

## DEPREMDEN HASAR GÖREN YAPILARIN ONARIMINDA POLİMER KULLANIMI

Hulusi ÖZKUL<sup>1</sup>

Adnan ÇOLAK<sup>2</sup>

### SUMMARY

In order to investigate the polymer injection method, which has been widely used for the repairment of earthquake damaged buildings, the plain concrete beams, prepared in 7x7x28 cm dimensions, were broken under 3 points loading and then the two broken parts were bonded by filling with a polymer or polymer mortar. The bond thicknesses were chosen at three different width, less than 1 mm, 1 mm and 5 mm, representing the crack thicknesses. Two types of epoxy and epoxy mortar, one type of methyl methacrylate and MMA mortar were used to fill the space between the broken beam parts. After the repairment, the specimens were kept for one week and then reloaded under four points flexural test. After the experiment the failure surfaces were investigated to check whether the recracking occurred at the repaired surfaces. The effect of moisture content of concrete on the bonding was also taken as a parameter.

Epoxy resins tested here performed more satisfactorily than the methyl methacrylate for the repairment of all types of crack thickness and moisture content.

### OZET

Depremden hasar gören yapıların onarımında yaygın olarak kullanılan polimer enjeksiyonu yöntemini incelemek amacıyla, üretilen 7x7 x28 cm boyutundaki beton kirişler mesnet ortâ noktalarından tekil yükleme altında kırılmışlar daha sonra parçalar yanyana getirilerek araları polimer yada polimer harcı ile doldurulmuştur. Değişik çatlak genişliklerini simgelemek amacıyla parçalar arasında 1 mm'den küçük, 1 mm ve 5 mm'lik aralık bırakılmıştır. Bu aralık yalın metilmetakrilat ve metilmetakrilat harcı, 2 cins yalın epoksi ve 2 cins epoksi harcı ile doldurulmuştur. Böylece onarılan beton kirişler daha sonra 4 noktalı eğilme deneyi altında kırılmışlardır. Kırılmanın yapıştırılan yüzeylerden oluşup oluşmadığı incelenmiştir. Ayrıca onarılan parçaların nem içeriğinin bu yapışmaya etkisi de araştırılmıştır.

<sup>1</sup> Doç.Dr. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul

<sup>2</sup> Ar.Gör. İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Taşkişla, İstanbul

## 1. GİRİŞ

Yapıların değişik etkiler altında hasara uğradıkları bilinir; bunlar aşırı yüklenme, deprem etkisi, donatı korozyonu, zararlı kimyasal ve fiziksel etkiler olabilir. Etkenin şiddetine bağlı olarak kılcal çatlaklar, daha büyük çatlaklar, yer yer beton dökülmeleri ve bölgesel beton dağılmaları oluşabilir. Küçük çatlaklar polimer enjeksiyonu ile doldurulabilir; bu amaçla polimerin viskozitesinin yeterince küçük olması gerekir. Daha büyük çatlaklar için polimer harcı kullanılabilir; burada kum ve polimer karıştırılır.

En yaygın kullanılan polimerler olarak başta epoksi ve metilmetakrilat (MMA) olmak üzere poliüretan, polies-ter ve akrilik sayılabilir. Değişik hızlandırıcı ve sertleştiricilerin kullanıldığı polimer ile onarımda tek etken doğru malzeme seçimi değil, aynı zamanda yapı elemanının kuru yada ıslak oluşu da önemlidir. Islaklığın yapışma dayanımı ve çatlak dolma oranı üzerine etkisi vardır. Islak yüzeylerin yapışma dayanımını düşürdüğünden dolayı neme uyumlu polimerler geliştirilmiştir [1]. Fowler [2] yüksek molekül ağırlıklı MMA enjeksiyonu ile 0.2-0.6 mm arası genişlikteki nemli çatlakların en az %50 oranında doldurulabildiğini belirtmiştir.

Rodler ve arkadaşları [3] esnek polimer sistemlerinin (MMA gibi) eğilmeye çalışan elemanların onarımında daha başarılı olduğuna değinmişlerdir. Aynı çalışmada güneş ışığı ve ultraviyole ışığın polimer üzerine etkisi incelenmiş, benzoil peroksitli sertleştiricilerin bunlara daha duyarlı oldukları belirtilmiştir. Cleland ve arkadaşları [4] pürüzlendirilmiş beton yüzeylerinin daha iyi yapıştığına değinmişlerdir.

