

ONARIM HARÇLARININ TEMEL ÖZELLİKLERİ

M. Hulusi ÖZKUL(*), M. Ali TAŞDEMİR(**)

ÖZET

Onarım amacıyla kullanılan malzemelerin mekanik ve dürabilite (dayanıklılık) özelliklerinin kendi başlarına yeterli olması yetmez, bu malzemelerin alt yapı betonu ile de uyumlu olması gerekir. Bu yazıda onarım harcı-alt beton sisteminin hacim sabitliği, yük transferi ve geçirimsizlik açılarından uyum konuları ele alınmıştır.

1. GİRİŞ

Onarım harçları değişik etkenler altında hasar görmüş yapı ve yapı elemanlarının özelliklerinin hasar öncesi duruma getirilmesi ya da özelliklerinin daha da iyileştirilmesi amacı ile kullanılabilir [1]. Hasar nedenleri bir dürabilite eksikliğine bağlı olabileceği gibi, deprem gibi dış yüklemeler sonucu da ortaya çıkabilir. En belirgin dürabilite problemi olarak korozyon öne çıkmaktadır. Karbonatlaşma ya da klor etkisi altında oluşabilen korozyon sonucu hem donatı da kesit azalmaları oluşmakta, hem de pas payı betonu çatlayarak donatı-beton aderansı azalmakta ve pas payı hasar görmektedir. Diğer dürabilite problemlerinden olan sülfat etkisi, donma-çözülme etkileri, alkali-agrega reaksiyonu ve zararlı kimyasalların etkileri altında da betonda hasarlar oluşabilir. Öte yandan yurdumuzda olduğu gibi deprem bölgelerindeki ülkelerdeki yapılar deprem hasarı riski altındadır. Oluşan hasarların onarılmasında tamir harçlarından yararlanılabilir. Bu yazıda onarım harçlarının taşıdıkları temel özellikler ile bunların betonarme yapılarda varolan alt beton ile uyum sorunları ele alınacaktır.

Onarım harçları üç gruba ayrılabilir:

- Çimento bağlayıcılı olanlar,
- Polimer ile modifiye edilmiş çimento bağlayıcılı olanlar,
- Polimer bağlayıcılı olanlar.

Çimento bağlayıcılı onarım harçları Portland çimentosu dışında değişik boyutlarda ince agrega (kum) ve filler içerebilirler. Ayrıca bu harçların bileşimine kimyasal ve mineral (silis dumanı ve uçucu kül gibi) katkıları ile lif de katılabilir.

Polimer ile modifiye edilen çimento esaslı harçlarda ise birinci grup harçlardan farklı olarak emülsiyon ya da lateks türü suda dağılabilen bir polimer ilave edilir.

Bağlayıcısı polimer olan harçlarda ise çimento bulunmaz, ancak diğer bileşenlerden kum ve filler ile mineral katkıları yer alabilir.

İyi bir onarım, bir yapının fonksiyon ve performansını geliştirir, dayanım ve rijitliğini artırır ve yeniler, görünümünü iyileştirir. Su geçirimsizliği sağlar, zararlı maddelerin donatıya ulaşmasını önler ve dürabiliteyi artırır. Öte yandan onarım harçlarının içine korozyon inhibitörleri de katılabilir. Değişik türleri bulunan inhibitörler, donatı üzerindeki mevcut pasivasyon tabakasının güçlendirebilirler ya da korozyona karşı ikinci bir engel oluşturabilirler. Klor iyonları ile reaksiyona girerek etkisiz hale getiren ya da beton boşluk suyunda bulunan oksijeni yok eden inhibitör türleri de vardır.

