı oluşturmaması ve mekanik özelliklerinin çok yüksek olmasıdır. Bu da epoksi reçinelerinin daha çok tercih edilmesiinde önemli bir etkidir.

5. EPOKSİ REÇİ NELERİ İÇİN KATKI MADDELERİ VE DEĞİŞTİRİCİLER

Epoksi for mülasyonunun i ki ana içeri ğ i ne ek olarak, n esela reç i ne ve kürlen m e de etkili olan şey gi bi, pek çok di ğ er for mül sel materyal uygun ol m a k ta ve sıkça epoksilerin özelliklerini ve karakteristiklerini de ğ iştir m e de, he m kürlenm e m i ş he m de kürlenm i ş şekilleri içerisinde, kullanı l m a k ta d ı r l a r .

Bu böl ü m de her ana de ğ iştir m e materyali tipi, kullanı l m a k ta olan en genel tiplerine ait veril m i ş örnekler ve ver d i k l e r i m u h t e m e l faydalar ile birli kte tartışılacaktır.

Bu tartış m a ya yakla ş m a yöntemi bir di zi uygun baş l ı k ile ol m a s ı na ra ğ m e n , epoksi for mül asyonunda kullanı l a n bir çok i içeri ğ i n mantı ğ a uygun olarak bir den fazla baş l ı k altında tartışılabil m esi ni n de m ü n k ü n ol d u ğ u na d i k k a t et m e k ö n e m l i d i r . Bu nedenle, örne ğ i n , bu m e t i n d e 'esneklik sa ğ l a y a n l a r ' di ye tanı m l a n a n materyallerin bazıları 'reaktif sı vı l a n d ı r ı c ı l a r ' olarak ya da tam tersi olarak d i k k a t e al ı n a b i l i r .

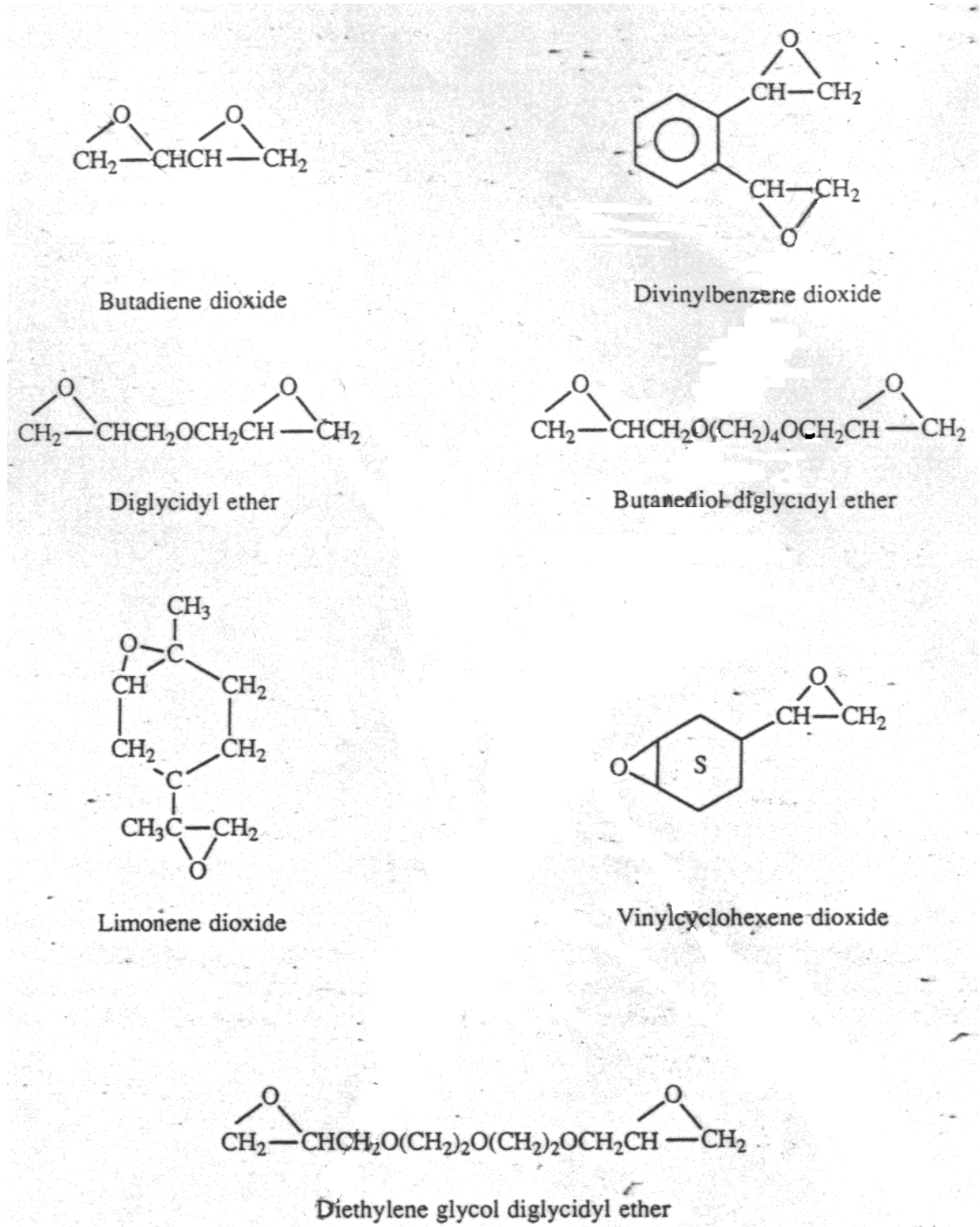
5.1. S ı v ı l a n d ı r ı c ı l a r

Sı vı l a n d ı r ı c ı l a r genellikle; genel işlevselli ğ e, akışkanlı ğ ı d ü ş ü r m e yol uyla yard ı m c ı ol a c a k şekilde kullanı l d ı k l a r ı gi bi, dolgu mal z e m e l e r i gi bi di ğ er for mül sel i içeri k l e r i n daha büyük birleş i m i ne izin ver m e k ve ı s l a t m a gi bi özelliklerini gelişt i r m e k m a k s a d ı y l a , ve reç i n e l e r i n çeşitli lifli güçlendir m e l e r ile birleş m e s i ni sa ğ l a m a k i ç i n kullanı l ı r l a r .

Akışkanlı ğ a ilave olarak di ğ er özelliklerin de de ğ iş ecek ol m a s ı n ı n fark ı n d a ol m a k ö n e m l i d i r . Bahsi geçen özellikler ve de ğ iş i m i n büyükl ü ğ ü , kullanı l a n sı vı l a n d ı r ı c ı n ı n he m t i p i ne he m de m i k t a r ı na ba ğ l ı d ı r . Ek olarak materyallerin bir ço ğ u, ters zehirli karakteristi ğ e sahip sı vı l a n d ı r ı c ı etkileri gösterebil m e ye m u k t e d ı r d i r l e r , ve vakaların ço ğ unda he m reç i ne he m de iyileştirici ile birlikte bulunanlardan daha şiddetli ol m a k t a d ı r l a r . Bu sebeple he m seç i m he m de kullanı m ı n da büyük hassasiyet gösteril m e l i d i r .

Epoksi reç i ne teknolojisinde kullanı l m a k üzere ele al ı n a n sı vı l a n d ı r ı c ı l a r , non-reaktif ya da reaktif olarak ele al ı n a n l a r ı kapsayan i ki geniş s ı n ı f a ayrılabilir.

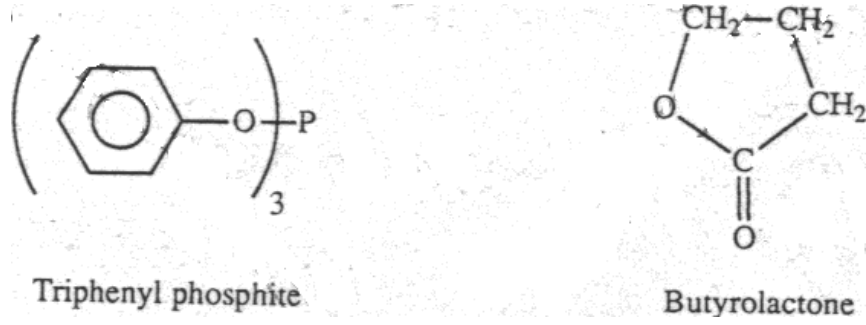
Yüksek sıcaklıklarda fiziksel/ mekanik özellikleri koruma çabasıyla, çok fonksiyonlu epoksi sıvılandırıncıların kullanımı dikkate alınmıştır. Belli bir dereceye kadar haklı olarak epoksi reçineleri diye tanımlanacak olmalarına rağmen, daha uygun formlasyonlardaki kullanımları, örneğin temel reçine komponenti olarak bir DGEBA kullananlar, akışkanlık azaltmayı sağlama yönündeki kabiliyetlerini sergilemiştir. Reaktif sıvılandırıncılar olarak önerilmiş tipik çok fonksiyonlu epoksi bileşikleri Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Çoğu durumda, sistemin işlevselliği bir bütün olarak bu materyallerin birleşmesinden büyük ölçüde etkilenmeyeceği için, çapraz-bağ yoğunluğu ve bundan dolayı buna bağlı özellikler genellikle zararlı biçimde etkilenmeyeceklerdir. Esasında bazı özellik artmalarının mümkün olduğu gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Çok fonksiyonlu epoksi bileşikleri

5.1.1. Non-Epoksi Esaslı Sıvılandırıcılar

Epoksi d-bazlı reaktif sıvılandırıcılar çoğunlukla akışkanlık azaltmanın gerekli görüldüğü durumlarda kullanılmalarına rağmen, reaktiviteyi non-epoksi d guruplarla türeten bir çok bileşik de dikkate alınmıştır. Bunlarını içerisinde en çok dikkate değer olanlar 'trifenil fosfat' ve 'bürolaktone' gibi 'taktone' bileşikleri olup, yapıları Şekil 5.2 de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Trifenil fosfat ve bütrolaktone

İki materyal de sıkça görünen 'yüksek sıcaklık kabiliyeti' noksanına rağmen, etkili akışkanlık-düşürücü özellik sergilemiştir.

5.2 Dolgu Malzemeleri

Reçine ve iyileştiriciden ayrı olarak dolgu malzemeleri büyük olasılıkla epoksi formülasyonlarının büyük çoğunluğunda kullanılan en genel formül sel içeriktir. Kesinlikle yüzlerce değişik dolgu tipi, epoksilerin özellik ve karakteristıklarını, maliyeti düşürmeye ek olarak, bir formuya da bir diğer formiçinde değiştirebildikleri gibi bu amaçla kullanılmışlardır. Avantaj ve dezavantaj anlamında, dolgu birleşmelerinin yarattığı çeşitli etkilere işaret etmektedir. Dolgu malzemeleri çoğu uygulamaya için yararlı olarak gösterilmelerine rağmen, arttırılmış yoğunluk (ve dolayısıyla ağırlık) ile birlikte, muhtemelen formülasyonun işlenmesini etkileyecek olan, akışkanlıktaki artış gibi dezavantajlı karakteristikler, açıkça ciddi olarak dikkate alınmayı gerektirmektedir.

5.2.1 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Özel dolgu malzemelerine yapılan eklemeler genellikle gerilme ve bükülme dayanımları gibi, dayanım karakteristiklerinde azalmaya neden olurlar. Buna rağmen lifli dolgu malzemeleri, kritik değerden daha yüksek yüklenme seviyelerinde kullanıldıklarında, sıkça bu dayanım parametrelerinde gelişme sağlarlar. Tahmin edileceği gibi özel ya da lifli dolguların birleşmesi değişmez biçimde, büyüklüğü dolgu çeşidine ve yüklenme seviyesine bağlı olarak, modülde önemli artışlar meydana getirirler. Dolguların önemli dayanım gelişmeleri sağladıklarının bildirildiği bir özel uygulamanın, alüminyum ve alümina gibi ilave dolguların genel uygulamalarının gerçekleştirildiği yapısal adeziv formülasyonları ile olduğu bildirilmiştir. (Lewis, 1988)

Dolgular genellikle, camın geçiş sıcaklığı T_g ya da diğer yüksek sıcaklık bozulma değerleri üzerinde, bir güçlenme sağlanmaktadır.

5.2.2 Ter mal Karakteristikler

Dolgular, egzotermik davranış, termal iletkenlik ve termal genleşme katsayısı gibi özellikler içeren epoksi reçinelerin çeşitli termal karakteristiklerini değiştirilmesine imkan sağlarlar.

Bir çok epoksi formülasyonunun egzotermik karakteristiği, özellikle hacimli maddelerin üretimi göz önüne alındığında, ciddi işlem zorluklarına sebebiyet verebilirler. Epoksiler genellikle iyi termal yalıtma karakteristiği sergiledikleri için, bileşen buharlaşması ve hatta kömürleşmesi ile sonuçlanabilecek, özellikle büyük boyuna dökümlerin ortasında son derece yüksek sıcaklıklara ulaşması mümkün olmaktadır. Dolguların birleşmesi, formülasyondaki reçine miktarını azaltma ve termal iletkenliği artırarak egzotermik ısının daha etkin olarak kaldırılması yolu ile, önemli ölçüde egzotermik ısı üretimini azaltabilmektedir. Esasında termal iletkenlik, alüminyum alümina ve bakır gibi dolgu ilaveleriyle birlikte yaklaşık olarak beş etken ile yükseltilebilir. Genellikle bir dolgu konsantrasyonundaki artış, termal iletkenliği, üst yüklenme sınırı çoğunlukla maksimum izin verilebilir çalışma akışkanlığı ile birleşmiş halde, artırır.

Dolgular yeterli konsantrasyonlarda birleştiklerinde epoksilerin termal genleşme katsayılarını, bir çok metal ile elde edilen epoksilerin termal genleşme katsayısına yakın seviyelere kadar düşürmede başarılıdırlar. Bu, elektronikte ve yapısal adeziv bağ uygulamalarında avantajlı olmaktadır.

5.2.3 Rötme (Büzülme)

Epoksiler polimerizasyon ve çapraz-bağ geçirdikleri zaman, elektronikten adeziv bağlara kadar olan bir uygulama alanı içinde zarar verici olabilen başından sonuna tümüyleleştirme işleminde büzülme meydana gelir. Genellikle diğer başkası ile sertleşen (termoset) polimerlere göre, fenolik ve polyesterler gibi, üstün olduğu belirtilmesine rağmen, en çok formüle edilmiş epoksiler için bulunanların dışındaki diğer büzülme azaltmalarının önemi sık sık dikkate alınmalıdır. Bu çoğu kez, çeşitli dolgu malzemelerinin ve bükülme özelliği veren içeriklerin kullanımıyla elde edilir. Dolgu birleşimi büzülmeyi, reçine ile çapraz-bağ prosesine katılanayan bir soy bileşen arasında basit hacimyer değiştirme yapıarak, azaltır.

5.2.4 Elektrik İletkenliği

Bir çok elektrik ve elektronik uygulamasında, elektrik iletkenlik gösteren epoksi reçine formlasyonlarına gerek duyulur. Poli merli materyallerin büyük çoğunluğunda olduğu gibi formüle edilmiş epoksiler, yüksek seviyeli elektrik dirençleri gösterirler. Dolguların tedbirli kullanılması, bununla beraber, elektrik iletkenlik seviyelerini oldukça önemli oranda yükseltir (Lee, 1988). Bu gereksinmeyi karşılamak için en genel olarak kullanılan dolgu malzemesi, tane ya da toz formunda kullanılan gü müştür. Bazen diğer başka dolgular da, bakır, siyah karbon ya da grafit gibi, öncelikle düşük maliyet ancak azaltılmış etki alternatifleriyle birlikte düşünülmektedir. Gü müşün popülaritesi öncelikle, genellikle elektrik yalıtkanlığı karakteristiği gösteren oksit tabakalarının yokluğundan kaynaklanır. Bu sebeple alüminyum gibi metalik dolgular bu uygulama için seyrek olarak göz önüne alınmaktadır.

5.2.5 Akışkanlık

Dolguların bir epoksiyle birleşmeleri değişik şekilde artırılmış akışkanlık ile sonuçlanır, çoğu uygulamalarda dolgunun en yüksek yüklem kapasitesi genellikle maksimum izin verilen çalışma akışkanlığı ile sınırlandırılmıştır. Genellikle lifli dolgular, ağırlık olarak denkları olan özel (ayrı ayrı parçacıklar halinde olan) dolgulara göre, daha büyük akışkanlık-arttırıcı etki gösterirler. Sonuncu dolgu ile tanecik büyüklüğü genellikle, ufak tane büyüklüğüne sahip dolgular üzerinde akışkanlığı daha iri taneli olanlarınkinden daha yüksek derecelere arttıran bir hükmedici (baskın) etki yaratır.

Bu bir öncekinin daha büyük yüzey alanına atıf dınabilir (Potter, 1970).

Bazı dolgular, özel silis tiplerinde, yapısal adeziflerde ve bükülme özelliği gerektiren formlasyonlarda kullanımı uygun olduğu belirtilen bir tiksotropik etki yaratırlar (Lewis, 1988).

5.2.6 Sertlik (Dayanıklılık)

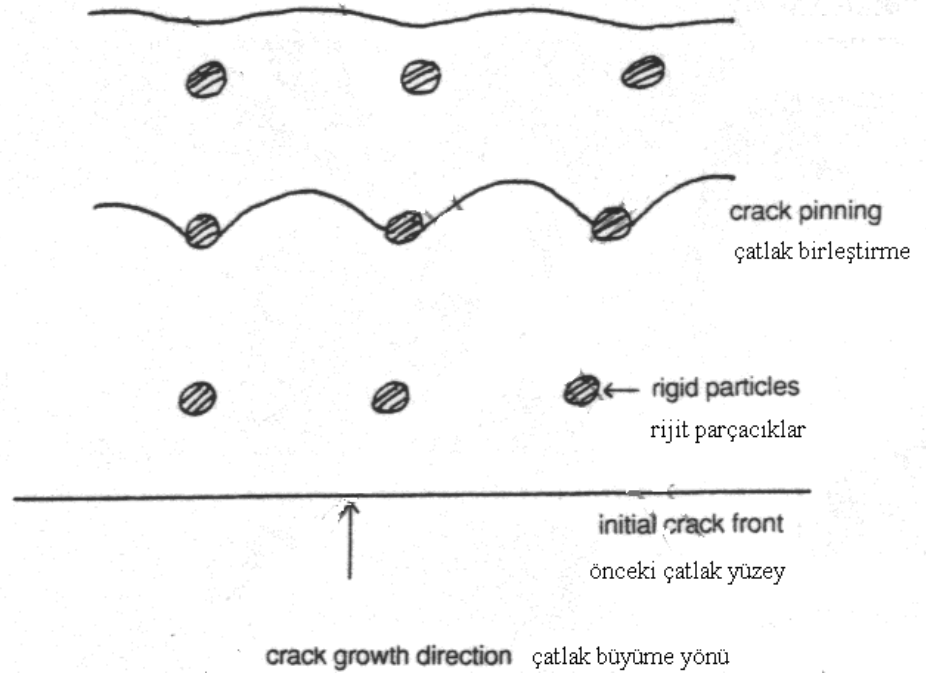
Çoğu uygulamada epoksi reçinelerin faydalılığı genellikle büyük hatalara karşı olan görece kırılma doğaları ve hassasiyetleri ile sınırlanmaktadır. Sonuç olarak yıllardır sertlik özelliğinde, modül ve Tg gibi diğer önemli özellik ve parametrelere oranla daha az masrafla elde edilen, ciddi gelişmelerin verecek prosesleri ve prosedürleri sağlamak için çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Belki de bunun elde edildiği en

başarılı yöntem kauçuk-değişim olarak bilinen bir proses olup bu konu daha sonra daha detaylı ele alınacaktır.

Bir çok araştırma göstermiştir ki; silis, cam microsphere ve alümina trihidrat gibi özel bazı dolguların birleşmesi çeşitli epoksi formülasyonlarının sertliğini arttırabilir. (Moloney ve diğerleri, 1983, 1984, 1987; Spanoudakis ve Young, 1984). Belki de en büyük avantaj bunun modüldeki bir gelişmeyle elde edilebilmesidir; lastik değişimin genellikle daha etkili anlamda bir sertlik kuvvetlendirme sağlanmasına rağmen, bu genellikle modül gibi diğer önemli özelliklerin pahasına elde edilmektedir.

Tane büyüklüğü, tane büyüklüğü dağılımı, tane yüzey kimyası ve özel hacim parçası gibi değişkenler, birçok araştırmacı tarafından ideal sertlik arttırıcı için gerekli olan en önemli değişkenler olarak gösterilmişlerdir.

Çatlak birleştirme (crack pinning) (Şekil 5.3) kavramına dayanan bir mekanizma, özel güçlendirme ile getirilen sertlik gelişmelerini açıklamak üzere önerilmiştir (Lange, 1970; Evans, 1972; Green ve diğerleri, 1979)



Şekil 5.3 Çatlak birleştirme

6. YAPIŞTIRICI LAR VE EPOKSİ REÇİ NELERİ NİN FARKLI MALZEMELER İLE ARA BAĞLANTILARI

Farklı tip yapısal materyaller ile yapıştırıcıların ve özellikle epoksilerin kullanılması sırasında çeşitli ve belli başlı ihtiyaçlar vardır, ayrıca yüzey hazırlanışı gibi gerekliliğ i dan özel tekniklerde vardır.

Bazı durumlarda, yapışkan, aynı cins iki maddenin arasındaki bağlantıyı oluşturmak için yada iki farklı maddeyi birleştirmek için kullanılır. Örneğ in beton için uygun yapıştırıcı kullanılması betonda aderansdan daha önemli olarak kopma (kırılma) deformasyonu gözönünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle nispeten daha az gerilmeye güçlü bir epoksi yapıştırıcı beton için yeterli olacaktır (yeterli dayanımı olmak şartıyla) fakat kompozit malzemeleri bağlar ken çok daha gerilmeye güçlü bir yapıştırıcı gereklidir [7].

Her bir yapısal materyel için uygun olan tipte yapıştırıcılar vardır. Uygulamada aşamasında bu hususa dikkat edilmelidir.

6.1. Beton

Beton ile yapıştırıcıların beraber kullanılması çeşitli başlıklar altında incelenmiştir.

6.1.1. Yüzey Hazırlanışı

Betonun yüzeyinde çimento bakımından zengin bir yüzey vardır. Bu yüzey yapıştırıcı ile temas ettirilmeden önce her türlü yağdan temizlenmelidir. Özellikle de çıkarılan kalıp yağlarından [7].

Betonda yüzey hazırlanışının çeşitli adımları şu sırayı izlenmektedir;

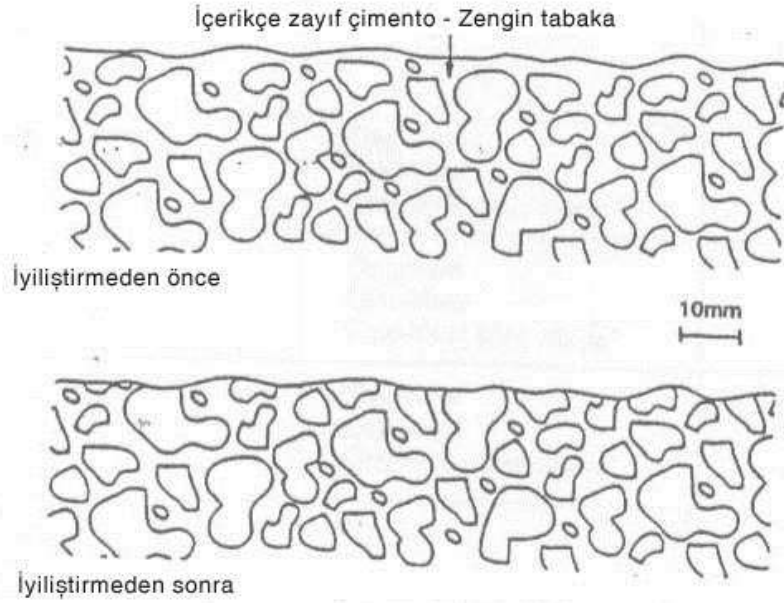
- Standartların altındaki ve ya hasarlı beton kısımlarının kaldırılıp iyi kalite malzeme ile değiştirilmesi

- Beton yüzünün darbe yöntemi (shot veya grit-blasting) veya su jeti yöntemi ile kaldırılması [fırça-çekiçleme (bush-hammering) veya iğneli tabanca (needle-gunning) yöntemleri kullanılabilir, çünkü bu yöntemler alt beton tabakasına hasar vermez riski içermezdir.
- Fırçalamaya, yağsız hava tabancası veya tercihen vakum temizleyici ile çöp ve çökeltilerin temizlenmesi
- Eğer gerekiyorsa, kalan kirleri uzaklaştırmak için uygun bir çözücü kullanılarak temizlenmesi
- Eğer gerekiyorsa bağlanacak yüzeylerini kurulanması
- Gerekiyorsa, yüzeydeki delikleri kapamak için bir kat düzeltme (tesviye) katmanı atılması
- Ayrıca yapıştırıcı için gerekli bir katman varsa onun atılması

gi bi işlemlerin yapılması gerekmektedir.

Hazırlanma işleminden sonra darbe yöntemi (pull-off ve twist-off) testleri ile yüzeyin uygun olup olmadığı test edilmelidir. Bu, duvara dayanmış ve yüklenen küçük çelik plakalarına, kırılma oluşana kadar saf basınç yada çekme yüklenmesini içerir. Her iki testteki gerilme, bağlantı noktalarındaki durumu çok iyi temsil eder. Benzer davranışın güzel bir temsilidir.

Aşağıdaki şekil 6.1 şematik olarak hazırlanmadan önce ve sonra beton bir yüzeyin kesitini göstermektedir. Zayıf, çimentoca zengin yüzeyin kaldırılışı, katı yüzeyin çıkarılışını göstermektedir [7].



Şekil 6.1 Zayıf çimento zengin yüzeyi iyileştirilmesi

6.1.2 Bağlayıcı Yapıştırıcının Seçilmesi

Betonla birlikte en sık kullanılan bağlayıcılar epoksilerdir. Betonun epoksi yapıştırıcı ile kullanılabilirliği için minimum basınç mukavemetinin 25 N/mm^2 den büyük olması gerekir. Bununla birlikte sıklıkla kullanılan bağlantı elemanları ve kancalar polyesterdir. Betonu yüksek alkali niteliği nedeniyle poliüretan esaslı materyeller yapısal bağlar için uygun değildir, genellikle döşeme “toppings” gibi yapısal olmayan uygulamalarda kullanılırlar [8].

6.1.3 Montaj

Çok gözenekli betonda, yüksek miktarda bağlayıcı emilebilir. Bu durumda, betona iki katman halinde bağlayıcı uygulanmalıdır.

Birleştirilecek malzemelerin birim ağırlıklarının yakınlığı sebebiyle, bağlayıcının dayanım kazanması süreci boyunca, birleşim noktalarındaki relatif hareketi ve bağlayıcı da gerilim oluşmasını önlemek için elemanlar rijit bir şekilde desteklenmelidir [8].

6.2 Çelik ve Dökme Demir

Çelik ve dökme demirin yapıştırıcılar ile ara bağlantıları aşağıda incelenmiştir.

6.2.1. Yüzey Hazırlanışı

Yüzey iyileştirilmesinin amacı, zayıf veya yumuşak bağlı oksit tabakalarından arındırmaaktır. Piyasada yüzey iyileştirilme amaçlı pek çok yöntem vardır ancak delme yöntemi ve yüksek sıcaklıkta sıvıların kullanıldığı yöntemler yapısal uygulamaların işlenmesinde uygun değildir.

Yüzey hazırlanışı şu adımları izlenmelidir;

- Uygun çözücü ile yağın alınması
- M11-scale ve metal oksitlerini yüzeyden temizlemek için tel fırçalama, diskleme veya tercihen darbe yöntemi (grit-blasting) veya yüksek basınçlı su jeti kullanılması
- Çöp ve çökeltileri fırçalama, yağsız basınçlı hava veya tercihen vakumlu temizleyici ile temizlenmesi
- Yüzeyin kurulandırılması
- Üretici tarafından önerilmişse yada bağlayıcı uygulanmadan önce bir bekleme süresi olacaksa bir tesviye katı atılması

6.2.2. Bağlayıcının Seçilmesi

Tamamıyla yapısal amaçlı uygulamalar için en uygun bağlayıcı epoksi dir. Yüksek dayanım gerektirmeyen yarı-yapısal uygulamalar için poliüretan ve akrilik bağlayıcılar uygun olabilir, çok yüksek nemli ortamlar olmak ve sünme (akma) etkileri göz yumulacak sınırlarda olmak koşullarıyla.

60°C 'lık su içinde 60 hafta tutulmuş uzun süreli dayanım ve öncül kayma dayanımının, bağlayıcının seçimine bağlı değişimini bir tablo yardımıyla görebiliriz. Üç belirgin bağlayıcı için farklı tip yüzey iyileştirilmeleri ile ilgili çeşitli özellikler ve sayısal değerlere ulaşabiliriz. Ancak bu değerler, belirtilmiş farklı kombinasyonların farklarını gösterme amaçlı olup, dizayn amaçlı olarak kullanılmamalıdır [7].

6.3. Galvanize Çelik (Çinko Kaplı)

Galvanize çelik ile yapıştırıcıların beraber kullanılması başlıklar altında aşağıdaki gibi incelenmiştir.

6.3.1. Yüzey Hazırlanması

Galvanizasyon ve çelik yüzeyine çinko kaplama amaçlı benzer işlemler sonucu, pekçok ortamda paslanmaya daha az eğilimli bir madde elde edilir. Pekçok yüzeysel kaplama elde edilebilir, bunların bir kısmı bağlayıcılar açısından diğerlerine göre daha uygundur. Uygun yüzey hazırlanması sonucunda çinko-çelik bağlayıcı ara yüzü çelik- çinko ara yüzünden daha kuvvetli olabilecektir.

Yüzey hazırlanışının çeşitli adımları şu sırayı izlemelidir,

- Herhangi bir şekillendirme aşamasında kullanılmış yağ ve yağlayıcı maddelerin uzaklaştırılması
- Aşındırıcı yollar nazikçe yapılmalı, uygulanan yöntemin kullanılan çinko tabakasına zarar vermemesine dikkat edilmeli
- Her türlü kiri vakum temizleyici ve ya tazyikli havayla temizleme
- Kimyasallarla temizleme
- Yüzeyi kurutmaya
- Yapışkan üreticisi öneriyorsa uygun bir tesviye katı atılması

6.3.2. Bağlayıcının (Yapıştırıcının) Seçilmesi

En uygun bağlayıcılar epoksilerdir. Akrilik bağlayıcılar ise genellikle çinko yüzeyiyle uyumlu olmayıp, bağlayıcı olarak uygun değildir.

6.4 Paslanmaz Çelik

Paslanmaz çeliğin yapıştırıcılar ile kullanılması aşağıdaki gibi incelenmiştir.

6.4.1. Yüzey Hazırlanışı

Yüzey hazırlanışının tipik adımları şöyle olmalıdır;

- Yüzey asit ile kezzaplanır (yakılır, eritilir)
- Kezzaplanma da kalan maddeler uzaklaştırılır
- Uygun bir ilk kat atılır

En uygun primer yüzeyin hazırlanabilmesi için bağlayıcı uygulanacak yüzeyin iyileştirilmesi işleminin fabrika da yapılması ideal olanıdır. Bununla beraber sahada fırçalı iyileştirme uygulanabilir [7].

Bir diğer alternatif hazırlama yöntemi, sahalar için daha uygun olabilecek bir yöntem şu sırada olmalıdır;

- Çözücü ile yüzeydeki yağın alınması
- Grit-blast yöntemi
- Kişyasal bağlayıcı uygulamak (örn: silane)

6.4.2. Bağlayıcının seçilmesi

Yapısal uygulamalar için sertleştirilmiş/kuvvetlendirilmiş epoksiler genellikle tavsiye edilmekle beraber, akrilikler de kullanılabilir.

6.5. Alüminyum

Alüminyum ile yapıştırıcıların ara bağlantıları aşağıdaki gibi incelenmiştir.

6.5.1. Yüzey hazırlanışı

Yüzey hazırlanışının çeşitli adımları şöyle olmalıdır.

- Uygun bir çözücü ile yağdan arındırılması
- Uygun alkali çözeltisi ile temizlenmesi
- Asit ile temizleme, bunu takiben nötralizasyon
- Bağlayıcı ihalatçısının öngördüğü bir kat varsa onun uygulanması

Binaların giydirme (kaplama) panellerinde sıklıkça kullanılan anodize alüminyum elemanların yapıştırılması oldukça güç olabilir. Yüzey tabakasını kaldırmak icap edebilir.

Alternatif olarak yüzey darbe yöntemi (grit-blasting) ve ardından silane tabakası ile de hazırlanabilir. Saha için bu yöntem daha uygundur.

60° C de su içinde 60 hafta sonundaki uzun süreli dayanımın ve ön kayma gerilmesinin, yüzey hazırlanışı metodunun seçimine bağlı etkilerini tablo halinde hazırlamak mümkündür. Özellikler belirli bir tip bağlayıcı ve soğuk tatbik epoksi için gösterilmiş olup kıyaslanma amaçlı alınmalıdır di zayn amaçlı olarak bu veriler kullanılmalıdır [7].

6.5.2. Bağlayıcının Seçilmesi

Yapısal uygulamalar için en uygun bağlayıcılar epoksi ve akriliktir.

6.6. Ahşap

Ahşap elemanlar ile yapıştırıcıların ara bağlantıları aşağıdaki gibi incelenmiştir.

6.6.1. Yüzey Hazırlanışı

Tamirat yoluyla, herhangi bir hasarlı kısmı çıkarmak ve mantar ve bilumum haşaratın uzaklaştırılması, yapıştırılacak yüzey hazırlanmadan önce yapılmalıdır. Tamirat yapıldıktan sonra ek iyileştirme gerekli olabilir. İyileştirme amaçlı kullanılan herhangi bir kimyasal varsa bu madde bağlayıcı ile uyuşan tipte olmalıdır.

Yüzey hazırlanışının çeşitli adımları şu şekilde olmalıdır [6,7];

- Genellikle nem içeriği % 20 nin altında olacak şekilde yüzey bölgesinin kurutulması
- Yüzeylerin birbirine yakın nem içeriğine sahip olduklarına – ki bu içerik uygun değerde olmalı- dikkat edilmeli
- 0,3 mm den derin olmayan bıçaklı planya ve benzeri cihaz ile düz ve temiz bir yüzey elde edilmeli
- Plywood gibi yapraksı ince elemanlar için yüzey kullanılmalı
- Hava tabancası veya vakum ile pislikler uzaklaştırılmalı
- Bağlayıcı yüzeye tez zamanda uygulanmalı, emici yüzeyler için bir kat tesviye bağlayıcı atılmalı ve ikinci katı uygulamadan kendini toplaması beklenmelidir.

