



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 20.03.2022
Kabul Tarihi : 12.04.2022

Received Date : 20.03.2022
Accepted Date : 12.04.2022

POMZA AGREGANIN ÇİMENTO ESASLI TİKSOTROPİK RÖTRESİZ İNCE TAMİR HARCININ PERFORMANSINA ETKİSİ

THE EFFECT OF PUMICE AGGREGATE ON THE PERFORMANCE OF CEMENT-BASED THIXOTROPIC NON-SHRINKAGE THIN REPAIR MORTAR

Lütfullah GÜNDÜZ¹ (ORCID: 0000-0003-2487-467X)
Şevket Onur KALKAN^{2*} (ORCID: 0000-0003-0250-8134)

^{1,2} İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Şevket Onur KALKAN, sevetonur.kalkan@ikcu.edu.tr

ÖZET

Bu deneysel araştırmada, 100 mikron boyut altı ve 2 mm boyut altı olarak öğütülmüş pomzanın çimentolu tamir harçlarında kullanımı ile harcın fiziksel, mekanik ve özellikle rötre yapma karakteristiği üzerine detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel analizlerde pomza agreganın ince ve iri boyutlarda kullanımında tamir harcının yoğunluğuna, gözeneklilik oranına, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite özelliklerine ve kuruma büzülmesi değerlerine olan etkileri detaylı analiz edilmiştir. Pomza bileşenli karışımlarda ince:iri oranı sırasıyla her bir karışımda ağırlıkça yüzde olarak 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30 ve 80:20 oranları kullanılmıştır. Her ne kadar pomza agregalı örneklerin kuruma büzülmesi oranları pomza kullanılmadan üretilen kontrol harcından görece yüksek bir değerde tespit edilse de bütün pomza agregalı tamir harcı örneklerinin büzülme değerleri ilgili standartların öngördüğü değer aralığında yer almaktadır. Harç karışımlarında iri boyut pomza agreganın daha fazla kullanıldığı örneklerin rötre miktarının, ince boyut pomza agregalı örneklerin rötre miktarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum harcın gözeneklilik oranıyla ilişkilendirilmiş, gözeneklilik oranı daha yüksek olan harçların rötresi daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tikotropik, rötre, çimento, tamir harcı, pomza

ABSTRACT

In this experimental study, a detailed investigation was carried out on the physical, mechanical, and shrinkage characteristics of cementitious repair mortars with the use of ground pumice in with 0/100 µm and 0/2 mm grain sizes. In the experimental analysis, the effects of the use of pumice aggregate in fine and coarse sizes on the density, porosity, compressive strength, flexural strength, elasticity properties and drying shrinkage values of the repair mortar were analyzed in detail. In mixtures with pumice component, the ratio of fine:coarse pumice, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30 and 80:20 by weight were used in mixtures, respectively. Although the drying shrinkage rates of test specimens were determined at a relatively higher value than the control mortar, the shrinkage values of all pumice aggregate repair mortar specimens were within the value range stipulated by the relevant standards. It was determined that the shrinkage amount of the specimens in which coarse size pumice aggregate was used more in mortar mixtures was lower than the shrinkage amount of the specimens with fine size pumice aggregate. This situation was associated with the porosity rate of the mortar, and the shrinkage of the mortars with higher porosity was determined to be lower.

Keywords: Thixotropic, shrinkage, cement, repair mortar, pumice

GİRİŞ

Betonarme yapılar soğuk ve sıcak iklim ortam koşullarına maruz kaldıklarında zamanla bozulmaktadır. Bu nedenle tarihi yapılar, rıhtımlar, köprüler, dış ve iç cephe beton birimlerin yüzeyleri vb. gibi zamanla yorulmaya uğrayan yapı birimlerin rehabilite edilmesi ve onarılması gerekmektedir (Benharzallah et al., 2018). Bu onarım işlemleri genellikle özel karışım tasarımlarına sahip tamir harçları ile yapılmaktadır. Tamir harçları ince tabaka ve kalın tabaka olarak iki farklı uygulama koşulunda uygulanan harç türleridir. İnce tabaka tamir harçları genellikle iç mekânlarda dökülmüş ince sıva kalınlığındaki sıva onarımlarında, ince çatlak oluşumlarının onarılmasında, çatlak ve delik tamirlerinde, sıva ve beton yüzeylerin tesviye amaçlı sıvanmasında ve eski yapılarda meydana gelen restorasyon çalışmaları gibi uygulamalarda brüt beton, gaz beton, prefabrik beton, tuğla ve briket türü yapı elemanlarının oluşturduğu birimlerde kullanılır. Kalın tamir harçları ise kalın dolgu yapabilen iç ve dış mekânlarda prefabrik beton, brüt beton, tuğla ve briket üzerindeki kalınlığın fazla olduğu (1-5 cm) boşlukların doldurulmasında, sıva, kalın çatlakların tamirinde, delik tamirlerinde, giriş ve kolonlarda meydana gelen çatlak ve kırılmaların onarımında sıva ve beton yüzeylerin tesviye amaçlı sıvanmasında, seramik uygulaması öncesinde sağlam ve düzgün alt yüzey oluşturmasında kullanılır.