Çimento esaslı onarım malzemeleri uzun süreli kür gerektirirken polimer ile modifiye edilenlerde bu süre daha kısadır. Polimer ile modifiye edilmiş harçlar, normal harçlar gibi çelik donatılara alkali pasivasyon koruma sağlarlar. Bu polimerler aynı zamanda su azaltıcı işlevi ile işlenebilirliği iyileştirir ve rötre azaltır; çünkü su/çimento oranı düşer. Polivinil asetat, stiren butadien kauçuk ve polivinil klorürler en uygun polimerlerdir. Son yıllarda toz şeklinde disperse olan polimerler geliştirilmiştir. Bu polimerler kum, çimento ve diğer katkılarla hazırlanarak torbalanır ve şantiyede sadece su katılarak kullanılabilir. Bir onarım malzemesinin özelliklerinin belirlenmesi açısından aşağıdaki deneyler gerçekleştirilebilir.

(*) Prof. Dr., (**) Prof. Dr.,
İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul

Taze Beton Deneyleri

- Taze harçta akış deneyi
- Katılma sürelerinin belirlenmesi
- Terleme

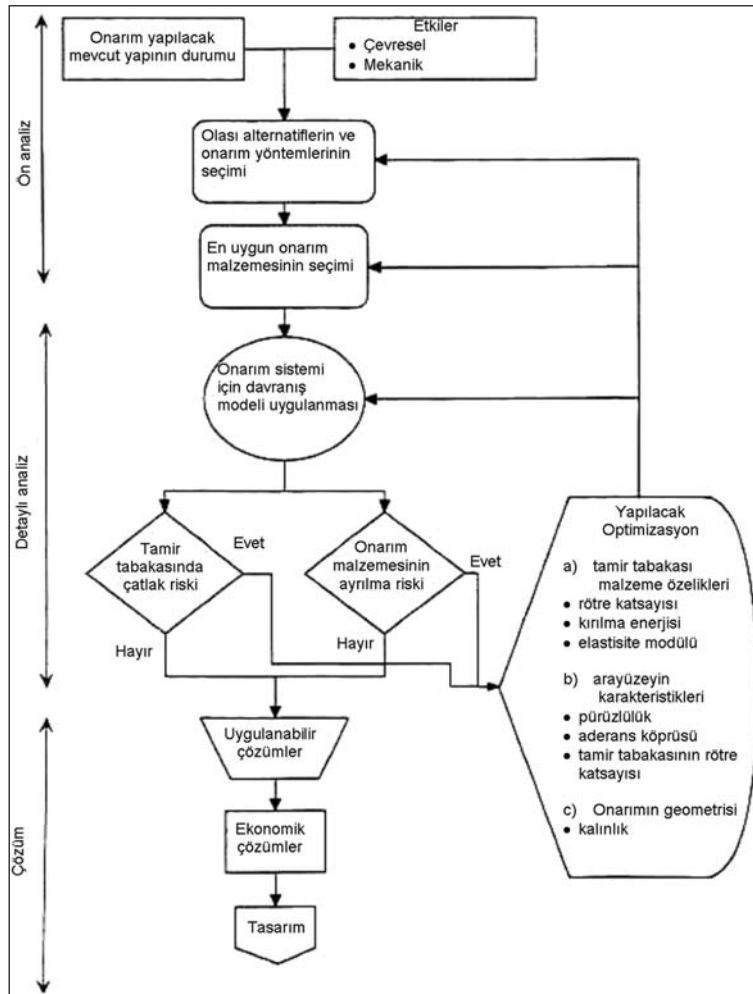
Sertleşmiş Beton Deneyleri - Mekanik Özellikler

- Basınç dayanımı
- Çekme dayanımı
- Eğilme dayanımı
- Elastisite modülü
- Kuruma rötesi
- Isıl genleşme katsayısı
- Aderans deneyi

Dürabilite Özellikleri

- Klor geçirimsizliği
- Elektriksel direnç
- Karbonatlaşma

Bir onarım gerçekleştirilirken Şekil 1'de verilen aşamalar gözönüne alınabilir [2].



Şekil 1 - İyi Bir Onarım İçin Önerilen Yaklaşımın Şematik Gösterimi [2].