6.6.2 Bağlayıcının Seçilmesi

Yapısal amaçlı kullanılabileceklerinden ahşap en uzun geçmişe sahiptir. Her muamele görmüş ahşap resorsinol-foraldehid (RF), fenol-resorsinol-foraldehid (PRF) ve fenol-foraldehid (PF) gibi sık kullanılan bağlayıcılar ile yapıştırılabilir. Tamir amaçlı ise epoksi türü yapıştırıcılar daha uygun olacaktır.

Pekçok dış koşullar altında kırılma dirençlerine bağlı durabilitelerine göre bağlayıcılar şöyle sınıflandırılabilir;

- WBP: hava ve kaynama dayanımı
- BR: kaynama dayanımı
- MR: nem dayanımı ve uygun hava dirençli
- INT: iç kullanımı için

Eğer malzeme, koruyucu madde veya ateş almayıcı ile korunmuşsa bazı sınırlamalar olacaktır. Bu bağlayıcının dikkatli seçilmesini gerekli kılar. İmalatçının tavsiyeleri dikkate alınarak uygulanan ahşap iyileştirilmesi ile bağlayıcının uyumu incelenmelidir. Tüm iyileştirme yöntemlerinin bağlayıcının verimi üzerinde etkisi vardır. Bazı iyileştirme yöntemlerinin ardından bağlayıcı tatbiki, tatmin edici sonuçlar veremeyebilir. Eğer bağlama işlemi yapıldıktan sonra ahşap iyileştirilecekse bu tedavi işleminden etkilenmeyecek tipte bağlayıcı kullanılmalıdır. Tedavi uygulanmadan önce bağlayıcı kürünü tamamlanmalıdır. Resorsinol ve fenolik bağlayıcılar bu tip ahşap iyileştirme yöntemlerinden etkilenmezler. Fakat üre-foraldehid bağlayıcılar etkilenirler. Bağlanacak yüzeyler belirli noktalarda boşluk oluşacak şekilde düzensiz bir yüzeye sahipse, bağlayıcıların yeterli boşluk doldurabilme özelliklerine sahip olduğuna dikkat edilmelidir [67].

6.6.3 Montaj

Yüzeylerin montajı işlemi en çabuk sürede, en geç 48 saat içinde ya da imalatçının önerdiği en kısa sürede yapılmalıdır. Yapılacak yüzeyler bir araya getirilmeli, menegene veya ağırlık ile basınç uygulanmalıdır ki yapıştırıcı dışarıya taşmadan fakat mümkün olan en ince durumda olsun. Bunu sağlayan genelde 0,7 N/mm² dir.

İmalatçısının da belirttiği sürelerde, bu basınç işlemi kür süresince sürmelidir ve bu sürede bağlanan yüzeyin hareket etmemesi için gerekli adımlara uymaya dikkat

edilmiştir. Bu sıkıştırıcı kısıkları çıkarıldığında ek yeri geriliğe uğrama eğiliminde olduğundan basınç verme işlemi tavsiye edilenin iki katı uzatılmalıdır.

6.7. Takviyeli Plastik, Lif Takviyeli Poli mer Kompozitler

Takviyeli plastik ve lif takviyeli poli mer kompozitlerin yapıştırıcılar ile beraber kullanılması aşağıdaki gibi incelenmiştir.

6.7.1. Yüzey Hazırlanışı

Bağlayıcı ile yapıştırma işlemi, lif takviyeli poli mer kompozit elemanların bağlanması için en etkili ve doğal yöntemidir. Yüzey hazırlanışını da içeren uygun bağlantı teknikleri hakkında detaylı bilgi i malatçı tarafından verilmiştir [7].

Genel anlamda, yüzey hazırlanışının tavsiye edilen adımları şöyledir.

- Yağ, gres, çöp vb. atıkların temizlenmesi
- Reçinece zengin yüzeyleri, rasgele fiber parçalarının sert bez ile veya nazikçe tazyikle atın, ana fiberi (damarları) zedelemeye dikkat edilmelidir.
- Çözücü ve çöp atıklarının uzaklaştırılması

Bazı metaryeller ile yukarıda anlatılan üç adım basit bir temizleme adımına dönüştürülebilir. Sadece reçinece zengin yüzey alınır, daha fazla temizlemeye gerek kalmaz.

6.7.2. Bağlayıcının Seçilmesi

Takviyeli plastikler ile uygun bağlayıcı genel uygulamalar için epoksi temelli bağlayıcılar en uygundur. Kuru ortamlarda poliüretanlar kullanılabilir ve akrilikler süne etkisi önemsiyse seçilebilir [7].

6.7.3. Montaj

Bazı uygulamalarda, bağlanacak parçalar 0,1 N/mm² lik basınç ile monte edilme durumundadırlar.

6.8 Cam

Cam ile yapıştırıcıların beraber kullanılması aşağıdaki gibi incelenmiştir.

6.8.1. Yüzey Hazırlanışı

Sertleştirilmiş cam pürüzlendirme işlemi sırasında tahrip olabilecek bir yüzeye sahiptir. Buna ek olarak tüm cam levhası da tahrip olabilir. Bu sebeple birleştirilecek malzemenin seçiminde dikkatli davranılmalıdır ki ince, düzenli bir bağlayıcı kalınlığı gerçekleştirilebilsin. Gerekli olabilecek yegane yüzey iyileştirilmesi cam yüzeyindeki kirin (yağın) alınmasıdır. Yüzeyde cilalanması olmalıdır, çünkü bu basınç yüzeyinin çatlaklar oluşmasına ve camın parçalanmasına sebep olabilir. Benzer olarak, ne bağlayıcı ne de kullanılan tesviye katı cama kezzap etkisi yapmalıdır, yapışma artıyor olsa bile camın yüzey dayanımı azalacaktır [7].

Yapısal yapıştırma bandı kullanılacağı zaman, cam yüzeyi bir katman ile iyileştirilmelidir. Bu bileşenler hem temizleme hem de tesviye katmanı yapma amaçlı kullanılabilir.

6.8.2. Bağlayıcının seçilmesi

Yapısal bağlayıcı bandının kullanımı hem camı cama yapıştırırken hem de camı başka maddelere yapıştırırken (örneğin destekleyici çerçeveler) en iyi metottur. Alternatif olarak, modifiye edilmiş epoksi bağlayıcılar da kullanılabilir.

Deneyerek, yapısal silikonların kısa süreli yükleri için yeterli olduğu görülmüştür. Bununla beraber yapısal amaçla uzun süreli kullanımlar için uygun değildir. Tamamıyla yapısal uygulamalarda bağlanan cam elemanlarının arasındaki hareketi taşıyacak kadar dayanıklı olamaktadır [7].

6.9. Farklı Malzemeler Arası Bağlantılar

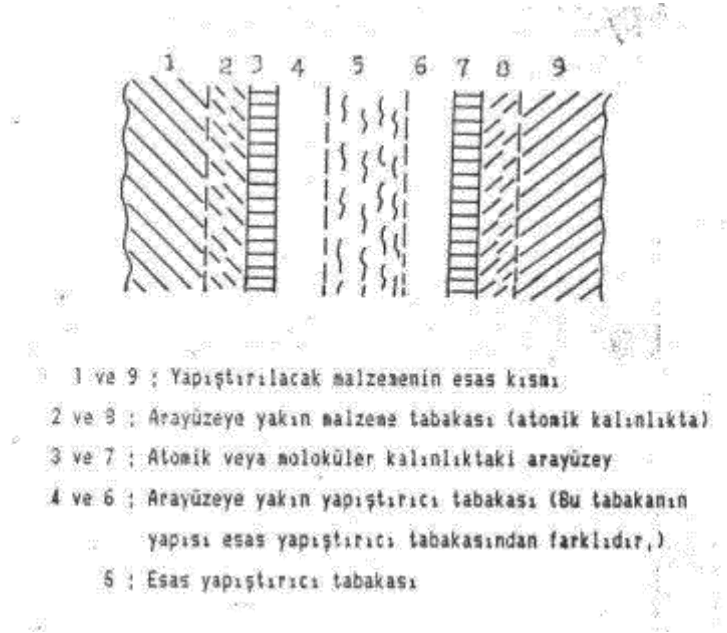
Sıklıkla farklı tipiki maddeyi birbirine bağlamak gerekmektedir. Örneğin; çelik ve beton yada çelik ve ahşap. Bağlayıcının tipini seçerken bu iki elemanın ayrı ayrı bağlanması ile ilgili ideal şartlardan yola çıkarak bir uzlaşma noktasına gelme gereği vardır. Alternatif olarak birer tesviye katı uygulayarak bağlayıcı her iki metaryele uygun hale getirilebilir.

Bağlayıcılarla biraraya getirilmesi zor olan malzeme kombinasyonları da vardır, örneğin çok farklı ısı genleşme katsayılarına sahip maddeler. Bir örnek çelik ve alüminyum olabilir.

7. EPOKSİ REÇİNELERİNİN YAPIŞMA MEKANİZMASI

Daha önceki yıllarda iki parçanın yapışması, yüzey çıkıntı ve gözeneklerinde mekanik tutunma olayı olarak düşünülmekteydi. Günümüzde ise anlaşılmıştır ki; gözenekli yüzeyleri yapıştırırken bile mekanik yapışma, spesifik yapışmaya (fiziksel ve kimyasal olay) göre ikinci planda kalmaktadır [9].

Yapıştırma bağlantısı aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi prensip olarak katlara bölünebilir.



Şekil 7.1 Yapıştırma bölgesinin katlara bölünmesi

Sonraki yıllarda yüzeyler ve epoksi yapıştırıcılar arasında kimyasal reaksiyonlar olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle yapışma olayı, yapıştırılacak malzemeler açısından olduğu kadar yapıştırıcı açısından da çalışılmaktadır. Ayrıca yüzey olayına da büyük önem verilmektedir. Önem verilecek diğer bir olay da ıslatmadır. Epoksi yapıştırıcıların yüzeyi ıslatmaları halinde yapışmanın sağlanacağı ve bu ıslatmanın da yapışkan-malzeme arayüzeyine yüzey-aktif katkı maddelerini adsorbe edilmesiyle geliştirileceği belirtilmiştir [2,9].

Uzun yıllardır ara yüzeyde yakın moleküler temasının oluşmasının kuvvetli yapıştırma bağlantıları elde etmek için (gerçi bazen yetersizde olan) gerekli olduğu kabul edilmiştir. Bu da epoksi yapıştırıcının katı malzeme yüzeyine yayılabilmesinin ve yüzeyde bulunan kirleri ve havayı bertaraf edebilmesinin gerektiği anlamına gelir. İdeal olarak bu şartlara uyan epoksi yapıştırıcı;

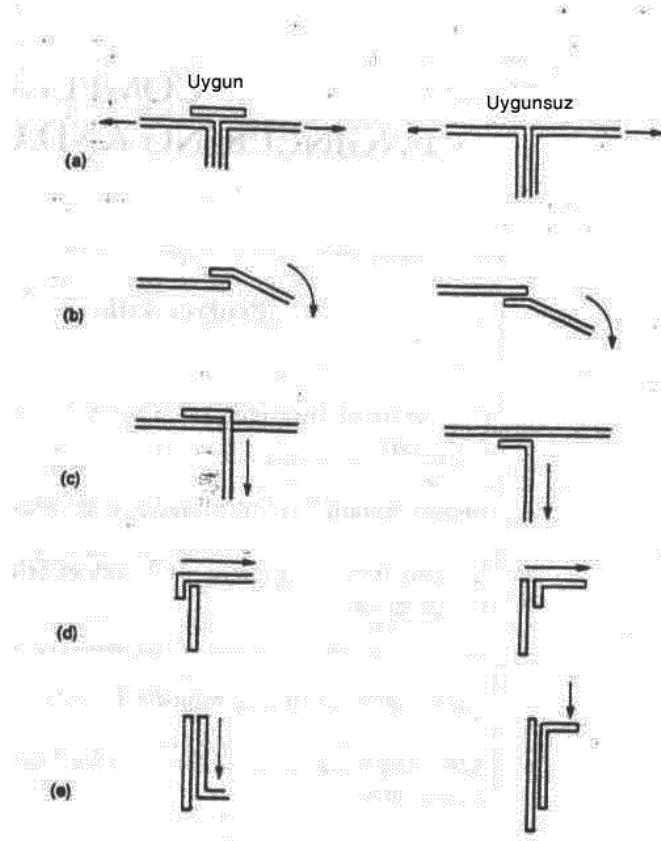
- Sıvı olduğu zaman sıfır veya sıfıra yakın temas açısına sahip olmalıdır.
- Bazen yapıştırma işlemi sırasında nispi olarak düşük olmasi gereken bir viskoziteye sahip olmalıdır.
- Esas malzeme ile, mevcut havanın bertaraf edilmesini sağlayacak şekilde ve oranda biraraya getirilmelidir.

8. EPOKSİ REÇİNELERİ İLE BAĞLANTI DİZAYNI

Yapıştırma yoluyla birleştirilecek parçaların bağlantı şekilleri özel olarak dizayn edilmelidir. Gerilim ve yükleri düşünmek için yapıştırma bağlantısını dizayn etmek hatalıdır. Yapıştırma eklemini dizayn ederken birkaç genel prensibin adaptasyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [7].

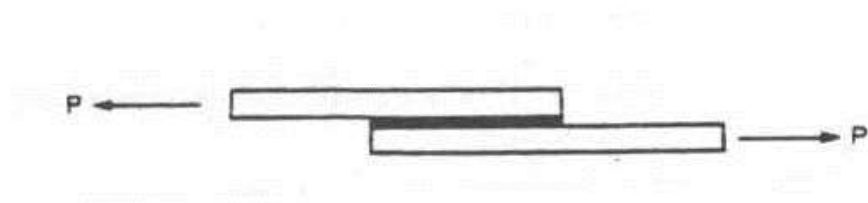
- Maksimum yapıştırılacak alanı sağlamak
- Yapıştırıcının maksimum kuvvetini vurgulamak [kesme (kayma) veya basıncı]
- Konsantrasyon geriliminden kaçınmak
- Yapıştırma tabakasının mümkün olduğunca konsantrasyon geriliminden kaçmak için oluşturmak
- Yapışmış hattı sürekli korumak

Yapıştırma bağlantılarında (eklemlerinde) çeşitli gerilim biçimleri etkili olmaktadır. Örneğin, sıyrılmaya gerilimi etkili olmaktadır. Aşağıdaki şekil 8.1 de uygun ve uygun olmayan bağlantı dizaynları gösterilmiştir [7].

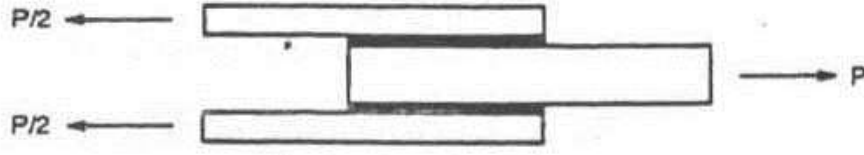


Şekil 8.1 Uygun ve uygun olmayan bağlantı dizaynları

Basit tek kaydırma (lap) bağlantısında birbirine yapıştırılan iki elementten ikinci elementteki kuvvetlerin hareket hatları uygun değildir ve bundan dolayı eğilme bağlantıya indüklenir. Ve istenmeyen sıyrılma (peel) gerilmelerine ve ayrıca geometrik aralıklardan dolayı bölgesel gerilme sebep olur. Bir çift kaydırma (lap) bağlantılarında ve ya bir çift bant (strap) bağlantısı da şekil 8.3, ayrıca bu şekilde yapışma hatlarında sıyrılma (peel) gerilmesinin azaldığı görülmektedir [7].



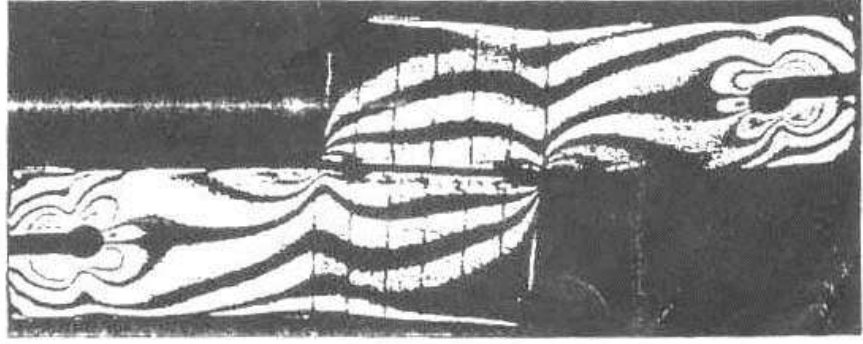
Şekil 8.2 Tek kaydırma bağlantısı



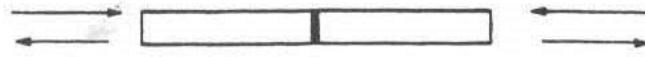
Şekil 8.3 Çift kaydırma bağlantısı

Ek olarak geçerli olan yapıştırma bağlantısının boyunu küçültür. Bütün yapıştırıcı bağlantılarında uç gerilmeler yapıştırma tabakasının sonunda bulunur. Bunların büyüklükleri yapıştırıcının ve aderans rijitlik ilişkilerine bağlıdır. Büyütülmüş köşe tabakaları aderans sonundaki gerilim konsantrasyonunu gösterir. Kayma gerilim bölümünü tekrar kuvvetlendirilmiş beton kirişin yapıştırma tabakalarında görmek mümkündür. Tabakanın sonundaki gerilim ortalama gerilimden önemli derece de yüksektir. Bağlantı düz ve aynı yaklaşımda bu uçları dikkate alınmaktadır. Küt (düz) ek (birleştirme) bağlantı için uygun alanların aderansı açısından elverişsiz formdur. Şekil 8.5 de görülmektedir. Yani yapıştırılacak uygun alandan dolayı küt ek bağlantıda etkisiz kalır. Eğimli (scarf) veya basamaklı (stepped) bağlantı alternatif yaklaşımlardır. Her ikisi de elementlerin sonlarına istenilen profili şekillendirmek ve eklemek için kullanılacaktır. Daha karışık açılı bağlantıları veya T bağlantıları, eklenmiş açılar gibi bağlantılar ana elementlere yapıştırılmaları, bağlantılara güç vermeleri açısından uygundur.

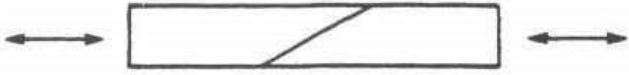
Şekil 8.11 de gösterildiği gibi ünitelerin sonlarının eklenmesi ve de yapıştırılması ile uygun yiv (oluk) elde edilerek yapıştırma tabakasının sonundaki uç gerilmeler azaltılmalıdır. Yapıştırmanın üzerindeki oluk ek olarak bağlantıyı doldurmaya yardımcı olur ve nemin girişini korur. Ve gerilmeler azaltılmasına rağmen aslında elimine edilemiyor. Onlar çöküşe neden olur bundan dolayı yük taşıma kapasitesini arttırmayacak belirgin bir noktanın ötesinde bağlantının uzunluğunu artırır [7].



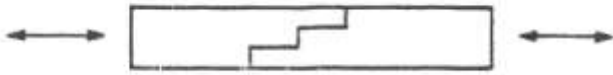
Şekil 8 4 Basit tek kaydırma bağlantı için fotoelastik test



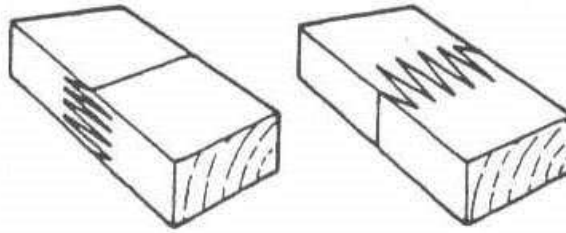
Şekil 8 5 Küt (düz) ek



Şekil 8 6 Eğimli ek

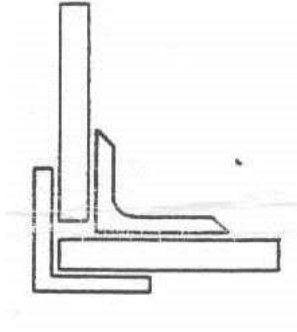


Şekil 8 7 Basamaklı ek

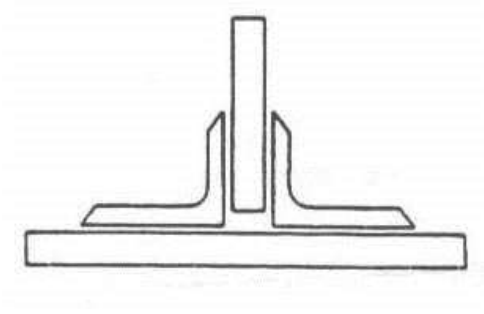


Şekil 8 8 Dışli ek

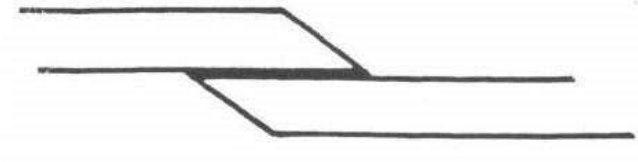
Statik yüklemeleri koruyacak dizaynın temel prensibi bağlantının ortasında olacak olan çok az seviye de gerilimi için uygun bir alan olmalıdır.



Şekil 8 9 Açılı ek



Şekil 8 10 T ek

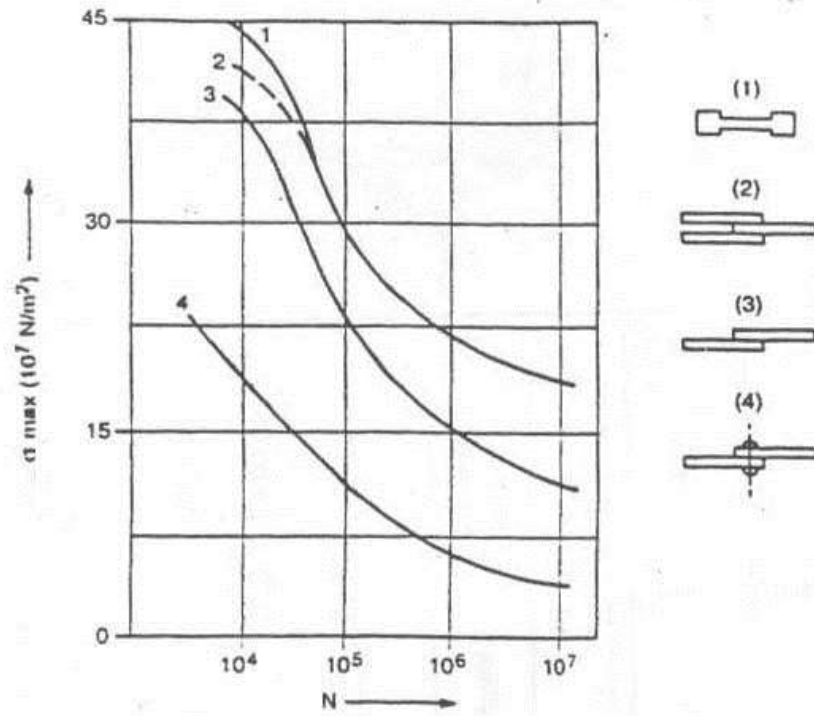


Şekil 8 11 Kenarı yi vlenđiril miş (kırıl mış) ek

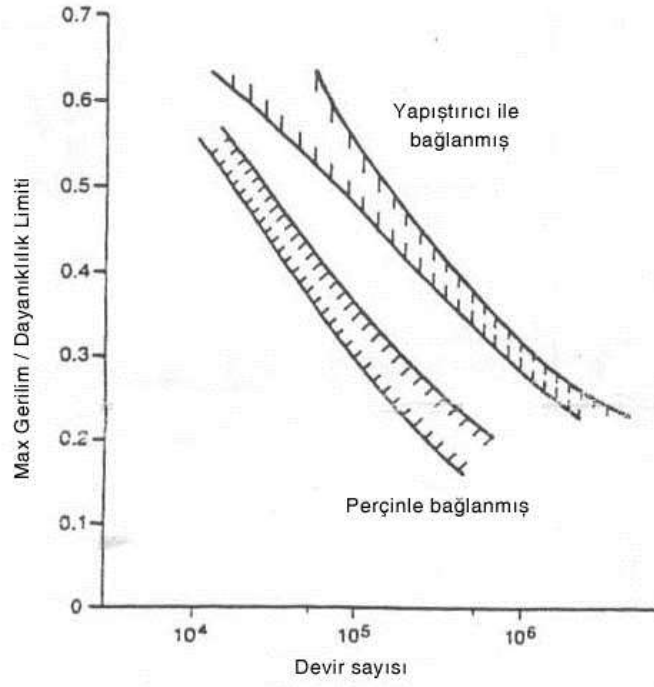
8.1. Taşı ma Dayan ksızlı ğı (Yorul ma Yükl e nesı)

Taşı ma dayan ksızlı ğı (yorgunlu ğu) bazı ba ğlantılar için çok önemli olabilir. Ba ğlantının perfor masyonu dayan ksızlı ğa maruz bırakır ve bu da ba ğlantının konfi ğürasyonu ve uç gerili malanlarında oluşan gerili mile ba ğlantılıdır. İdeal olan ise de ğişen gerili m sırasını dayanıklılık li mitinin a şa ğısında tut maktır. Böylece problem doğur mayacaktır. Yapıştırıcı ile yapı ştırıl mış ba ğlantının dayan ksız hareketi ile perçinlenmiş ba ğlantılar arasında kıyasla ma yapacak olursak; gerili mi çok da ğıttı ğ için yapı ştır ma ba ğlantıları daha iyi sonuç verir. Epoksi yapı ştırıcının dayanıklılı ğının perfor masyonu testlerle, çevre şartlarıyla ba ğlantıda test edilerek karar veril meli dir [7].

Ek olarak, dayanıksız yüklemenin altında yapıştırıcının hareketini denetlemek, alt tabakadaki materyalin dayanıksızlık hareketini ele almak için önemlidir. Qoyol ajansı köprü onarım dokümanına göre yeniden kuvvetlendirilmiş çeliğe uygulanabilecek devirli gerilmeleri kısıtlayarak, yapıştırılmış tabaka uygulamalarının dayanıksızlık hareketini kontrol eder. Örneğin epoksi yapıştırıcı kullanılarak inşa edilmiş birçok köprü vardır. Devirli deformasyonlar yapıştırıcıya iyileştirme döneminde uygulanır. Örneğin, tamirde olan bir köprüye trafik yüklemesi yapılırsa, iyileştirilen bütün materyallerin dayanıklılığında birazcık azalma görülür [1, 7].



Şekil 8.12 Farklı birleşim türleri için yorulma eğrileri



Şekil 8.13 Perçinlenmiş veya yapıştırılmış ekler için yorulma dayanıklılığı

8.2 Çevresel Etikiler

Kaymayı ve yapışmış bağlantıların dayanıklılık perforasyonunu etkileyen çevresel faktörler sıcaklık, nem ve uygulanan gerilimin bir bölümüdür. Bu yüzden uygun yapıştırıcıyı seçmek bağlantının çevresi bakımından çok önemlidir. Uygulanmadaki yapıştırılmış bağlantının sıcaklığı emniyetli çalışma sıcaklığı altında olmalıdır. Burada yapıştırıcı üreticisi tarafından 10°C veya 20°C olarak cam geçiş sıcaklığının altında olarak belirtilmiştir. Yüksek çevre sıcaklıkları yapıştırıcının sünnme eğilimlerini arttırır. Genel bir tavsiye olarak, yapıştırıcı ile yapıştırılmış noktadaki devamlı gerilmeler yapının normal dizayn hayatı içindeki ek yerinin kısa dönem mukavemeti %25'in altında tutulmalıdır [7].

8.3 Isı veya Ateş Etikleri

Ateşteki yapıştırılan bağlantıların dizaynı için aderansların (adherend) hareketi yapıştırıcının kendi hareketi kadar gereklidir. Aderans bölgelerinde ve yapıştırıcılarda sıcaklığın analizi yapmak gereklidir.

Yapıştırıcı katmanının sıcaklığı emniyetli çalışma sıcaklığına geçmemelidir. Bu sıcaklığın yukarısındaki sıcaklıkta epoksi reçine yumuşamaya başlar ve bağlantının taşıma kapasitesi önemli ölçüde düşer.

Isı yüklemesinin altında bulunan aderansdaki sıcaklıklar kendi özelliklerini azaltabilirler. Azalan özellikler ile birlikte bağlantının kapasitesini belirlemek gereklidir. Fakat bu dizayn sınırlaması için gerekli olmayabilir.

Standart yapıştırıcı bağlantılar için ısı testleri ısı rezistansını belirlemek için uygun bir metot olabilir. Isının önemli olduğu dizayn da saf (katıksız) yapıştırıcı bağlantısı uygun olmayacaktır. Isının içinde bulunan bütün yükü taşımak isteyen mekanik bağlantı ile birleştirilmiş bir bağlantıyı dizayn etmek gereklidir. Yerleştirildikleri yerlerde bütün materyallerin emniyet bölüm faktörleri 4,0 den düşük olmalıdır. Yukarıda belirtilen azalan emniyet faktör bölümlerini dikkate alarak ve yapıştırıcının artık etkisiz olduğu varsayılarak ısıının içinde bulunan bütün yükü taşımak isteyen mekanik bağlantı ile birleştirilmiş bir bağlantıyı dizayn etmek gereklidir [7].

9. EPOKSİ REÇİNELERİNİN KULLANI MALANLARI

Epoksi reçinesi günümüz inşaat sektörü dışında birçok yerde, geniş kullanım alanlarıyla hayatın değişik her bir parçası olmuştur. Epoksi reçinelerinin kullanıldığı bazı alanlar aşağıda sıralanmıştır [8].

1. Uçakların çeşitli malat aşamalarında
2. Beton yüzey kaplamalarında yapıştırıcı olarak
3. Dolgu bileşiği olarak gemi, otomobil ve plastik tamirlerinde
4. Kalıp ve geçici kalıplarda
5. Binalarda, otayol konstrüksiyonlarında, yarıkların doldurulmasında ve yüksek kimyasal direnç istenen alanlarda
6. Elektrik ve elektronik alanlarda
7. Uydu ve uzay alanlarında
8. Epoksitli çözeltiyi kaplama, yüzey kaplamalarında ve çelik konstrüksiyon kaplamalarında
9. Epoksi reçinelerin dekoratif döşeme uygulamalarında, spor salonu, döşeme vernikleri ve yer karolarında
10. Dişçilik aheniyat ve protez uygulamalarında
11. Katkı malzemesi olarak
12. Korzyon önleyici olarak
13. Kimyasal ankraj malzemesi olarak
14. Hasara uğramış yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılır.

9.1. Endüstriyel ve İlgili Uygulamalar

9.1.1. Şekillendirme

Epoksi reçine şekillendirmesi ilk olarak uçak ve araba sanayilerinde kullanılmıştı, fakat şimdilerde gemi ve kayak gibi çeşitli değişik son ürünler elde etme ve yerel teçhizat ve çömek yapımı için gerekli olan, kalıplama ve alet yapma amaçlı olarak kullanımları genişlemiştir. Döküm ve haddeleme (laminating) için kullanılanlara benzer tekniklerin bir kombinasyonu da kalıpların ve dökümhane modellerinin imalatında kullanılırlar. Reçineler genellikle bir oda sıcaklığı sertleştiricisi ile iyileştirilmiş sıvı bir reçine ile formüle edilirler. Özellikler, sadece belirli özellikleri geliştirmekle kalıpla aynı zamanda genellikle materyallerin maliyetlerini de düşüren, katkı maddeleri ile değiştirilirler. Aletler genellikle metal şekillendirme için gerekli zaman diliminde imal edilirler, epoksi şekillendirme maliyetleri geleneksel metal aletlerinkinden çok daha düşüktür. Epoksi reçineleri özellikle prototiplerin yapımı ve kısa çalışmalı (sürelili) şekillendirmelerde avantajlıdır. Lee ve Nevillé'nin (1967) epoksi reçine hakkında hala geçerli detaylı bilgiye sahip bir bölümleri vardır. Şekillendirme uygulamaları için özel reçineler formüle edilebilirler ve detayları reçine üreticilerinde mevcuttur. Bazı daha önemli epoksi şekillendirme uygulamaları şunları içerir [4, 13, 14]:

1. Vakum oluşturma ve enjeksiyon kalıplama için gerekli ana kalıpları oluşturma gibi çeşitli amaçlar için olan kalıplar.
2. Delme, kesme ve kaynak yapma gibi operasyonlardaki parçaların şekil ve açılarını kontrol etmek ve doğru konumlanmalarını sağlama yardımı için ciğer (jigs) ve fişterler.
3. Metal-biçimleme aletleri prototip ve kısa süreli üretimler için daha pahalı olan çelik aletlerin yerine geçmektedir. Bu aletlere örnekler; germe (stretch) blokları, baskı (press) aletleri, çekiç-düşürme matkapları (punch) ve bal yoz (die) dur. Takım aletlerinden birinin ön kısmı (yüzü)'nin, mesela bir çekiç-düşürme (drop hammer) de, lastikli esnek olması istenebilir.
4. Ana kalıplardan, orijinal modelden, ana kalıptan yapılmış eş modellerden, maça sandıklarına kadar değişiklik gösteren dökümhane modelleri.

Şekillendirme aletleri olarak epoksi reçinelerini, geleneksel çelik veya alüminyum aletlerini yerine kullanmanın faydaları çok fazladır. Karşılaşık şekilleri nyu muşak şekillendirmesi ne ilave olarak reçineler daha az iyileştirme büzüşmesi gösterirler ve

daha ufak bir tolerans aralığı elde edilebilir. Buna ilave epoksi reçinenin, operasyonel sıcaklığı cam geçiş sıcaklığından düşük olduğunda, hem ısıya hem de (çeliği paslandırabilecek) kimyasal atığa karşı olan soy (inert) tabiatı şekil sabitliği (kararlılığı) sağlar. Diğer önemli avantajları; metallerden daha düşük maliyetleri olması, daha hafif ağırlıkları olması, aletin şeklinin istenen ölçüde ayarlanabilmesi ve önde gelme (lead) zamanlarının daha kısa olmasıdır.

Şekillendirme uygulamaları için olan epoksi reçine formlasyonları normalde, sıvı BADGE-tipi reçineler ile polya minlerin (normalde alifdatik) sertleştirici olarak kullanıldığı, oda sıcaklığında iyileştirilebilir sistemlerdir. Özel uygulamalara bağlı olarak, sıvılandırıclar, plastik yapıclar (plasticizers), dolgu malzemeleri de gerekli fiziksel ve kimyasal özellikleri geliştirmek ve maliyeti düşürmek amacıyla sisteme eklenebilirler. Özel sertliğin gerekli olduğu durumlarda, epoksi reçinenin haddeleri (laminates) ile çeşitli lifler de kullanılabilir. Açık gözenekli (mesh) 'şekillendirme doku maları' da mevcuttur ve karbonliftakviyesinin kullanımı ile daha yüksek sertlik elde edilebilir.