Basunbul ve arkadaşları [5] yüklenme altında kırılmış kirişleri onarmak için 3 yöntem denemişlerdir. Çelik kafes ve çimento harcı ile montalamak, çatlakların epoksi ile doldurulması ve 1.5 mm kalınlıkta çelik lama yapıştırmak. Bunlardan birinci ve sonuncu yöntemlerin kiriş sünekliğini azalttığı, buna karşılık epoksi enjeksiyonu yönteminde kirişin hasara uğramadan önceki özelliklerini tekrar kazandığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada çatlak enjeksiyonunu simgelemek amacıyla önce mesnet orta noktasından yüklenecek ikiye kırılan beton kirişler, daha sonra kırılan parçaların yan yana getirilip araları yalın polimer veya polimer harcı ile doldurularak birleştirildi. Parçalar arasındaki boşluk (çatlak genişliğini simgelemektedir) 1 mm'den küçük, 1mm ve 5 mm olacak şekilde seçildi ve polimer olarak epoksi ve MMA kullanıldı. Ayrıca yüzey nem oranının yapışmaya etkisi araştırıldı.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

7x7x28 cm boyutlarında yalın betondan üretilmiş kirişler kullanıldı.

### 2.1. Malzeme

Kirişlerin üretiminde en büyük tane boyutu 8 mm olan doğal kum, kırma kum (kalker kökenli) ve 1.nolu kırmataş (kalker) agrega olarak aşağıda Tablo 1.'de verilen oranlarda kullanıldı. KPC 325 tipi çimento ile 400 kg dozajda üretilen betonda su/çimento oranı 0.55 olarak seçildi. Karışımda %1 oranında naftalin esaslı bir üstün akışkanlaştırıcıdan yararlanıldı ve taze betonun çökme deneyindeki değeri 1171 cm olarak elde edildi. Beton bileşimi Tablo 2.'de verilmiştir.

Betonlar üretildikten 1 gün sonra kalıptan çıkarılarak 28. güne kadar 20°C'de su içinde tutuldular. Betonlar iki ayrı nem içeriğinde denendiler: %5 ve %1. Sonuncu nem durumunu elde edebilmek için beton örnekler etüvde kurutuldu.

Beton kirişlerin 28 günlük ortalama eğilme ve basınç dayanımları sırasıyla 7.5 MPa ve 45 MPa olarak ölçüldü.

Tablo 1. Beton Üretiminde Kullanılan Agregalar

Malzeme	Elek boyutu (mm)						Karışım Oranı (%)	Özgül Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )
	8	4	2	1	0.5	0.25		
Kum	100	95	85	76	55	14	60	2.61
Kırma Kum	100	53	7	2	0	0	15	2.70
Kırmataş I	100	22	2	1	0	0	25	2.71

Tablo 2. 1 m<sup>3</sup> Betona Giren Malzeme Miktarları

Çimento	Kum	Kırma Kum	Kırmataş I	Su	Üstün	
					Akışkanlaştırıcı	
400 kg	937kg	405kg	240kg	221kg	4 kg	

### 2.1.2. Monomer Sistemleri

İki kiriş parçasının arasını doldurmak için seçilen monomer sistemleri aşağıda verilmiştir.

EP1 sistemi : 100 g epoksi reçinesi 26 g sertleştirici ile karıştırıldı; bu oranlar üretici firmaca önerilmiştir.

EP2 sistemi : 100 g epoksi reçinesi, 25 g sertleştirici (sıvı halde) ve 205 g silisli kum (en büyük tane boyutu:18 mm) olmak üzere üretici firmanın önerdiği oranlarda karıştırıldı.

EP3 sistemi : 100 g epoksi reçinesi 50 g sertleştirici ile karıştırıldı.

EP4 sistemi :100 g epoksi,50 g sertleştirici ve 215 g silisli kum ile karıştırıldı.

MMA 1 sistemi : MMA, %4 oranında benzoil peroksit ile karıştırıldı. Üretim sıcaklığı 10°C olarak tutuldu. Nem içeriği %5 olan yüzeylere yine MMA esaslı bir astar fırça ile uygulandı.

MMA 2 sistemi : 100 g MMA, 750 g üretici firmaca hazırlanan (agrega+sertleştirici) karışıma eklendi. Nem içeriği %5 olan yüzeylere astar uygulandı.

## **2.2. Yöntem**

28 gün sonunda sudan çıkarılan kirişler oda sıcaklığında tutulduğunda nem oranının %5 değerine indiği gözlemlendi. Örneklerin bir bölümü etüvde kurutularak nem içerikleri %1'e indirildi.