2. UYUM ÖZELLİĞİ

Öte yandan onarım-güçlendirme sistemlerinde var olan yapının betonu ile onarım malzemesi arasındaki uyum ayrı bir önem taşır. Onarım malzemesi seçilirken var olan yapının içinde bulunduğu çevre koşulları ve hasar durumu iyi bir şekilde incelenmeli ve seçim yapılırken yapı tipi, hasar miktarı, hasarın yeri ve yapısı göz önünde tutulmalıdır.

Var olan yapının betonu ile onarım malzemesi bir bileşik sistem oluşturur ve bu sistemin uygulanan gerilmeyi birlikte taşıması beklenir. Eski betonun onarım malzemesine yük aktarabilmesi için, onarım malzemesinin elastisite modülünün eski betondan daha büyük olması (en az %30 daha büyük) gereklidir [3].

Ayrıca onarım sisteminin boyutsal kararlılığa sahip olması sağlanmalıdır. Bu nedenle onarım malzemesi fazla miktarda röte yapmamalıdır. Benzer şekilde onarım malzemesinin sünme özelliği de alt yapı ile uyumlu olmalıdır. Oluşturulan onarım sis-

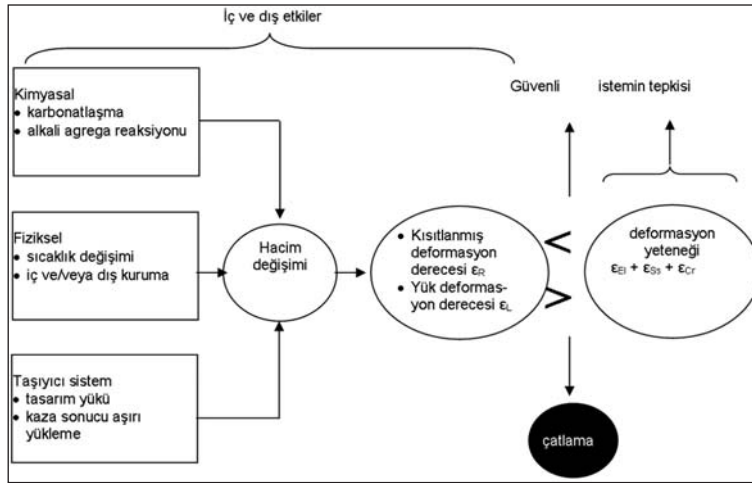
temi yapının içinde bulunduğu çevre koşullarına karşı dayanıklılık özelliği göstermelidir. Bunun sağlanabilmesi için hem onarım malzemesi yeterince geçirimsiz olmalı, hem de alt beton ile onarım katmanı arasında oluşan arakesit geçirimsizlik özelliği taşımalıdır.

Onarımın amacı, yapının eski haline getirilmesi ya da özelliklerinin iyileştirilmesi ve bu özelliklerin yapının servis ömrü boyunca bozulmadan ya da çok az değişiklikle korunabilmesidir. Bunun sağlanabilmesi için malzeme seçimi en önemli adımdır. Benzer şekilde tasarım, uygulama ve kalite denetimi de eş önem taşır.

Onarım malzemesi ile varolan beton arasındaki uyum konusu belli başlı aşağıdaki konulardan oluşur:

- Onarım malzemesinin röte yapması,
- Onarım malzemesinin sünme yapması,
- Onarım malzemesi ile alt beton arasında ısı genleşme farklılıklarının bulunması,
- İki malzeme arasında elastik şekil değiştirmelerin uyumsuzluğu.