9.1.2 İnşaat Mühendisliği ile İlgili Uygulamalar

İnşaat mühendisliği alanında beton, ahşap, metal ve cam gibi geleneksel materyallerin tüketimi astronomiktir. Epoksi reçineleri bu materyallere mükemmel yapışma özelliği sergilerler ve bu yüzden kaplama, örtme ve onarımlar için geniş olarak kullanılmaktadırlar (Maslow 1979). Epoksi reçinelerinin inşaat mühendisliği alanındaki en sık uygulamaları şunları kapsar [4-13] :

1. Döşeme (flooring)
2. Yol ve köprü kaplamaları (coatings)
3. Beton bağlama ve onarım.

9.1.2.1 Döşeme

Epoksi döşeme %100 uçucu-olmayan ve %100 reaktif olarak formüle edilebilir, böylece bir inç kalınlığındaki kaplamalar tek bir uygulamada uygulanabilirler. Kimyasal tesisler ve ambarlar gibi sanayi terimlerinin döşemeleri, çeşitli şekillerde sabit ve şiddetli kötü kullanıma konu olmaktadır. Buna tipik örnekler; kimyasal madde dökme, sert deterjan ile temizleme, forklift ve benzeri gibi araçlar tarafından yapılan yüklü sürtünme ile aşınmadır. Bu tip sanayi yapılarının döşemeleri genellikle beton gibi materyallerden inşa edildiği için, ve bunlar aykırı hizmet koşullarında

muhtemelen kademeli olarak ve daha sonra hızlıca parçalanacağı için epoksi reçinelerin, kimyasal direnç, yüksek mekanik dayanım ve kolay uygulanma bağlamında, bu tip döşemelerin bakımı için çok yardımcı ve kullanışlı olacağı düşünülmüştür [4, 15].

Bir döşeme sisteminin formüle ederken, epoksi reçine (hizmet gereksinimine bağlı olarak) genellikle sertleştiriciler, dolgu malzemeleri ve pigmentler ile karıştırılır. Değişik amaçlara uyması için boya maddeleri de eklenebilir. Reçinenin uygulanmasından önce yüzey boydan boya temizlenmeli ve bir epoksi ya da başka bir primer ile tekrar muamele edilmelidir. Formüle edilen sistemin akışkanlığına bağlı olarak, fırça, silindir, lastik süpürge ya da mala ile uygulanabilir. Yüksek akışkanlık derecesindeki formülasyonlar için, öncelikle, büyük miktarlarda katı dolgu malzemelerinin eklendiği yerlerde aşınma dayanımını sağlamak için olanlar gibi, materyal mala ile sıvanmalıdır. Öe yandan, normal aşınma şartlarındaki sürekli yerleri kaplamak için olan düşük akışkanlık derecesindeki formülasyonlar, bir lastikli süpürge ya da plastik tarak (comb) ile uygulanabilir. Kendinden-seviyeli (self-levelling) epoksi döşeme bileşikleri, akışkanlıkları düşük olduğu için, formüle edilirler. Epoksi döşeme üç tipte sınıflandırılabilir; kişisiz döşeme, sanayi ya da epoksi betonu ve çimento mozaiikli (terrazzo) döşeme. Kişisiz döşeme reaktif bir sıvılandırıcının kullanıma bağlı olarak düşük bir akışkanlığa sahiptir, ve 10-60 mm arası bir kalınlıkta uygulanabilir. Portland çimento zeminleri (döşemeleri), ahşap ya da metali kaplamak için reçine uygulamasından önce, belirli bir yüzey hazırlamasından sonra kullanılabilirler. Endüstriyel epoksi döşeme ya da epoksi betonu genellikle kum olan (10-100 gözenekli) %75-85'lik özel (particulate) dolgu malzemesi içerir. Yüksek dolgu yükleri'nde akışkanlık yüksektir ve bileşik 3-25 mm'lik kalınlıkta malalama ile uygulanır. Bu bileşikler düşük büzümeye sahiptirler ve çimento zeminlerin omarımında kullanılabilirler. Epoksi çimento mozaiikli zeminler renkli taş ya da mermer taş parçaları (chips) ve iyi bir özel dolgu(kalsiyum karbonat gibi) içerirler, ve 6-12mm arası kaplama kalınlığı vermek için malalanırlar. Geceleyin tatbik edildikten sonra, kolayca korunan bir cilalanmış çimento mozaiği yüzeyine ıslak zemin olurlar. Epoksi döşemenin avantajları şu şekilde özetlenebilir :

- Kişisiz uygulamaya kolaylığı, düşük büzümeye ile oda sıcaklığında iyileştirme.
- Pek çok alttaşı nüke mmel yapışma
- Kimyasal direnç ve dayanım
- Sertlik, esneklik ve aşınma direnci

- Tozsuz, kayma-dirençli ve kolay korunum

9.1.2.2 Yol ve Köprü Kaplamaları

Epoksi reçine kaplamaları yol ve köprü yüzeylerini korumak ve onarmak için kullanılmaktadır. Parçalanma, yol ve köprü yüzeylerinde en çok karşılaşılan sorunlardan biridir. Bunun sebebi; buz tutma-çözülme döngüleri, araçlar tarafından oluşan döküntüler, macar ve buzlanma korumalı işlemler gibi pek çok değişik faktörün birleşmesidir. Bu şartların düzeltilmesinde kullanılan epoksi reçineleri genellikle çevre sıcaklıklarında aminsertleştiriciler ile iyileştirilmiş sıvılardır. Kömür katran, genişletici olarak kullanılır ve genelde formlasyonlarında yüksek oranlarda bulunur. Reçine formlasyonu, yapıya kaplandığında ve iyileştirildiğinde, yol yüzeyindeki ve köprü yapısındaki betonların parçalanmasını önleyen bir film oluşturur. Bundan başka, yarıkları (çatlakları) kapatmak için kullanılan benzer formlasyonlar, zarar görmüş kısımları ayrılma bölüme bağlayarak büyümelerini ciddi anlamda yavaşlatabilir. Bu aynı zamanda köprü yapısını içine alan su tesirini de sınırlar. Çatıya ya da çelik güçlendirme su girişi, paslanmaya yol açar. Bu nedenle epoksi reçine kaplamaları bu tür zararlara karşı önemli koruma sağlarlar. Epoksi reçine yol ve köprü kaplamalarına dair diğer bazı uygulamalar şunlardır [4 16]:

- Ölçekli beton yolları 'ince' kaplama ile onarma
- 'Kaygan' fakat aksi halde tatmin edici asfalt ya da beton yol yüzeylerini onarma
- Yakıt dökülmesinden koruma
- Köprü güvertelerinde hafif ağırlıklı kaplama
- Beton ve asfalt tepeler arasında su geçirmez zar
- Zıftlı kaplama bileşikleri için katkının kalitesini arttırma
- Yol işaretlemeleri ve renkli yüzeyler

9.1.2.3 Beton Bağlama ve Onarım

Epoksi reçine formlasyonlarının beton bağlama ve onarım materyalleri olarak kullanımı, sadece köprü ve yollardan çok daha geniş alanlarda uygulanmamı nı kanı bulur (Allen ve Edwards, 1987). Her neyse, öncelikli yapı malzemesi beton olan

herhangi bir yapı, yarıkları zamanla büyütecektir. Epoksi formlasyonları, bu gibi yarıkların başlanmasını önlemek ve aynı zamanda mevcut yarıkları onarmak için yüzeye kaplanabilirler. Ahşap, tuğla ve metal gibi diğer malzemelerde meydana gelen yapısal bozukluklar da epoksi formlasyonları ile giderilebilir. Reçine üreticilerinde özel formlasyonlar mevcuttur [4, 17].

9.1.3 Kalıplama Bleşikleri

Epoksi reçine kalıplama tozunun (powder) uygulamasının ele alınması, hem alternatif termosetting reçinelerle hem de, sıvı epoksi reçinelerini işlemek için alternatif bir yöntem olan, döküm ile karşılaştırılmalıyı gerektirmektedir. Epoksi reçineleri ya sıkıştırma ya da transfer kalıplamayla ve aynı zamanda da sıvı-enjeksiyon kalıplamayla kalıplanabilirler (Lee, 1988). Reaksiyon enjeksiyon kalıplama da işleme (processing) avantajları sunar (Becker, 1979; Manzione, 1989). Epoksi reçinelerin üstünlüğü, geleneksel fenol, üre ve melamin formaldehid reçineler ile karşılaştırıldığında, iyileştirme süresince, uçucu ürünlerin geliştirilmesi olmasından dolayı kalıplama büzüşmelerinin çok düşük olmasıdır. Aynı zamanda, formüle edilebildikleri için kalıplama sıcaklığında daha düşük akışkanlıklara sahiptirler ve bu sayede çok daha düşük kalıplama basınçları gerektirmektedirler. Geleneksel P/F, UF ya da MF reçineleri için kalıplama basıncı 1000 den 5000 psi (7-20 Mpa)'ye kadar olurken epoksi reçine kalıplama tozları için basınç (her zaman 1000 psi'den düşük olacak şekilde) çok düşük olabilir. Bu sebeple basınçlar ve yardımcı araçlar daha basit olabilir, ve kalıplama aletleri de daha düşük gerilmelere dayanmak zorunda kalacaktır. Bununla beraber, kalıplama sıcaklıklarında epoksi reçinenin düşük akışkanlığa sahip olması sebebiyle, aşırı parlama'ya bağlı olarak bir sorun çıkabilir ve 'sıkı' bağlantılı kalıplar önemlidir. Diğer termosetting reçinelerle karşılaştırıldıklarında epoksi kalıplama tozlarının bazı avantajları şöyle sıralanabilir:

- Daha iyi açısal toleranslar ve kararlılık (sabitlik)
- Daha iyi elektrik ve mekanik özellikler
- Daha yüksek ısı ve kimyasal direnci
- Daha az su emilimi (dolgu malzemesine ve sertleştiriciye bağlıdır)

Yüksek maliyetin yanı sıra diğer dezavantajlar; kalıptahliyesi, çıkarma sorunları ve daha yakın kalıp sıcaklığı denetimine ihtiyaç doğurmasıdır. Kalıptahliyesi, epoksi reçinenin yapışkan özelliklerinden ötürü zor olabilir, bu da genellikle, epoksi reçineleri metal eklentilerle iyi bağlanmışsa, bir avantaja dönüşür. Kalıplama

sıcaklığında iyileştirilmiş ürün esnektir ve tahliye işlemi kalıba zarar verebilir. Bu, uygun tasarımla önenebilir; ve böylelikle kalıplanan kısımlar tahliyesi sırasında aşırı bölgesel gerilmeler önlenmiştir [5, 13].

Döküm ile karşılaştırıldığında epoksi reçinelerin kalıplanması daha basit işleme, daha yüksek dolgu yüklemeleri ve lifli güçlendirme avantajlarını sunar. Dezavantajları ise; daha yüksek sermaye maliyetleri ve iyileştirilmiş kalıplanma tozu ile saklama sorunlarıdır. Raf-ömrüleri (shelf-life) yeni başlamış iyileştirmeyle ilgili sınırlanabilir, eğer saklama sıcaklığı düşük değilse örneğin haftalarca 22° C de saklanabilir, ancak bu 7° C de soğutulmuş kapalı paketlerde çok daha fazla olabilir [13].

Epoksi kalıplanma tozları epoksi novolakları ile harmanlanabilen katı ve sıvı BPA reçineleri karışımı ile formüle edilirler. Sonraki, akma özelliklerini geliştirir ve daha fazla işlevselliğe sahiptir ve bu yüzden jöle ve iyileştirme sürelerini kısaltır. İyileştirici araçlar genellikle diaminodifenol metan (DDM) ya da asit anhidridleridir (PA ya da THPA), fakat diğerleri de özel amaçlı olarak kullanılabilir, örneğin klorin-içeren iyileştirici araçlar alev direncini geliştirme için önerilmiştirler. Kalıplanma tozları, silis unu gibi, uygun özel dolgular içerirler ve 1.5-25 mm uzunluğundaki liflerle güçlendirilebilirler. Çinko stearat genellikle bir tahliye aracı olarak iyileştirilmiş ürünün kalıptan çıkarılmasına yardımcı olmak için eklenir. Termal iletkenlik metal tozunun dolgu malzemesi olarak kullanılmasıyla artırılabilir, fakat elektrik özellikleri önemli ise bundan sakınılmalıdır. Dolurulmuş reçinelerin yoğunluğu 1.6 ile 2.2 arasında değişir. Düşük yoğunluklar, 0.75-1.00, mikrobalonların birleşmesiyle elde edilebilir, bunlar ya çamur, UF den ya da P/F reçinelerinden ya da camdan oluşurlar (Lee and Neville, 1967a). Kalıplanma tozlarının ana uygulamalarından biri elektrik ekipmanının ve elektronik cihazların kapşüllemesidir. Kalıplanma süresince reçinenin akması böylece bileşenin zarar görmemesi ya da yer değiştirme mesisi yararlıdır. Tipik kalıplanmış kısımlar şunları kapsar; birikmiş karbon dirençleri, tıkaçıcılar (chokes), seramik polyster ve cam kondansatörler, metal kaplanmış ince-film dirençleri, sinyal dönüştürücüler, toroid, selenoid ve elektrik düzenleyici bobinler, basılmış devreler, katı-halli devreler ve pek çok başka ürün (Lee, 1986, 1988). Epoksi reçine kalıplanma tozlarının, kimyasal dirençlerinin büyük avantajlar sunduğu valfler ve filtre tabakaları gibi kimyasal tesislerde de uygulamaları bulunmaktadır. İyi mekanik özellikler ve hafif ağırlıkla ile birleşmiş iyi termal ve kimyasal dirençli yapısal bileşenler de epoksi reçinelerinden kalıplanır[4].

9.1.4 G mm  (Embedding)

G mm , elektrikli ve elektronik cihazları korumak ve/veya dekore etmek için kullanılır. Birleşik ve ilgili terimler; döküm döküm (potting), emdirme ve kaps llenmedir. Kalıplama, kalıplama tozlarındaki kısımda ele alınmıştır. Re ineni gömmenin koruyucu fonksiyonları  unların yoksun bırakılmasını kapsar; nem oksijen, tuz püskürtme, çözücü (solvent), diğer kimyasallar ve mikroorganizmalar. Bir cihazın kapsüllenmesi aynı zamanda onu mekanik darbeden ve titre imlerden korur ve mekanikleme için uygun konumlar sa lar. Epoksi reçinelerine alternatif materyaller şunlardır; silikonlar, poli etanlar, polye terler, polis lfatlar ve alil reçineler (Lee, 1988). Epoksi reçineleri düşük akı kanlıklara sahiptir ve uçucu bileşiklerden dolayı b z  me i ile tirme süresince oluşmaz. Uygun bir formlasyonla katıdan esne e bir d zi özellikle etmek mümkündür, elongasyonları kırma sıralamasında %3'den %40'a kadar de i ir. BPA reçineleri ve karı ılmaları da epoksi novolakları ile dökme (potting) için kullanılır. sikloalifatik epoksi reçineleri iyi yalıtkan özelliklere ve mükemmel hava direncine sahiptirler, bu da klorin ve aromatik halkaların yokluğuna bağlıdır. Sikloalifatik reçineler asit anhidrad sertle tiricileri ve daha uzun süreli yüksek sıcaklık i ile tirmelerini gerektirirler. Reçinenin  zellikleri dolguların ve esneticilerinin ilave olmasıyla de i tirilebilir. Tipik  zel dolgular silis, talk,  amır (kil) ve kalsiyum karbonat, m ka ve do ranmı  cam içerirler. Metal tozları ürünün termal iletkenliğini arttırmak için kullanılabilirler. Düşük yoğunluklu ürünler saranın (saran) mikrosferlerinin, P/F reçinenin ya da camın ilave edilmesiyle üretilir [4].

9.1.5 Çok Yönlü Uygulamalar

Yeni pek çok gelişme olduğundan beri epoksi reçinelerin mevcut uygulamalarının tümünü listelemek neredeyse imkansızdır. Buna rağmen, epoksi reçinelerinin kullanıldığı çeşitli alanları vurgulamak gereklidir; küçük bir   ekte olmasına rağmen yine de tekstil son i leri gibi önemli  zelle mi  uygulamaları belirtmek gerekir (Tanaka ve Shiozaki, 1988).

9.1.6 Ya  Alan Uygulamaları

Epoksi reçineleri delme işlemlerinde zayıf yapıları sağlaması için, özellikle jeolojik yapıların öncelikle kum olduğu yerlerde kullanılırlar. Reçine bileşimleri iyi duvarlara tutunurlar ve sonradan çapraz-ba anırlar. Bu tür m amele kısmen kum üretiminin en aza indirmede etkilidir, bu da nihayet iyi olarak atılma ile sonuçlanır [45].

9.1.7. Tepki Veren Olarak Epoksi Bazlı Poli merleri Olusturmak

Epoksi reçineleri çok reaktif poli merlerdir. Diğer ki myasallarla olan reaksiyonları poli merlerle olduğu kadar, materyallerin çok çeşitli yeni dizileriyle sonuçlanır, bu ki myasalların ve poli merin üçten daha az işlevleri vardır. Örneğin, epoksi reçinenin akrilik asitle reaksiyona girmesi epoksi akrilat reçine ürünlerini yaratır, bu da UV ışınlarına ile iyileştirilebilir.

9.1.8. Epoksi Reçine Köpükleri

Şişmiş köpükler, bir şişirme aracının bulunmasıyla, epoksi reçine ile oluşturulabilir. İyileştirmenin başlangıç seviyeleri süresince bu tür bir araç ya bir gaz geliştirir ya da buharlaşarak iyileştirilmiş ağıniçerisinde boşluk bırakır. Örneğin, hidrazid türevleri epoksi for mülasyonuna karıştırılabilir; bu iyileştirme veya ısıtma elemanları ile oluşan ısı ile olur; şişirme aracı azot u oluşturmak için ayrışır [4, 5].

9.1.9. Epoksi Reçine Dengeleyiciler

Epoksi bileşikleri diğer poli merli materyaller için dengeleyici ve plastik yapıcı olarak da uygulanırlar. Örneğin poli (vinil klorid), PVC istenen dehidroklorinatlar (özellikle yükseltilmiş sıcaklıklarda). Dehidroklorinasyon reaksiyonları karışık ve oto katalitikler (Hawkins, 1989). Bu sebeple PVC yi işleme için, oluşan hidroklorik asidi 'ayırıcı' dengeleyici eklemek yararlıdır. Epoksi gurubu oluşan HCL ile istendiği gibi tepki me verir ve metal tuzları olduğu zaman da sinerjik (birlikte çalışan) bir etki olur (Stephenson, 1989). BPA tipi epoksi reçineler PVC için tek etkili dengeleyici değildir, epoksi dize yağlar, esterler ve yağlı asitler de hem dengeleyici hem de plastik yapıcı olarak görev yaparlar.

10. BETON ELEMANLARDAKİ HASARLARIN VEYA ÇATLAKLARIN SEBEPLERİ VE ONARIMI

10.1. Plastik Betonun Çatlama

Plastik betonun çatlama, sertleşmiş taze betonda çeşitli sebeplerle meydana gelen çatlaklar bu bölümde incelenmiştir.

10.1.2. Plastik Büzülme Çatlama

Betonda plastik büzülme çatlama, çoğunlukla, betonu yeni dökülmüş zeminlerin ve döşemelerin açıkta bırakılmış yüzeylerinde (veya geniş yüzey alanı olan diğer unsurlarda), düşük nem oranı, rüzgar ve/veya yüksek ısı nedeniyle çok hızlı bir şekilde meydana gelen nem kaybına maruz kaldığında meydana gelir. Plastik büzülme genellikle, beton kütüne başladıktan sonra, son perdenin önce meydana gelir.

Nem yeni dökülmüş betonun yüzeyinden, yüzeyden atılmış suyun yenilenmesi nedeniyle daha hızlı bir şekilde buharlaşırsa, yüzey betonu büzülür. Kuruyan yüzey tabakasının altında yer alan betonun yol açtığı daralma nedeniyle, zayıf, sertleşen plastik betonda çekme gerilmesi oluşur ve bu da genellikle kısa, sık çatlaklara yol açar ve tüm yönlere yayılır. Uzunlukları birkaç inç (2,54 cm) ile birkaç feet (30,48 cm) arasında değişir ve birkaç inçten (2,54 cm) ile on feet (3 metre) arasında değişen bir aralıkta mesafelendirilir. Plastik büzülme çatlakları, yükseltilmiş yapısal beton döşemelerinin derinliği boyunca genişleyebilir.

Plastik büzülme çatlama, plastik betondaki diferansiyel hacim değişiminden kaynaklandığından dolayı, başarılı kontrol ölçümleri, yüzey ile betonun diğer kısımları arasındaki görece hacim değişiminde bir azalma gerektirebilir.

Sıcak hava ve kuru rüzgar kaynaklı hızlı nem kaybını önlemek için önlemler alınabilir. Bu önlemlerini çerisinde, yüzeyin üzerindeki havanın doyurulması için sis enjektörlerinin kullanımı ve son perdenin işlenmesi arasında yüzeyi örtmek için plastik kaplama kullanımı yer almaktadır. Rüzgarın hızını azaltmak için rüzgar siperleri ve

yüzey ısısını düşürmek için gölgelikler de işe yararmaktadır, ve duvarlar dikeyden sonra düz işlerin programlanması da iyi bir uygulamadır. Betondan su atı moramı arttıran uygulamalar da işe yarayabilir [18, 14].

10.1.2 Oturma Çatlağı

İlk beton döşeme, vibrasyon ve perdah işleminden sonra, betonun takviyeyi sürdürme gibi bir eğilimi vardır. Bu süreç içerisinde, plastik beton, betonarme demiri, ön bir beton dökme veya kalıpile lokal olarak engellenebilir. Bu lokal baskı, betonarme yapının yakınında boşluklara ve/veya çatlaklara yol açabilir. Betonarme çelik ile bağlantılı olarak, oturma çatlağı, çubuk boyutunun artması, çökme ölçüsünün artması ve örtünün azalması ile artar. Oturma çatlağının derecesi, yetersiz vibrasyon veya sızan veya oldukça esnek yapı tarzlarının kullanılması ile büyüyebilir.

Düzgün yapı tasarımı ve yeterli vibrasyon (ve yeniden vibrasyon), betonun kolonlara dökülmesi ile betonun döşemelere ve direklere dökülmesi arasında yeterli zaman aralığının sağlanması, mümkün olan en düşük çökme ölçüsünün kullanılması ve betonun örtüsündeki azalma, oturma çatlağını azaltacaktır.

10.2 Sertleşmiş Betonun Çatlama

Sertleşmiş betonda yani prizini almış betonda meydana gelen çatlakların sebepleri bu bölümde incelenmiştir.

10.2.1 Kuruma Büzülmesi

Beton çatlağının en yaygın nedeni baskı uygulanmış kurutma büzülmesidir. Kurutma büzülmesi, her bir birim uzunluk için yüzde 1 oranında büzülen çimentonun hacimdeki nem kaybından kaynaklanmaktadır. Neyse ki, agrega, bu hacim değişikliğinin büyüklüğünü yüzde 0,05'e indirgeyen dahili baskı unsuru oluşturur. Islanmış, beton genişleme eğilimi gösterir [18].

Nem kaynaklı hacim değişimleri, betonun karakteristik bir özelliğidir. Betonun büzülmesi herhangi bir baskı olmadan gerçekleşebilseydi, beton çatlamayacaktır. Çekme gerilmesine yol açan neden büzülme ve baskının birleşmesidir (genellikle yapının bir başka kısmı veya alt tabaka tarafından sağlanır). Betonun çekme

gerilmesi aşıldığında, beton çatlaklar. Çatlaklar, gerekenden daha düşük gerilmelerde yayılırlar ve çatlak başlangıcına yol açarlar [18].

Büyük beton kalıplarında, çekme gerilmeleri, yüzey ile iç beton arasındaki diferansiyel büzülmeden kaynaklanır. Yüzeydeki daha büyük bir büzülme, zamanla betona daha derinleşmesiyle işleyebilen çatlakların oluşmasına yol açar.

Çekme gerilmelerinin büyüklüğü, büzülmenin miktarı, baskı derecesi, esneklik modülü ve sünme miktarı gibi birtakı metkenlerin birleşmesinden etkilenir. Kurutma büzülmesinin miktarı ise, agreganın miktarı ve türü ve karışımın su içeriğinden etkilenir. Agreganın miktarı arttıkça, büzülme derecesi azalır. Agreganın sertliği arttıkça, betondaki büzülmeyi azaltmadaki etkisi de artar (örneğin, kumtaşı agregası içeren betonun büzülmesi, granit, bazalt veya kireçtaşı içeren betonun büzülmesinden iki kat daha fazla olabilir). Su içeriği ne kadar yüksekse, Kurutma büzülmesinin miktarı da o kadar artar.

Duvarların ve döşemelerin yüzeyindeki sır çatlaması, küçük çaplı kurutma büzülmesinin mükemmel bir örneğidir. Sır çatlaması, betonun yüzey tabakasında, iç tabakasından daha fazla su miktarı olduğunda meydana gelir. Sonuç, bir dizi sıgı yakın mesafeli, ince çatlaklar.

Kurutma büzülmesi, karışımında maksimum pratik agrega miktarı kullanılarak azaltılabilir. En düşük kullanılabilir su içeriği tercih edilmektedir. Duvar aşağıdan yukarı doğru döşendiğinde betondaki su içeriğinin azaltılması gerek oturma çatlamasını gerekse duvarlardaki kurutma büzülmesini azaltmaya yardımcı olacak bir işlemdir. Bu prosedür kullanılarak, duvarın daha alçak kısımlarındaki su atımı, duvarın içerisindeki su içeriğini eşitleme eğilimi gösterecektir. Başarılı olması için, bu prosedür dikkatli kontrol ve doğru takviye gerektirir. Büzülme çatlaması, doğru mesafelendirilmiş büzülme derzleri ve uygun çelik detaylandırma kullanılarak kontrol edilebilir. Büzülme çatlaması, aynı zamanda, büzülme dengeleyici çimentolar kullanılarak da kontrol edilebilir. Belirtmek gerekir ki, çatlak kontrolünün özellikle önemli olduğu durumlarda, ACI 318'in minimum gereklilikleri de yeterli olmaktadır [18, 19].

10.2.2 Isıl Gerilme

Bir beton yapıdaki ısı farklılıkları, çimentohidratasyonu veya çevre şartları veya her ikisi nedeniyle de meydana gelebilir. Bu ısı farklılıkları diferansiyel hacim değişimleriye yol açar. Diferansiyel hacim değişimleri nedeniyle çekme gerilimleri, çekme gerilim kapasitesini aştığında beton çatlayacaktır. Çimentonun hidratasyonu

nedeniyle ısı diferansiyelleri etkileri, normalde kütle betonu (gerek büyük kolonlar, iskele, giriş ve ayaklıklar gerekse setler içerebilen) ile bağdaştırılmaktadır ve çevre sıcaklığındaki farklılıklar nedeniyle ısı diferansiyelleri herhangi bir yapıyı etkileyebilecektir.

Kütle betonundaki ısıl çatlamaya göz önünde bulundurulduğunda, Portland çimentosu ile karıştırıkça ısıyı serbest bırakır ve betonun iç sıcaklığının ilk beton kürü döneminde artmasına yol açar. Soğutma işlemi başladığında beton hızlı bir şekilde hem mukavemet hem de sertlik kazanır. Soğutma sırasında serbest daralmanın herhangi bir baskısı, çekme gerilmesi ile sonuçlanacaktır. Soğutma aşamasında gelişen çekme gerilmesi, sıcaklık değişimi, ısıl genleşme katsayısı, (sünme ile indirgenen) etkili esneklik modülü ve baskının derecesi ile orantılıdır. Yapı büyüdükçe, sıcaklık diferansiyeli ve baskı derecesi açısından potansiyel de artar.

Isıl kaynaklı çatlamayı azaltmaya yarayan prosedürler arasında iç sıcaklığın azaltılması, soğutmanın geciktirilmesi, betonun soğuma hızının kontrol edilmesi ve betonun çekme gerilim kapasitesinin artması yer almaktadır.

Sertleşmiş betonun $4 \text{ ila } 6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{F}$ ($7 \text{ ila } 11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) arasında değişen ve ortalama $5.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{F}$ ($10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) olan ısıl genleşme katsayısı bulunmaktadır. Bir yapının bir kısmı, ısıl kaynaklı hacim değişikliğine maruz bırakıldığında, ısıl kaynaklı çatlamaya potansiyeli ortaya çıkar. Tasarımcıların, bazı kısımları sıcaklık değişimlerine maruz kalan, yapının diğer kısımları ise ya kısmi ya da bütünüyle korunmuş olan yapılara özellikle dikkat etmesi gerekmektedir. Sıcaklık gradyanları yapısal elemanlarda sapmaya ve rotasyona yol açar; baskı olduğu takdirde, ciddi gerilmelerle sonuçlanabilir. Doğru tasarlanmış büzülme derzi kullanılarak ve doğru detaylandırma yapılarak harekete müsaade edilmesi, bu problemlerin hafiflemesine yardımcı olacaktır [19].

10.2.3 Kimyasal Reaksiyonlar

Bazı zararlı kimyasal reaksiyonlar, betonun çatlamasına yol açabilir. Bu reaksiyonlar, betonu veya beton sertleştikten sonra betonla teması geçen malzemeleri yapmak için kullanılan agregadan kaynaklanabilir. Ounsuz kimyasal reaksiyonları azaltmak üzere, bazı genel kavranlar verilmektedir. Son karışımın önceden test edilmesi veya genişletilmiş alantecrübesi, belirli bir önlemin etkili olma derecesini belirleyecektir [18].

Beton, agrega içeren aktif silis ile çimento hidratasyonundan, katkı maddeleri ve dış kaynaklardan (örneğin, saklanan veya bitmiş yapıda kullanılan kür suyu, zemin suyu,

alkaline çözeltiler) elde edilen alkaller arasındaki geniş reaksiyonların sonucunda çatlayabilir [18].

Alkali-silis reaksiyonu, betonun diğer kısımlarından su çekme eğilimi gösteren şişirme jelinin oluşmasına yol açar. Bu da lokal genişmeyi ve çekme gerilimini beraberinde getirir; ve sonunda yapıntatamıyla bozulmasına yol açabilir. Kontrol önlemleri arasında doğru agrega seçimi, düşük alkali içeren çimentonun kullanılması ve kendiliğinden hafif ve oldukça aktif silis içeren puzolanların kullanımı yer almaktadır. İlk önlemin meydana gelmesini engelleyebilir, diğer iki önlem ise, alkali reaktif silis oranına düşürücü bir etkiye sahiptir ve bu da genişmeyi kalsiyum aluminat silisinin oluşmasına yol açar.

Bazı karbonatlı kayalar, alkaller ile reaksiyona girer ve bazı durumlarda zarar verici genişmeye ve çatlamaya yol açabilir. Bu belirlenmiş alkali-karbonat reaksiyonları, genellikle nadir dokusal özellikleri olan killi dolomitli kireçtaşları ile ilgilidir. Etkilenen beton, ağ şekilli çatlaklarla nitelendirilir. Reaksiyon, alkali-silis reaksiyondan, çatlaktaki silisjel yüzey artıklarının oluşması ile ayırt edilir. Problem reaktif agregalardan sakınılması, reaktif olmayan agregalarla sulandırılması, daha küçük boyutta bir agrega kullanılması ve düşük alkali çimentonun kullanılması yolu ile asgariye indirilebilir [18].

Sülfat içeren sular, beton için ayrıca bir dayanıklılık problemi oluşturur. Sülfat, sulu çimento hamuruna nüfuz ettiğinde, sulu kalsiyum alüminat ile temas eder. Kalsiyum sülfat alüminat, hacimde çok büyük bir artış ile oluşur ve betonun bozulmasına yol açan yüksek lokal çekme gerilmeleri ile sonuçlanır. Tri kalsiyum alüminat bakımından düşük olan Tip II ve V Portland çimentosu, problemin vahametini azaltacaktır. ASTM C 595’te belirtilen harmanlanmış çimentolar bu açıdan yararlıdır. Vahim durumlarda, sülfat saldırısına ilave mukavemet verdiği bilinen puzolanlar, yeterli testten sonra kullanılabilir [18, 19].

Buzları çözülmüş tuzun, sertleştirilmiş betonun yüzeyine uygulanması ile zarar verici koşullar oluşabilir. Suda çözülen tuzla maruz bırakılmış beton, bol hava almalı, betonarme çelik üzerinde yeterli derecede örtü olmalı ve yüksek kaliteli, az geçirgenliği olan betondan yapılmalı olmalıdır.

Sulu çimento hamurundaki kalsiyum hidroksit, havada karbon dioksit ile karışıp kalsiyum karbonatı oluşturur. Kalsiyum karbonatın hacmi kalsiyum hidroksite oranla daha az olduğu için, büzülme meydana gelecektir (yaygın olarak karbonasyon büzülmesi diye bilinmektedir). Bu durum yüzeyde önemli sırt çatlamasına yol açabilir ve kış aylarında betonu ılıktutmak için yanlış hava delikleri açılmış yanma

ısıtıcıları kullanıldığında özellikle yeni dökülmüş beton üzerinde ciddi zararlar doğurabilir [18-20].

Yüzey karbonasyonu istisna olmak kaydı ile, yukarıda sözü edilen kimyasal saldırıların türlerine maruz bırakılan betonu korumak veya tamir etmek için yapılacak çok az şey vardır (ACI 201, 2R).

10.2.4 Havanın Etkilerine Maruz Kalma

Çatlama ya yol açan aşınma işlemleri arasında 1) donma ve çözülme, 2) ıslanma ve kuruma, ve 3) ısıtma ve soğutma yer almaktadır. Doğal olarak havanın etkileriyle aşınma nedeniyle beton çatlamasının genellikle gözle görülebilir özelliği vardır, ve bozulma yüzeyin çok alt kısımlarına ilerlenmiş olsa da betonun parçalanma aşamasında olduğu izlenimini verebilir.

Tropik bölgeler hariç, donma ve çözülme sonucu hasar, en yaygın hava bağlantılı fiziksel bozulmadır. Beton, suyun hamuru veya agreganın ya da her ikisinin içerisinde donması sonucu zarar görür.

Donma nedeniyle sertleşmiş çimento hamurunda oluşan zarar, suyun donma alanlarına hareket etmesinden ve buz kristallerin çoğalması ile oluşan hidrolik basınçtan kaynaklanır [18].

Agrega tanecikleri, suyun hemen kaçmasını engelleyen çimento hamuru ile çevrelenmiştir. Agregatanecikleri, belirli bir doyma noktasının üzerinde ise, donma sırasında emilen suyun genleşmesi, agregayı çevreleyen çimento hamuruna ve/veya agreganın kendisine zarar verebilir.