Kirişler mesnet orta noktalarından tekil yük uygulanarak iki parçaya ayrıldılar. Daha sonra bu parçalar aralarındaki uzaklık 1 mm'den küçük, 1 mm ve 5 mm olacak şekilde bir araya getirildi. Arada kalan boşluğun dış yan kenarları enjeksiyon onarımında kullanılan özel bir macun ile sıvanarak polimerin kenarlardan akması önlendi. İki parça arasındaki boşluk yukarıda sözü edilen monomer sistemlerinden birisi tarafından dolduruldu. 7 gün laboratuvar ortamında bekledikten sonra 4 noktalı (kiriş mesnetlerinden L/3 uzaklıkta olacak şekilde 2 noktadan eşit kuvvetle yükleme durumuna karşılık gelir ve L mesnetler arası uzaklığı gösterir.) eğilme deneyi uygulandı.

## **3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI**

Önceki bölümde belirtildiği şekilde aralarındaki boşluk bir monomer sistemi ile doldurularak onarılan kirişlere daha sonra yeniden eğilme deneyi uygulandı. Böylece onarılan kirişlerin eğilme dayanımları belirlendi ve kırılma yüzeyleri incelenerek onarılan bölgeden kırılıp-kırılmadığı araştırıldı. Onarım bölgesinden kırılan kirişlerde eğilme dayanımındaki düşüş oranları saptandı. Tablo 3'de değişik boşluk genişlikleri, monomer sistemleri ve beton nem içeriklerinde elde edilen deney sonuçları verilmiştir. Şekil 1.de betondan kırılan epoksi sistemlerinden EP1 ve EP4 örnekleri görülmektedir.

Tablo 3. Onarılan Kirişlere Yeniden Uygulanan Eğılme Deneyi Sonuçları

No	Nem İçeriği (%)	Monomer Sistemi	Aralık Genişliği			$\sigma_s / \sigma_o$ *	Kırılma Şekli
			<1 mm	1 mm	5 mm		
1	1	EP1	+			~ 1	Betondan
2	1	"	+			"	"
3	1	"	+			"	"
4	5	"	+			"	"
5	5	"	+			"	"
6	5	"	+			"	"
7	1	"		+		"	"
8	1	"		+		"	"
9	1	"		+		"	"
10	5	"		+		"	"
11	5	"		+		"	"
12	5	"		+		"	"
13	1	"			+	"	"
14	1	"			+	"	"
15	1	"			+	"	"
16	5	"			+	"	"
17	5	"			+	"	"
18	5	"			+	"	"
19	1	EP2			+	"	"
20	1	"			+	"	"
21	1	"			+	"	"
22	5	"			+	0.86	Ara bölgeden
23	5	"			+	0.86	"
24	5	"			+	0.88	"
25	1	EP3			+	~ 1	Betondan
26	1	"			+	"	"
27	1	"			+	"	"
28	5	"	+			"	"
29	5	"	+			"	"
30	5	"	+			"	"
31	1	"		+		"	"
32	1	"		+		"	"
33	1	"		+		"	"
34	5	"		+		"	"
35	5	"		+		"	"
36	5	"		+		"	"
37	1	"			+	"	"
38	1	"			+	"	"
39	1	"			+	"	"
40	5	"			+	"	"
41	5	"			+	"	"
42	5	"			+	"	"
43	1	EP4			+	"	"
44	1	"			+	"	"
45	1	"			+	"	"
46	5	"			+	"	"

No	Nem İçeriği (%)	Monomer Sistemi	Aralık Genişliği			$\sigma_s / \sigma_o$ *	Kırılma Şekli
			<1 mm	1 mm	5 mm		
47	5	EP4			+	~ 1	Betondan
48	5	"			+	"	"
49	1	MMA1	+			0.51	Ara bölgeden
50	1	"	+			0.49	"
51	1	"	+			0.45	"
52	5	"	+			0.42	"
53	5	"	+			0.49	"
54	5	"	+			0.49	"
55	1	"		+		0.38	"
56	1	"		+		0.38	"
57	1	"		+		0.38	"
58	5	"		+		0.51	"
59	5	"		+		0.51	"
60	5	"		+		0.47	"
61	1	"			+	0.65	"
62	1	"			+	0.51	"
63	1	"			+	0.43	"
64	5	"			+	0.42	"
65	5	"			+	0.54	"
66	5	"			+	0.66	"
67	1	MMA2			+	0.61	"
68	1	"			+	0.65	"
69	1	"			+	0.55	"
70	5	"			+	0.65	"
71	5	"			+	0.65	"
72	5	"			+	0.61	"

\*  $\sigma_o$  beton kirişin eğilme dayanımını,  $\sigma_s$  onarılan kirişin eğilme dayanımını göstermektedir.