Önceki beton ile tamir malzemesinin deformasyon uyumu ve uygulama tekniği büyük önem taşır. Özellikle birlikte çalışma sırasında farklı şekil



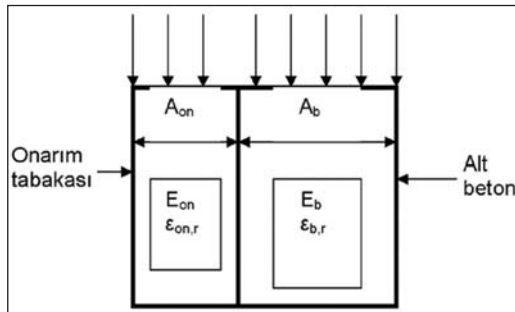
Şekil 2 - Onarım Sistemini Etkileyen Başlıca Yükler ve Göçme Kriteri (ϵ_{EI} =Elastik Şekil Değiştirme, ϵ_{SS} =Şekil Değiştirme Yumuşaması, ϵ_{CR} =Zamana Bağlı Şekil Değiştirme (Sünme ve Rötne) [2].

değiştirmeler kompozit sistemde gerilmelerin artmasına yol açabilir. Şekil değiştirme kısıtlamaları nedeniyle oluşan gerilmeler kompozit sistem tarafından absorbe edilemediği zaman tamir sistemini göçmesi söz konusu olur. İç ve dış yüklemeler nedeniyle oluşan şekil değiştirmeler tamir malzemesinin deformasyon yeteneğinden (elastik (ϵ_{EI}), şekil değiştirme yumuşaması (ϵ_{SS}) ve zamana bağlı şekil değiştirmesi (ϵ_{CR})) küçük ise çatılma olmaz, büyük ise çatılma oluşur. Onarım sistemine etkileyen iç ve dış yükler ile göçme kriteri Şekil 2’de verilmektedir [2].

3. YÜK TRANSFERİ

Alt yapı betonu (varolan beton) ile onarım malzemesi aşağıdaki modelle gösterilebilir. Burada alt beton ile onarım malzemesi paralel olarak çalışmaktadır.

Bir P dış kuvveti alt beton ve onarım malzemesi tarafından taşınır.



Şekil 3 - Onarım Sisteminin Modeli.

$$P = \sigma_{on} \cdot A_{on} + \sigma_b \cdot A_b = \sigma_c \cdot A_c \quad (1)$$

Burada σ_{on} ve σ_b onarım tabakasının ve alt betonun taşıdığı gerilmeleri A ise kesit alanlarını gös-

termektedir. İki malzemenin birlikte çalıştıkları düşünülür ise iyi bir ade-rans bulunması durumunda hem onarım malzemesi, hem alt beton benzer miktarda şekil değiştirirler. Bu durumda

$$\frac{\sigma_c}{\epsilon} = \frac{\sigma_{on}}{\epsilon} \cdot \frac{A_{on}}{A_c} + \frac{\sigma_b}{\epsilon} \cdot \frac{A_b}{A_c} \quad (2)$$

elde edilir. Denklem 2’de şekil değiştirmeyi gösterir.

Buradan,

$$E_c = E_{on} \cdot \frac{A_{on}}{A} + E_b \cdot \frac{A_b}{A} \quad (3)$$

bağıntısı elde edilir. Dolayısı ile sistemin elastisite modülü (E_c), onarım malzemesi ve alt betonun elastisite modüllerine ve onarım kesitinin toplam kesite olan oranına bağlıdır.

Benzer şekilde onarım malzemesi tarafından taşınan kuvvetin sisteme etki eden toplam kuvvete oranı hesaplanabilir.

$$P = P_{on} + P_b$$

$$\frac{P_{on}}{P} = \frac{\sigma_{on} \cdot A_{on}}{\sigma_{on} \cdot A_{on} + \sigma_b \cdot A_b} = \frac{\epsilon \cdot E_{on} \cdot A_{on}}{\epsilon \cdot E_{on} \cdot A_{on} + \epsilon \cdot E_b \cdot A_b} = \frac{E_{on} / E_b}{E_{on} / E_b + A_b / A_{on}} \quad (4)$$

Yukarıdaki bağıntıdan, onarıma aktarılan kuvvetin onarım malzemesinin elastisite modülü ile orantılı olduğu sonucu çıkmaktadır. Yapılan bir çalışmada [4] farklı onarım malzemelerinin elastisite modülleri karşılaştırılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Onarım Malzemelerinin Elastisite Modülleri [4]