Beton, donma ve çözülmeye karşı, en düşük pratik su-çimento oranının kullanılması, toplam su içeriği, dayanıklı agregave yeterli miktarda hava antrenmanı ile korunur. Donma koşullarına maruz kalmadan önce yeterli oranda kür yapılması da önemlidir. Kürün ardından yapının kurumaya bırakılması, donma-çözülme dayanıklılığını arttıracaktır [18-20].

Betonda çatlamaya yol açacak diğer hava bağlantılı işlemler, ıslanma ve kuruma, ve ısıtma ve soğutmadır. Bütün bu işlemler, beton hacminde değişikliğe yol açar. Hacim değişimleri çok fazla ise, çatlamalar meydana gelebilir.

10.2.5 Donatı Aşınması (Donatı Korozyonu)

Bir metalin aşınması, yükseltgen madde, nem ve metal içerisinde elektron akışı gerektiren bir elektro-kimyasal işlemdir; metalin yüzeyinde ve yüzeye yakın yerlerde gerçekleşen bir dizi kimyasal reaksiyondur. Yüzey üzerinde anot olarak bilinen noktalar metal atomları elektron kaybederek çözülmeğe yol açan iyonlar oluşturur. Yüzeyin üzerinde katot olarak bilinen diğer bölgelerde, oksijen ve su, hidroksil iyonlarını (OH^-) oluşturacak şekilde serbest elektronlarla birleşir. Hidroksil iyonlar anotlara doğru ilerler ve hidroks metal oksitleri oluşturmak üzere metal iyonlarla birleşirler.

Çelik söz konusu olduğunda, demir oksit (pas) anotlar üzerinde artık oluşturur. Bir metal parçası üzerinde birçok anot ve katot yer alabilir ve bu bölgeler birbirine yakın veya geniş aralıklı olabilir.

Metalin aşınmadan korunmasının en önemli yöntemi, kimyasal reaksiyonları durdurmak veya tersine çevirmektir. Bu, oksijen veya nem teminini keserek ya da anotlar üzerinde, metal iyonların oluşmasını önleyecek fazla elektron miktarı temin ederek gerçekleştirilebilir (katodik koruma).

Betonarme demiri, genellikle betonda aşınmaz çünkü yüksek orandaki alkalin ortamında sıkı yapıştırıcılık koruyucu oksit kaplama oluşur. Bu pasif koruma bilinir.

Bununla birlikte, betonun alkalitesi karbonasyon yolu ile azaltıldığı veya bu çeliğin pasifliği agresif iyonlarla (genellikle klorür) yok edilebilirse betonarme çelik aşınma yapabilir. Çeliğin aşınması, orijinal metalik iyonlardan daha fazla hacmi olan demir oksitler ve hidroksitler oluşturur. Hâzindeki bu artış, betonarme çubuklar etrafında yüksek radyal patlama gerilmesine yol açar ve lokal radyal çatlaklar oluşturur. Bu bölücü çatlaklar çubuğun etrafına yayılabilir ve boylanması çatlakların (bir başka deyişle çubuğa paralel olarak) oluşması veya betonun pul pul dökülmesi ile sonuçlanabilir. Bir çubuk düzleminde beton bir yüzeye paralel olarak geniş bir çatlak oluşabilir ve bu çatlak, köprü güvertelerinde çok yaygın bir sorun olan yüzey delaminasyonuna (ince ince ayrılması) yol açabilir [18-20].

Çatlaklar, oksijen, nem ve klorürler için kolay erişim sağlar ve böylelikle küçük yarıcı çatlaklar, aşınmanın sürebileceği ve çatlağın devam edeceği bir ortam yaratabilir.

Takviyeye enine olan çatlaklar, betonun geçirgenliği düşüktür takviyede sürekli bir aşınmaya yol açmaz. Bunun nedeni, bir çatlaktaki çubuğun aşınmaya maruz kaldığı kısım anot görevini görmesidir. İlk yaşlarda, çatlak ne kadar büyükse, aşınma o kadar

büyük olacaktır, çünkü çubuğun büyük bir kısmı pasif korumasını yitirmiştir. Bununla birlikte, devam eden aşınmanın meydana gelmesi için, oksijen ve nemin aynı çubuğun veya doğrudan temas veya sandalye destekleri gibi donanım aracılığı ile elektrik bağlantısı yapılmış çubukların diğer kısımlarına da temine dilmesi gerekmektedir. Oksijen ve nem akışını sınırlandırmak için yeterli derecede yoğunluk ve örtü kalınlığı kombinasyonu mevcut ise, aşınma işlemi yavaşlatılır veya durdurulur [18].

Takviyeye paralel boylamasına bir çatlak oluştuğunda aşınma devam edebiliyorsa, bunun nedeni birçok noktada pasifliğin kaybedilmiş olması ve nemin, çubuğun boyuna boyunca mevcut olmasıdır.

Yüksek bağlı gerilmeler, enlemesine gerilme (örneğin, üzengi veya iki yönlü gerilimi olan levhalar), büzülme ve oturma gibi boylamasına çatlamanın diğer nedenleri aşınmayı başlatabilir.

Genel beton inşaatı için, korozyon nedenli çatlama karşı en iyi koruma düşük geçirgenliği olan beton kullanımıdır. Takviye üzerindeki arttırılmış beton örtü, aşınma işlemini geciktirmekte ve aşınmaya ve enlemesine gerilimin neden olduğu çatlama ve pul pul dökülmeye karşı etkilidir. Büyük çubuklar ve kalın örtüler söz konusu olduğunda, çatlama önlemek ve yüzey çatlak genişliğini sınırlamak üzere (minimum örtü gerekliliklerini muhafaza ederken) küçük enlemesine takviye ekleneler yapmak gerekebilir [18].

Çok şiddetli etki koşullarında, ilave koruyucu önlemler alınması gerekebilir. Kaplanmış takviye, betonun üzerine kapatıcı veya örtü tabakalar, aşınma önleyici katkı maddeleri ve katodik koruma gibi birçok seçenek bulunmaktadır. Oksijen ve nemin çelik yüzeye erişimini engelleyen veya anottaki elektron akışını tersine çeviren bir prosedür çeliği koruyacaktır.

10.2.6 Kötü İnşaat Uygulamaları

Çok geniş bir yelpazeye yayılı kötü inşaat uygulamaları, beton yapılarda çatlama neden olabilir. Bunlardan en önde geleni, uygulanabilirliğini arttırmak amacıyla betona su ilave etme uygulamasıdır. İlave suyun, mukavemeti azaltma, oturmaı arttırma, ve temel kurutma büzülmesini arttırma etkisi vardır. Mukavemetin azalmasını önlemeye yardımcı olacak daha yüksek oranda çimento içeriği ile birleştiğinde, suyun içeriğindeki artış aynı zamanda yapının iç ve dış kısımları arasındaki sıcaklık diferansiyelinde artış anlamına da gelecektir ve bu ısı gerilmelerinin ve olası çatlama artmasına yol açacaktır [18].

Kür eksikliği, bir beton yapıdaki çatlama derecesini arttıracaktır. Kürün erken bitirilmesi, beton mukavemetinin düşük olduğu bir zamanda büzülmenin artmasına müsaade edecektir. Kuruma nedeniyle çimentoadaki hidratasyon eksikliği uzunvadede azaltılmış mukavemete yol açmakla kalınmaz aynı zamanda yapının dayanıklılığını da azaltmasına yol açar.

Çatlama neden olabilecek diğer inşaat problemleri, yetersiz kalıp desteği, yeterli konsolidasyon (birleşme) ve inşaat derzlerinin yüksek gerilim noktalarına düşenmiş olmasıdır. Kalıplar için destek yetersizliği ve yetersiz konsolidasyon, oturmaya ve kendi ağırlığını destekleyecek kadar mukavemet oluşturmadan betonun çatlamaına yol açar; inşaat derzlerinin doğru bir şekilde yerleştirilmesi ise bu zayıf düzlemlerde çatlamaıyla sonuçlanabilir [18].

10.2.7. Aşırı İnşaat Yüklemeleri

İnşaat sırasında maruz bırakılan yükler hizmet sırasında oluşabilecek yüklerden daha vahim sonuçlar doğurabilir. Maalesef, bu koşullar, betonun zarara yatkın olduğu daha ilk yıllarda oluşabilir ve çoğunlukla sürekli çatlamaalarla sonuçlanır.

En çok kiriş ve pano gibi prekast unsurlar bu suiistimale maruz kalırlar, ancak yerinde dökme beton da bu durumdan etkilenebilir. Prekast unsurlar taşıma ve inşaat sırasında doğru bir şekilde desteklenmediği zaman genel bir hata oluşur. Kaldırma kopçaları, iğneler ve diğer ataşmanlar tasarımcı tarafından detaylandırılmalı ve onaylanmalıdır. Kaldırma iğneleri pratik olmadığı takdirde, bir parçanın tabanına erişmiş bir kayış kullanılabilir şekilde sağlanmalıdır.

Kaldırma teçhizatının operatörleri mtedbir almalıdır ve doğru kaldırma cihazları kullanıldığı zaman bile hasar meydana gelebileceğini bilmelidir. Çok hızlı indirilip birden durdurulan büyük bir kiriş veya panonun, söz konusu elemanın ölü yükünün birkaç katı olabilecek bir etki yüküne dönüşen büyük bir momenti vardır. Sakınılması gereken başka bir yaygın uygulama ise, bir panoyu yatağından kaldırarak veya ipinden kurtarabilmek için panonun bir köşesini manivela ile kaldırmaktır [18, 19].

Bir nakliye için bir unsurdaki destek göz önünde bulundurulduğunda, tasarımcı taşıma sırasında ortaya çıkan yüklerin bilincinde olmalıdır. Büyük prekast unsurların traktör ve iki tekerlekli yük taşıyıcıları ile taşınması sırasında meydana gelen bazı örnekler arasında, kaldırma taşılarının ve karayolu taşılarının fırlaması, yük taşıyıcısı ve traktör arasındaki farklı yol deşerlerinden kaynaklanan burulma ve yük taşıyıcısı ve traktörün diferansiyel hızlanması yer almaktadır.

Önceden gerili ne maruz kal mış kirişler, geril menin serbest bırakılması sırasında – genellikle de kirişler bir günden ufaksa emsalsiz çatlama problemleri meydana gelebilir. Çoklu halat kolları, belirli bir patern takip edilerek gerili nden arındırılmalıdır, böylelikle eleman üzerinde kabul edilemez eksantrik yükler yerleştirilmez. Bir kirişin bir yanındaki tüm halat kolları, öbür tarafındaki halatlar hala gerili durumunda iken, serbest bırakıldığı takdirde, komple gerili ne maruz kalan halat kollarının olduğu tarafta çatlama oluşabilir. Bu çatlaklar istenmeyen çatlaklardır, halat kolları dengesi nin salı verilmesiyle kapanmalıdır [18, 21].

Ağır takviyeli bir flanş ve önceden gerili ne tabi tutulmuş ince bir ağı olan T-kirişi söz konusu olduğunda, ağı ve flanşın kesiştiği noktada çatlaklar oluşabilir.

Kiriş uçlarına yakın noktalarda çatlaklar ile sonuçlanacak diğer bir uygulamaya ise, beton dökümü sırasında kirişleri tutmak için döküm yatağına çivi kaynaması gömülü mesnet levhalarıdır. Çivi kaynakları, bunları kırmak için geril ne aktarım sırasında yeterli ön gerili min uygulanmasından sonra kırılır. Bu zamana kadar, kirişin geri kalan kısmı sıkıştırılırken kirişin tabanına baskı uygulanır. Kaynak çok kuvvetli ise mesnet levhalarına yakın noktalarda çatlaklar oluşur.

Isıl şok, doğru uygulanmışsa buhar kürlü betonda çatlamaya yol açabilir. Sıkça kullanılan maksimum soğuma oranı her saat için 70 F (21 C)'dir. Çevrek agrega kullanıldığında ve germe kapasitesi düşük olduğunda, bu oran düşürülmelidir. Bu uygulamadan sonra bile, ısı kaynaklı çatlama oluşabilir. Yalnızca sıcaklığın izlendiği yerlerde değil tüm kirişe sıcaklık kısıtlamaları uygulanmalıdır. Genellikle ısıyı tutması için kullanılan koruyucu tenteler, halat kollarını keserken kiriş uçlarına erişim sağlamak için geri çekilirse ve çevre sıcaklığı düşükse, ısı şok meydana gelebilir. Bu kritik alanlara çok nadir kaydedici aygıt yerleştirilmiştir [18].

Benzer koşullar ve çatlama potansiyeli, hızlı bir yüzey ısı azalması meydana geldiğinde prekast bloklar, kalıncı mkenar taşları ve pencere panolarında da meydana gelir.

Bazı araştırmacılar, hızlı soğumanın, sadece çok kalın ünitelerin yüzey katmanlarında çatlamalara yol açabileceğini ve standart prekast ürünlerin mukavemetine ve dayanıklılığına zarar vermediğini hissetmektedirler. Gerilimin boşalmasından önce soğumaya maruz bırakılan ön gerilmeli kirişlerde gözlenen enine çatlama bunlar arasında bir istisnadır. Bu nedenle, ön gerilimli elemanlar, buhar-kürü bitirildikten sonra hemen gerili nden arındırılması gerekmektedir.

Yerinde dökme beton, soğuk iklimlerde, bir yapıda arttırılmış çalışma sıcaklığı oluşturmak için ısıtıcılar kullanıldığında bilmeyerek inşaat yüklerine maruz bırakılabilir. Genellikle, pencere ve kapı boşluklarını doldurmak için tenteler kullanılır ve kapalı alanda yüksek hacimli ısıtıcılar çalıştırılır. Isıtıcılar dış beton elemanlarının, özellikle de ince duvarların yakınına yerleştirildiği takdirde, elemanlar arasında kabul edilemez yükseklikte bir ısı gradyanı meydana gelebilir. Duvarın dışı ile bağlantılı olarak duvarın içi de genişleyecektir. Bu etkiyi asgari düzeye indirmek için ısıtıcılar, dış duvarlardan uzak tutulmalıdır. Başarılı uygulamalar, bu işlemin, lokalize edilmiş kurutma büzülmesi ve karbonasyon çatlamasından sakınacak şekilde yapılmasını gerektirir [18-20].

Malzemelerin saklanması ve ekipmanın çalıştırılması, inşaat sırasında yapının tasarlanmış olduğu yükten çok daha vahim yükleme koşulları ile sonuçlanabilir. Maalesef, bu yükler üzerinde çok nadir sıkı kontrol uygulanmaktadır. Bilinçli olmayan inşaat aşırı yüklerinin yol açtığı zarar, tasarımcılar yapıya ilişkin yük kısıtlamaları ile ilgili bilgi temin ettikleri takdirde ve inşaat personeli de bu kısıtlamalara dikkat ettiği takdirde önenebilir.

10.2.8 Tasarım ve Detaylandırma Hataları

Uygunsuz tasarım ve/veya detaylandırma etkileri, çirkin görünümünden kullanışlı olmayışına ve felakete yol açabilecek arızalara kadar görülebilir. Bu problemler, ancak yapısal davranışa (en geniş anlamda kullanılmıştır) ilişkin esaslı bir anlayış geliştirilerek asgariye indirilebilir. Maalesef, tasarımcının tarafından yeterli dikkat gösterilmesi sonucu oluşurlar [18].

Kabul edilemez çatlamaya yol açan tasarım ve detaylandırma hataları arasında, duvarlarda, prekast elemanlarda ve döşemelerde zayıf detaylandırılmış yeni den girintili köşelerin kullanımı, takviyenin uygunsuz seçimi ve/veya detaylandırılması, sıcaklık ve nemdeki varyasyonların neden olduğu hacim değişimlerine maruz kalan elemanlar üzerindeki baskı, yeterli büzülme derzlerinin olmayışı ve temellerin uygunsuz tasarım yer almaktadır ve bunlar yapı içerisinde diferansiyel harekete yol açmaktadır.

Girintili (açılı) köşeler, gerilmenin bir noktada toplanması için bir konum oluşturur ve dolayısıyla çatlakların başlangıcı için belli başlı yerlerdir. Yüksek gerilmeler, ister hacim değişimlerinden, isterse düzlem içi yük veya eğimden kaynaklansın, tasarımcıların, her zaman, yeniden girintili (açılı) köşelerde gerilmenin yüksek olduğunu bilmesi gerekir. En bilinen örnekleri, beton duvarlardaki ve uçları suyun içine sokulmuş kirişlerdeki pencere ve kapı boşluklarıdır. Kaçınılmaz çatlakları dar

bir alanda tutmak ve yayılmasını önlemek üzere ilave doğrultespit edilmiş köşegen takviye kullanılması gerekmektedir [18, 19].

Yetersiz miktarda takviye kullanılması, aşırı çatlamaya yol açabilir. Yapılan en yaygın hata, yapısal olmayan bir elemana hafif takviye uygulamaktır. Ancak, söz konusu eleman (örneğin duvar), yapı deforme olmaya başladığında yükün büyük bir kısmını taşıyacak şekilde yapının geri kalanına bağlanabilir. “Yapısal olmayan eleman”, sertliği ile orantılı olarak yükleri taşımaya başlar. Bu eleman, yapısal olarak davranmayacak şekilde detaylandırıldığından dolayı, yapının emniyeti söz konusu olmasa da, göze hoş görünmeyen çatlaklar meydana gelebilir.

Hacim değişikliklerine maruz bırakılan elemanların baskısı sıklıkla çatlaklarla sonuçlanır. Baskı altında sünmeden dolayı betonda meydana gelebilen gerilmeler, sıcaklık diferansiyelleri ve kuruma büzülmesi, yüklenme nedeniyle oluşan gerilmelerden kat kat daha fazla olabilir. Kısalmaya karşı denetlenen bir döşeme, duvar veya kiriş, önceden gerilmeye maruz kalmış olsa bile, çatlamaya yol açabilecek kadar yeterli çekme gerilmesi oluşturabilir. Uygun bir şekilde tasarlanmış duvarlarda, duvar yüksekliğinden bir ila üç kat fazla aralıklı yerleştirilmiş büzülme derzleri olacaktır. Kirişlerin hareket etmesine müsaade edilecektir. Ön gerilmeli elemanın kılınasına müsaade etmeyen yerinde dökme sonradan gerilmeli inşaat yapısı, gerek elemanda gerekse de destek yapısı üzerinde çatlamaya elverişlidir. Yapısal elemanların oluşturduğu baskılar ile ilgili problem özellikle desteklere her iki uçtan da kaynak yapılan ön gerilmeli ve prekast elemanlarda ciddi bir durum oluşturur. Diğer problemlere ilişkin detaylarla (girişli köşeler gibi) birleştiğinde, felakete yol açabilecek sonuçlar alınabilir [18, 19].

Tasarımın uygunsuz tesis edilmesi, bir yapı içerisinde aşırı diferansiyel hareketle sonuçlanabilir. Diferansiyel hareketi görece olarak küçük ise, çatlama problemi yalnızca doğasında görülebilir. Ancak, büyük bir diferansiyel oturumu söz konusu ise, yapı, yükleri, gerektiği kadar hızlı dağıtmayabilir ve bir arıza meydana gelebilir. Betonarmenin bir avantajı da, hareket çok uzun bir süreye yayılı olarak gerçekleşiyorsa, sünme, biraz da olsa yeniden yük dağıtımının oluşmasına imkan sağlayacaktır.

Uygun tasarım ve detaylandırmanın önemi, içerdiği yapı ve yüke bağlı olacaktır. Çatlamanın önemi oranda kullanışlılık problemi ne yol açabileceği yapıların tasarlanması ve detaylandırılmasında titiz davranılmalıdır. Bu yapılar dikkatli tasarım ve detaylandırma eksikliklerini gidermek amacıyla inşaatın tüm aşamalarında devamlı muayene gerektirmektedir [18].

11. EPOKSİ SİSTEMLER

Epoksi sistemler türleri ve çeşitli uygulama alanları nedeniyle, korozyona karşı çok etkin malzemelerdir ve bunlar tatbik edildiği yüzeye mükemmel derecede;

- Yapışma (hem en hem en her zemine)
- Kimyasal direnç
- Mekanik mukavemet
- Elektrik izolasyonu
- Su geçirmez sağlar.

Çok iyi yapışmasından ötürü tatbik edildiği yüzeyi mükemmel bir şekilde örter, korozif gazların ve kimyasalların saldırılarına karşı korur. Kendisi, bu kimyasallara karşı çok dayanıklı olduğu için kapattığı yüzeyi korozyondan korur.

Epoksi reçineyle, sertleştirici arasındaki reaksiyon, herşeyden önce ortam sıcaklığına ve hava nemine bağlı olarak yürür. Bu nedenle çok rutubetli havalarda ve 10 °C'in altında uygulama yapılmalıdır, ama epoksi sistemler tercihen 15°C tan itibaren uygulanmalıdır. Burada tabiatıyla yalnız ortam sıcaklığı kastedilmeyip, aynı zamanda tatbik edilen yüzeyin (zeminin) sıcaklığı söz konusudur.

Epoksi sistemlerin karakterini temelde sertleştiriciler yönlendirir. Aynı epoksi reçine iki farklı sertleştiriciyle reaksiyona sokulursa, elde edilen iki ayrı son maddeden, birinin üzerine çekiçle vurulunca cam gibi dağılırken, diğeri son derece elastik bir yapıyla cevap verebilir. Bundan ötürü malzeme seçimi çok önemlidir. Kaplamadan istenen kimyasal ve mekanik dirençler, ortam sıcaklığı, uygulanacak zeminin sert veya esnek oluşu ve diğer faktörlerin hepsi göz önüne alınarak, başlangıç maddeleri özenle seçilmeli ve uygulanması da aynı özenle yapılmalıdır [21].

Söz konusu kimyasal reaksiyon, sıcaklığa bağlı olarak 1-2 hafta boyunca devam eder. Bu itibarla epoksi tatbikatı yapılmış bir zemin veya yüzey, uygulamadan itibaren en erken bir (tercihen iki) hafta sonra kendinden beklenen kimyasal veya mekanik güçlere maruz bırakılmalıdır.

Diger taraftan dokunma sertliğine 10-20 saat sonra ulaşıldığından, bu süreler sonunda 2. kat tatbiki yapılabilir. Dıyeli mki bir zemin kaplanması yapılmış olsun. Üzerinde 10-20 saat sonra yürünebilir. Ama bu zemin üzerinde forklift veya demir tekerlekli arabaların trafiğı için veya solvent-asit benzeri kimyasalların teması için, en az bir hafta beklenmelidir.

Daha önce dediğimiz gibi, uygulamaya yönünden epoksi sistemleri 2 gruba ayırıyoruz.

-Solventsiz olanlar (sıvı epoksiler)

-Solventli olanlar (katı epoksiler)

her iki tip epoksi sistemde de kimyasal sertleşme söz konusudur. Solventli olanlarda ayrıca sistemdeki solventin uçması gerekir. bu nedenle genelde solventli epoksi sistemlerin kuru film ağırlığı, 40-60 mikron olacak şekilde ayarlanır. Daha kalın olduğu takdirde yüzeyde başlayacak sertleşme alt tabakadaki solventi içeriye hapsedecek ve film yumuşak kalmasına neden olacaktır [21, 22].

Yüksek dolgu (high build) sistemler, bu düşünce şeklinin dışına çıkarak, solvent içermelerine rağmen, tek katta ıslak film 300-400 mikrona kadar uygulanabilir. Bunlar oldukça az solvent içeren sistemlerdir.

Solventsiz olanlarda ise, komponentlerin tamam reaksiyona iştirak eder. Reaksiyonun tamamlanması için herhangi bir komponentin uçması söz konusu değildir. Bu nedenle solventsiz epoksi sistemlerle dilediğimiz tabaka kalınlığında uygulama yapabiliriz. Sertleşme sonunda %0-8 çekme olabilir. Bu da uygun bir sistemseçimi ve ajan ilavesiyle minimuma indirilir.

Pratik göstermiştir ki, kat kalınlığı çok ince de olsa, solventin yaklaşık %5 kadarı sistemde hapsedilmiş olarak kalmaktadır. Bu nedenle kimyasallar ve özellikle gıda maddeleriyle temasa gelecek satırların kaplanması bu husus muhakkak göz önüne alınmalıdır.

11.1. Beton Elemanların Onarımında Epoksi Sistemler ve Uygulamaları

Hasara uğramış yapıların onarım ve güçlendirilmesinde, çeşitli proses sistemler bir bütün olarak kullanılmaktadır. Zamanla bağli ya da çeşitli agresif kimyasalların sebep olduğu korozyon hasarları, depremgibi aşırı yüklemeler sonucu oluşabilecek statik zafiyetler ya da kullanım amacının değişmesinden dolayı ortaya çıkacak yeni ihtiyaçlara göre betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme sistemleri

uygulanmaktadır. Çok çeşitli yapı ki myasalları firmaları nın uzun yıllara bağı t tecrübe ve kalite anlayışı ile geliştirdi ği dünya kalite ödüllü proses sistemleri yardım ıyla ağır hasara uğramış bir çok sanayi tesisi, konut ve deniz yapıları yeniden ekonomiye kazandırılmıştır. Ancak onarım ve güçlendirme uzmanlık isteyen ve her probleme farklı çözümler gerektiren özel bir konudur [10].

11.1.1. Epoksi Enjeksiyon Sistemi

Duvar ve ya zemin betonunda oluşmuş boşluk ve çatlakları doldurmak ve tamir etmek amacıyla epoksi enjeksiyon sistemi kullanılır. Tespit edilen boşluk veya çatlak üzerine tamirden sonra pakeler monte edilip epoksi verni ği özel pompayla beton içine enjekte edilir. Böylece çatlak ve kılcal da malar dol durularak betontamir edilir. Pompanın ortalama çalışma basıncı 2-5 bar dı naldır [10,11].

Uygulama aşamaları;

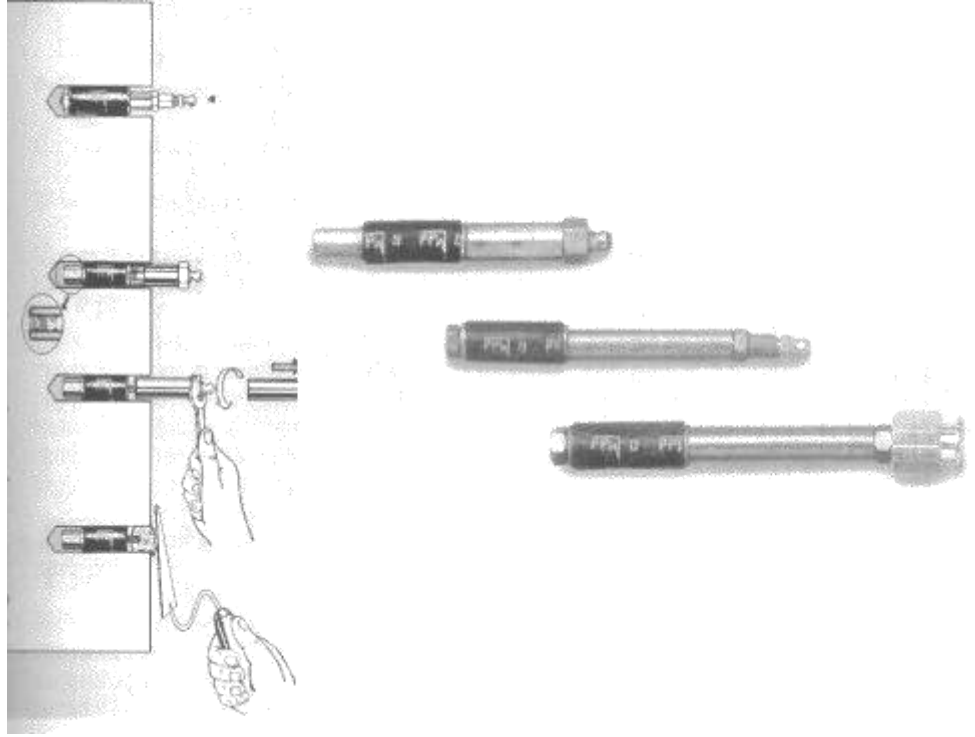
I. Yüzeye kadar ulaşmış çatlaklar fleks gi bi aparatlarla takriben 5-10 mm genişli ğinde 10-12 mm derinli ğinde çatlak boyunca açılır. Toz v.s örne ğin basıncılı havayla uzaklaştırılır. Hemen arkasından epoksi çift komponentli macunla ve bir spatula yardım ıyla bu açılmış çatlaklar dikkatli bir şekilde beton yüzeyine dek dol durulur, kapatılır.

II. Pakeler epoksi reçinenin beton içindeki çatlaklara kadar enjekte edilerek ulaşması nın sa ğ lar. Bunlar;

a. Dolum mesnetleri

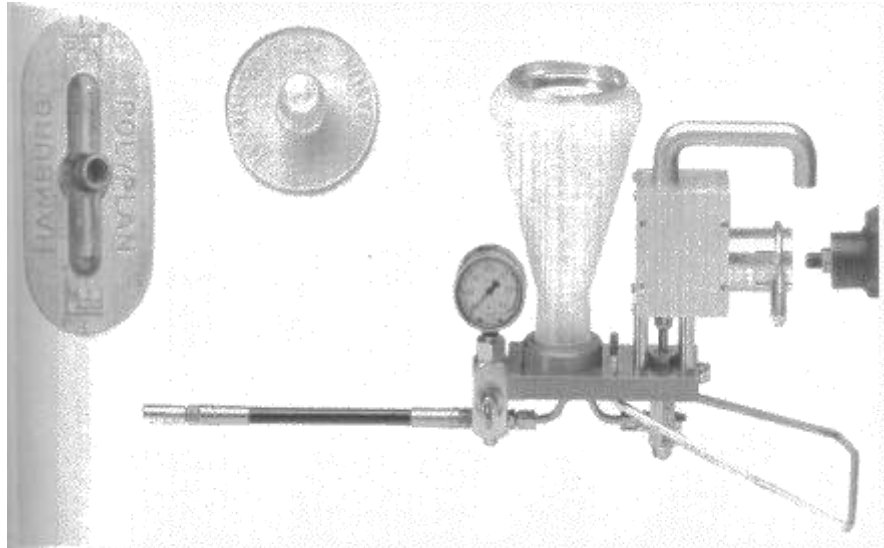
b. Matkap pakeleri olarak ikiye ayrılır.

Dolum mesnetleri, onarılmış çatlak kanalı üzerine açılmış deli ğin üzerine gelecek şekilde yapıştırılır, matkap pakeleri ise matkapla açılmış deli ğin içine sokularak monte edilir. Her iki şekilde de monte edilmiş pakelere nozulları üzerine enjeksiyon pompasıyla epoksi enjeksiyonu enjekte edilir [10].



Şekil 11.1 Paketler ve paketlerin yerleştirilmesi

III. Paketlerin doğru ve düzgün olarak yerleştirilmesi gerekmektedir. İyi bir enjeksiyonun yapılabilmesi bu şartlarda mümkündür. (Şekil 11.1.)



Şekil 11.2 Enjeksiyon pompa ve düzenekleri

IV Uygun paker seçimi: çapı, uzunluğu ve üzerine düşen işlevi yerine getirebilecek kalitede olmalıdır.

V Paketlerin yerleştirileceği delik çapı ve boyu (paket çapına ve boyuna bağlı olarak) belirlenmeli ve bu delikler, epoksi harç ile kaplanmış çatlak boyunca ve birbirlerine sağdan ve soldan düzlemle 45° lik bir açı oluşturarak bir çapraz teşkil edecek şekilde matkapla dikey olarak açılmalıdır. Delik çapı paket çapından 2 mm den büyük olmalıdır. Delikle delinmesi veya sonrasında delik sağlam ve homojen bir yapı göstermeli, kırıklar meydana gelmemiş olmalıdır.

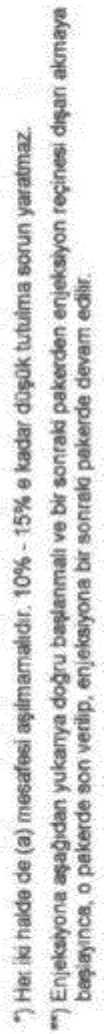
Delik arası mesafe örneğin kolon ve kirişin kalınlığına göre, maksimum $a/2$ yi aşmamalıdır.

Deliklerin yüzeye 45° lik bir çapraz oluşturacak şekilde açılmasıyla, epoksi reçinenin enjeksiyonuyla, beton yüzeyin altında paketlerin uç noktalarında oluşan dairesel epoksi reçine zonları, sağdan ve soldan birbiri içine difüze olur, çatlakların tamamı bu zon içine girmesine ve dolayısıyla doldurulmuş olmasına sebep durlar.

Deliklerin yüzeye 90° lik bir açıyla açılması durumunda ise, çatlakların derinlerde yön değiştirip farklı yönlerde ilerlemesi halinde (ki çoğunlukla böyle olacaktır) enjeksiyon sonucu çatlaklar tam doldurulmuş olmayabilir.

Paketler deliğe, hortum kısmı içeride kalacak şekilde yerleştirilir, yukarıda kalan kısmındaki vidaları dikey olarak sıkıştırılarak aşağıdaki hortum kısmı yavaş yavaş yanlara doğru genişler ve delik tamamen doldurulur [10].

II) Matkap deliklerine montaj



Şekil 11.3 Enjeksiyon işleminin ayrıntılı şekli

VI. Epoksi reçine enjeksiyonu; Bu işlem özel pompalarla (tek veya çift kafalı) yapılır. Epoksi reçinenin süratle kullanılması halinde tek kafalı, aksi takdirde çift kafalı pompa ile uygulanmalıdır.

Epoksi yapılacak bölgede pakeler yerleştirilmiş vaziyette olup, paker üzerindeki nozul, pompa ile enjeksiyon hortumu aracılığıyla birleştirilir. Nozul, enjeksiyon yönünde geçişe izin verirken, enjeksiyona son verildiği ve dolayısıyla basıncın kalması halinde enjekte edilen epoksi reçinenin geriye dönmesine müsaade etmez. Epoksi enjeksiyonu dikkatlice yapılmalıdır. Her ne kadar pompalar 200 bara kadar basabiliyorsa da, çalışma basıncı 5 barı geçmemelidir.

Genelde bir pakerden enjeksiyona başladığı vakit, diğer en yakın paker veya pakelerden epoksi reçine gelene dek beklenir. Ancak bu betonun yapısına, çatlağın vaziyetine, içerdeki derinlik ve yönüne göre değişebilir. Eğer çatlak içerde çok ince kılcal damarlar halinde devam ediyorsa, bu takdirde, pakere pompa bağlı bir vaziyette basınç altında (2-5 bar), 15-30 dakika beklenmeli, ama kesinlikle basınç arttırılmamalıdır. Epoksi reçine kılcal damarlarda arttırılan pompa basıncıyla değil, kendisinin kapiler basıncıyla ilerler. Pompa basıncının arttırılması, karşı bir basınç oluşturacak ve epoksi reçinenin ilerlemesine engel olacaktır [10, 11].