Kimyasal polimer ve lif takviyeli, yüksek dayanıma sahip kullanıma hazır harçlar, çimento esaslı tamir harçları olarak tanımlanmaktadır. Ancak, güncel endüstriyel uygulamalarda harcın sertleşme süresinde rötre davranışı gösterip göstermediğine göre iki farklı formatta harç tanımlamaları yapılabilmektedir. Bunlardan en önemlisi formu *rötresiz* ve aynı zamanda *tiksotropik* özellik sergileyen harç türüdür. Harç uygulamalarında tiksotropik özellik, özellikle düşey konumda ve yer çekimi ivmesine direnç gösterecek şekilde uygulanan harçlarda uygulama sırasında ve/veya sonrasında aşağı eğilimli olarak sarkma, akma ve yığılarak aşağı yönde kayma olgusu göstermeden, uygulandığı ilk şekliyle yüzeye tutunan ve sarkma yapmayan harç özelliği olarak tanımlanabilmektedir (Pekmezci ve Atahan, 2014). Bu bağlamda, tiksotropik rötresiz harçlar genellikle çimento esaslı, tek bileşenli, polimer ve fiber takviyeli ve yüksek mukavemetli yapısal tamir harçlarıdır. Suya ve dona karşı dayanıklı olan tamir harçlarının farklı kullanım amaçları için farklı agrega dağılımına, farklı akışkanlığa, farklı aderans değerlerine sahip türleri bulunmaktadır (Fixa, 2017; Mohammadi et al., 2014; Rapoport and Shah, 2005; Xiong et al., 2002). Endüstriyel uygulamalarda tiksotropik rötresiz harçlar çoğunlukla erken yüksek mukavemet istenen yerlerde, segregasyona uğramış betonun tamirinde, betonarme yapı elemanlarının onarımında, betonların sülfat ve klor etkilerine karşı korunmasında, deniz yapılarının onarım ve bakımında, makine ayaklarının ankrajında, yüksek taşıma kapasiteli yataklanmalarda, filiz ve ankraj demirlerinin sabitlenmesinde, hafif ve orta ağırlıkta trafik yükü olan, özel kaplamalar gelecek döşemelerde ve yüzey tamiratlarında, pah yapılmasında, tie-rod delikleri ve karot boşluklarının doldurulmasında kullanılır (Fixa, 2017; Shaikh, 2016; Tayeh et al., 2013).

İnce tabaka tiksotropik rötresiz tamir harçlarının tasarımında kullanılan kimyasallar harcın sertleştikten sonra rötre (büzülme) yapmamasını ve çok ince yarı ve/veya çatlaklara kadar nüfuz edip beton yüzeyin tamiratlarında kolay uygulanabilirliğini sağlar. Rötresiz tamir harçları 7 gün sonunda 50 N/mm^2 , 28 gün sonunda ise 65 N/mm^2 'lik basınç dayanımından daha yüksek mukavemet değerleri gösterebilirler (Fixa, 2017; Shaikh, 2016; Rapoport and Shah, 2005). Bu yüksek dayanım özelliği sayesinde akıcı kıvamda olanlar özellikle makine ayaklarının sabitlenmesinde, tiksotropik kıvamda olanlar ise tie-rod deliklerinin ve karot boşluklarının doldurulmasında sıklıkla tercih edilirler (Fixa, 2017). Tiksotropik rötresiz tamir harçlarının üretiminde ana agrega materyali olarak alternatif birden fazla doğal, suni ve/veya yarı suni malzemenin kullanımları görülebilmektedir (Kawashima and Shah, 2011, Toledo Filho et al., 2005). En yaygın kullanılan malzemeler arasında öğütülmüş mikronize boyutlarda kuvars kumu, kalsit, ham perlit, yüksek fırın cürufu vb. malzemeler sayılabilir (Ahmadi et al., 2017). Harcın özel karışım formülasyonları ile birlikte gözenekli yapıya sahip ve mikronize edilmiş boyutlarda genleşmiş kil, volkan cürufu ve kalsine diyatomit gibi malzemelerin de kullanımları görülebilmektedir.

Bu makale, volkanik orijinli ve doğal gözenekli bir yapıya sahip olan pomza kayacının ince tabaka tiksotropik rötresiz tamir harçlarında kullanıldığında harcın performansının daha iyi anlaşılabilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Farklı tane boyut ve oranlarında pomza içeren çimento esaslı tamir harçların geliştirilmesine yönelik deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Laboratuvarında test edilen 8 farklı karışım tasarımına sahip pomza agregalı polimer modifiyeli çimento esaslı tamir harcı örneklerinin teknik bulguları detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Yapılan deneysel analizlerde pomza agreganın ince ve iri boyutlarda kullanımında tamir harcının yoğunluğuna, gözeneklilik oranına, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite özelliklerine ve kuruma büzülmesi değerlerine olan etkileri detaylı analiz edilmiş olup, elde edilen bulgular bu makale çalışmasında tartışılmıştır. Pomzanın uygun miktarlarda farklı boyut dağılımına sahip bir şekilde tamir harcı karışımlarında kullanımı, tiksotropik

özellikte sarkma ve akma yapmayan, rötre davranışı sergilemeyen ve ayrıca ilgili standartların öngördüğü teknik limitleri sağlayabilen harçların elde edilebileceğini göstermiştir.