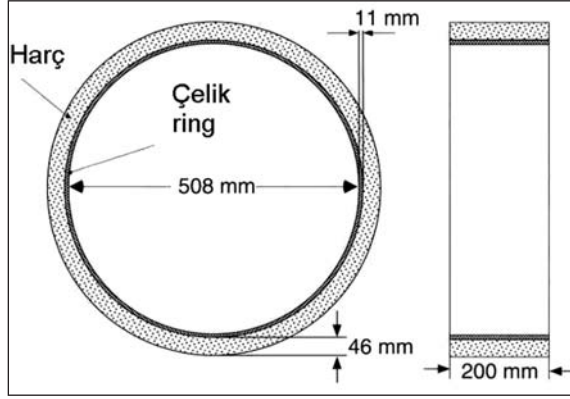
Onarım Malzemesi	Elastisite Modülü (MPa)
Harç	32300
%30 uçucu küllü harç	28600
%10 silis dumanlı harç	31400
Polimer ile modifiye edilmiş lifli harç	41400
Epoksi harcı	13200

Bu çalışmaya göre polimer ile modifiye edilmiş lifli harcın elastisite modülü en yüksek, epoksi reçineli harcın ise en düşüktür. Yük aktarımı açısından çimento bazlı harçların epoksiye göre daha uyumlu (polimer ile modifiye edilen en iyi) olduğu sonucuna varılabilir.

4. HACİM SABİTLİĞİ

Onarım malzemelerinin alt yapı ile uyumu konusunda en önemli özellik olarak öne çıkan rötne konusudur. Onarım malzemesinin serbest olarak rötne yapması varolan beton tarafında kısıtlandığından onarım tabakasında çekme gerilmeleri oluş-

makta ve bunların sonucunda onarım malzemesi çatlamaya uğramaktadır. Bilindiği gibi, rötre farklı yöntemlerle ölçülebilmektedir. Bir bölümü serbest şekilde oluşan şekil değiştirmeyi ölçmeye dayanırken bir bölümü de kısıtlanmış rötreye yöneliktir, örneğin ring yöntemi gibi (Şekil 4).



Şekil 4 - Rötre Ölçümünde Kullanılan Ring [5].

Kısıtlanmış rötre sonucu onarım malzemesinde oluşan çekme gerilmelerinin çekme dayanımını aşması durumunda onarım malzemesinin çatlaması söz konusudur. Burada onarım malzemesi ile ilgili parametreler, serbest rötre miktarı, elastisite modülü ve çekme dayanımıdır. Bir onarım malzemesinin çatlama riski rötre miktarı ve elastisite modülü ile doğru orantılı, çekme dayanımı ile ise ters orantılıdır. Dolayısı ile $\epsilon_{rötre} E / f_{çekme}$ oranı ne kadar küçükse bir onarım malzemesinin çatlama riski de o kadar küçük olacaktır.

Yapılan bir çalışmada değişik onarım harçlarının 7 ve 28 günlük elastisite modülü/çekme dayanımı (E/f_c) oranları ile çatlama riskleri hesaplanmış ve aşağıda belirtilmiştir (Tablo 2) [6].

Bu tabloya göre polimer ile modifiye edilmiş harçların geleneksel harçlara göre daha düşük $E/f_{çekme}$ oranına sahip oldukları görülmekte ve bu harçların çatlama riskinin de daha düşük gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Öte yandan onarım malzemesi ile alt betonun ısı genleşme katsayılarının birbirinden çok farklı olması durumunda da tıpkı rötrede olduğu gibi onarım malzemesinde çekme gerilmeleri oluşabilmekte ve çatlakların oluşumu gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle onarım malzemesinin ısı genleşme açısından da alt beton ile uyumlu olması gereklidir.