Tabiatıyla her düşük viskozite iyi bir difüzyonu sağlar diye düşünmek yanlış olur. Enjeksiyon reçinesinin beton çatlakları içindeki yayılması, herşeyden önce onun difüzyon kabiliyetiyle ele gelir.

Epoksi reçinesinin düşük viskozitesi yanında içeriği ve karakteriyle mükemmel bir difüzyon kabiliyetine sahiptir.

VII. Enjeksiyon pompa ve düzeneklerinin temizlenmesi:

Çift kafalı olan enjeksiyon pompalarında işleme ara verilerek istendiği zaman, örneğin B bileşeni (sertleştirici) içeren kafa durdurulur, A bileşeni içeren kafa 1-3 dakika daha çalıştırılarak hortundaki A/B karışımı dışarı pompalanır, hortunda yalnız A'nın kalması ve dolayısıyla pompayı tamamen temizlemekten saatlerce bekletmek mümkün değildir [10].

Ancak çoğu yerde tek kafalı pompa yeterli olmaktadır. A ve B bileşeni 1/1 (ağırlıkça ve/veya hacimsel) olarak karıştırılıp, hazneye konulur ve enjeksiyona başlanır. Bu durumda herşey önceden muhakkak hazırlanmış olmalıdır. Biraz gecikme epoksi reçinenin hortunda sertleşmesine sebep olabilir. Enjeksiyona ara verilerek istenirse ve eğer karışım ömrüne biraz zaman kalıyorsa, karışımı dışarıya basılır ve arkasından derhal epoksi tiner verilip temizlenir. Eğer vakit kalmıyorsa mevcut karışımı çine

epoksi tiner ilave edilir, derhal A/B karışımı ve epoksi tiner karıştırılır ve hemen dışarıya basılır. Bunu takiben epoksi tiner tekrar besleme kabına ilave edilerek, pompalamaya devam edilir. Bu işlem yapılırken hortum ucu besleme kabıyla irtibatlandırılır ve bu sayede epoksi tiner sirkülasyonu yapılır.

Uzun süreli duruşlarda parçaları tek tek sökülüp temizlenmesi ve kurutulması gereklidir [10].

11.1.2 Kişyasal Ankraj Sistemi

Betonarme yapılara yeni elemanlar eklenmesi, güçlendirme amacı ile çerçeve aralarına perde duvar konulması gibi uygulamalar eski beton ile yeni betonun kaynaştırılması gerekir. Yani daha önceden dökülmüş beton ile yeni dökülen betonun birlikte monolitik tek parça olarak çalışması gerekir. Bu kaynaşma eski ve yeni betona ankrajlanmış filiz donatıları ile yapılır. Yapılara kat eklenmesi sırasında en üst katın kolonlarında filiz donatıları bırakılmamış ise eklenecek katın kolon donatılarının bir kattaki kolonlar içinde ankraj edilmesi gibi uygulamalar da donatıların eski beton içinde ankraj edilmesini gerektirir. Bundan başka betonarme çerçevelerin arasına perde duvar konulması biçiminde yapılan takviyelerde perde donatılarının çerçeve kolon ve kirişleri içinde ankrajla eski betona yeni donatı ekilmesini gerektirir [12].

Yukarıda sayılan işlemler bir anlamda yeni donatının daha önce dökülmüş eski betona bağlanmasını gerektirir. Bilindiği gibi betonarme, donatı ile betonun birlikte yük taşımasıdır. Beton basınç kuvvetlerini, donatı da çekme kuvvetlerini taşır. Birlikte yük taşıma beton ile donatı arasında tam yapışma “aderans” dır. Donatı, inşaat demiri, kendisine gelen çekme kuvvetini beton ile ara yüzeyinde olan yapışma kuvveti ile betona aktarır. Eğer donatı betona ‘yeterli’ boyda, uzunlukta konulmuş ise ya da beton ile donatı arasında yapışma yetersiz ise betona donatı arasındaki aderans kuvveti yetersiz kalır ve demir betondan sıyrılır. Eğer aderans yeterli ya da donatı yeterli boyda konulmuş ise, donatı betondan sıyrılmaz, donatı kopar. İstenilen ikinci durumdur ki. Donatı istenilen ya da izin verilen düzeylerde çekme kuvveti taşıırken betondan sıyrılmasını [12].

Eski betonun içine yeni donatı koymak için eski betonda bir delik açılır. Bunun içine ‘mekanik’ ya da ‘kişyasal’ ankraj yapılır.

Mekanik ankraj özel bir cıvadır.

Ki myasal ankraj da da yine betonda bir delik açılır, içine hem donatıya hem de çelik cidarındaki betona çok üstün bir biçimde yapışan ki myasal bir madde konulur. Bu madde epoksi reçineleridir. Daha sonra ankrajlanacak donatı yada filiz demiri içi epoksi dolu bu deliğe sokulur. Bu özel madde (epoksi) hem demire hem de delik çevresindeki betona yapışarak donatıya çekme kuvveti etkidiği zaman donatının betondan sıyrılmasını önler.

Ankrajların ya da filizlerin yerleştirileceği deliklerin temiz olması, iyi temizlenmiş deliklerde başarılı bir yapışmanın sağlanamayacağı, donatının sıyrılabilceği deneylerle belirlenmiştir. En başarılı uygulama, en iyi aderans, eski betondaki deliğin içini, cidarının, sert bir fırça ile temizlendikten sonra içindeki bütün toz, kum ve çakıl taneciklerini vakumlanarak boşaltılması daha sonra deliğe ki myasal yapıştırıcının (epoksi) ve ankrajlanacak donatının konulması ile elde edilmiştir.

Kırılma Biçimleri :

Bu tür ki myasal ankrajda çekme kuvveti etkisi altında dört türlü kırılma olduğu gözlenmiştir [12].

1. Ankrajın iyi yapıldığı, donatının yeterli ankraj boyunda konulduğu durumlarda donatının kopması ile kırılma olmaktadır.



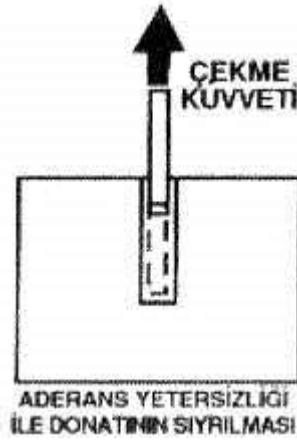
Şekil 11.4 Donatıda kopma ile kırılma

2. Bir başka kırılma biçimi ankrajlanmış donatının betondan kendisi ne yapışmış “koni” biçiminde bir parça kopartması biçimindedir. Bu tür kırılma durumu donatının ankraj edildiği eski betonun dayanımının düşük olduğu durumlarda olmaktadır.



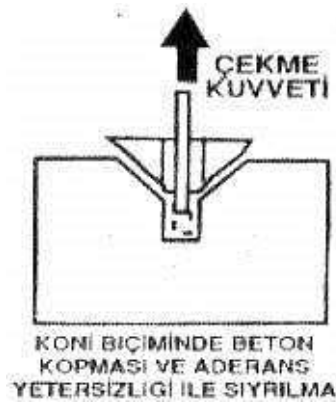
Şekil 11.5 Düşük dayanımlı betonda koni biçiminde beton kopması

3. Bir diğer kırılma biçimi ise donatı ile ki myasal ankraj arasında aderans yitimi sonucunda olmaktadır.



Şekil 11.6 Aderans yetersizliği ile donatının sıyrılması

4. Bir başka kırılma biçimi ise son iki kırılma şekli, aderans yitimi ve eski betondan koni biçiminde bir parçanın ankraj ile birlikte kopmasıdır.



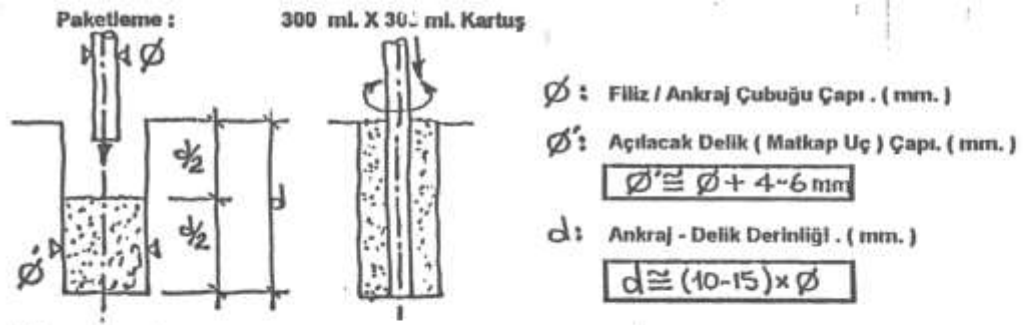
Şekil 11.7 Koni biçiminde beton kopması ve aderans yetersizliği ile sıyrılma

11.1.2.1. Gereklİ Ankraj Boyu

Ki myasal ankrajla ma yönt eminde öne mli nokt alardan biri ankraj deli ğ i nin ne kadar ol du ğ udur.

Bu deri nli k Chronopoul os'a göre (1989) donat ı n ı n ç apı n ı n 10 kat ı ndan büyük ol ma lı . Ayr ı ca dekil ç apı n ı nda donat ı ç apı ndan 5-10 mm kadar daha geni ş ol ma s ı önerili yor.

Ohkuba'a göre (1991) ankraj deri nli ğ i (7-10)xDe mir ç apı , donat ı ç apı n ı n 7-10 kat ı kadar ol abilir [7,12].



*** Aşa ğ ı daki Tablodan belirlenen ölçülerinde açılmış delik temizlenir.

*** Yarı deri nli ğ e (d / 2) kadar Rapid Gel Uygun Tabanca ile (den temin edilebilir.) doldurulur. Hemen Takiben filiz veya ankraj çubu ğ u delik dibine kadar sokulur. Çubu ğ u kendi eksenini etrafında oynatarak yapış tırma jelinin daha iyi yapış ması sağ lanır.

*** Filiz veya ankraj çubu ğ unun ekilmesi ni takiben istenirse aynı gün beton dökülebilir.

Filiz Ç apı mm	Delik Ç apı - mm		Delik Deri nli ğ i - mm		Rapid Gel mikt arı - ml.		1 Set (300X300mm) ile Adet		
	min	max	min	max	min	max	min.	max	Ortalama
10	14	16	100	150	7.70	15.08	39.8	78.0	59
12	16	18	120	180	12.06	22.90	26.2	49.7	38
14	18	20	140	210	17.81	32.93	18.2	33.7	26
16	20	22	160	240	25.13	45.62	13.2	23.9	19
18	22	24	180	270	34.21	61.07	9.8	17.5	14
20	24	26	200	300	45.24	79.64	7.5	13.3	10
24	28	30	240	360	73.89	127.23	4.7	8.1	6

Ş ekil 11.8 Gereklİ ankraj boyları

11.2 Epoksi ile Zemin Kaplama Sistemi

Kullanılan alanları: [7, 10]

- Yakıt tankları
- Çelik yapılar
- Asit tankları
- Kanal ve borular
- Kanalizasyon tünelleri
- Fabrika zeminleri
- Köprüler
- Üretim ve depolama tesisleri
- İlaç fabrikaları
- Havalandırma
- Hijyenik olmasını isteyen ortamlar ; Ameliyathaneler, hastaneler
- T. V stüdyoları
- Bilgisayar odaları
- Mağazalar
- Oteller
- Yemekhaneler, et kombineleri

Özellikler:

- İstenilen fiziksel ve kimyasal özelliklerde her türlü mekana uygulanabilir.
- Hijyenik ve monolitik.
- Kırılmaz, kolay temizlenir.
- Tozuz, aşınmaz.

- Gerektiğinde artistiktir.
- Kaymaz.
- İsteğe göre istenilen renklerde uygulanabilir.
- Mat veya parlak yapılabilir.



Şekil 11.9 Epoksi ile zemin kaplama işlemi

11.3 Beton Korozyonuna Karşı Epoksi Kaplamalı Donatı

Epoksi kaplama, betonarme yapılarda hızlı bir bozunuma yol açan donatı paslanmasının önüne geçebilmek amacıyla yaygın olarak kullanılıyor.

Epoksi kaplamanın temel kullanım alanı, buz eritme amacıyla tuz kullanılan betonarme köprü gövdelerinin paslanmaya karşı korunmasıdır. Ancak kullanım alanları çok büyük bir yaygınlık gösteriyor. Bu alanlar katlı otoparklardan atıksu arıtma tesislerine ve kimyasal tesislere varıncaya kadar birçok farklı inşaat uygulamasını da kapsıyor. Örneğinden, kıyı bölgelerindeki tüm inşaat işleri epoksi kaplama için büyük bir alan oluşturuyor [21].

Ancak, epoksi kaplamanın paslanmayı önleyici etkisinin yanı sıra beton ve donatı arasındaki bağı zayıflattığı da son yıllarda sık sık ortaya atılan bir iddia durumunda.

Öte yandan epoksi kaplamasının paslanmayı ne ölçüde önlediği üzerindeki kuşku lar ve hasar görmüş donatının daha hızlı paslandığı yönündeki iddialar, epoksi kaplama konusunun kapsamlı bir incelemeye tabi tutulmasını gerekli kılıyor [21].

11.3.1. Epoksi Kaplamanın Paslanmaya Direnci

Betonarme yapılarda paslanma olayı, hizmet verebilirlik başta olmak üzere yapıların mukavemeti ve dayanıklılığı gibi hayati sorunlara yol açıyor. Paslanma nedeniyle bu cins hasarların giderilebilmesi için büyük çaplı harcamalara gerek duyuluyor. Ayrıca, yeni yapılan yapıların içindeki çelik donatıyı koruyabilen kaplama ile değişik tasarımı ve inşaat yöntemleri geliştiriliyor. Bunun yanı sıra, buzlanmaya karşı tuz atmanın dışında önlemler alınması, derzlerin azaltıldığı inşaat teknikleri uygulanması, su geçirmez örtülerin, özel boya ve mastiklerin kullanılması katodik koruma ve epoksi kaplama gibi alternatifler de geliştiriliyor.

Ancak inşaat mühendisliğinde hiçbir sorunun tek bir önlemlerle tamamen çözülmesi mümkün olmuyor. Yine de yukarıda sayılan önlemlerin birkaçının birarada kullanılmasıyla başarılı sonuçlar elde edilebiliyor. Bunların içinde en iyi sonuçların epoksi kaplamalı donatı kullanılması ve iyi kalitede su geçirmez örtüye yer verilmesiyle elde edilebildiği görülmüştür [21, 22].

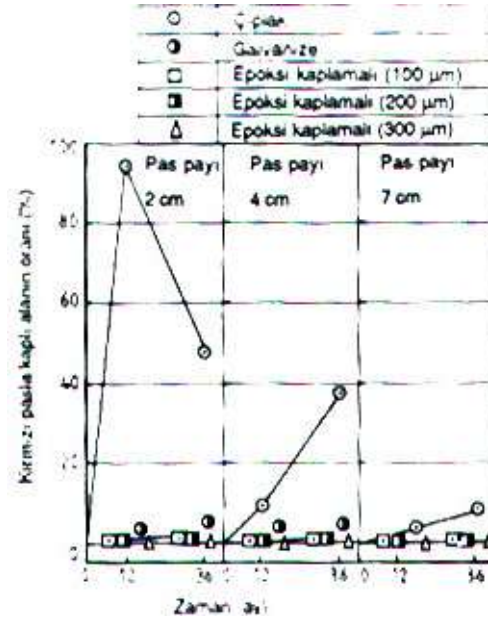
Bu arada, donatının iyi yerleştirilmesi ve beton kalitesinin de yüksek olmasının büyük bir önemi taşıdığı unutulmamalıdır.

Epoksi kaplamalı donatı çubuklarının genellikle üç gereksinimi karşılayabilmesi gerekli görülmektedir. Bunlar şöyle maddelenebilir;

- Epoksi kaplamasının kalınlığının değişkenlik göstermemesi, güçlü, sert ve dayanıklı bir yapıya sahip olması, mükemmel bir adhezyon sağlayabilmesinin yanı sıra, alkali ve tuzlara karşı yüksek bir dirence sahip olması.
- Zorlu deniz koşullarında bile yüksek bir aderans mukavemetine sahip olması.
- Kaplanmış çubukların betonarme yapı elemanlarının yapısal performansına katkıda bulunmaları gerekir. (R N Swamy ve arkadaşları).

11.3.2 Doğal Ortam testleri

Epoksi kaplamalı donatının paslanmaya karşı olan direnci galvanize çubuklarla karşılaştırılmalı olarak testlere tabi tutulmuştur. Üç yıl süren doğal ortam testleri, şekil 11.10'deki sonuçları vermiş. Paslanmanın ölçüsü olarak kırmızı pasla kaplanmış yüzey alanını toplam alanla oran yüzdesi alınmıştır [21].



Şekil 11.10 Epoksi kaplamalı donatının paslanma oranının karşılaştırılması grafiği

Paslanma miktarını etkileyen temel etkenin pas payı kalınlığının olduğu belirlenmiştir. Örneğin 20 mm'lik bir pas payı kullanıldığında kaplanmış çubukların yüzeylerinin %50'sinin paslandığı, 40 mm ve 70 mm'lik pas paylarında ise bu oranın üç yıllık bir süre sonunda sırasıyla %40 ve %10'a indiği gözleniyor.

Epoksi kaplamalı donatılarda, paslanmanın hiçbir türüyle karşılaşılmalıdır.

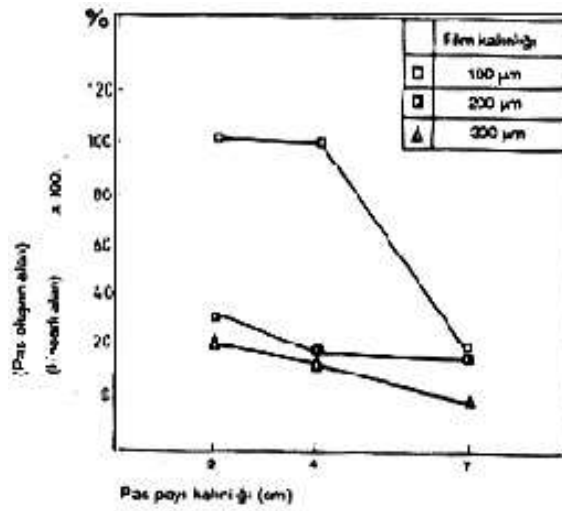
Bütün bu örneklerde paslanma nedeniyle betonun da büyük çaplı hasar gördüğü görülmüştür. Örneğin, yandan galvanize çubukların iyi bir performans gösterdikleri, maksimum paslanma oranının üç yıl sonrasında bile %1,4 civarında kaldığı, ancak 40 mm ve 70 mm'lik pas paylarında bile bölgesel beyaz paslanma gösterdiği belirtiliyor [21].

Deniz suyuyla temas halinde bulunan yapılarda, kaplanmış çubuk kullanılan uygulamalarda su üst kotunun altında kalan bölgelerde paslanmanın daha yoğun olduğu dikkati çekiyor. Epoksi kaplamalı donatı çubukları, kaplama kalınlığı ya da pas payından bağımsız olarak, paslanmanın hiçbir türüyle karşılaşmalıdır. Epoksi

kaplamanın ilk adhezyonunu ve mukavemetini kaybetmediği gibi, parlak görünümünü de koruduğu görülmüyor.

11.3.3. Hasar Verilmiş Epoksi Kaplamalı Çubukların Üzerinde Yapılan Testler

Epoksi kaplamalı donatı çubuklarını fabrikasyonu nakliyesi ya da yerlerine yerleştirilmesi sırasında kaplama üzerinde meydana gelebilecek olan hasarların kaplama performansını etkileyeceği konusu tartışmaya sahne olan noktalardan birisi. Bu konuyu araştırmak amacıyla hızlandırılmış ortam koşulları altında çeşitli deneyler yapılmıştır. Şekil 11.11 de deney sonuçlarının bir karşılaştırılması görülmüyor [21].



Şekil 11.11 Pas oluşan alan-paspayı kalınlığı grafiği

Paslanma olayının pas payı ve kaplama kalınlığına bağlı olarak büyük bir değişim gösterdiği görülmüyor. Pas payı kalınlığının 40 mm'den, kaplama kalınlığının ise 200 mm'yi aştığı uygulamalarda hasarlı alanın yalnızca %20'si kadar bir alanın paslandığı görülmüyor.

Yine de, paslanma olayının sağlam galvanize kaplamalı ve kaplamasız çubuklara oranla daha aşağı düzeylerde kaldığı görülmüyor. Donatı üzerindeki hasara ek olarak, betonda da çatlaklar bulunsan bile, yine de paslanma olayının galvanize ya da kaplamasız çubukların daha altında bir düzeyde seyrettiği test sonuçlarından elde edilen bir başka bulgu. Üstelik bu testlerin deniz ortamında ve çok zorlu koşullar altında elde edildiği gözönüne alınırsa, tuzlu suyla sürekli temas halinde olmayan yapılarda epoksi kaplamasıyla çok daha başarılı sonuçların elde edilebileceği görülmüyor.

- 1) Epoksi kaplama, donatı çubuklarını aderans mukavemetini büyük ölçüde azaltıyor. Azalmanın miktarı, kopmanın moduna göre değişimi gösteriyor. Ayrılma (splittiğ) ya da çekme (pull-out) yoluyla gerçekleşen kopmalardeki mukavemet azalmaları birbirinden farklı.
- 2) Ayrılma durumunun söz konusu olması halinde, epoksi kaplamalı donatı çubuklarının aderans mukavemetinin kaplanmamış çubukların bağ mukavemetinin %65'inde kaldığı görülüyor. Dışa çekme yoluyla kopma gerçekleşmişse, aderans mukavemeti kaplamasız çubuklardaki değerine yaklaşık %85'ine düşüyor.
- 3) Aderans mukavemetindeki azalma çubuk boyutu ve mukavemetinden bağımsız.
- 4) Aderans mukavemetindeki azalma, kaplama kalınlığının 5-14 mm arasında olduğu durumlarda sabit kalıyor.
- 5) Epoksi kaplama, çatlak sıklığı ve genişliğini önemli ölçüde arttırıyor. No.6 çubuklar için, epoksi kaplamalı çubuklarda gözlenen ortalama çatlak genişliği, kaplamasız çubuklardaki çatlak genişliğinin neredeyse iki katına çıkıyor.
- 6) Çatlama yükü ve sehim miktarının, epoksi kaplama uygulaması yüzünden çok az bir değişimi gösterdiği görülüyor.

11.3.5 Epoksi Kaplamalı Donatı Kullanılırken Tasarımda Dikkat Edilecek Noktalar

Epoksi kaplamalı donatı çubukları üzerinde yapılan deneylerin gösterdiği bir gerçek, eğer donatı epoksi ile kaplanmışsa bu çubukların ankraj uzunluğu ve bağlantı uzunluğunun arttırılmasının gerekli olduğudur [21].

Bu yüzden, ankraj uzunluğunun kaplamasız çubuklardaki uzunluğunun 1,15'i olarak alınması, ayrılma olasılığının yüksek olduğu pas payının ince ya da donatının çok sık yerleştirildiği durumlarda bu katsayının 1,50'ye çıkartılması gerekiyor.

Jonston ve Zia (1982) 'ye bakılacak olursa, çubuk çapının üç katından az bir pas payı kullanıldığında ya da çubukların arasındaki net açıklık çubuk çapının 6 katından daha düşükse, 1,50'lik katsayının kullanılması yerinde olacaktır. Üst donatı için kullanılan arttırma katsayısının söz konusu olduğu durumlarda ise her

iki katsayıyı karşılamak üzere 1.70'lik bir katsayının kullanılmasının yeterli olacağı bildiriliyor.

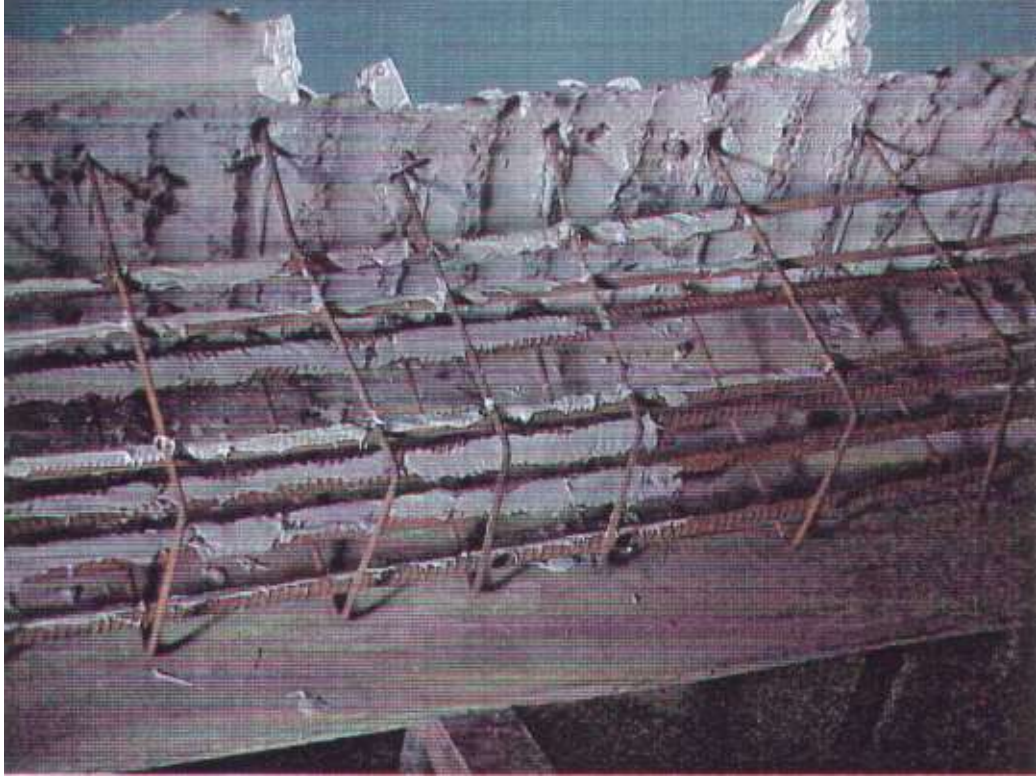
Öte yandan, enine donatının epoksi kaplamalı donatının epoksi kaplamalı donatının neden olduğu olumsuz sonuçları bir ölçüde giderebildiği görülüyor.

Enine donatıyla iyi bir şekilde sarılmış bir ankraj uzunluğu ya da bağlantıda ayrılmama cinsi bir kopmanın önlenilebileceği ve böylelikle epoksi kaplamalı donatının etkisinin giderilebileceği biliniyorsa da, bu hedefe ulaşmak için gereken enine donatı miktarı bilinmiyor. Ayrıca, genellikle enine donatı da epoksi kaplandığı için enine donatının sargı etkisinde azalma görülüyor.

Sonuçta epoksi kaplamalı donatı kullanıldığında enine donatının da pek bir kazanç sağlanmadığı görülüyor. Özetlemek gerekirse, epoksi kaplamalı donatı kullanımı durumunda aderans mukavemetinin artırılması ve bu amaçla ankraj uzunluğunun yukarıda değinilen katsayılarla çarpılarak uygulanmasının gerekli olduğu açıkça görülüyor.

Sonuç olarak Tuzlu ortamların yarattığı paslanma olayıyla yüzyüze kalan betonarme yapılardaki donatıların korunması önerli bir nokta. Özellikle de son yıllarda yapılan araştırmaların bakım ve onarıma harcamalarının uzun vadede inşaat maliyetini aşan boyutlara ulaştığını göstermesi. İlk başta doğru olarak ele alınmış bir donatı koruması sisteminin ne kadar önerli olduğunu ortaya koymuş bulunuyor [18, 19, 21].

Donatıyı paslanmaya karşı korumak amacıyla geliştirilen bir yöntem olan epoksi kaplamasının aşağıdaki şekil 11.13 de de görüldüğü gibi oldukça etkili bir koruma sağladığı, ancak donatının aderans mukavemetini de azalttığı yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Bu da epoksili donatı kullanılması durumunda nervürlü donatıya yer verilmesi ve ankraj uzunluğunun artırılmasının gerekliliğini ortaya koyuyor. Kısacası, uygulamamın bilinçli ve dikkatli olarak yapılması gerekiyor, tüm malzemelerde olduğu gibi.



Şekil 11. 13. Epoksi kaplı malı donatı

12. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmanın deneysel kısmını oluşturan bu bölümde; korozyon onarımında kullanılan beton tamir harçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin deney sonuçları, eski beton ile tamir harcının mekanik olarak yapışma dayanımı ile ilgili deney sonuçları ve korozyon önleyici olarak kullanılan epoksi reçinesi ile eski beton ile tamir harcı arasında yapıştırıcı malzeme olarak kullanılmasına bağlı olarak yapışma dayanımındaki değişimlere ilişkin deney sonuçları yer almaktadır.

İçerik açısından bu bölümde öncelikle yapılacak deneylerde kullanılan malzemeler ve kullanılan deney aletleri tanıtılacaktır. Sonrasında ise sırayla deneysel çalışmada izlenen yöntem deneyler ve deneylerin yapılışı anlatılacaktır.

12.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu bölümde deneylerde kullanılan malzemeler ve özellikleri anlatılmıştır.

12.1.1. Çimento (Bağlayıcı Madde)

Yapılan deneysel çalışmaların tümünde “Marmara çimento” kompozite çimento 32,5 paket çimento kullanılmıştır.

12.1.2. Agregalar

Beton karışımında kullanılan agregalar, kum ve kırma taş (iri agrega) olarak ayrılmıştır. Bu çalışmada kum olarak yıkanmış ve elenmiş Adapazarı Dere Kumı adıyla 40 kg'lık paketler halinde satılan kum kullanılmıştır. Kırma taş olarak kırma taş-II olarak geçen iri agrega kullanılmıştır. Yalnız kum kırma taş karışımının T.S 706 'ya göre referans granülometriye uygun olması açısından kırma taş-II olarak geçen malzeme laboratuvar da taş kırma makinesinde kırılarak kullanılmıştır.

12.1.3. Tamir Harcı (C108)

Deneysel çalışmada kullanılan tamir harcı Duratek adlı yapı kimyasalı firmasının C 108 adlı tiksotropik, çekmez, sülfata dirençli harçtır.

C 108 tamir harcı toz halinde kullanılmaya hazır bir ürün olup, su ile karıştırıldığında, tiksotropik, tortusuz, rötresiz, yüksek kaliteli, çelik ve betona bağlanma kabiliyetli bir harçtır. Kolon, kiriş ve betonarme perde gibi yapı

elemanlarının tamirinde, ayrıca basınca maruz kalan elemanların tamirinde de kullanılan bir harçtır.

12.1.4 Kişyasal Malzeme Olarak Epoksi

Deneysel çalışmalarda kişyasal malzeme olarak kullanılan epoksi Duratek yapı kişyasalı firmasının GSM 510 eski-yeni beton yapıştırıcı macun adıyla geçen malzemedir. Solventsiz epoksi esaslı, rutubetli ortamlarda da tatbik edilebilen bir epoksi aderans köprüsüdür. GSM 510'un uygulama alanları; eski-yeni beton (şap) yapıştırılmasında, oyuk ve çatlakların tamirinde, beton dökülmesi esnasında betonun dışından su tecridi sağlanmasında kullanılır. Hasar görmüş kirişlerin onarımında, yeni kirişlerinin ilavesinde, kolon ve perdelerin mantıdanmasında yeni betonla mevcut eski beton, sac manto veya donatılarla yeni beton ve hatta donatıların birbiri arasındaki yapışma çok önemli olup, bunların hepsi de kullanılabilen bir malzemedir GSM 510. GSM 510 üç (A B C) komponentli bir malzemedir. C komponenti dolgu olup A+B karışımına ilave edilir. Böylece A+B karışımına dolgu ilavesiyle malzemenin akışkanlığı ayarlanabilir. Ancak bu çalışmada sadece A ve B komponentleri kullanılmıştır.

12.2 Kullanılan Deney Aletleri

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan deney aletleri teker teker tanıtılmıştır.

12.2.1 Etüv (Fırın)

Türk standartlarına uygun yeterli büyüklükte ve $105 \pm 5^\circ \text{C}$ değişmez sıcaklığa ayarlanabilir bir etüvdür.

12.2.2 Elekler

Türk standartları 1226 ve 1227 uygun göz açıklığı bulunan tel elekler kullanılmıştır. Kullanılan eleklerin elek göz açıklığı 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,50 mm, 0,25 mm, olarak sıralanır.

12.2.3 Tel Fırça ve Tepsiler

Deneysel çalışmalarda çeşitli boyutlarda tepsiler kullanılmıştır.

12.2.4 Teraziler

Bu deneysel çalışmada 3 çeşit teraziyle çalışılmıştır. Bunlar,

- deney numunelerini 0,1 gr. duyarlılıkla max. 1,5 kg tartabilen terazi
- deney numunelerini 0,01 gr. duyarlılıkla max. 3 kg tartabilen terazi

- deney numunelerini 0,1 gr. duyarlılıkla max. 6 kg tartabilen terazi

12.2.5. Deney Numune Kalıpları

Deney numune kalıpları aşağıda şekil 12.1. de de görüldüğü gibi boyutları şu değerlerdedir.

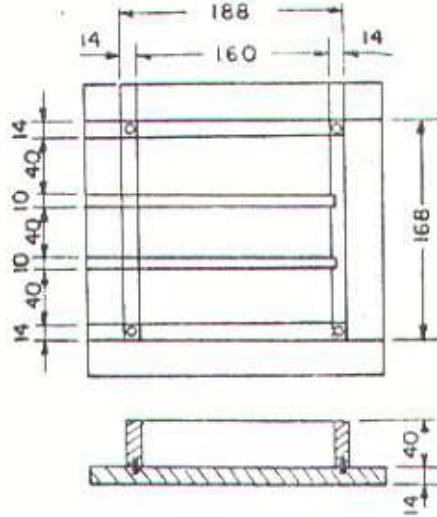
Uzunluk = $160 \pm 0,4$ mm

Genişlik = $40 \pm 0,1$ mm

Yükseklik = $40 \pm 0,1$ mm

Et kalınlığı = en az 10 mm

Açılar = $90 \pm 0,5^\circ$ C



Şekil 12.1 Deney numune kalıpları

12.2.6. Titreşim Masası

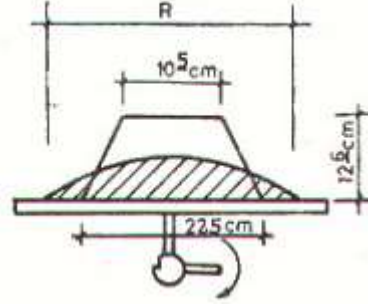
Titreşim masası, esas itibarıyla dikdörtgen şeklinde bir sarsma tablasından ibarettir. Gerektiği durumlarda harcı sıkıştırarak, kalıplara yerleşmesini sağlamak için kullanılmıştır.