#### 4.1. Onarılan Bölgenin Kalınlığının Etkisi

Onarım bölgesi aralığı olarak <1 mm, 1 mm ve 5mm olmak üzere üç ayrı kalınlık (çatlak genişliği) denendi. EP1 ve EP3 sistemlerinin kalınlıktan etkilenmediği, EP4 için denen 5 mm kalınlıkta başarılı olduğu gözlemlendi. EP2 sisteminin 5 mm'lik kalınlıkta yüzeyleri kuru olan yapıştırıcılar için daha başarılı olduğu görüldü. MMA1 sisteminde her üç aralık için benzer sonuçlar elde edildi; bu sistemde onarılan kirişlerin eğilme dayanımlarının düştüğü, ancak bu düşüşte onarım kalınlığının etkili olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 1. EP1 ve EP4 Epoksi Sisteminde Yapıştırılmış Kirişlerin Yeniden Kırıldıktan Sonraki Görünümleri (Kırılma Betondan)

#### **4.2. Beton Neminin Etkisi**

EP1, EP3 ve EP4 sistemlerinde yapıştırılan yüzeylerin nem içeriğinin sonuçları etkilemediği, bu örneklerde kırılmaların betonda gerçekleştiği gözlemlendi. EP2 de ise %5 nemli betonun yapışmayı bir miktar olumsuz etkilediği, bu örneklerde eğilme dayanımının ilk dayanımın ancak %86'sına ulaşabildiği anlaşıldı.

MMA'lı sistemlerde genel olarak dayanımların orijinal dayanımların ancak 0.38-0.65 oranlarına ulaşabildiği gözlemlendi. 1 mm kalınlıktaki MMA1 ile yapılan onarımlarda %1 nem içeren betonların %5 nemlilere oranla biraz daha düşük yapışma gerçekleştirdikleri anlaşılmaktadır.

#### **4.3. Monomer Sisteminin Etkisi**

Denenen 4 epoksi sisteminin de başarılı olduğu gözlemlendi, ancak EP2 sisteminde nemin olumsuz etkisi nedeniyle eğilme dayanımında yaklaşık %16'lık bir düşüş gerçekleşti. EP1 ve EP2 karşılaştırıldığında bu düşüşün EP2 sisteminin agrega içermesine bağlanabilir.

MMA sisteminde onarım sonunda dayanımlarda %%60'a varan düşüşler gözlemlendi. Ancak çalışılan ortam sıcaklığının 10°C olması ve sertleştirici oranlarının yeterli olmamasının bu sonuçlar üzerindeki etkisinin araştırılması gerekir.

## 5. SONUÇ

Burada denen epoksi sistemlerinin genel olarak yapışma özelliklerinin yeterli olduğu gözlemlendi. Denenen epoksi sistemlerinden agrega içeren bir tanesi nemli yüzeylerde küçük dayanım düşüşlerine neden oldu. MMA sistemlerinde, yapıştırılan kirişlerin dayanımında %%60'a varan oranlarda düşüşler gözlemlendi. Bu sistemde kullanılan sertleştirici oranlarının ve kür sıcaklığının yapışma özelliklerine etkisi sistemli olarak incelenmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Grosskurth, K.P., Perbix, W. (1986) "Bağ Davranışını Optimize Ederek Sentetik Reçine ile Enjekte Edilmiş Çatlamış Beton Elemanlarının Kalıcılık Özelliğinde İyileştirmeler" Proc.RILEM Symp. Polimer ve Beton Arasındaki Adezyon, Ed.Sasse, H.R., Chapman and Hall, pp.403-409.
- [2] Fowler, D.W. (1986) "Betondaki Çatlakların Onarımında Yüksek Molekül Ağırlıklı Metakrilat Kullanımı" Proc. RILEM Symp. Polimer ve Beton Arasındaki Adezyon, Ed. Sasse, H.R. Chapman and Hall, pp.438-450.
- [3] Rodler, D.J., Whitney, D.P., Fowler, D.W., & Wheat, D.L. (1989) "Çatlamış Betonun Yüksek Molekül Ağırlıklı Metakrilat Monomerleri ile Onarımı", Proc. ACI Symp. Betonda Polimerler, Gelişmeler ve Uygulamalar, Ed.Mendis, P., McClaskey, C., ACI, Detroit, pp.113-128.
- [4] Cleland, D. J., Naderi, M., & Long, A.E. (1986) "Betonda Onarım Harcı ile Yamanın Bağ Dayanımı", Proc.RILEM Symp. Polimer ve Beton Arasındaki Adezyon, Ed. Sasse, H.R., Chapman and Hall, pp.235-244.
- [5] Basunbul, I.A., Gubati, A.A., Al-Sulaimani, G.J., & Baluch, M.H. (1990) "Onarılmış Betonarme Kirişler", ACI Materials Journal, V.87, No.4, pp.348-354.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK, İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubunca desteklenmektedir.