Onarım malzemesinin sünme göstermesi, oluşan gerilmelerin bir bölümünün giderilmesi açısından yararlı olabilir. Bu nedenle, onarım malzemelerinin az rötre yapması, ısı genleşme katsayısının beton ile uyumlu olması, çekme ve basınç dayanımlarının yüksek olması ve elastisite modülünün ise düşük

Tablo 2 - Değişik Harçların Çatlama Riskleri [6]

	$E / f_c \times 10^3$		Çatlama Riski	
	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
Çimento-kum harcı	9,72	8,49	3,8	-
Çimento-silis dumanı-kum harcı	8,88	8,07	3,6	5,4
Çimento-kum-filler-katkı harcı (torbalanmış)	5,78	6,05	3,9	-
Çimento-kum-katkı harcı (torbalanmış)	7,69	6,06	3,1	4,1
Çimento bazlı harç	8,73	6,94	2,9	4,4
Çimento, kum ve akrilik lateks	-	-	-	-
Çimento, silis dumanı, lif ve polimer harcı	8,4	6,81	4,1	-
Çimento, silis dumanı, polimer harcı (torbalanmış)	4,78	4,54	1,5	4,1
Çimento-kum-filler-polimer harcı	5,28	4,70	3,2	4,2

Tablo 3 - Onarım Malzemelerinin Teknik Özellikleri [7]

	Onarım Malzemesi Sınıfı		
Onarım Malzemesinin Özelliği	Sınıf 40	Sınıf 25	Sınıf 15
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	30-60	20-40	10-30
Min. 7 günlük çekme dayanımı (MPa)	2	1.5	1
28 günlük elastisite modülü (GPa)	15-25	9-15	5-9
Min. aderans dayanımı (MPa)	2	1.5	1
Coutinho ring rötre deneyinde oluşan çatlak (7 günde)	0	0	0
Hava geçirgenliği (saniye,Figg deneyi)	200	150	100

olması istenirken sünme özelliğinin de yüksek olması yararlıdır. Bu özelliklere onarım malzemesinin alt beton ile bağlantı kurma yeteneğini belirlemeye yönelik aderans özelliğini ve onarım malzemesinin dürabilitesine yönelik olan geçirimsizlik özelliğini eklemek gerekir. Buradaki bir çelişkiye de dikkat çekmek gerekir; gerilmelerin onarım malzemesine aktarılabilmesi için elastisite modülünün yüksek olması istenirken rötre ve farklı ısı boyut değişimlerinden dolayı çatlak oluşma riskinin düşük olması için ise elastisite modülünü düşük olması istenir.

Onarım malzemesi ile alt betonun uyumlu olabilmesi için fiziksel ve mekanik özelliklerin çok farklı olmaması gerekir. Bu amaçla geliştirilen standardda onarım malzemeleri 3 gruba ayrılarak verilmiştir (Tablo 3) [7].

Diğer geliştirilen bazı standartlarda da performans kriterleri temel olmuştur (Tablo 4) [8]. Bu standardda basınç dayanımının yerine çekme daya-

nımı öne çıkmakta ve bunlara ek olarak elastisite modülü için alt sınır verilirken kuruma rötresi (serbest) ve ısıl genleşme katsayısı için üst sınır ve kısıtlanmış rötre altında çatlamama koşulu getirilmektedir.

Tablo 4 - Ön Performans Kriterleri [8]

Özellik	İstenen Değer
Çekme dayanımı, min.	
7 günlük	2 MPa
28 günlük	2.75 MPa
Elastisite modülü, maks.	
28 günlük	25 GPa
Kuruma rötresi, 28 günde, maksimum	%0.04
Ring deneyinde rötre çatlağı	0
Isıl genleşme katsayısı, maksimum	11.7x10 ⁻⁶ /°C