12.2.7. Deney Presi

İki farklı deney presi üzerinde çalışılmıştır. Bir Pruf und Mess- MFL SYSTEME firmasına ait 100 kN kapasiteli universal deney presi dir. Diğer deney presi MFL firmasının 20 tonluk (200 kN) basınç presi ve buna bağlı 1 tonluk (10 kN) eğilme presi dir.

12.2.8 Sarsma Tablası Deney Aleti

Aşağıda resmi görüldüğü gibidir. (Şekil 12.2)



Şekil 12.2 Sarsma tablası deney aleti

12.2.9. Ultrases Hızın Ölçülmesi Deney Aleti

Ultrases hızı tayini deneyleri Scheid Euro mat est firmasının ürettiği DİGİEG-C2 ci hızı ile yapılmıştır.

12.2.10. Kompas

Deneyisel çalışmalarda 15 cm ölçekbilen ve 0,01 mm ye duyarlı kompas kullanılmıştır.

12.2.11. Çekme Deney Aleti (Pull- Off)

Deneylerde kullanılan epoksi reçinesinin yapışma dayanımının tayini için dijital çekme deney aleti kullanılmıştır.

12.2.12. Taş Kesme Makinesi

Deneyisel çalışmada üretilen beton ve tamiir harcı örnekleri yapıştırma işleni için taş kesme makinesi ile kesilmiştir.

12.3. Deneysel Yöntem

Deneyisel çalışma, literatür araştırması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında ve epoksi reçinelerinin en sık kullanıldığı alan dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan deneyisel çalışma önceden aşama aşama programlanmış, yapılacak deneyler ve üretilecek numuneler belirlenmiştir.

Öncelikle kullanılacak malzemeler tedarik edilerek, deney örneklerinin üretilmesine geçilmiştir. Üretilen deney numuneleri üzerinde yapılan deneyisel çalışmalar iki ana bölüme ayrılmıştır. Birinci bölüm beton ve tamiir harcı numunelerinin fiziksel ve mekanik karakterizasyonunun tespiti dir. İkinci bölüm ise, fiziksel ve mekanik özellikleri belli ama hasar görmüş yani çatlamış, kırılmış veya kesilmiş betonların epoksi reçineleri ile tamiir harcı kullanılarak onarımını içermektedir.

Epoksi ile yapıştırma işlemi numuneler kesilerek ve eğilme de kırılarak yapılmıştır. Yapıştırılan numuneler üzerinde yapılan eğilme deneyi ile elde edilen yapışma dayanımları karşılaştırılmıştır. Ayrıca kullanılan epoksi reçinesinin aderansını tespit etmeye yönelik çekme deneyi (pull-off) yapılmıştır.

Sonuç olarak, epoksi reçinelerinin farklı yüzey özelliklerine bağlı olarak betona, tamir harcına ve taze tamir harcına yapışma dayanımları 1, 3, 7, 14 ve 28 günlük sürelerde tespit edilerek, deney sonuçlarında karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

12.3 Beton ve Tamir Harcı Karışım Hesapları

Bu bölümde üretilecek beton numunelerinin ve tamir harcı numunelerinin karışım hesapları ayrı ayrı yapılmıştır.

12.4.1. Beton Karışım Hesapları

Beton karışım hesabı, istenen kıvamı işlenebilme, dayanım dayanıklılık, hacim sabitliği ve diğer aranan özelliklere sahip en ekonomik betonu elde edebilmek amacıyla gerekli agrega, çimento, su, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarını tespit edebilmek için yapılan hesaptır.

Beton karışım hesabı yapılırken, betonun kullanılacağı yapı elemanının boyutları, elemanın karşılaşacağı zararlı kimyasal etkiler, don, aşırı sıcaklık aşınma gibi dış etkiler ile elemanın sahip olması gereken geçirimsizlik, dayanım yoğunluk, işlenebilirlik, hacim sabitliği, görünüş ve diğer özellikleri gözönünde bulundurulmuştur. Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, su/çimento oranı, su, çimento, hava ve katkı maddesi miktarları buna göre çizelgelerden alınır ve hesaplanabilir. Hesaplanarak bulunan karışım bu karışım uygun olarak hazırlanan numunelerinin denenmesi, deney sonuçları ile hesap arasında fark çıkar ise hesabın farka göre düzeltilmesi ile son duruma getirilmiştir.

Beton karışımının içine girecek bileşenlerin önceden tahmin etmeye yönelik hesabı yapılabilir ki içiniki tür veri grubuna ihtiyaç vardır:

- a) Üretilecek betonun nitelikleri ve üreti amaçlarının kapasitesi
- b) Üretimde kullanılacak çimento ve agregaların bazı özellikleri.

a grubu veriler dikkate alınarak beton proje mukavemeti bulunur. Bu deneysel çalışmada beton sınıfı olarak B S 25 üretilmeye çalışılmıştır. Yani standarttaki beton sınıflarına göre betonun 28 günlük küp mukavemetinin 30 N/mm² olması gerekir.

Teorik hesaplar:

- I. Granülometri eğrileri dikkate alınarak kullanılan agregaların karışı moranları ve karışımın incelik modülü hesaplanmıştır.

Karışım da agregaların karışı moranları kum 0,50 m³ , çakıl: 0,50 m³ olarak belirlenmiştir.

$$k_k = \frac{(100 - 100) + (100 - 63,4) + (100 - 49,1) + (100 - 40,6) + (100 - 25,4) + (100 - 2,2)}{100}$$

$$k_k = 3,19$$

- II. İstenilen işlenebilirlik özelliği için gerekli su miktarının bulunması.

$$\text{Su miktarı } E = \alpha(10 - k_k) \quad (12.1)$$

Bu formülde α katsayısının değerleri aşağıdaki tablodan alınmıştır.

Beton kıvamı	Dere kumu ve çakıl	Dere kumu ve macır	Deniz kumu ve macır
Kuru	28-30	33	37
Plastik	31-33	37	40
Akıcı	36-40	43	47

$$E = 37(10 - 3,19) = 251,97 \text{ dm}^3 \text{ su}$$

- III. Çiment o dozajı saptanmıştır.

$$f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} \left(\frac{C}{E} \right)^2 \quad (12.2)$$

Bu 12.2 formülünde f_c = amaç mukavemeti B.S 25 için küp basınç dayanımı 30 N/mm²

$$f_c = 30 + \Delta = 30 + 5 = 35 \text{ N/mm}^2$$

f_{cc} = çimentonun norm mukavemeti P.Ç 32,5 için 32,5 N/mm² dir.

$$K_G = 4$$

C = çiment o dozajı

E = su miktarı

Bu verilere göre $C = 519,5 \text{ kg/m}^3$ çıkar. Bir betonarme yapıda $C_{min} = 300 \text{ kg/m}^3$ olmalıdır. Bu değerlerden büyük olan çiment o dozajı olarak seçilir.

- IV. Bu kısım da agrega miktarları hesaplanmıştır. Bunun içinde birim hacim denkleminden yararlanılmıştır. Yani 1 m³ betonun hacmi, içine giren çiment o, su, agrega ve hava boşluğu mutlak hacimlerinin toplamıdır.

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = \frac{C}{\delta_c} + E + V_A + h \quad (12.3) \quad h = \%0,5 = 5, \delta_c = 3,15$$

$$V_A = 579,1 \text{ dm}^3$$

Buradan agregaların hacimlerini karışım oranları dikkate alınarak;

$$Kum \ 289,5 \text{ dm}^3 \times 2,61 = 765,38 \text{ gr.}$$

$$\text{Çakıl: } 289,5 \text{ dm}^3 \times 2,61 = 809,37$$

Sonuç olarak, Yapılan hesaplara göre B S 25 elde etmek için, 1 m³ betonun teorik bileşimi aşağıdaki gibidir.

Çimento : 520 kg

Su : 251 kg

Kum : 765 kg

Çakıl : 809 kg

12.4.2. Tamir Harcı Karışım Hesapları

Deneysel çalışmalarda C 108 adlı Duratek firmasına ait ti ksotropik, rötresiz, sülfata dirençli tamir harcı kullanılmıştır. C 108 bünyesinde suni elyaf ve polimer içeren yüksek performanslı bir hidrolik polimer harçtır. C108 tamir harcının karışım hesabında üretici firmanın belirtmiş olduğu ilkelere ve karışım oranlarına uyulmuştur. Kullanılan bu tamir harcı 25 kg ağırlığında rutubete dayanıklı torbalarda ambalajlanmıştır. Bu torbaların üstünde tamir harcının karışım oranı için 25 kilogram tamir harcı na 4-4,5 litre su konulması gerektiği belirtilmiştir.

Sonuçta, 1000 gr. tamir harcı na 180 gr. su konularak karışımı yapılmıştır. Yapılan ön numune karışımında 1500 gr. tamir harcı na 270 gr. su katılmıştır ve bu karışımın 4x4x16 cm boyutlarındaki 3'lü kalıp setini tam olarak doldurduğu görülmüştür ve hazırlanan bütün tamir harcı numunelerinde bu oranlar dikkate alınmıştır.

C 108 tamir harcının doğru olarak hazırlanması için aşağıdaki işlemlere uyulması tavsiye edilmiştir.

- Karıştırma ya başlandıktan kısa bir süre önce, gereken C 108 torbalarını açıp, hesaplanan su miktarı yavaş yavaş harcı içine ilave edilip karıştırılmalıdır.
- Karışım harç gereken kıvama gelinceye kadar ve topaklardan arınmaya kadar 3-4 dakika aşırı miktarda su konulması engellemek amacıyla mikserle karıştırılmalıdır.
- Çevre sıcaklığına ve rutubet oranına bağlı olarak su miktarlarında değişiklik yapılabilir.

12.5 Deneyler ve Yapılışı

Beton karışımında kullanılan her bileşen-ki bunlar agrega, bağlayıcı madde(çimento ve puzolan), su ve katkı maddeleridir – kullanılmadan evvel belli standartlara göre deneylere tabi tutularak uygunluğunun tespit edilmesi gerekir. Buna bağlı olarak bu bölümde incelenecek deneyleri öncelikle üç bölüme ayrılabilir.

- Beton bileşenlerinin uygunluğunun saptanmasına ilişkin deneyler
 - agrega deneyleri
- Betona ilişkin deneyler
 - taze beton deneyleri
 - sertleşmiş beton deneyleri
- Taşınır harcına ilişkin deneyler

12.5.1. Agrega Deneyleri

Beton bileşiminin hesaplanmasına yönelik olarak kullanılacak olan agregalar üzerinde fiziksel deneyler yapılmıştır.

12.5.1.1. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler

Hek Analizi Deneyi

AGREGANIN YIKANMASI

İnce agrega malzemenin z kum ince tanece zengin olduğu için ayrışma ve toz kaybını en aza indirmek için yıkanma işlemine tabi tutulur. Kum 63 mikrometre göz açıklıklı elek üzerinden elenir. Kumun tana mente zlenmesi, topraklardan arındırılması için yeterli şiddette su altında iyice yıkanmıştır. Yıkama işlemine deney eleğinden geçen su tana men berraklaşmaya kadar deva medilmiştir.

İri agrega malzeme z olan kır nat aş (macır) ise aynı şekilde bol su altında yıkanmıştır. Kır nat aşda yıkanma işlemi büyük plastik bir kap i içinde yapılmış ve kap i içindeki su berraklaşmaya kadar yıkanma işlemine deva medilmiştir.

AGREGANIN KURUTULMASI

Yıkanmış olan ince ve iri agrega tepsilere konarak, agreganın tane büyüklüğünde değışikli ğe sebep ol m adan kurutul masını sa ğ layacak $(110 \pm 5)^{\circ}C$ sıcaklığı sahip ayarlanabilen et üvde kurutul mıştır.

AGREGANIN ELENMESİ

Elek analizi bir agreganın standart deney eleklerinden elenmesi yolu ile en büyük tane çapı yönünden çeşitli büyüklüklerdeki agreganın bütününe oranı yüzdeleri bulunmasıdır.

Yıkılmış ve kurumuş malzeme elek takımına dökülerek elene işlemine başlanmıştır. Elektakım, yukarıdan aşağıya elek göz açıklıkları düzenli bir biçimde azalacak şekilde birbirine geçmiş ve düzenlenmiş elekler, toplam kabı ve kapaktan ibarettir. Toplam kabı ve kapak kullanılarak malzeme kaybına meydana vermeden elektakım el ile sallanmıştır. Daha sonra sırasıyla büyük göz açıklıklı elekten başlamak üzere, eli ile eleklerin içindeki elenmesi işlemi yapılmıştır. Elenme süresinin yeterli olduğu, herhangi bir ekte bir dakikalık sarsma süresinde elekten geçen malzeme miktarının, elek üstünde kalan malzeme miktarının %1'inden daha az olması ile anlaşılır. Bu şekilde yeterince sürdürülen elene işlemi sonucunda her ekte kalan malzeme elekler iyice tel fırça ile temizlenip 0,01 duyarlılıkla tartılmıştır. Her elekten geçen kümülatif (yığılmalı) ağırlıklar hesaplanır. Kümülatif ağırlıklar toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir [23].

Kullandığımız kum ve kırınatışın elek analizi sonuçları aşağıdaki tablo 12.1. ve 12.2 de verilmiştir.

Tablo 12.1. Kumun elek analizi sonuçları

ELEK GÖZ BOYUTU (mm)	HER ELEK ÜSTÜNDE KALAN MALZEME (gr)	ELEK ÜSTÜNDE KALAN YIĞIŞMI MALZEME (gr)	ELEK ALTI NA GEÇEN YIĞIŞMI MALZEME (gr)	ELEK ALTI NA GEÇEN %
8				100
4	9,8	9,8	990,2	99,2
2	64,2	74	926	92,6
1	120,9	194,9	805,1	80,5
0,50	300,4	459,3	504,7	50,4
0,25	463,5	958,8	41,2	4,1
Toplam Kabı	39,3	998,1	1,9	

Tablo 12.2 Kır nat aşın elek analizi

ELEK GÖZ BOYUTU (mm)	HER ELEK ÜSTÜNDE KALAN MALZEME (g)	ELEK ÜSTÜNDE KALAN YIĞIŞMI MALZEME (g)	ELEK ALTI NA GEÇEN YIĞIŞMI MALZEME (g)	ELEK ALTI NA GEÇEN %
8				100
4	721,2	721,2	278,8	27,8
2	22,2	943,4	56,6	5,6
1	49,6	993	7	0,7
0,50	2,6	995,6	4,4	0,4
0,25	ihmal =0			
Toplama Kabı	ihmal =0			

Yukarıdaki tablodaki değerler yardımıyla kum ve mıcır için granülometri eğrileri çizilir.

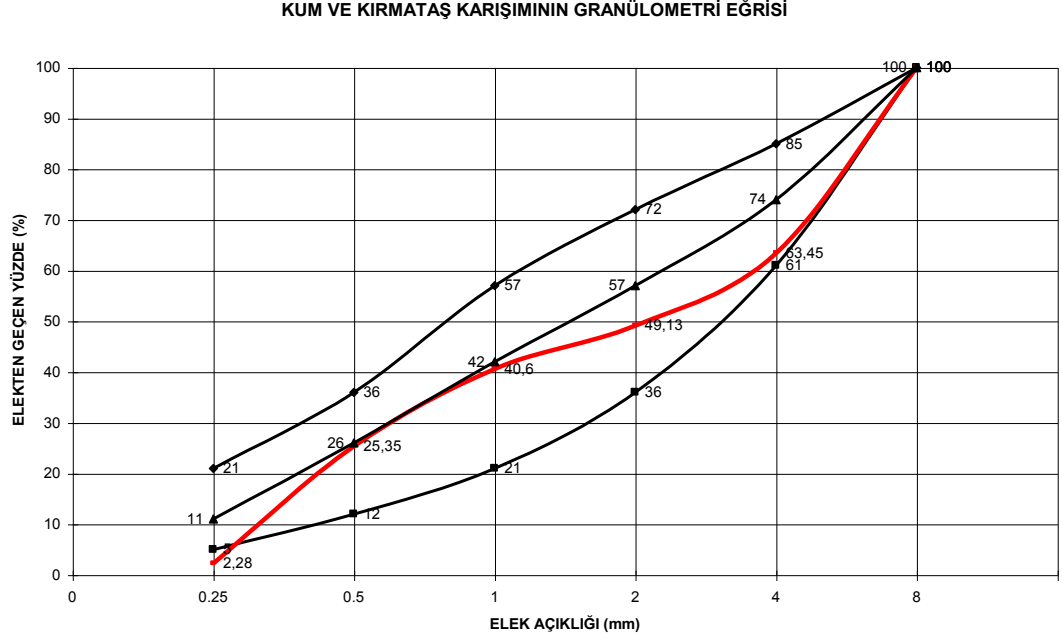
Bu çalışmada üretilecek beton numuneler için kullanılacak olan kum ve mıcır karışımının öncelikli olarak Türk Standartlarında yer alan referans (ideal) granülometri eğrilerine uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir. İdeal granülometrinin amacı, gerçekleştirilebileceği oranda minimum boşluğu ve toplam yüzeyi minimum olan bir karışım elde etmektir. Kullanılan agreganın ne çok ince olup fazla suya ihtiyaç duyması ne de çok iri taneli olup yerleşme sorunu çıkarılması istenir.

Aşağıdaki tablo 12.3 kum ve mıcır karışımının elek analizi sonuçlarını vermektedir.

Tablo 12.3 Kum ve Kır nat aş karışımının elek analizi

ELEK GÖZ BOYUTU (mm)	HER ELEK ÜSTÜNDE KALAN MALZEME (g)	ELEK ÜSTÜNDE KALAN YIĞIŞMI MALZEME (g)	ELEK ALTI NA GEÇEN YIĞIŞMI MALZEME (g)	ELEK ALTI NA GEÇEN %
8				100
4	731	731	1269	63,4
2	286,4	1017,4	982,6	49,1
1	170,5	1187,9	812,1	40,6
0,50	303	1490,9	509,1	25,4
0,25	463,5	1954,4	45,6	2,2
Toplama Kabı	39,3	1993,7	6,3	

Bu tablonun sonuçlarına göre referans eğrilerle beraber agrega karışımının granülometri eğrisi çizilmiştir. Bunun sonucunda kullanılacak olan agrega karışımının referans eğriler arasında kaldığı görülmüştür ve kullanıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 12.3. Kum ve Kır mataş karışımının granülometri eğrileri

12.5.1.2 Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini

Bu çalışmada beton yapımında kullanılacak doğal agregaların gevşek birim ağırlıklarını belirlemek için uygulanan deney yöntemiştir.

Deneyin yapılışı; daha önceden yıkanmış ve kurumuş olan deney numunesi (agrega), ağırlığı tartılarak saptanmış olan standartlara uygun olan ölçü kabına kürek ile taşarcasına doldurulur. Bu sırada küreğin ölçü kabı üst yüzeyinden 5 cm den daha yükseğe kaldırılmasına, agreganın sıkışmasına ve ayrışmasına özen gösterilmelidir. Ölçü kabı üst yüzeyi fazla agrega el ile sıyrılarak düzlenir ve ölçü kabı içindeki agrega ile tartılır. Ölçü kabının darası düşülerek agreganın net ağırlığı bulunur. Bu ağırlık ölçü kabının hacmine bölünerek o agreganın gevşek birim ağırlığı bulunur [24].

Bu işlemler hem kum hem de kır için ayrı ayrı üçer defa yapılmış ve daha sonra her bir malzeme için ortalama birim hacim ağırlıkları bulunmuştur.

Aşağıdaki tablolar 12.4 ve 12.5 de yapılan deneyler sonucunda bulunan değerler görülmektedir.

Tablo 12.4 Kumun biri mağırlı ğ

KUMİ Ç İ N AGREGA B İ R İ MAĞ RLI K DENEYİ RAPORU			
	NUMUNE 1	NUMUNE 2	NUMUNE 3
öl çek kabı n n su dol u ağırlı ğ (gr) (a)	3642, 7	3602	3592
Öl çek kabı n n boş ağırlı ğ (gr) (b)	1641, 4	1641, 5	1641, 7
Öl çek kabı n n hac m i (c m ³) (a-b/ 1 gr/c m ³)	1983, 3	1960, 5	1950, 3
Öl çek kabı + Agreg a (gr) (d)	4614, 3	4609	4632, 6
Agreg a biri mağırlı ğ (gr/c m ³) [(d-b)/(a-b)]	1, 498	1, 51	1, 53

$$\text{Ortalama Kumun Biri mağırlı ğ} = 1,498+1,51+1,53/3 = 1,51 \text{ gr/c m}^3$$

Tablo 12.5 Kı r n ataş ın birim ağırlı ğ

Kİ RMATAŞ İ Ç İ N AGREGA B İ R İ MAĞ RLI K DENEYİ RAPORU			
	NUMUNE 1	NUMUNE 2	NUMUNE 3
Öl çek kabı n n su dol u ağırlı ğ (gr) (a)	3638, 1	3642, 9	3642, 9
Öl çek kabı n n boş ağırlı ğ (gr) (b)	1641, 3	1641, 8	1641, 9
Öl çek kabı n n hac m i (c m ³) (a-b/ 1 gr/c m ³)	1996, 8	2001, 1	2001
Öl çek kabı + Agreg a (gr) (d)	4412	4556	4528, 2
Agreg a biri mağırlı ğ (gr/c m ³) [(d-b)/(a-b)]	1, 38	1, 45	1, 44

$$\text{Ortalama Kı r n ataş ın Brim Ağırlı ğ} = 1,38+1,45+1,44/3 = 1,42 \text{ gr/c m}^3$$

12.5.1.3 Beton Agregaları nda Özgü l Ağırlı k Tayi ni

Bu deney metodu ile i nce agreg a n n (kum) ve iri agreg a n n (çakıl) özgü l ağırlı k ları nı belirlenmiştir. Deneylerde etü v kurusu kum ve çakıl kullanılmış tır. Etü v kurusu, sıcaklı ğ 105° C ± 5° C da tutulabilen hava dolaş ı m ı bir etü vde en az 24 saat bekl etildikten sonra çı karılan agreg a n n değ iş nez ağırlı ğ a eriş mesi durumdur.

Deneyin yapı lış ı; ölçü kabı olarak yaklaşık 500 ml'lik cam ölçü kabı ve kapak kullanılmış tır. Öncelikli olarak ölçü kabı ve kapak iç i boş haldeyken 0,1 gr duyarlı lı ktaki tartıda tartılmış tır. Bu ölçü kabı yaklaşık 20° C deki su ile kabı niçinde

hiç hava boşluğu kal mayacak şekilde doldurulur. Bunun için ölçü kabı ağzına kadar su ile doldurulur ve cam kapak hiç hava kabarcığı kalmasını için kabın ağzından bastırıp kaydırılarak kabın ağzına kapatılır. Su dolu ölçü kabı ve kapak tartılır. (A) Sonra daha önceden tartıp ağırlığını bulduğumuz malzeme su dolu kabın içine doldurulur. Malzemenin su ile temasının sağlanması için bir cam çubuk yardımıyla karıştırılır. Malzeme su içerisinde 24 saat bekletilir. 24 saat sonrası için berrak bir hal almışsa su dolu malzemeli ölçü kabı kapak ile beraber tartılır. (B) Deney numunesinin ağırlığına sembolik olarak C dersek, deney numunesinin özgül ağırlığı $\delta = C / [(A+Q) - B]$ dır.

Aşağıda hem kum için hem de çakıl için özgül ağırlıklar tablo 12.6 ve 12.7 de verilmiştir.

Tablo 12.6 İri agreganın özgül ağırlığı

İRİ AGREGANIN (ÇAKIL) ÖZGÜL AĞIRLIĞI (gr/cm ³)			
	NUMUNE 1	NUMUNE 2	NUMUNE 3
NUMUNENİN AĞIRLIĞI (gr) (Q)	55	50	56
ÖLÇÜ KABİ + KAPAK AĞIRLIĞI (gr)	141,5	157,6	152,8
SU DOLU ÖLÇÜ KABİ + KAPAK AĞIRLIĞI (gr) (B)	32,8	341,8	338,1
ÖLÇÜ KABİ + KAPAK + NUMUNE + SU AĞIRLIĞI (gr) (A)	360,8	373,8	373,7
NUMUNENİN ÖZGÜL AĞIRLIĞI (gr/cm ³) $C / (A+Q) - B$	2,75	2,77	2,74

$$\text{Çakılın ortalama özgül ağırlığı} = (2,75 + 2,77 + 2,74) / 3 = 2,75 \text{ gr/cm}^3$$

Tablo 12.7 Kumun özgül ağırlığı

İNCE AGREGANIN (KUMUN) ÖZGÜL AĞIRLIĞI (gr/cm ³)			
	NUMUNE 1	NUMUNE 2	NUMUNE 3
NUMUNENİN AĞIRLIĞI (gr) (C)	100	40	89,5
ÖLÇÜ KABI + KAPAK AĞIRLIĞI (gr)	157,6	152,8	141,5
SU DOLU ÖLÇÜ KABI + KAPAK AĞIRLIĞI (gr) (B)	302	338,4	352,8
ÖLÇÜ KABI + KAPAK + NUMUNE + SU AĞIRLIĞI (gr) (A)	403,6	363,2	381,2
NUMUNENİN ÖZGÜL AĞIRLIĞI (gr) $C / (A+C) - B$	2,60	2,63	2,62

$$\text{Kumun ortalama özgül ağırlığı} = (2,60 + 2,62 + 2,63) / 3 = 2,62 \text{ gr/cm}^3$$

12.5.2 Taze Beton ve Tamir Harcı Üretimi

Bu bölümde karışım hesaplarına uygun olarak taze beton ve tamir harcının üretimi aşaması detaylı olarak anlatılmıştır.

12.5.2.1 Taze Beton Üretimi

Malzemenin karakteristiklerine bağlı olarak istenen özelliklere sahip beton bileşimi daha önceden yapılan karışım hesaplarına uygun olarak üretilir. Beton karışımında aşağıdaki yöntemler izlenir [22].

- I. Malzemenin hazırlanması
- II. Malzeme miktarının ölçülmesi
- III. Malzemenin karıştırılması
- IV. Betonun dökülmesi
- V. Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması
- VI. Betonun muhafazası ve kürlenmesi

Bu deneysel çalışmada da bu maddeler ışığında beton üretimi yapılmıştır.

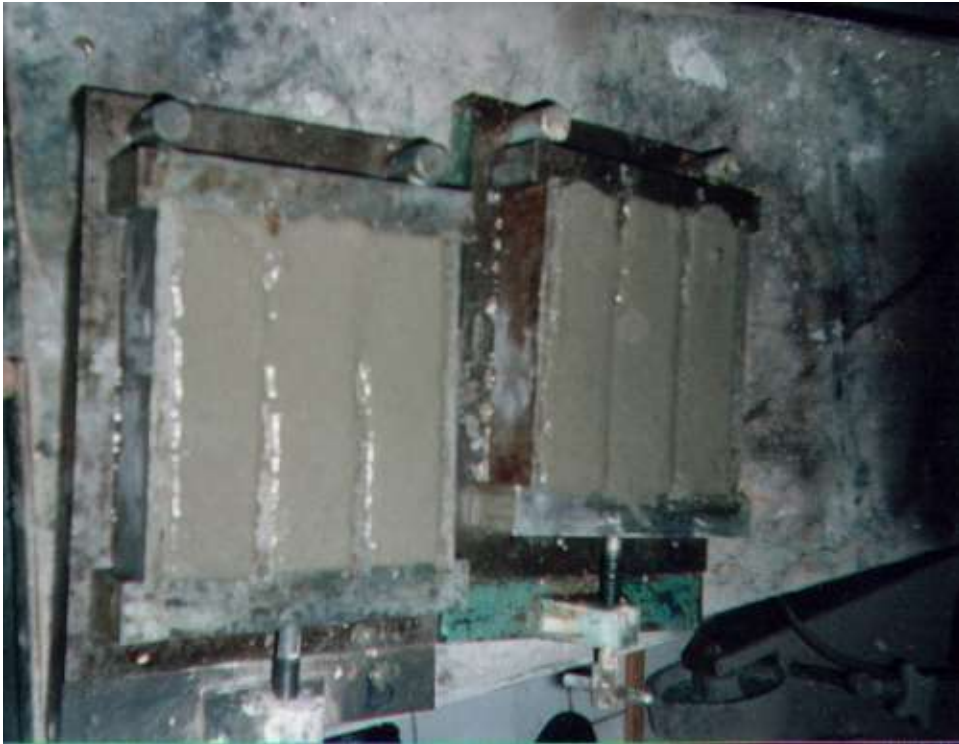
- I. Malzemenin hazırlanması: Kullanılan malzemelerden doğal kum ve kırma taş yıkanarak zararlı maddelerden temizlenmiş ve etüvde kurutulmuştur. Kullanılacak kum kırma taş karışımının standartta verilen referans granülometri eğrileri arasında olmasına dikkat edilmiştir.
- II. Malzeme miktarının ölçülmesi: Kum kırma taş ve çimento onun ölçülmesinde hacim yolu ile ölçüm kullanılmıştır. Çünkü sıkıştırmanın farklı olmasıyla aynı hacimdeki malzemenin miktarları yani ağırlıkları farklı olabilir. Diğer taraftan agreganın özellikle ince agreganın rutubetli olmasının hacimde artış meydana getirdiği bilinmektedir. Bu bakımdan rutubetli kumun miktarının hacim yolu ile ölçülmesi saptanandan daha az malzeme kullanılmasına yol açar. Bu nedenlerden dolayı beton bileşimine giren malzemelerin miktarları tartılarak (gram) olarak ölçülmüştür.
- III. Malzemenin karıştırılması: Beton üretiminde, karışıma giren malzemelerin karıştırılmasında üretilecek beton miktarının az olmasından dolayı el ile bir kürek veya mala yardımıyla karıştırma işlemi yapılmıştır. Ancak üretilen betonun homojen bir bileşime sahip olması için karıştırma işlemi çok iyi bir şekilde ve dikkatlice yapılmıştır.
- Ayrıca betonun karıştırıldığı ortamın sıcaklığının $20 \pm 2^\circ \text{C}$ olan bir odada yapılması daha uygundur. Deney yapılan odanın nisbi nemini % 65 den az olmalıdır.
- V. Betonu kalıplara doldurulması ve yerleştirilmesi: Bu çalışmada öncelikle kullanılan kalıpların düzgün olarak monte edilmesine özellikle dikkat edilmiştir. Kalıpların parçaları iyice sıkıştırılıp yerleştirme sırasında aralıkları önlenmiştir. Çünkü titreşim masnasında oluşan bu aralıklardan betonun bünyesindeki su dışarıya çıkabilir. Kalıplar önceden kalıp yağı ile yağlanmıştır.
- Betonun deneylerde kullanılan kalıplara uygun şekilde yerleşmesi için beton yaklaşık olarak eşit hacimlerde olan iki tabaka halinde yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi için kaşık veya küçük mala kullanılmıştır. Kalıplara konan harç kaşık ile geri yayılarak harcın kalıp içinde aynı kalınlıkta dağılması sağlanmıştır. (Şekil 12.4).



Şekil 12.4 Hırcı n kalı plara dol dur ul ma sı

Kalı plara dol dur ul an beton nu muneler titre ş i m ma sa sı üze ri ne ko na rak 15 sani ye vi bre edil mi ş tir. Bu sü re nin ta yi ri nde ş u yön te mi zlen mi ş tir;

Vi brasyon uy gu lan ır ken ta ze be ton yüzeyi nde su to pla ma ya ve ter le me ba ş la d ı ğı va kit ki bu be ton yüzeyi nde suyun gör ü l dü ğ ü an dır, bu anda titre ş i m ma sa sı der hal dur dur ul ur. Bu çalı ş ma da be ton iç in bu sü re 15 sn. ol a rak göz len mi ş tir. (Şekil 12.5)



Şekil 12.5 Nı munel er titre ş i m ma sa sı nda

VI. Numunelerin bekletilmesi ve bakımı: Kalıplar doldurulduktan sonra, numunenin kendi suyunun buharlaşarak kaybolmasını önlemek için kalıp üzerleri naylon streç ile örtülmüştür. Döküm işleminden 20-24 saat sonra kalıplar sökülümüştür. Kalıptan çıkan her prizma numune numaralandırılmış ve tartılmıştır.

Numuneler kalıptan çıktıktan sonra $20 \pm 1^\circ\text{C}$ lik musluk suyu içinde kırılacakları güne kadar (1, 3, 7, 14 ve 28 gün) bekletilmiştir. Prizmaların su içinde bütün yüzeylerine su değecek şekilde ve birbirlerinden ayrı olarak durmasına dikkat edilmiştir.

12.5.2.2 Tamir Harcının Üretimi

Bu deneysel çalışmada kullanılan tamir harcında firmanın vermiş olduğu karışım oranları dikkate alınmıştır. Buna bağlı olarak tamir harcı ve suyun karıştırılmasında karışımın miktarı az olduğu için helezon mikserli matkap kullanılmıştır. Taze betonun üretimindeki aynı safhalar izlenmiştir. Tamir harcının karıştırma işlemine, harç homojen hale gelinceye kadar (mikserle 3-4 dk.) devam edilmiştir. Tamir harcı karıştırıldıktan sonra 10-15 dakika beklemeye bırakılmıştır. İlk prizni alması için bırakılmıştır. Çünkü harcın içindeki alüminyum bileşikleri ilk anda tepki vermeye girerler ve taze harcı katılaştırırlar. Ama bir süre beklenirse harç su bıraktığı görülmüştür.

Tamir harcının kalıplara yerleştirilmesinde de beton karışımındaki yollar izlenmiştir. Yani malzeme kalıplara iki tabaka halinde yerleştirilmiştir. Beton karışımından farklı olarak tamir harcı daha ince taneli olduğu için titreşim masasında 15 sn. değil 10 sn. vibre edilmiştir.

Tamir harcı kalıplara döküldükten bir gün sonra kalıplar sökülmüş ve tamir harcı numuneleri kürlenmesi için suya konmuştur.

12.6 Beton Deneyleri

Betonlar üzerinde yapılan deneyler iki gruba ayrılmıştır.

- taze beton üzerinde yapılan deneyler
- sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneyler

Taze beton deneylerini, kıvam (işlenebilirlik) ölçme deneyleri ve taze betonun birim ağırlık ölçümleri olarak ayırabiliriz.

Sertleşmiş beton deneylerini ise, eğilme deneyi, basınç deneyi ve ultra ses hızı deneyi olarak ayırabiliriz.

Taze ve sertleşmiş beton üzerine uygulanmış bu deneylerin hepsi tamir harcı numunelerine de uygulanmıştır.

Ayrıca kullanılan epoksi reçinesinin yapışma aderansını bulmaya yönelik çekip koparma (Pull-Off) deneyi yapılmıştır.