MATERYAL VE METOT

Test Örneklerinde Kullanılan Malzemeler

Pomza agregaların çimento esaslı ince tabaka tiksotropik rötresiz tamir harcı üretiminde değerlendirilebilirliğinin analizi amacıyla, aynı orijinli iki farklı boyutta sınıflandırılmış pomza agregası kullanılmıştır. Tamir harcı test örneklerinin hazırlanmasında pomza agregası Nevşehir İli Göre bölgesinde bulunan ocaklardan ham doğal şekliyle temin edilmiştir. Laboratuvar ortamında doğal pomza agregası öncelikle $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'lik havalandırılmalı bir etüv ortamında bünye nemi atılınca kadar kurutulması sağlanmış ve sonrasında bir kırıcı yardımıyla kırılarak boyut küçültme işlemi yapılmıştır. Kırıcı sonrası ufalanmış pomza malzeme, kare açıklıklı elek kullanılarak boyutlandırılmış ve özellikle tamir harcı test örnekleri için 100 mikron boyut altı mikronize pomza ve 0-2 mm pomza agregası malzeme olarak iki farklı boyutta gruplandırılmıştır. 100 mikron boyutlu pomzanın kuru yığın yoğunluğu 910 kg/m^3 olup, 0-2 mm boyut aralığındaki pomza agregasının kuru yığın yoğunluk değeri ise 740 kg/m^3 'tür.

İnce tabaka tamir harcı test örneklerinin hazırlanmasında pH düzenleyici ve kıvam ayarlayıcı özellik taşıması nedeniyle yüksek saflıkta mikronize edilmiş, CL-90-S Söndürülmüş toz kireç normal piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmıştır. CL-90-S kireci TS EN 459-1 (2015) yapı kireci standardının öngördüğü teknik değerleri sağlayan özelliktedir. Bununla birlikte bileşiminde CaO+MgO miktarı $>90\%$ ve Ca(OH)_2 miktarı ise $>85\%$ 'dir. CL-90-S kirecin kuru yığın yoğunluk değeri ortalama 540 kg/m^3 'tür.

Test örneklerinin analizi amacıyla maksimum tane boyutu 750 mikron öğütülmüş kuvars kumu gerek pomza agregası kullanılmaksızın hazırlanmış tamir harcı kontrol örneklerinin hazırlanmasında ana agregası malzemesi olarak gerekse pomza agregası örneklerinde de dolgu materyali olarak kullanılmıştır. Öğütülmüş kuvars kumu, normal piyasa koşullarından temin edilmiş olup, ortalama yığın yoğunluğu $1500\pm 150\text{ kg/m}^3$ 'tür. Ayrıca tamir harcı örneklerinde maksimum tane boyutu 45 mikron olan mikro silika dayanım artırıcı katkı materyali olarak kullanılmıştır.

İnce tabaka tamir harcı karışımlarında harcın tiksotropi özelliğini sağlayıcı, rötre oluşumunu minimize edici ve harcın mukavemet ve bağ kuvvetini artırmak amacıyla ticari piyasa koşullarından temin edilmiş toz formda 3 farklı kimyasal polimer katkı, harmanlanarak tek bir karışım olarak kullanılmıştır. Polimer katkıların karışımı ortalama yığın yoğunluğu 840 kg/m^3 'tür. Harcın esnekliğini artırmak ve kohezyon değerini iyileştirmek amacıyla maksimum uzunluğu 40 mikron olan organik esaslı lif harç donatı katkısı olarak kullanılmıştır. Tamir harcı hazırlanmasında CEM I 42.5R Portland Çimento (özgül ağırlık değeri $3,15\text{ g/cm}^3$) kullanılmış olup, su olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Tamir Harcı Karışım Tasarımı ve Örneklerin Hazırlanması

Çimento esaslı tiksotropik rötresiz ince tabaka tamir harcı üretiminde pomza agregası kullanımının harcın performansına etkisinin analizi amacıyla 8 ayrı karışım tasarımı yapılmış olup, karışım kombinasyonları Çizelge 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tiksotropik Rötresiz Tamir Harcı Karışım Kombinasyonları (Ağırlıkça %).