5. ONARIM SİSTEMLERİNİN GEÇİRİMLİLİK ÖZELLİKLERİ

Normal Portland çimentolu, silis dumanı eklenmiş, uçucu kül eklenmiş, polimer ile modifiye edilmiş Portland çimentolu ve epoksi harçları karşılaştırıldığında normal Portland çimentolu harçların en yüksek, epoksi harçlarının ise en düşük geçirimliliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Öte yandan bu harçlar ve eski bir beton numunesi kullanılarak oluşturulan onarım sistemlerinde ara yüzeyi de içerecek şekilde bir geçirimlilik deneyi yapıldığında, geçirimlilik ile harçların rötresi arasında doğru ilişki olduğu gözlenmiştir. Gerçekten de, harçların rötresinin büyük olması, hem harç tabakasında çatlak oluşturmakta hem de onarım harcı ile eski beton arasındaki ara yüzeyin zayıflamasına, çatlamasına yol açmakta ve böylece geçirimliliğin artmasına neden olmaktadır (Tablo 5) [4].

Tablo 5 - Onarım Malzemesi ve Onarım Sistemlerinin Geçirimlilik Özellikleri [4]

Onarım Malzemesi Cinsi	Onarım Malz. Kuruma Rötresi (10 ⁻⁶)	O ₂ Geçirimlilik Katsayısı (10 ⁻¹⁰ m ² /s)	
		Onarım Malzemesi	Alt beton Onarım malz. Bileşik sistemi
%100 Çimento Harcı	610	1170	1330
%30 Uçucu Küllü Harç	533	539	1290
%10 Silis Dumanlı Harç	460	335	851
Polimer Modifiye Lifli Harç	204	49.7	630
Epoksi Harcı	96	8.5	559

SONUÇ

Sağlıklı bir onarımın gerçekleşmesi, onarım malzemesi ile alt betonun uyumuna bağlıdır. Uyum kavramı içinde, onarım tabakasına yük aktarılabilmesi yanında çatlak oluşmaması ve sistemin yeterli dürabilite özelliği kazanması da bulunmaktadır. Yük transferinin sağlanması için gerekli koşullar ile çatlak riskini düşürmek için gerekenler arasında çelişki çıkabilir. Onarım malzemesine yük transferinin gerçekleşmesi için yeterli aderansın yanında onarım malzemesinin elastisite modülünün de yüksek olması gerekirken, onarım malzemesinde çatlak oluşmaması için daha düşük elastisite modülüne, yüksek çekme dayanımına ve düşük kuruma rötresine gerek vardır. Öte yandan onarım sisteminin geçirimsizlik özellikleri de rötreden olumsuz olarak etkilenir. Onarım malzemeleri içine inhibitör katkıları konularak donatı korozyonu oluşumuna karşı dirençleri artırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] M. A. Taşdemir, M. H. Özkul, *Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Malzemeleri*, Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, Bildiriler Kitabı, İTÜ, 2002, s.177-204.
- [2] G. Martinola, H. Sadouki, and F.H. Wittmann, *Numerical Model for Minimizing Risk of Damage in Repair System*, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 13, No. 12, 2001, pp. 121-129.
- [3] P. S. Mangat, F. J. O'Flaherty, *Long-Term Performance of High-Stiffness Repairs in Highway Structures*, *Mag. Con. Res.*, Vol. 51, No. 5, 1999, pp.325-339.
- [4] K. E. Hassan, J. J. Brooks, L. Al-Alawi, *Compatibility of Repair Mortars with Concrete in a Hot - Dry environment*, *Cem. Con. Comp.*, Vol.23, 2001, pp.93-101.
- [5] G. Martinola and H. Sadouki, *Combined Experimental and Numerical Study to assess Shrinkage Cracking of Cement Based Materials*, *Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen* 4, Jahrgang, 1-15, 1998, pp. 479-506.
- [6] M. M. Al-Zahrani, M. Maslehuddin, S. U. Dulaijan, M. Ibrahim, *Mechanical Properties and Durability Characteristics of Polymer-Based Repair Materials*, *Cem. Con. Com.*, Vol.25, 2003, pp. 527-537.
- [7] *Manual of Structural Maintenance*, Hong Kong, Housing Department, 1987.
- [8] S.T. Chan, P.K. Ainsworth, *ACI, SP-128*, 1991, 609-623.