12.6.1. Taze Beton ve Tamir Harcı Üzerinde Yapılan Deneyler

Bu bölümde, taze beton ve tamir harçlarında yapılan kıvam deneylerinin ve birim ağırlık deneylerinin sonuçları verilmiştir.

12.6.1.1. Taze Betonda Kıvam Deneyi

Taze betonun yeter derece de işlenebilme özelliğine sahip olması gerekir. Bunun içinde betonun işlenebilme özelliği ölçülmelidir. İşlenebilme özelliğini ölçmek için kullanılan yöntemlerin sayısı çok fazladır. En bilinenleri; çökme deneyi (slump-test), sarsma tablası deneyi (flow-test), ve-be deneyidir. Bu çalışmada sarsma tablası deneyi yapılmıştır.

Deney aşağıda şekil 12.8 de görüldüğü gibi, yatay dairevi bir tablanın bir dişli yardımıyla belirli bir yükseklikten düşürülmesiyle yapılır. Tablanın üzerine boyutları yazılı sacdan yapılmış kesik koni (mold) deney numunesi taze betonla doldurulur. kesik koni şakuli olarak yukarı doğru çekilir. Burada kesik koni yüksekliği küçük olduğu için taze beton kendi ağırlığı altında yıkılmaz, kesik koni şeklini muhafaza eder. Bu durumda bir kol yardımıyla tabla 10 saniyede 12,5 mm'lik yükseklikten 15 kez düşürülür. Meydana gelen bu sarsıntılar sonucunda taze beton daire şeklinde yayılır. Bu şekilde yayılmış betonun çapı (R) ise ve yayılmadan evvelki çap (r) ile gösterilirse bunların oranı bu betonun işlenebilme özelliğini (kıvamı) verir. Bu oran (R/r) ne kadar büyük bir değer alırsa işlenebilme özelliği o kadar yüksektir. Betonarme yapılarıdaki beton için (R/r) oranının 1,7 civarında değer alması beklenir[17].

Üretilmiş olduğumuz taze betonda R değeri ölçülürken 2-3 yerden okuma yapıldı ve sonra bunların ortalaması alındı.

$R=110-115-115 \text{ mm} \Rightarrow R=111,6 \text{ mm}$ dir.

$R=100 \text{ mm}$ ise $R/r = 1,11$ olur.



Şekil 12.6 Sarsma tablası deneyi

12.6.1.2 Taze Ta nır Harcı nda Kı va m Deneyi

Ta nır harcı nın işlenebilir ne özelli ği ni ölçmek i çinde sarsma tablası deneyi uygulanmıştır. Deney beton ile aynı şekilde ta nır harcı na yapılmıştır.

1. üreti mta nır harcı i çin;

Sarsma dan sonra mal ze menin çapı $R = 120 \text{ mm}$

Sarsma dan önce kesik koni ni n çapı $r = 100 \text{ mm}$

$R/r = 1,2$ dır.

2. üreti mta nır harcı i çin; (firmanın yolladığı yeni ta nır harcı)

$R = 126 \text{ mm}$ $r = 100 \text{ mm}$

$R/r = 1,26 \text{ mm}$ dır.

12.6.1.3 Taze Betonda Biri m A ğ r l ı k Tayi ni Deneyi

Taze beton, betonun karıştırma işle mi bittikten sonra sahip ol du ğ u işlenebilirli ğ i ni belirli bir değ iş ne ol nadan koruyabil di ğ i süre i çindeki halidir.

Taze betonun biri ma ğ r l ı ğ i belirli bir hac mi çerisi ne sıkıştırılarak yerleştiril miş taze betonun biri m hac mi ne isabet eden a ğ r l ı ğ ının kg/dm^3 veya gr/cm^3 olarak ifade edil mesi dir. Bu deney metodu i çin hac mi çok doğru bir şekilde saptanmış bir kalı bı dol duran beton a ğ r l ı ğ ının saptanması yeterli ol maktadır. Yani for mül (12.4) ile ifade edecek ol ursak P beton a ğ r l ı ğ ı, V kalı bın hac mi ise ,

$$\text{Taze betonun biri ma ğ r l ı ğ ı } \Delta = \frac{P}{V} \text{ olarak hesaplanır.} \quad (12.4)$$

Gerekli koşullara uygun olarak üretilmiş betonun birim ağırlığı (Δ) 2,2 –2,4 kg/dm³ arasında değişir. Birim ağırlık (Δ) değerinin küçük olması betonun içinde fazla boşluk olduğunu göstermesi bakımından önemli bir anlam taşımaktadır.

Birim ağırlığı ve özgül ağırlığı normal olan agregaları kullanarak elde edilen betonların birim ağırlığının yukarıda verilen değerlerden küçük olması beton içinde fazla miktarda boşluk olduğunu gösterir. Böyle bir betonun mukavemetinin yüksek olması beklenemez.

Bu deneysel çalışmada üretilen betonların birim ağırlığının tayininde şu yöntem izlenmiştir.

Standartta uygun olan boyutları belli (4x4x16) çelik kalıplar içi boş iken tartılmış ve boş kalıp ağırlıkları bulunmuştur. Sonra üretilen beton kalıplara yerleştirildikten sonra tartılmıştır. Kalıp dolu haldeki ağırlığı ile boş ağırlığı arasındaki fark bulunmuştur. Bu da bize kalıptaki betonun ağırlığını vermiştir. Bu ağırlıkta belli olan kalıp hacmine bölünerek üretilen taze betonun birim hacminin ağırlığı bulunmuştur. Bulunacak beton birim ağırlığının doğruluğu açısından taze beton kalıplara çok iyi yerleştirilmelidir. Kalıbın dış cidarı ve taşmış olan harç iyice temizlenmeli ve tartılmışlemi ondan sonra yapılmalıdır.

Ek bilgi verecek olursak, sertleşmiş betonun hacmi taze betonun net hacmi nden %2 kadar az kabul edilir. Yani sertleşmiş betonun birim hacminin ağırlığı taze haldeki betondan daha azdır [19].

Aşağıda tablolar 12.8 ve 12.9 da üretilen betonların birim ağırlığı verilmiştir.

Tablo 12.8 Betonun birim hacim ağırlığı (I. Üretim)

KALIP NUMARASI	KALIBIN BOŞ AĞIRLIĞI (gr)	BETON+ KALIP AĞIRLIĞI (gr)	KALIPTAN ÇIKAN BETONLARIN BİRİM AĞIRLIĞI (gr/cm ³)
A	10360	12210	2,40
B	10100	11900	2,34
C	10030	11840	2,35
D	11100	12890	2,33
E	9900	11700	2,34
F	10000	11800	2,34

Tablo 12.9 Betonun birim hacim ağırlığı (II. Üretim)

KALIP NUMARASI	KALIBIN BOŞ AĞIRLIĞI (gr)	BETON+ KALIP AĞIRLIĞI (gr)	KALIP TAN ÇIKAN BETONLARIN BİRİM AĞIRLIĞI (gr/cm ³)
A	10360	12240	2,44
B	10100	11920	2,36
C	10030	12830	2,34
D	11100	12880	2,31
E	9900	11700	2,34
F	10000	11800	2,34
G	9940	11750	2,35
H	10380	12200	2,36

12.6.1.4 Taze Tamir Harcında Birim Ağırlık Tayini Deneyi

Bu çalışmada kullanılan tamir harcının birim ağırlık tayininde beton ile aynı prensiplere dayalı olarak aynı yöntemle yapılır. Birim ağırlık tamir harcının birim hacminin ağırlığıdır. Basit olarak, betonla aynı şekilde hacmi doğru bir şekilde saptanmış bir kalıbı dolduran tamir hacminin ağırlığının saptanmasıdır. Tamir harcının birim ağırlık sonuçları aşağıdaki tablolar 12.10 ve 12.11 de verilmiştir.

Tablo 12.10 I. Üretim tamir harcı numunelerinin birim hacim ağırlığı

KALIP NUMARASI	KALIBIN BOŞ AĞIRLIĞI (gr)	TAMİR HARCI + KALIP AĞIRLIĞI (gr)	KALIP TAN ÇIKAN TAMİR HARÇLARININ BİRİM AĞIRLIĞI (gr/cm ³)
A	10360	12040	2,18
B	10100	11760	2,16
C	10030	11680	2,14
D	11000	12600	2,09
E	9900	11510	2,09
F	10000	11610	2,09

Tablo 12.11 II. Üretim tamir harçlarının birim hacim ağırlığı

KALIP NUMARASI	KALIBIN BOŞ AĞIRLIĞI (gr)	TAMİR HARCI + KALIP AĞIRLIĞI (gr)	KALIP TANCAN TAMİR HARÇLARININ BİRİM AĞIRLIĞI (gr/cm ³)
A	10380	12040	2,16
B	10100	11720	2,1
C	10020	11640	2,1
D	10950	12580	2,12
E	9880	11530	2,14
F	10260	11880	2,14
G	9920	11090	2,17
H	10120	11740	2,1

12.6.2 Sertleşmiş Beton ve Tamir Harcı Üzerinde Yapılan Deneyler

Bu bölümde, sertleşmiş beton ve tamir harcı numuneleri üzerinde yapılan mekanik deneyler anlatılmış ve sonuçları verilmiştir.

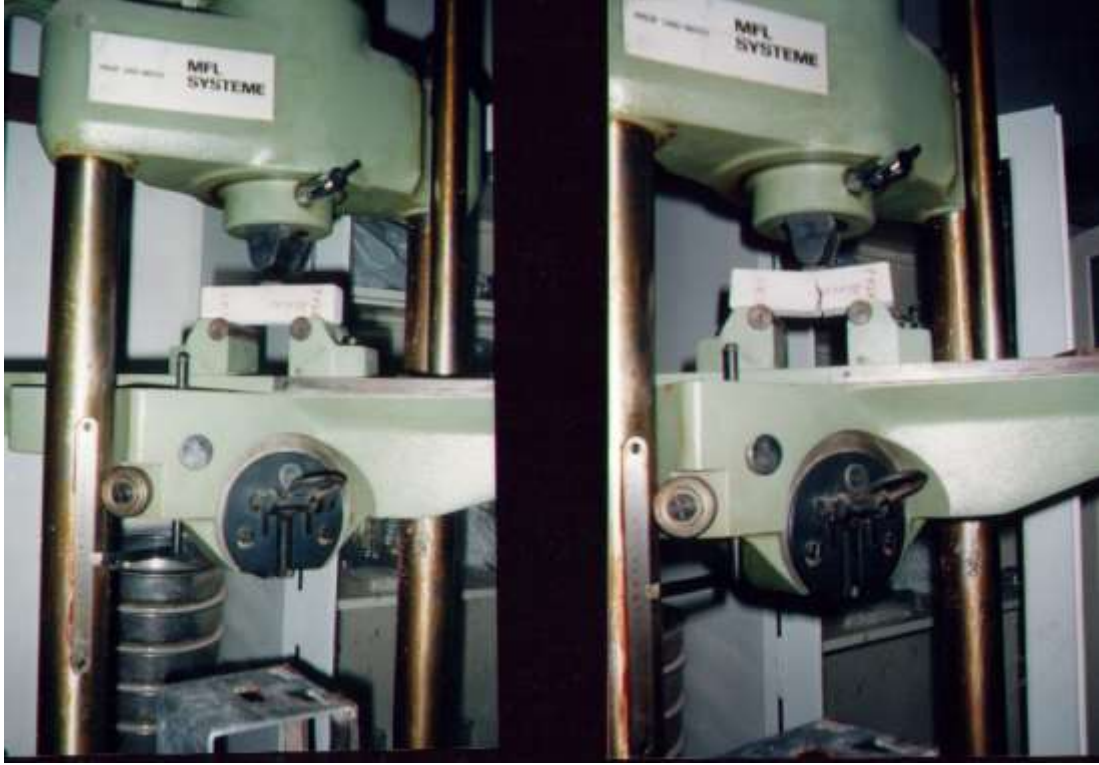
12.6.2.1. Sertleşmiş Beton Üzerinde Eğilme Deneyi

Bu deney sertleşmiş beton numunelerinin mekanik mukavemetlerinin ölçmek için yapılır.

Bu deneyde üretilmiş olan beton numunelerinin 1, 3, 7, 14, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımlarını ölçmek için, numunelere universal deney presi ile eğilmede çekme uygulanmıştır. Bu kısımda yapılan betonun eğilmede çekme dayanımını saptamak için orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile eğilmede çekme tayini deneyidir.

Deney aleti olarak kullanılan pres basınç dayanımı deneyini yapabilecek bir deney presi dir. Üst yükleme başlığı ve yükleme tablası eğilme yapmak üzere değiştirilebilen bir prestir. Yükleme tablası üzerinde mesnetler arası mesafeyi ayarlayacak şekilde yataklar vardır. Bu çalışmada mesnetler arası mesafe 100 mm dir. Mesnetler arası mesafede tolerans ± 1 mm dir. Prizma şeklindeki deney numunesi mesnetler üzerine tam ortalananak şekilde oturtulur. Numunenin kalıp içinde iken üste gelen yüzünün deney sırasında uygulanacak yüklemeni yönüne

paralel olarak konmuştur. Numunenin yatay olması sağlanmış, yükleme yönü numunenin yükleme uygulanan yüzeyine dik olması na dikkat edilmiştir. Yükleme başlığı ile prizmatik deney numunesinin tam ortasından yükleme yapılmıştır ve yükleme numune kırılıncaya kadar devam edilmiştir. Ve kırıldığı andaki P yükü okunmuştur [27].



Şekil 12.7 Beton numuneler üzerinde eğilme çekme deneyi

Orta noktasından yüklendi ş basit kiriş metodu ile yapılan eğilme çekme dayanım tayini deneyi sonucu eğilme çekme dayanım aşağıdaki formül ile hesaplanır.

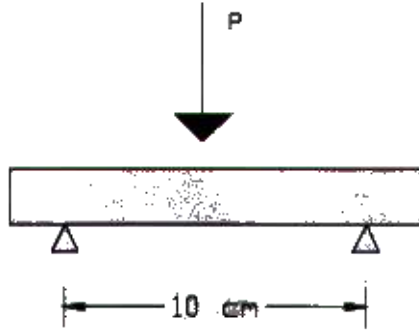
$$\alpha_{\text{eğilme}} = \frac{3}{2} \times \frac{P.L}{b.h^2} \quad (12.5)$$

Bu formül (12.5) de P = Deney presinde kırılma anındaki en büyük yük

L = Yükleme tablası mesnetleri arası açıklık (100 mm)

b = Kırılma kesitinin ortalama genişliği (40 mm)

h = Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği



Deney numunesi kırılmadan önce kırılma kesiti'nin genişliği ve yüksekliği kenarlarda ve ortada kompasla ölçülerek üç ölçümün aritmetik ortalaması alınmıştır. Deney numuneleri her yaş için üçer adettir. Daha sonra bunların eğilmede çekme dayanım değerlerinin ortalaması alınacaktır.

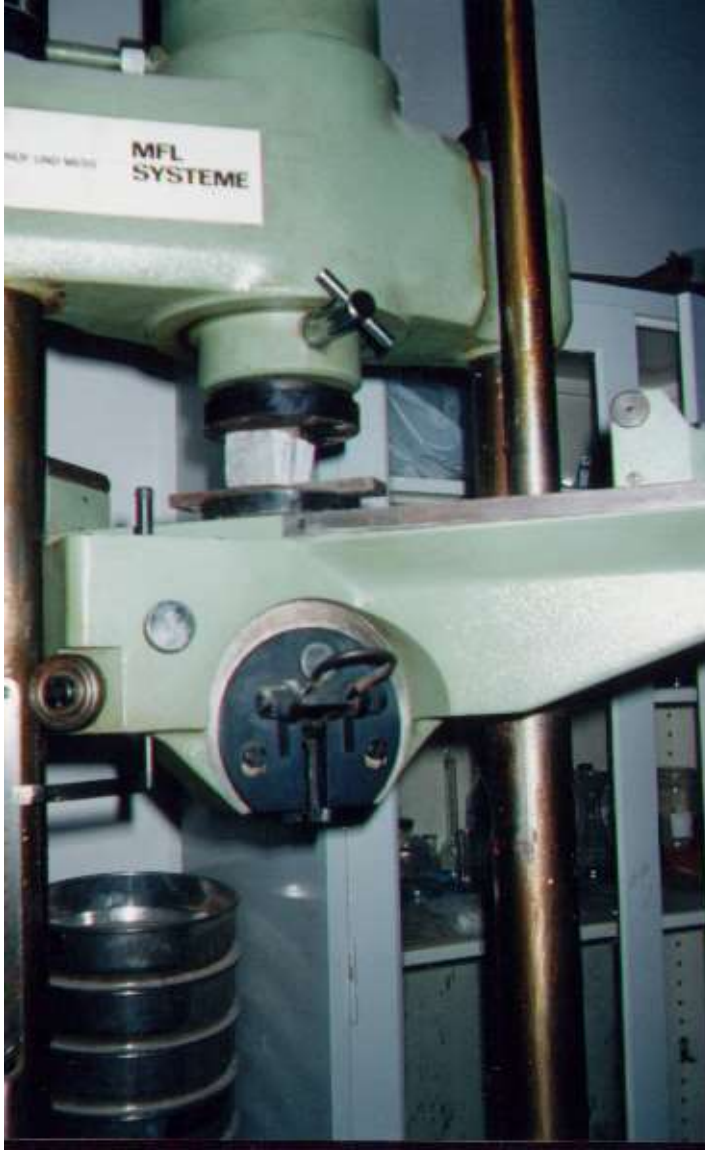
12.6.1.2 Sertleşmiş Beton Üzerinde Basınç Deneyi

Bu deneyde, eğilmede çekme sonucu kırılmış deney numuneleri kullanılarak betonun basınç dayanımı tayin edilir.

Basınç gerilmesi, basınç uygulanan deney numunesi'nin basma doğrultusuna dik olan kesiti'nin birim alanına düşen kuvvettir.

Basınç dayanım, basınç deneyinde kırıldığı anda deney numunesi'nin maruz kaldığı basınç gerilmesidir.

Eğilmede çekme deneyinde kırılan her yarı prizma, 40x40 mm'lik kalınlığı en az 10 mm olan sert metalden yapılmış iki kalınlı evha arasında presin yükleme başlıkları arasında (alt ve üst yükleme plakası) yerleştirilir. Kullanılan bu iki kalınlı evha (plaka) pres başlıkları ve numunenin aynı düşey simetri eksenini üzerinde olmasına dikkat edilmiştir. Deney numunesi yavaş yavaş oynatılarak deney numunesi düşey ekseninin pres küresel üst başlık plakasının merkezi ile çakışması sağlanır. Basınç deneyinde de eğilmede çekme deneyinde olduğu gibi numunenin dökümü sırasında üste gelen yüzey uygulanan basınç kuvvetine paralel olmasına dikkat edilmiştir. Yüklemeye sabit bir hızla ve darbe etkisi yapmayacak tarzda deney numunesi kırılıncaya kadar devam edilir ve kırılma anda deney presi'nin gösterdiği en büyük yük kaydedilir [28, 29].



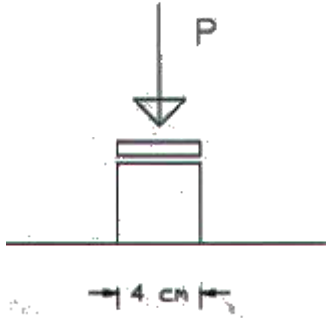
Şekil 12.8 Basıncı deneyi

Deney numunesi parçası basıncı dayanımı aşağıdaki formül (12.6) ile hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{bu formülde;} \quad (12.6)$$

P = Kırılma yükü

A = Deney yükü uygulanma yönüne dik ve yükleme plakası boyutlarına bağlı ortalama kesit alanı



Aşağıda üretilen beton numunelerinin 1, 3, 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları ve eğilme çekme dayanım sonuçları ve numunelerin kırılmadan önceki boyutları ve ağırlıkları tablo 12.12 ve 12.13 de verilmiştir. Daha sonra bunların ortalamaları alınmıştır. Ortalama değerlerde %10 'dan fazla fark gösteren dayanım değerleri hesaba katılmıştır.

Tablo 12.12 Beton numunelerinin basınç ve eğilme yükleri (kuvvetleri)

KARİŞİM ADI	ÜRETİM TARİHİ	KIRILMA TARİHİ	BASINÇ YÜKÜ (N)		EĞİLME YÜKÜ (N)
BB1	05.02.2002	06.02.2002	7100-6940	1 GÜNLÜK	600
BB2	05.02.2002	06.02.2002	6880-7170		400
BB3	05.02.2002	06.02.2002	7810-6320		610
BF1	05.02.2002	08.02.2002	18050-18100	3 GÜNLÜK	1215
BF2	05.02.2002	08.02.2002	19000-18350		1420
BF3	05.02.2002	08.02.2002	18200-18300		1340
BA1	05.02.2002	12.02.2002	25220-25220	7 GÜNLÜK	2090
BA2	05.02.2002	12.02.2002	26250-6400		1930
B3	05.02.2002	12.02.2002	28450-2800		1880
BD1	05.02.2002	19.02.2002	38600-35800	14 GÜNLÜK	2358
BD2	05.02.2002	19.02.2002	32500-39350		2200
BD3	05.02.2002	19.02.2002	37300-34700		2410
BE1	05.02.2002	05.03.2002	58000-55000	28 GÜNLÜK	2700
BE2	05.02.2002	05.03.2002	56000-59000		2750
BE3	05.02.2002	05.03.2002	55000-56000		2400

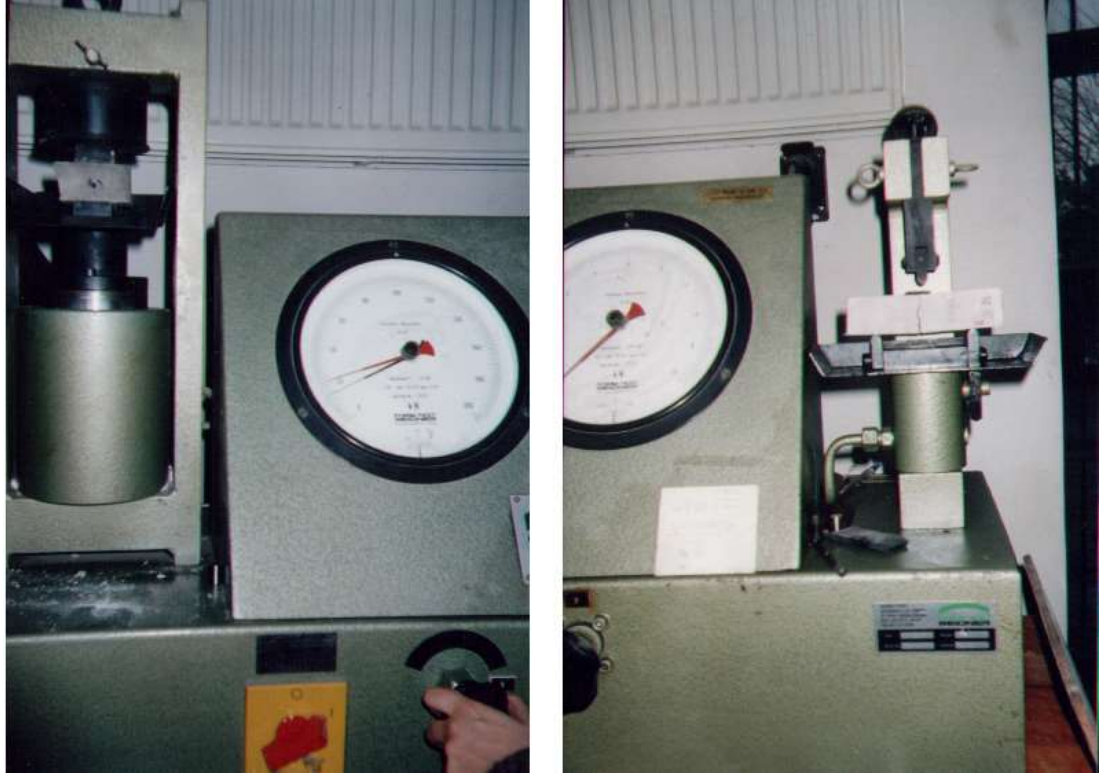
Tablo 12.13 Beton numunelerin boyutları ve ağırlıkları

KARİŞİ MADİ	BOYUT a (mm)	b (mm)	l (mm)	AĞIRLIK (gr)
BA-1	41,01	40,35	160	610,2
BA-2	41,40	40,05	160	607,2
BA-3	40,90	40,18	160,5	597,8
BB-1	41,30	41,05	160	599,7
BB-2	41,15	40,90	160	597,4
BB-3	41,27	40,96	160	598,6
BC-1	41,05	40,34	160	599
BC-2	40,48	40,26	160,5	599,8
BC-3	40,35	40,25	160,5	598,6
BD-1	40,39	40,20	160	604
BD-2	40,21	40,07	160	606,2
BD-3	40,71	40,50	160	607,6
BE-1	40,88	40,50	160,5	598,8
BE-2	41,05	40,20	160,5	602,8
BE-3	40,81	40,55	160,5	603,2
BF-1	40,98	40,30	160	594,4
BF-2	40,45	40,23	160	590,9
BF-3	40,56	40,14	160,05	586,9

12.6.3 Sertleşmiş Ta'nir Harcı Üzerinde Yapılan Eğilme ve Basınç Deneyleri

Sertleşmiş ta'nir harcı üzerinde yapılan eğilme ve basınç deneyleri sertleşmiş beton numunelere yapılan şekilde uygulanmıştır. (Şekil 12.11) Ta'nir harcı numunelerinin boyutları kırma işlemine geçilmeden önce teker teker ölçülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda ta'nir harcı numunelerinin boyutları, ağırlıkları ve basınç dayanım değerleri ile eğilme-çekme dayanım değerleri aşağıda tablo 12.14 ve 12.15 de verilmiştir.



Şekil 12.9 Ta nır harcı numuneleri üzerinde eğilme ve basınç deneyi

Tablo 12.14 ta nır harcı numuneleri nin boyutları ve ağırlıkları

KARİŞİ MADİ	BOYUT a (mm)	b (mm)	l (mm)	AĞIRLIK (gr)
TMA 1	42,07	40,31	160	549,9
TMA 2	42,46	40,33	160	550,7
TMA 3	42,36	40,00	160	549
TMB 1	41,72	40,34	160	543,9
TMB 2	41,58	40,29	160	545,4
TMB 3	42,090	40,54	160	548,3
TMC1	42,42	40,31	160	548,1
TMG 2	42,16	40,27	160	548,3
TMG 3	42,42	40,20	160	549,5
TMD 1	42,03	40,30	160	546,6
TMD 2	41,45	40,55	160	543,9
TMD 3	41,86	40,41	160	543
TME-1	41,66	40,10	160	544
TME-2	42,13	40,40	160	553,3
TME-3	41,85	40,21	160	547,9

Tablo 12.15 Tamir harcı numunelerinin basınç ve eğilme yükleri

KARİŞİM ADI	ÜRETİM TARİHİ	KIRIM TARİHİ	BASINÇ YÜKÜ (N)	EĞİLME YÜKÜ (N)
TM A 1	18.03.2002	19.03.2002	15800-17000	1650
TM A 2	18.03.2002	19.03.2002	15800-14800	1530
TM A 3	18.03.2002	19.03.2002	18100-17800	1640
TM B 1	18.03.2002	21.03.2002	27100-30000	2140
TM B 2	18.03.2002	21.03.2002	22400-31000	2470
TM B 3	18.03.2002	21.03.2002	30800-24700	2320
TM G 1	18.03.2002	25.03.2002	50000-49000	2900
TM G 2	18.03.2002	25.03.2002	50000-49500	2620
TM G 3	18.03.2002	25.03.2002	48000-50000	2560
TM D 1	18.03.2002	01.04.2002	58000-57000	3090
TM D 2	18.03.2002	01.04.2002	61000-55000	3230
TM D 3	18.03.2002	01.04.2002	61000-62500	3040
TM E 1	18.03.2002	15.04.2002	80000-81000	1500
TM E 2	18.03.2002	15.04.2002	82000-81500	2100
TM E 3	18.03.2002	15.04.2002	78000-77000	2000

12.7. Kesilerek veya Kırılarak İkiye Ayrılmış Beton Numunelerinin Epoksi Reçinesi ile Onarım İçin Yapılan Deneyler

Çalışmanın bu kısmında, üretilen beton numuneleri üzerinde epoksi reçinesi ile onarım işlemi yapılmıştır. Deneylerin yapılması ve sonuçları başlıklar halinde aşağıda verilmiştir.

12.7.1. Kullanılan Malzeme ve İzlenen Yöntem

Bu bölümde, yapıda beton kirişlerde, kolonlarda veya perdelerde beton içindeki demirin korozyonu sonucu meydana gelen hasarın onarımında kullanılan yöntemin dayanıklılığı deneysel yolla araştırılmıştır. Bu şekilde yapının hasar gören kısmına, betonda kopma veya çatlama olan yeretamir harcı ile onarım yapılmaktadır. Kopma olan kısımda betonun ve o bölgedeki betonun üzerine yapıştırıcı olarak epoksi reçinesi sürülerek tamir harcı ile onarım yapılmaktadır. Sürülen epoksi reçinesi bir yanda donatıyı korozyona karşı korurken bir yandan da mevcut eski beton ile tamir harcı arasındaki yapışmayı sağlar. Bu onarım yönteminin mekanik açıdan ne kadar sağlıklı olduğunu tespit etmek üzere laboratuvar ortamında deneyler yapılmıştır.

Öncelikli olarak eski betonu temsil eden B S 25 standartlarında 40x40x160 mm prizma şeklinde beton numuneler üretilmiştir. Bu beton numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi bulunmuştur. Betonlar üretildikten bir gün sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün süre ile su içinde küreleşmeye bırakılmıştır.

28 günlük bu betonların bir kısmına orta noktasından yüklenmiş basit giriş metodu ile eğilmede çekme deneyi uygulanmış ve iki parçaya ayrılmışlardır. Beton numunelerinin diğer bir kısmı ise kesme makinesi ile ta mortadan kesilerek iki parçaya ayrılmışlardır. Daha sonra bu parçalar birbirleriyle veya yeni dökülmüş tamir harcıyla yapışma yüzeylerine epoksi reçinesi sürülerek yapıştırılmıştır. Mevcut yarı m sertleşmiş beton prizma ile diğer yarı m beton prizma veya sonradan yerleştirilen taze tamir harcı arasındaki yapısal yapıştırıcı epoksi reçinesinin yapışması eğilme deneyi yapılarak ölçülmüştür.

12.7.2. Eğilmede Çekme Deneyi Uygulanmış Beton Numunelerinin Yapıştırılması

Üretilen 28 günü doldurmuş beton numuneler eğilmede çekme deneyi uygulanarak iki parçaya ayrılmış ve daha sonra yapıştırılmıştır. Buna bağlı olarak yapılan deneyler aşağıda iki kısımda incelenmiştir.

12.7.2.1. Mevcut Sertleşmiş Beton ile Taze Tamir Harcının Yapıştırılması

28 gününü doldurmuş beton numuneler eğilmede çekme deneyi yapılarak ikiye kırılmıştır. Kırılan numuneler kırılma kesitlerinin ve iç kısımlarının kuruması için 1-2 gün kurumaya bırakılmıştır.

Kalıpların hazırlanması ve numunelerin yerleştirilmesi: Epoksi metale yapıştığı için kullanılan kalıplara epoksi nin yapışması için kalıptabanları ve yan yüzleri naylon streç ile kaplanmıştır. Daha sonraki yapıştırma işlemlerinde naylon streç yerine, daha pratik olması açısından kalıp yüzeylerinin şeffaf koli bandı ile kaplanması yoluna gidilmiştir. Kırılarak ikiye ayrılmış ve kurumaya bırakılmış beton numunelerinin yarı m parçaları diğer yarısı taze tamir harcıyla doldurulmak üzere kalıplara yerleştirilmiştir.

Epoksi nin hazırlanması: A, B, C olmak üzere üç komponentli olan GS M 510 Duratek firmasının epoksi reçinesinin dolgu olan üçüncü komponenti (C) kullanılmıştır. A ve B komponentleri yarıya yarıya % 50 - %50 oranında karıştırılmıştır. Karıştırma işlemine geçilmeden önce, ürün kristallenmişse gerekli akışkanlığı sağlamak için A ve B komponentlerinin bulunduğu kutular ya bir radyatör üzerine konarak yada bir su banyosunda 35°C ye kadar ayrı ayrı ısıtılır. Bunu takiben birbirleriyle karıştırılırlar.

Karıştırılacak epoksi miktarını belirlemek için, epoksi kataloğunda yer alan “tek katta 1mm kalınlık elde etmek için asgari 2000 gr/m² kullanılmalıdır” ibaresi dikkate alınmıştır. 1 c m² ye 0,2 gr. epoksi (1 mm kalınlık için) gi deceği düşünülürse yapıştırılacak alanlara göre hesap yapılarak epoksini n miktarı belirlenmiştir.

Epoksini n sürül mesi ve tamir harcı nın yerleştiril mesi: Karıştırılan A ve B komponentli epoksi, kalıp içine yerleştirilmiş yarı m prizma şeklindeki beton numunelerin kırılan yüzeyine ince bir fırça yardımıyla mevcut sertleşmiş betonun yüzeyine yedirilerek sürül müştür. Epoksi reçi nesi sürül dükten sonra yaklaşık 1 saat bekl endikten sonra taze tamir harcı kalı ba yerleştirilmiştir. Epoksi ilk sürül düğü anda viskozitesi düşük çok akışkan olduğu için beton yüzey tarafından emildiği gözlenmiştir. Ancak taze tamir harcı nın dökül mesi esnasında akışkanlığın yüksek ol masından dolayı yapıştırıcı ara yüzeyden akabilir. Ne mli hal de olan taze tamir harcıyla mevcut betonun iyi yapış masının sağlanması için epoksini n sürül dükten sonra işlenebil me süresinin biraz geç mesi beklenmiştir. Bu sürede gözlemleri miz sonucunda epoksi yapıştırıcının eli mize yapış tığı macunu nu (sticky) kı va mgel di ği an olarak belirlenmiştir. Burada önemli olan epoksi ile taze tamir harcı nın tam temasının sağlanması ve tamir harcı nın kalı ba düzgün yerleştiril mesi dir.



Yapıştırma işlemi sonucu elde edilen numuneler 1 gün kalıpta bekledikten sonra kalıptan çıkarılmış ve 1, 3, 7, 14 ve 28 gün beklemek üzere nemli bezlerle sarılarak kapalı kaplara konulmuştur.