Karışım	Çimento	100 µm Pomza	0-2 mm Pomza	CL-90-S Toz Kireç	Dolgu	Mikro Silika	Organik Lif+Polimer Katkı
R0	32,00	0,00	0,00	5,00	58,10	3,60	2,30
R1	32,00	8,62	34,48	5,00	14,00	3,60	2,30
R2	32,00	12,93	30,17	5,00	14,00	3,60	2,30
R3	32,00	17,24	25,86	5,00	14,00	3,60	2,30
R4	32,00	21,55	21,55	5,00	14,00	3,60	2,30
R5	32,00	25,86	17,24	5,00	14,00	3,60	2,30
R6	32,00	30,17	12,93	5,00	14,00	3,60	2,30
R7	32,00	34,48	8,62	5,00	14,00	3,60	2,30

Pomzanın tamir harcında agregası malzeme olarak kullanımında etkinliği ve performansını analiz etmek amacıyla öncelikle karışımında pomza agregası yer almayan bir seri kontrol karışımı tasarlanmış olup, bu tasarım "R0" olarak

kodlanmıştır. Ağırlıkça %32 çimento ve 0,63 su/çimento oranında pomza agregası kullanılmadan hazırlanan test örnekleri (R0) bu çalışmada referans değer olarak irdelenmiştir. Bununla birlikte harç örneklerinde etkinliğinin incelenmesi amacıyla pomzanın (ince/iri) boyut oranlarına bağlı 7 farklı karışım tasarımı yapılmıştır. Bu karışımlarda “*ince*” pomza olarak 100 mikron pomza ve “*iri*” pomza olarak da 0-2 mm pomza agregası kullanılmıştır. Pomza bileşenli karışımlarda ince/iri oranı sırasıyla her bir karışımda (%20:%80=0,25; %30:%70=0,43; %40:%60=0,67; %50:%50=1,00; %60:%40=1,50; %70:%30=2,33 ve %80:%20=4,00) oranları kullanılmıştır. Kontrol tamir harcı karışımı için elde edilmiş yaş harç kıvamına eşdeğer olacak harç kıvamının sağlanması amacıyla pomza agregasının ana agregası olarak kullanıldığı tüm karışımlarda su/çimento=0,72 oranında sabit değer olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, pomza agregalı tüm harç karışımlarında çimento oranı, toz kireç oranı, mikro silika, organik lif ve polimer katkı oranları ağırlıkça sabit oranlarda kullanılmıştır.

Hazırlanan harç karışımları belirlenen su/çimento oranındaki su ile düşük devirli bir karıştırıcıyla öncelikle 3-4 dakika boyunca topaklanma olmaksızın homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Elde edilen taze harç yaklaşık 4 dakika dinlendirilip tekrar 30 saniye kadar ilaveten karıştırıldıktan sonra yaş harç, test örneklerinin kalıplanması için hazır hale getirilmiştir. Karıştırma sonrasında test örneklerinin kalıplanması 20°C de yaklaşık 30 dakikalık süre içerisinde yapılmıştır. Dökümü yapılan test örneklerinin yüzeyleri ilk 24 saat boyunca sudan, güneş, rüzgâr ve dondan korunmuştur. Ayrıca özel maddeler ile hızlı buharlaştırma gibi benzeri herhangi bir uygulama yapılmamıştır.

Test örnekleri için hazırlanan her bir karışımdan 50x50x50 mm boyutlu küp numuneler ve ayrıca 40x40x160 mm boyutlu prizma formulu test örneklerinin dökümleri yapılmıştır. Test örnekleri dökümden 1 gün sonra kalıplardan çıkartılmış ve termostatlı bir kür tankında test tarihinden bir gün öncesine kadar su içerisinde kür işlemi uygulanmıştır. Teste tabi tutulacak tüm örneklerin test öncesi havalandırılmalı bir etüvde değişmez kütle değerine kadar kurutulması sağlanarak, kuru durumları için testler uygulanmıştır. Hazırlanan karışımlardan 1, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı 50 mm’lik küp numuneler üzerinde ASTM C109 (2017) standardında öngörülen prensiplere göre yapılmıştır. Hazırlanan karışımlardan 28 günlük eğilme dayanımı 40x40x160 mm’lik prizma numuneler üzerinde ASTM C348 (2021) standardında öngörülen prensiplere göre yapılmıştır. Ayrıca 28 günlük kür sonrası sertleşmiş harç örneklerinin Statik Elastisite Modül değerleri belirlenmiş olup, ASTM C642 (2017) standardına göre yoğunluk ve gözeneklilik değerleri analiz edilmiştir. Pomza agregası kullanımının tamir harcı örneklerinin kuruma büzülmesi davranışlarını analiz etmek amacıyla her bir karışımdan üçer adet 25x25x285 mm prizma şekilli test örnekleri hazırlanmıştır. Bu örnekler dökümden 24 saat sonra kalıptan çıkartılmış ve 48 saat süreyle termostatlı bir su kabini içinde 20°C sıcaklıkta su içerisinde kür işlemi uygulanmıştır. Sonrasında kür kabini içinde alınan test örnekleri sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %55 olan bir ortamda ASTM C596 (2018) standardına göre bekletilmiştir. Bu bekleme süresi içerisinde test örneklerindeki boy değişimi Eşitlik 1’de verilen bağıntı yardımıyla kuruma büzülmesi (rötre) değeri olarak hesaplanmıştır.