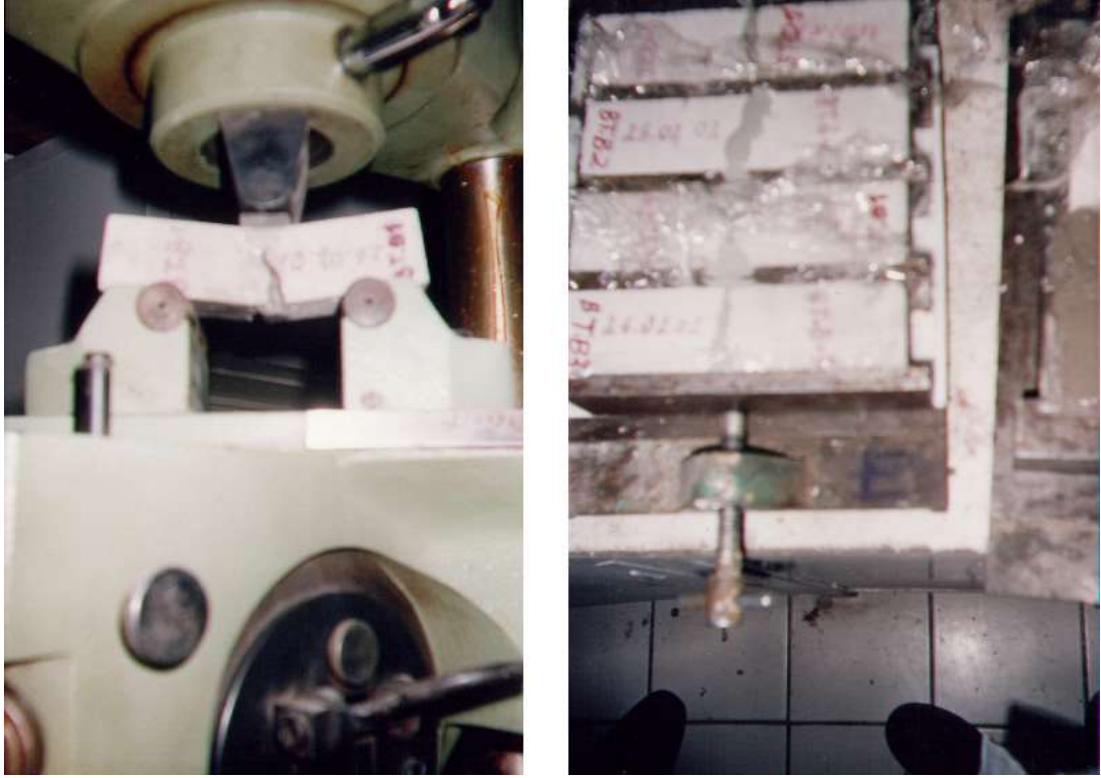
1, 3, 7, 14 ve 28 günlük eğilmede çekme deneyi sonucunda kırılma yükleri ve numunelerin boyutları ile birlikte aşağıdaki tablo 12.16 da verilmiştir.

Tablo 12.16 Eğilme ile kırılmış beton+epoksi+taamir harcı numunelerinin eğilme yükleri

	NUMUNE ADI	a (mm)	b (mm)	L (mm)	EĞİLME YÜKÜ (N)
1 GÜNLÜK	BT.C.3	41,03	40,85	160	910
	BT.C.2	41,00	40,73	160	790
3 GÜNLÜK	BT.A.1	41,10	40,30	160	1680
	BT.A.3	41,11	40,28	160	1610
7 GÜNLÜK	BT.A.2	41,07	40,16	160	2760
	BT.A.2'	41,09	40,04	160	2510
14 GÜNLÜK	BT.A.1'	41,18	40,08	160	3460
	BT.C.3	40,99	40,12	160	2780
28 GÜNLÜK	BT.A.3'	40,98	40,55	160	2370
	BT.C.1	41,15	40,65	160	1920

12.7.2.2 Mevcut Sertleşmiş Betonu Sertleşmiş Betona Yapıştırma

28 günlük eğilmede çekme deneyi yapılarak ortadan ikiye kırılmış numuneler kırıldıktan sonra her iki adet çift prizmanın hazırlanmış uç yüzeylerine epoksi sürülerek birbirlerine yapıştırılmışlardır. Burada mevcut sertleşmiş beton alt tabaka ile sonradan yerleştirilecek sertleşmiş beton tabakası arasında epoksi yapıştırma maddesinin özelliği, deneye tabi tutulacak epoksi yapıştırıcı ile birbirine yapıştırılan iki beton prizma parçasının oluşturduğu numunede yapılan eğilme deneyi ile ölçülmüştür. Eğilme deneyi sonunda kırılmanın veya kopmanın nereden olduğu incelenmiştir.



Şekil 12.10 Eğilme de kırılmış beton+epoksi+beton numuneleri

Aşağıdaki tablo 12.17 de sertleşmiş betonun betona yapıştırılması sonucu elde edilen numunelerin 1, 3, 7, 14 ve 28 günlük eğilme de çekme deneyi sonucu kırılma yükleri verilmiştir.

Tablo 12.17 Eğilme ile kırılmış beton+epoksi+beton numunelerinin eğilme yükleri

	NUMUNE ADI	a (mm)	b (mm)	L (mm)	EĞİLME YÜKÜ (N)
1 GÜNLÜK	BT.G.1	40,99	40,50	160	3330
3 GÜNLÜK	BT.B.1	41,04	40,07	160	4000
7 GÜNLÜK	BT.B.2	41,07	40,16	160	3400
14 GÜNLÜK	BT.D.1	41,6	40,26	160	2930
28 GÜNLÜK	BT.B.3	41,03	40,4	160	3140

12.7.3 Kesme Makinesi ile Kesilmiş Beton Numunelerinin Yapıştırılması

Üretilen 28 günü doldurmuş beton numuneler taş kesme makinesi ile iki eşit parçaya ayrılmış ve daha sonra yapıştırılmıştır. Buna bağlı olarak yapılan deneyler aşağıdaki ki başlıkta incelenmiştir.

12.7.3.1. Mevcut Sertleşmiş Beton ile Taze Tamir Harcının Yapıştırılması

28 günü doldurmuş 40 mmx40 mmx160 mm boyutlara sahip beton deney prizmalarının bir kısmı her biri 40 mmx40 mmx80 mm boyutlara sahip olan iki yarı mprizma şeklinde kesme makinesi ile ortadan ikiye kesilmiştir. Kesme işlemi, numuneler üzerine uygun işaretleme yapıldıktan sonra sulı bir şekilde kesme makinesi ile yapılmıştır. Kesilen beton numuneler kesim işlemi sulı olduğu için 1-2 gün kurumaya bırakılmıştır.

Numuneler kuruduktan sonra kesilmiş olan 40x40x80 mm boyutlarına sahip yarı mprizma şeklindeki beton numuneler kalıplara yerleştirildi ve kesilen uç yüzeylerine yapıştırıcı epoksi sürülerek daha önce eğilme ile kırılan numunelerde olduğu gibi bir süre beklenmiştir. Daha sonra da hazırlanmış olan taze tamir harcı kabın boş kalan diğer yarısına epoksi ile tamtenas edecek şekilde yerleştirilmiştir. 1 gün sonra kalıptan çıkarılmış ve kürleşmeye bırakılmıştır.

Sonuç olarak yapıştırıcı olarak epoksi kullanılarak mevcut sertleşmiş betona yapıştırılan taze tamir harcının yapışma dayanımının tayini için eğilme deneyi yapılmıştır. Aşağıdaki tablo 12.18 de bu sonuçlar yer almaktadır.

Tablo 12.18 Kesilmiş beton+epoksi+ tamir harcı numunelerinin eğilme yükü

	NUMUNE ADI	a (mm)	b (mm)	L (mm)	EĞİLME YÜKÜ (N)
1 GÜNLÜK	BT.D.3	41,81	40,32	160	1190
	BT.D.3'	41,78	40,29	160	1240
3 GÜNLÜK	BT.D.2	41,24	40,50	160	2620
	BT.D.2'	41,48	40,40	160	2180
7 GÜNLÜK	BT.F.1	41,87	40,24	160	2810
	BT.F.1'	41,83	40,20	160	2225
14 GÜNLÜK	BT.E.1	42,00	40,40	160	2390
	BT.E.1'	41,58	40,63	160	2920
28 GÜNLÜK	BT.F.2	41,50	40,11	160	2810
	BT.F.2'	42,20	40,02	160	2410

12.7.3.2. Mevcut Sertleşmiş Betonu Sertleşmiş Betona Yapıştırma

Sertleşmiş 28 günlük beton deney numuneleri iki yarı mprizma şeklinde ortasından ikiye kesildikten sonra, bu her çift prizma birbirlerine yapıştırılmıştır. Her iki adet yarı mprizmaların kare kesitli uç yüzeylerine epoksi sürülerek bu yüzler birbirine karşı gelecek şekilde yerleştirilmiş ve her iki prizma mengine ile birbirlerine doğru sıkıştırılarak yapıştırılmıştır. İki yarı mprizma parçasının yapıştırılmasıyla elde edilen

numuneler epoksi yapıştırıcının yapışma dayanımını tayini için 1, 3, 7, 14 ve 28 günlerde eğilme deneyi ile kırılmıştır. Bu kırılmışların sonuçları aşağıdaki tablo 12.19 da verilmiştir.

Tablo 12.19 Kesilmiş beton+epoksi+beton numunelerinin eğilme yükleri

	NUMUNE ADI	a (mm)	b (mm)	L (mm)	EĞİLME YÜKÜ (N)
1 GÜNLÜK	BT.H.2	40,83	40,26	160	2610
3 GÜNLÜK	BT.H.1	41,03	40,40	160	3000
7 GÜNLÜK	BT.F.3	42,05	40,57	160	3110
14 GÜNLÜK	BT.H.3	42,05	40,27	160	2750
28 GÜNLÜK	BT.E.2	41,03	40,53	160	3050

12.7.4 Kesilerek veya Kırılarak İkiye Ayrılmış Beton Numunelerinin Epoksi Reçinesi Ondan Taze Tamir Harcıyla Yapıştırılması

28 gününü doldurmuş beton numunelerinin eğilmede çekme deneyi uygulanarak kırılmış ve diğer bir kısım da kesme makinesi ile ortadan ikiye kesilmiştir. Kırılan ve kesilen bu numuneler daha sonra yapıştırılmak üzere kurmaya bırakılmıştır. Bu kırılan ve kesilen beton numunelerinin yarı parçaları kalıplara yerleştirilmiş ve kalıbın diğer yarısı yapışma yüzeyine epoksi sürülmeden taze tamir harcıyla doldurulmuştur.

Aşağıdaki tablo 12.20 de bu numuneler üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 12.20 Epoksisiz sertleşmiş beton+taze tamir harcı numunelerinin eğilme yükleri

	NUMUNE ADI	a (mm)	b (mm)	L (mm)	EĞİLME YÜKÜ (N)
7 GÜNLÜK	BT.E.3' **	41,94	40,12	160	1270
	BT.G.2 *	41,71	40,49	160	1790
14 GÜNLÜK	BT.E.3 **	42,14	40,26	160	1380
	BT.G.3 *	41,75	40,26	160	2300
28 GÜNLÜK	BT.G.2' *	41,40	40,39	160	1850
	BT.G.3' *	41,03	40,03	160	2360

** Kesme makinesi ile kesilmiş ve sonra yapıştırılmış numuneler

* Eğilmede çekme deneyi uygulanarak kırılmış ve sonra yapıştırılmış numuneler

12.8 Sertleşmiş Beton Numuneler Üzerinde Ultrases Hız Tayini Deneyi

Sertleşmiş beton deneylerinde kullanılan numuneler deney sonunda kırılır parçalanır ve bir daha kullanılamaz hale gelirler. Ancak ultrases deneyi betonu bozmadan yapılan deneylerdendir yani tahribatsız deney metodudur. Bilindiği gibi titreşim frekansı 20 Khz den fazla olan ses dalgalarına ultrases denir. 4x4x16 cm boyutlarındaki prizma şeklindeki numune alınır ve bunun bir ucuna ultrasesi hasıl eden verici diğer ucuna da malzeme içinden geçen ses dalgalarını alan bir alıcı tespit edilir. Alıcı tarafından zaptedilen ses dalgalarından sesin numune içindeki geçiş zamanı tespit edilir. Ve buradan sesin numunedeki yayılma hızı bulunur. Ultrasesin beton içinde ilerleme hızı genellikle km/sn boyutu ile verilen hız (V) büyüklüğü betonun iç yapısı hakkında bize bilgi verir. Hız (V) büyüklüğü ne kadar fazla olursa betonun kompasitesi nin o kadar fazla olduğu sonucuna varılır. Bu hız (V) büyüklüğü 3 km/sn den küçük ise fazla boşluklu bir beton olacağı için mukavemetin de düşük olacaktır [17].

Aşağıdaki tablo 12.21 de beton numunelerin 1, 3, 7, 14 ve 28 günler için ultrases deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 12.21 Beton numunelerinin ultrases sonuçları

	NUMUNE ADI	t (mikrosani ye)	V (km/sn)
7 GÜNLÜK	BA 1	50	3,20
	BA 2	49	3,26
	BA 3	50	3,20
14 GÜNLÜK	BD 1	49	3,26
	BD 2	49	3,26
	BD 3	48	3,33
28 GÜNLÜK	BE 1	46	3,40
	BE 2	48	3,33
	BE 3	46	3,40

12.9 Sertleşmiş Tamir Harcı Numuneleri Üzerinde Ultrases Hız Tayini Deneyi

Tamir harcı numunelerinin ultrases hızlarının tespitiinde de beton numunelerle aynı yöntemi izlenmiştir.

Aşağıdaki tablo 12.22 da tamir harcı numunelerinin ultrases tayini deneylerinin sonuçları yer almaktadır.

Tablo 12.22 Ta'mir harcı numunelerini n ultrases sonuçları

	NUMUNE ADI	t (mikrosani ye)	V (km/sn)
1 GÜNLÜK	TMA 1	57	2,8
	TMA 2	58	2,84
	TMA 3	57	2,80
3 GÜNLÜK	TMB 1	51	3,13
	TMB 2	51	3,13
	TMB 3	51	3,07
7 GÜNLÜK	TMC 1	50	3,20
	TMC 2	50	3,20
	TMC 3	50	3,20
14 GÜNLÜK	TMD 1	48	3,30
	TMD 2	49	3,26
	TMD 3	48	3,30
28 GÜNLÜK	TME 1	49	3,26
	TME 2	49	3,26
	TME 3	49,00	3,26

12.10. Kullanılan Epoksi Reçinesini n Yapışma Dayanımını n Çekip Koparma (Pull- Off) Deneyi ile Tayini

Dairesel kalın bir çelik levha üzerine $50 \pm 0,5$ mm çapa sahip alüminyumdan dairesel, çekip koparma makinesi ile uyumlu, özel elemanlar kullanılan epoksi reçinesi ile yapıştırılır. Yapıştırma işleminde yapıştırıcı epoksi alüminyum hal kalarını üzerine ince bir tabaka halinde sürülmüştür. Ve büyük çelik levha üzerine yapıştırılmıştır. $50 \pm 0,5$ mm dairesel şekilli elemanın kenarlarından taşan epoksiler temizlenmiştir.

Yapışma bölgesindeki yapıştırıcı epoksi n tabaka kalınlığının bütün alan boyunca eş dağılımı olması için yapıştırıcının üzerindeki dairesel alüminyum elemanın ağırlığıyla kendi kendine yayılması sağlanmıştır. Yapıştırıcı epoksi 1, 3, 7 günlük bekleme sürelerinden sonra dairesel 50 mm çaplı eleman kopuncaya kadar çekme zorlanmasıyla şekil 12.13 de de görüldüğü gibi çekip koparma deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 12.11 Çekirge kopma deneyi (Pull-Off)

Bu çekirge kopma dayanımı yapıştırma maddesini ayrılmaya karşı direncini yani çekme dayanımını temsil eder.

Bu deneyin sonuçları aşağıdaki tablo 12.23'te verilmiştir.

Tablo 12.23 Çekirge kopma deneyi sonuçları

	AD	ÇEKME KUVVETİ (KN)	ADERANS(YAPIŞMA) DAYANIMI (N mm ²)	ORTALAMA YAPIŞMA DAYANIMI (N mm ²)
1 GÜNLÜK	A	22,70	11,56	12,62
	B	24,95	12,70	
	C	24,78	12,62	
3 GÜNLÜK	A	25,60	13,03	13,11
	B	25,41	12,94	
	C	26,24	13,36	
7 GÜNLÜK	A	29,60	15,07	15,10
	B	28,86	14,69	
	C	30,52	15,54	

13. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar birbirini tanımlayacak şekilde maddeler halinde irdelenmeye çalışılacaktır.

Tamir harçları ve beton numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneylerin (ultrases hızı tayini, eğilme ve basınç dayanımları, birim hacim ağırlık) sonuçları aşağıdaki tablolar 13.1 ve 13.2 de verilmiştir. Beton ve tamir harcı numunelerinde, tablolarda da görüldüğü gibi kürlenme süresi arttıkça numunenin ultrases hızı artmakta yani numunenin iç yapısındaki boşluklar azalmakta ve buna bağlı olarak eğilme ve basınç dayanımlarında da artış görülmektedir.

Ancak tamir harcı numunelerinde eğilme dayanımında 28 gündeki değerin 14 günden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Eğilme dayanım değerinin 14 günden 28 güne geçerken artmasının sebebi olarak numunenin iç yapısındaki gerilme farklılıkları gösterilebilir. Tamir harcı numunesinin dış yüzeyi iç yüzeyine göre daha kurudur, bu iç ve dış yüzeylerinin farklı oluşu gerilme farklılıkları yaratmaktadır ve bu da eğilme dayanımını etkilemektedir.

Tablo 13.1 Tamir harcı numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçları

TAMİR HARCI	ULTRASES HIZI (km/sn)	EĞİLME DAYANIMI (N/mm ²)	BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)	ORT. BİRİM AĞIRLIK (gr/cm ³)
1 GÜNLÜK	2,82	3,58	10,02	2,15
3 GÜNLÜK	3,11	5,20	16,79	
7 GÜNLÜK	3,2	5,92	29,08	
14 GÜNLÜK	3,28	6,84	34,98	
28 GÜNLÜK	3,27	4,5	47,31	

Tablo 13.2 Beton numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçları

BETON	ULTRASES HIZI (km/sn)	EĞİLME DAYANIMI (N/mm ²)	BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)	ORT. BİRİM AĞIRLIK (gr/cm ³)
1 GÜNLÜK		1,15	4,15	2,35
3 GÜNLÜK		3,01	11,2	
7 GÜNLÜK	3,22	4,39	16,09	
14 GÜNLÜK	3,28	5,30	22,34	
28 GÜNLÜK	3,37	5,98	35,28	

Öncelikle yapıştırılan numuneleri yapışma yüzeylerindeki farklılığa göre inceleyecek olursak, eğilme çekme deneyi ile kırılıp daha sonra taze tamir harcıyla epoksi yardımıyla yapıştırılan numuneler, ortadan ikiye kesme makinesi ile kesilerek yapıştırılmış numunelere göre eğilme dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Eğilme dayanımlarını tamir harçlarının kürlenme süreleri olan 1, 3, 7, 14, 28 günler açısından ele alırsak, kürlenme süresi arttıkça eğilme dayanımlarında da beklenildiği gibi artış olmuştur. Aynı zamanda tamir harcının kürlenmesi sırasında epoksi reçinesi de mukavemet kazanmaktadır.

Tamir harcıyla yapıştırılan beton numunenin eğilme dayanımı betonun kesilmeden veya kırılmadan önceki değeri ile hemen hemen aynıdır. 1, 3, 7, 14, 28 günlere göre aşağıda tablo 13.3 de görüldüğü gibi yaklaşık aynı değerleri almaktadır. Yani hasar görmüş yapı açısından düşünecek olursak onarım görmeden önceki ve gördükten sonraki eğilme dayanımları yaklaşık aynı olmaktadır.

Tablo 13.3 Beton + epoksi +ta nır harcı numuneleri nin eğil me dayanı mları

Beton+epoksi +ta nır harcı numunesi		şahit beton numunesi	şahit ta nır harcı numunesi
1. gün *	1. gün **	1. gün	1. gün
1, 90 N mm ²	2, 5 N mm ²	1, 15 N mm ²	2, 82 N mm
3. gün *	3. gün **	3. gün	3. gün
3, 70	5, 80	3, 01	5, 20
7. gün *	7. gün **	7. gün	7. gün
4, 15	6, 20	4, 39	5, 92
14. gün *	14. gün **	14. gün	14. gün
7, 8	6, 35	5, 30	6, 84
28. gün *	28. gün **	28. gün	28. gün
5, 25	6, 30	5, 98	4, 50

Yapılan deneylere yapışma yüzeyleri açısından bakacak olursak yüzey fotoğrafları bu tez çalışması nın ekler kısmında yer almaktadır.

Eğilmede çekme ile kırılıp ta nır harcıyla yapıştırılan numunelerde kırılma genelde ta nır harcından olmaktadır. Yani onarı m yapılan yapıştırıcının sürüldüğü ara yüzeyden kırılma olmaktadır. Yapışma derziyle kırılma derzi arasındaki mesafe ta nır harcının kürlenme süresi arttıkça artmaktadır.

Ancak kesme makinesi ile kesilip ta nır harcıyla yapıştırılan beton numunelerde kırılmalar çoğunlukla tam yapışma kesitinde olmaktadır. Yapıştırıcı sürülen ara yüzeyden kırılma olmakta ve epoksi nin bir kısmı ta nır harcına yapışmış bir kısımda beton yüzeye yapışmıştır. Ta nır harcı kürlenme süresi arttıkça eğilme dayanımının da artmış olmasına karşın özellikle kesilmiş numunelerde kırılma yüzeyinde epoksi nin aderansı bakımından farklılık görülmemektedir. Genelde kırılmalar hep aynı şekilde olmaktadır. Bu verilere göre epoksi nin farklı yüzey özelliklerinde uygulanması sonucunda epoksi nin eğilme ile kırılmış numunelerde daha iyi yapışma gösterdiği görülmüştür. Epoksi nin aderansı eğilme ile kırılmış dolayısıyla girintili çıkıntılı yüzeyde daha iyi olmuştur.

Mevcut sertleşmiş betonu sertleşmiş betona yapıştırma deneylerinde ise eğilmede çekme deneyi yapılarak kırılan beton numunelerin eğilme dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Aşağıdaki tablo 13.4 de bu sonuçlar görülmektedir.

Tablo 13.4 Beton +epoksi+beton numunelerinin eğilme dayanımları

beton+epoksi+beton numunesi	
1. gün *	1. gün **
7,4 N mm ²	5,9 N mm ²
3. gün *	3. gün **
9,10	6,70
7. gün *	7. gün **
7,5	5,49
14. gün *	14. gün **
6,56	6,15
28. gün *	28. gün **
7,03	6,80

Yapıştırılan 28 günlük beton numunelerinin dayanımları beton kesilmeden veya kırılmadan önceki dayanımlarından daha yüksek çıkmıştır.

Eğilmede çekme deneyi ile kırılıp yapıştırılan numunelerde kırılma çoğunlukla yapışma kesitinin epey uzak bir noktasından olmuştur. Kesilip yapıştırılmış beton numunelerde ise hemen yapışma derzine yakın bir noktadan yaklaşık 1 mm mesafeden kırılma olduğu görülmüştür.

Epoksi olmadan yapıştırılan mevcut sertleşmiş beton ile taze tamir harcı numunelerinde 7 günlük ve 14 günlük eğilme dayanımları epoksi ile yapıştırılan numunelere göre çok düşük çıkmıştır. Buna ek olarak kırılma yüzeyleri incelendiğinde hem kesilerek epoksisiz yapıştırılan numuneler hem de eğilme ile kırılarak yapıştırılanlarda kırılmalar hep yapışma ara yüzeyinde olmuştur. Aşağıdaki tablo 13.5 de bu sonuçlar görülmektedir.

* Eğilmede çekme deneyi uygulanarak kırılmış ve sonra yapıştırılmış numuneler

** Kesme makinesi ile kesilmiş ve sonra yapıştırılmış numuneler

Tablo 13.5 Epoksi siz beton-ta z e t a m i r h a r c ı n u m u n e l e r i n i n e ğ i l n e d a y a n ı m l a r ı

Bet on-t a m i r h a r c ı n u m u n e s i	
7. g ü n *	7. g ü n **
3, 92	2, 82
14. g ü n *	14. g ü n **
5, 09	3, 3
28. g ü n *	28. g ü n **
4, 1	5, 30

Epoksi reçineler uygulandıkları yüzeyin şartlarına da bağlı olarak dayanım gösterirler. Yüzeyin t a m a m ı n ı n her türlü kirden arınması gerekmektedir. Yüzey ne mi de diğer bir önemli et kend ir.

Onarıma ma çlı olarak kullanılan bu çalışmadaki epoksi reçinesi özellikle eski beton ile yeni betonu veya harcı birleştirmekte kullanılıyorsa yapıştırılan malzemenin iki parçalı bir eleman değil de tek bir blok olarak hareket etmesi beklenir. Bu çalışmada yapıştırılan ara yüzey zayıf kesit olduğu için ara yüzeyin bu zayıflığını (yük taşıma açısından) önlemek için epoksi reçinesi kullanılmıştır. Yapıştırılan beton numunelerde kopmanın veya kırılmanın yapışma yüzeyinden olmasını bu konuda epoksi reçinesinin başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak yapıştırılacak yüzey durumuna bağlı olarak da bunun değiştiği açıkça görülmüştür.

Epoksi reçineler, uygulamalarındaki kolaylıkları ve yüksek mekanik özellikleri dolayısıyla çok kullanışlı malzemelerdir. Epoksiler, yüksek adhezyon, sertleşirken az rötre, geniş sıcaklık aralıklarında çabuk sertleşebilir, uygulandıktan kısa bir süre sonra hizmet verebilir gibi avantajlara sahiptirler. Epoksi, tekil olarak pahalı olmasına karşın, sistemi içinde hasar görmüş yapıyı yıkp yeni den yapmak yeri ne az bir masraf ile ayakta tutabil di ğ inden ve sistemi kısa zamanda kullanabilir şansını da sağladığından nisbeten daha ekonomik görünmektedir.

Türkiye'nin bir deprem ülkesi olduğu ve bu yüzden depreme dayanıklı yapılar inşa etmek, yetersiz dayanıma sahip binaları onarıp güçlendirmek zorunluluğu düşünüldürse epoksi ve t a m i r h a r ç l a r ı n ı n ö n e m i daha belirgin hale gelir. Bugüne kadar çeşitli depremlerde hasar görmüş on binlerce yapıya onarım ve güçlendirme uygulanmıştır. Özellikle ülkemizde son yıllarda meydana gelen iki büyük deprem Kocaeli ve Düzce depremleri sonrası hasarlı yapılardaki onarım ve güçlendirme işlemlerinde t a m i r h a r ç l a r ı y l a beraber epoksi reçineleri kullanılmıştır. Sonuç olarak,

önümüzdeki dönemde Türkiye’de hem araştırma hem de uygulama alanında epoksilerin ve tamir harçlarının güncelliğini koruması ve önemli bir yer kazanması kaçınılmaz görünmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Adhesives and Coatings**, (1992) Conservation Unit of the Museums & Galleries Commission in Conjunction with Routledge, London
- [2] **Kodakoğlu L.**, (1996). Yapıştırıcıların Genel Özellikleri ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşiminin Analitik ve Nümerik Olarak İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü
- [3] **Giba-Geigy**, (1993). Giba Composites: Redux Bonding Technology, Duxford- Cambridge, Pub. No. A17f.
- [4] **Ellis Bryan**, (1993). Chemistry and Technology of Epoxy Resins, Blackie Academic Professional, Glasgow
- [5] **Lee, H and Neville, K.**, (1957). Epoxy Resins, McGrawhill Book Company
- [6] **Sayıl B.**, (1996). Ahşap Doğrama Köşe Birleşimlerinin Rijitliğini Arttırma Yolları Üzerine Bir Araştırma, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü
- [7] **The Institution of Structural Engineers**, (1999). The Structural Use of Adhesive, Published by SETO
- [8] **Benginil M, Kocatürk A, Gerçek B Ö.**, (1999). Bağlayıcı Reçine Türleri, Epoksi Reçinesi, Temel Kullanım Alanları ve Uygulama Metotları, İMO İzmir Şubesi Haber Bülteni, Ekim (1999), Sayı 88
- [9] **Kayacan R.**, (1998), Yapıştırma ve Metal Bağlantılar için Yapıştırıcı Kullanım *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü
- [10] Beton Elemanların Onarımında Epoksi Sistemleri ve Uygulamaları, (2000), Duratek Koruyucu Malzemeler San. Ve Tic. AŞ
- [11] **Özkul H, Çolak A.**, (1993). Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımında Poli mer Kullanım, 2 *Uusal Deprem Mühendisliği Kongresi*,
- [12] **Bayülke Nejat**, (1999 Aralık). İMO Bülteni Makaleler- Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Ki myasal Ankrāj
- [13] **Perkins H Philip** (1986). Repair, Protection and Waterproofing Concrete Structures, Elsevier Applied Science, London
- [14] **Mailvagana m P. Noel**, (1992). Repair and Protection Concrete Structures, CRC Press, Boca Raton
- [15] **Dr. H-Jazairi B, and Williams B.**, (1997 May/June). Construction Repair, Feb MBT, Consider Advances in the Repair of Old Concrete Floors in Industry, New Polymer Solutions to old Flooring Problems.
- [16] **Gürmeriç M.**, (1991). İnşaat Malzemeleri ve Uygulamaları Dergisi, Epoksi Kaplanalı Donatı Yararlı mı Zararlı mı?, Şubat Sayı 39, 71-74

- [17] **Postacıoğlu B,** (1987). Beton Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton, Cilt 2, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Teknik Kitaplar Yayınevi
- [18] **Ohan Y., Puterman M,** (1999). Second International Rilem Symposium on Adhesion Between Polymers and Concrete, RILEM Proceedings, Dresden Germany
- [19] **Yılmaz K,** (1998). Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi, DSI, DSI Matbaası
- [20] **Mays G C,** (1985). Structural Applications of Adhesives in Civil Engineering Materials Science and Technology,
- [21] Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures, Reported by ACI Committee 224
- [22] **Akman S,** (1987). Yapı Malzemeleri İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Ders Notları, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası
- [23] **TS 130,** (1978). Agregalar Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [24] **TS 3529,** (1980). Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [25] **TS 706,** (1980). Beton Agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [26] **TS 802,** (1985). Beton Karışım Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [27] **TS 3285,** (1979). Betonun Eğilmede Çekme Dayanım Tayini Deneyi (Orta Noktasından Yüklendi Basit Kiriş Metodu ile), *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [28] **TS 3287,** (1979). Betonun Eğilmede Çekme Deneyinden Çıkan Deney Numunesi Parçaları Üzerinde Basınç Dayanım Deney Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [29] **TS 3114,** (1990). Beton Basınç Mukavemeti Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [30] **TS EN 12190,** Beton Yapılar-Koruma ve Tamir İçin Malzeme ve Sistemler-Deney Metotları-Tamir Harcı Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [31] **TS EN 12636,** Beton Yapılar-Koruma ve Tamir İçin Malzeme ve Sistemler-Deney Metotları-Betonun Betona Yapışmasının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*

EKLER



3 GÜNLÜK EĞİLMİLE KIRILIP YAPIŞTIRILMIŞ BETON NUMUNE





3 GÜNLÜK KES ME MAKİ NESİ İ LE KES İ LM Ş BETONUN YAPI Ş MA YÜZEYİ



7 GÜNLÜK KES ME MAKİ NESİ İ LE KES İ LM Ş BETONUN YAPI Ş MA YÜZEYİ



14 GÜNLÜK KES ME MAKİ NESİ İ LE K İ R İ L İ P YAPI Ş T I R I L A N BETON NUMUNE



EPOKSİ OLMADAN TAZE TAMİR HARCI YLA YAPIŞTIRILMIŞ BETONLARIN KIRILMA KESİTLERİ



14 GÜNLÜK KESME MAKİNESİ İLE KESİLİP TAMİR HARCI YLA YAPIŞTIRILAN BETON NUMUNE



EĞİLME DENEYİ İLE KIRILIP EPOKSİ YAPIŞTIRILMIŞ BETON NUMUNE

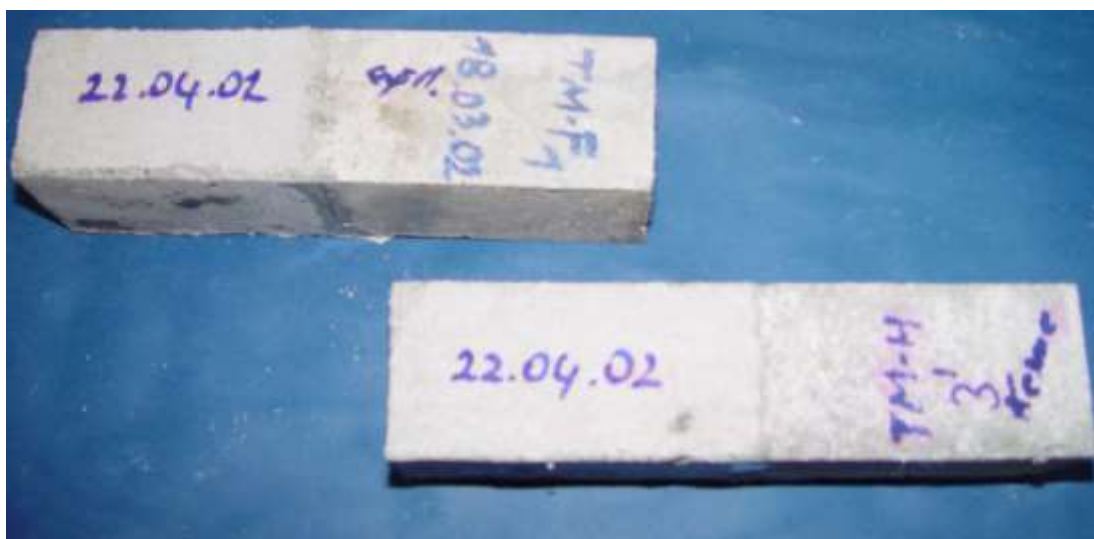




EĞİLTME DENEYİ İLE KIRILMIŞ MEVCUT BETON NUMUNELERE EPOKSİ İLE
TAZE TAMİR HARCI YAPIŞTIRILAN 3 GÜN SONRA



EĞİLTME DENEYİ İLE KIRILIP EPOKSİ İLE YAPIŞTIRILMIŞ BETON NUMUNE



ÖZGEÇMİŞ

İstanbul 4 Eylül 1977 doğumlu BURÇAK GÜVEN ilkokulu Denizli’de okuduktan sonra 1991’den 1994 yılına kadar Denizli Lisesi’ne devam etmiştir. 1994 yılında liseden mezun olup 1995 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanmıştır. 1999’da bölümünü başarıyla tamamlayıp aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Anabilim Dalı yüksek lisans programını kazanmıştır. 1 yıl İngilizce hazırlık okuduktan sonra yüksek lisans eğitime başlamıştır.