$$S = \frac{L_1 - L}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

Burada, S, test örneğinin kuruma büzülme % değerini; L₁, kür havuzundan çıkarıldıktan sonra başlangıç ölçüm değerini, mm; L, geçen günlere göre periyodik ölçüm değerini, mm; L₀, efektif ölçüm boyunu, mm, göstermektedir.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tiksotropik rötresiz ince tabaka tamir harcı analizi için farklı alternatif karışım tasarımlarında hazırlanan test örneklerinin bazı teknik bulguları Çizelge 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Tamir Harcı Örnekleriniz Analiz Bulguları

Karışım	Pomza (İnce/İri) Oranı	S/Ç	Toz Yığın Yoğunluk (kg/m ³)	Yaş Harç Yoğunluğu (kg/m ³)	Sertleşmiş Harç Yoğunluğu (kg/m ³)	Gözeneklilik Oranı (%)	Kuruma Büzülmesi (%)
R0	0,00	0,63	1398	1922	1676	5,7	0,0180
R1	0,25	0,72	1015	1502	1297	18,8	0,0193
R2	0,43	0,72	1026	1530	1329	17,6	0,0197
R3	0,67	0,72	1036	1553	1349	16,3	0,0208
R4	1,00	0,72	1038	1561	1357	15,2	0,0216
R5	1,50	0,72	1059	1599	1391	14,4	0,0219
R6	2,33	0,72	1070	1620	1410	13,7	0,0223
R7	4,00	0,72	1082	1644	1432	12,3	0,0227

Harç Karışımlarının Özellikleri

Tiksotropik ve rötresiz tamir harcı testleri için öncelikle bileşiminde pomza agrega yer almayan R0 kodlu kontrol test örneği amaçlı bir harç tasarımı yapılmış olup, kontrol harcının toz formda (Şekil 1) yığın yoğunluk değeri 1398 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Bu harç karışımı 0,63 su/çimento oranında su ile karıldığında taze yaş harcın (Şekil 2) birim hacim kütlesi 1922 kg/m³ ve 28 gün kür sonrası sertleşmiş harcın kuru harcın birim hacim kütlesi ise 1676 kg/m³'tür.



Şekil 1. R0 Karışımı Tamir Harcı Toz Formu



Şekil 2. R0 Karışımı Tamir Harcı Taze Yaş Harç Formu

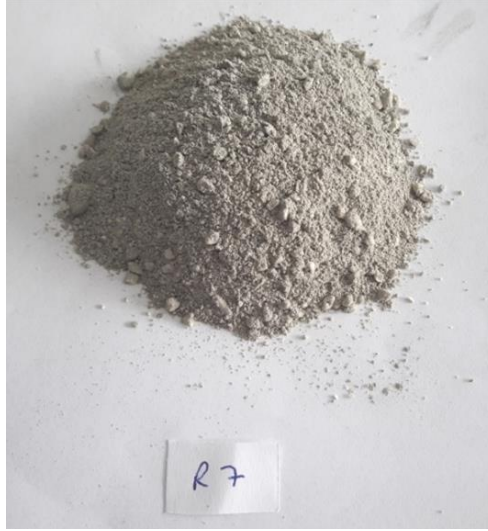
Pomzanın tamir harcı örneklerinde performansının incelenmesi amacıyla R1-R7 olarak kodlanmış 7 farklı ince/iri pomza oran kullanımında tasarlanmış örneklerin toz formda yığın yoğunluk değerleri ince/iri pomza oranına göre 1015- 1082 kg/m³ aralığında değişmektedir. Karışımdaki ince pomza oranı arttıkça toz formda yığın yoğunluk değeri de artmaktadır. En yüksek ince pomza kullanım oranlı karışımın (R7) toz yığın yoğunluk değeri, pomzanın gözenekli yapısı ve agrega olarak birim yoğunluğunun daha düşük olması sebebiyle kontrol harcından %22,6 daha hafiftir. R1 ve R7 karışımlarına ait toz formdaki tamir harcı genel görünüşleri Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. R1-R7 harç karışımlarının tamamı sabit 0,72 su/çimento oranında su ile karıldığında taze yaş harcın birim hacim kütlesi ince/iri pomza oran değişimine bağlı olarak 1502- 1644 kg/m³ aralığında, 28 gün kür sonrası sertleşmiş harç örneklerinin kuru harcın birim hacim kütlesi ise 1297- 1432 kg/m³ aralığındadır. R1 ve R7 karışımlarına ait taze yaş formdaki tamir harcı genel görünüşleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. En yüksek ince boyut pomza kullanım oranlı karışımın (R7) taze yaş harç ve sertleşmiş harç yoğunluk değeri kontrol harcından yaklaşık %14,5 daha hafiftir. İnce boyuttaki pomzanın tane boyutu kontrol harcında yer alan ana malzemenin tane boyutundan daha ince olduğu için, karma suyu sonrası harç karışımında daha fazla yerleşme oluşması sebebiyle kontrol harcının toz yığın yoğunluğuna kıyasla daha düşük bir yoğunluk farkı elde edilmiştir.



Şekil 3. R1 Karışımı Tamir Harcı Toz Formu



Şekil 4. R1 Karışımı Taze Yaş Harç Formu

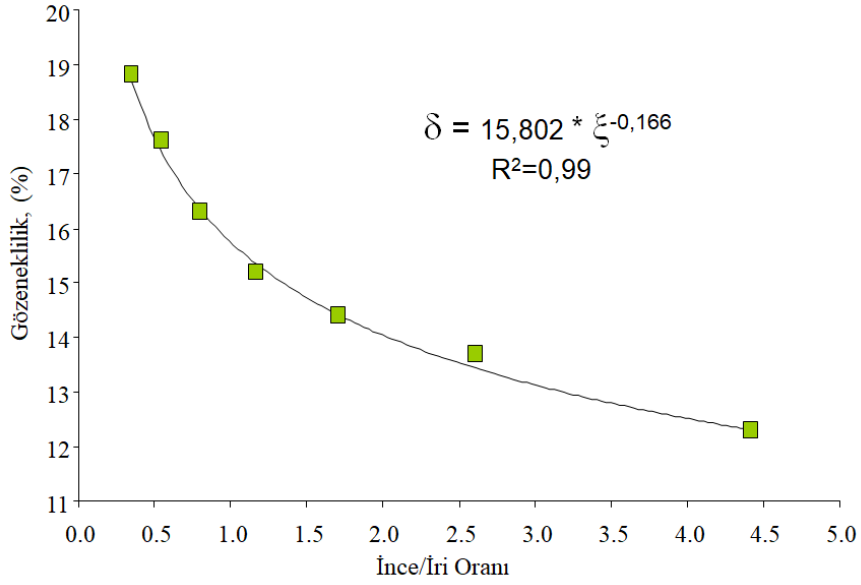


Şekil 5. R7 Karışımı Tamir Harcı Toz Formu



Şekil 6. R7 Karışımı Taze Yaş Harç Formu

Çizelge 2’den görüldüğü üzere, kontrol harcı kapalı ve açık gözeneklerin oluşturduğu toplam gözeneklilik oranı %5,7 olarak belirlenmiştir. Pomzanın harç bileşiminde yer alması, agreganın doğal gözenekli yapısı sebebiyle kullanım oranına göre değişmekle birlikte, pomza iri boyut malzeme oranı arttıkça harcın toplam gözeneklilik değeri de artmaktadır. İnce/iri pomza 0,25 – 4,00 oran değişiminde harç örneklerinin gözeneklilik oranı %12,3 - %18,8 oranında değişmektedir. İri boyutlu en az pomzanın kullanıldığı R1 karışımının gözenekliliği kontrol harcına göre 2,15 kat, iri pomzanın en çok kullanıldığı R7 karışımının gözenekliliği ise kontrol harcına göre 3,3 kat daha fazladır. Bu da pomza içerikli tamir harçlarının yapısal özelliğinin kontrol harcından oldukça farklılık göstereceğini temsil eder. Pomza bileşenli tamir harç örneklerinin toplam karışımdaki ince/iri malzeme oranı “ ξ ” ile toplam gözeneklilik “ δ ” değişimi arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil 7’de verilmiştir. Grafiksel analizden de görüldüğü üzere, karışım tasarımında ince pomza boyut miktarı arttıkça, sertleşmiş harcın toplam gözeneklilik oranı azalmaktadır.



Şekil 7. İnce/İri Oranı 'ξ' – Harcın Gözeneklilik Oranı 'δ' İlişkisi

Tamir harcı örneklerinin 28 gün sonrası mikroyapı analizleri yapıldığında farklı karakteristikte matris formlarının oluşturduğu gözlenmiştir. Kontrol harcı R0 ve iki ayrı pomza (ince/iri) oran değişimine sahip R1 ve R7 karışımlarını temsilen mikroyapı görselleri sembolik olarak Şekil 8 – Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 8. Kontrol Harcı R0 Matris Yapısı



Şekil 9. %20:%80 İnce:İri Pomzalı R1 Matris Yapısı



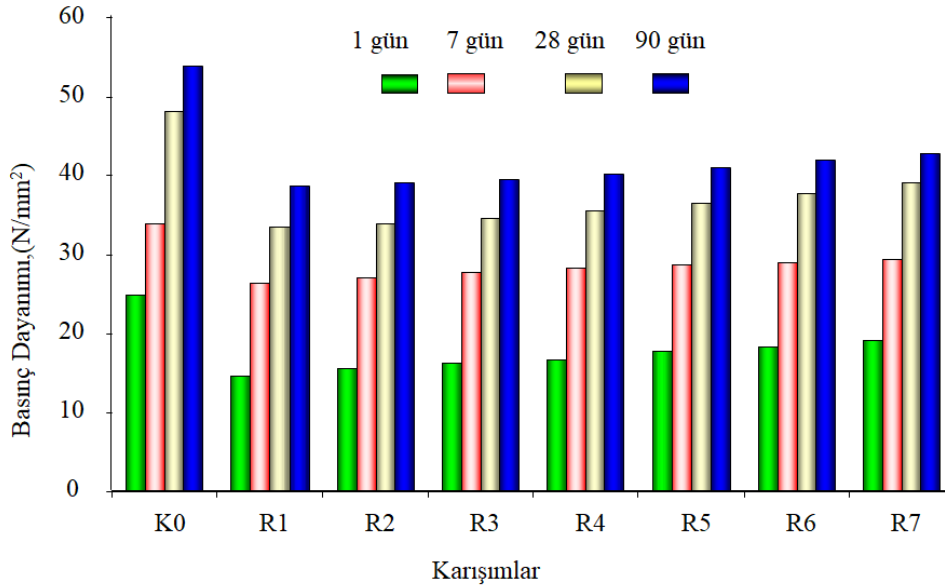
Şekil 10. %80:%20 İnce:İri Pomzalı R7 Matris Yapısı

Kontrol harcının matris yapısı, düşük gözenek oranlı bir form sergilemektedir (Şekil 8). Karışımdaki mikro silika tanelerinin matris yapıda homojen yapıda bir şekilde dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca, matris yapıyı oluşturan tüm agrega tanelerinin ince boyutlu tanelerden oluştuğu da görülmektedir. Pomza agregalı karışımlardan %20:%80 ince:iri pomza oranlı R1 matris yapısı ise iri boyutlu pomzanın varlığıyla dikkat çekmektedir (Şekil 9). İri boyutlu pomza tanelerinin matris yapıda heterojen bir dağılım sergilemiş olup, yer yer matris hamurunda gözenek oluşumlarının meydana geldiği de görülmektedir. Pomza agregalı karışımlardan %80:%20 ince:iri pomza oranlı R7 matris yapısı (Şekil 10) ise kısmen kontrol harcı matris görünümüne benzemektedir. İnce boyutlu pomza miktarının çokluğu, matris yapının daha homojen bir görsel format oluşmasını sağlamıştır. Ayrıca matris hamurunda mikro ölçekli homojen dağılımlı gözeneklerin oluştuğu da görülmüştür.

Dayanım Özellikleri

İnce tabaka tamir harcı karışımları için bu çalışmada dayanım özelliklerini incelemek amacıyla başlıca üç parametre irdelenmiştir: *Basınç dayanımı*, *eğilme dayanımı* ve *elastisite modülü* değerleri analizi. İnce tabaka tamir harcı karışımlarının 1, 7, 28 ve 90 gün sonrasında basınç dayanımı sonuçları Şekil 11’de özetlenmiştir. Buradaki basınç dayanım değerleri her bir seriden üçer adet test örneğinin bulgularının ortalamasını temsil etmektedir.

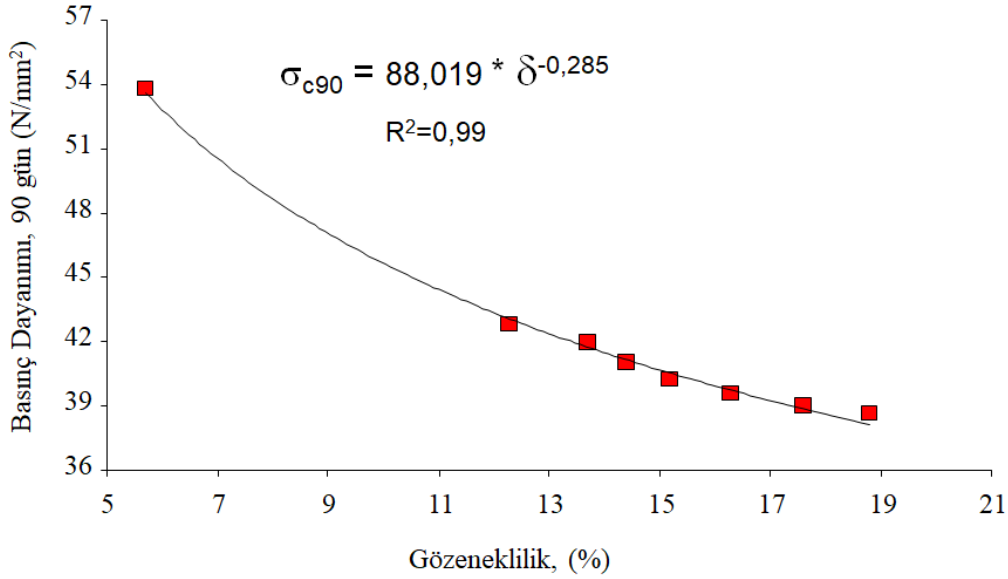
Her bir karışımın basınç dayanım değerleri zamana bağlı olarak artmıştır. Kontrol harcı karışımın zamana bağlı dayanım değerleri 1, 7, 28 ve 90. günde sırasıyla 24,8, 33,9, 48,1 ve 53,8 N/mm² değerlerine ulaşmıştır. Pomzanın karışım bileşeni olarak kullanıldığı test örneklerinde ince boyut pomza oranı arttıkça tüm kür sürelerinde dayanım değerleri artış göstermiştir. İnce boyut pomzanın en düşük oranda kullanıldığı karışımda (R1) zamana bağlı (1, 7, 28 ve 90. gün) basınç dayanım değişimi sırasıyla 14,7, 26,3, 33,5 ve 38,6 N/mm²’dir. Dayanım değerlerinin kontrol karışımına göre sırasıyla %40,7, %22,4, %30,4 ve %28,3 oranlarında daha düşük seviyede kalmıştır. Bununla birlikte, ince boyut pomzanın en yüksek oranda kullanıldığı karışımda (R7) zamana bağlı (1, 7, 28 ve 90. gün) basınç dayanım değişimi ise sırasıyla 19,2, 29,4, 39,0 ve 42,8 N/mm²’dir. Dayanım değerlerinin kontrol karışımına göre sırasıyla %22,6, %13,3, %18,9 ve %20,4 oranlarında daha düşük seviyede kalmıştır.



Şekil 11. İnce Tabaka Tamir Harcı Karışımlarının Basınç Dayanımı Analiz Bulguları

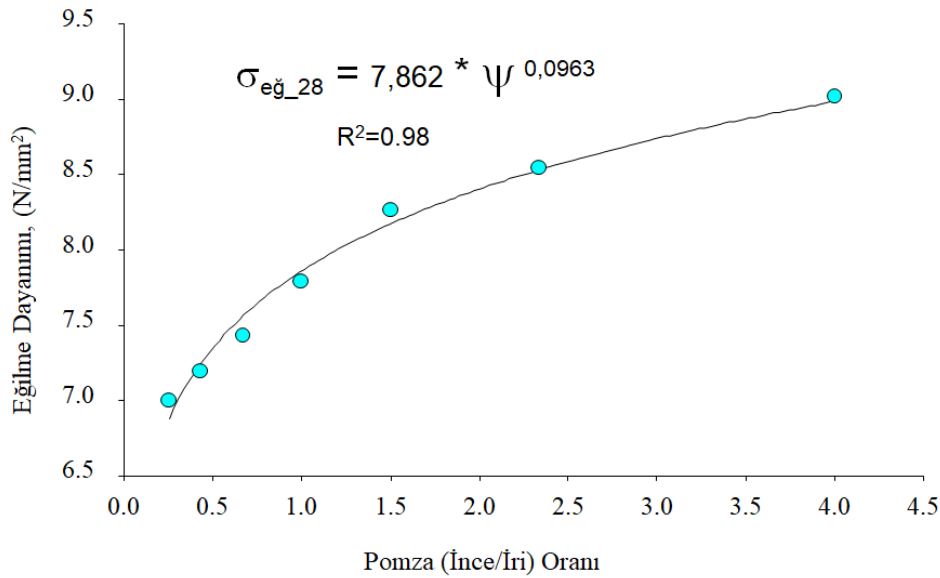
Pomza boyutu küçüldükçe, agrega malzemedeki gözenek oranının düşmesi basınç dayanım değerlerinin artmasına katkı sağlamıştır. Bununla birlikte, 100 mikron boyut altı pomza malzemesi içerisinde 40 mikron ve daha düşük boyutlu tanelerin varlığı, karışımında yer alan kireç ile birlikte pomzanın daha aktif bir puzolanlık görevi sergilediği ve harcın basınç dayanımının iyileşmesine de ilave bir katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca pomza tane boyutunun inceliği, harcın matris yapısında diğer materyaller ile daha yüksek bir bağ dokusu oluşturduğu gözlenmiş olup, dayanımı pozitif yönde etkilemiştir. İnce tabaka uygulama amaçlı tamir harçlarının endüstriyel kullanımları genel olarak literatür bağlamında irdelendiğinde zamana bağlı basınç dayanım değerlerinin genel bir eğilim olarak 1 günlük dayanım değerinin $>18 \text{ N/mm}^2$, 7 günlük dayanım değerinin $>30 \text{ N/mm}^2$ ve 28 günlük dayanım değerinin ise $>35 \text{ N/mm}^2$ olduğu tecrübe edinilmiştir (EMACO 2022; Tarmac, 2022; Curtis, 2001). Bu bağlamda test bulguları analiz edildiğinde, kontrol karışımının basınç dayanım değerleri genel eğilimle örtüşmektedir. Ancak, pomza agregalı tamir harcı örneklerinin ise erken mukavemet sağlama bakımından R6 ve R7 karışımlarının 1 günlük basınç dayanım değerleri örtüşmektedir. 28 günlük basınç dayanım değerleri açısından R4 ve sonrasındaki tüm seri test örneklerinin öngörülebilecek dayanım değerini sağlayabildiği görülmüştür.

Test örneklerinde matris yapıdaki gözeneklilik oranının “δ” harcın basınç dayanımına doğrudan etken bir faktör olduğu belirlenmiş olup, bu etkileşim 90 günlük harç örneklerinin dayanımı “ σ_{c90} ” için grafiksel olarak Şekil 12’de verilmiştir. Bu analizden görüldüğü üzere, harcın matris yapısında toplam gözeneklilik artışı dayanımı düşürücü bir rol üstlenmiştir. Matris yapıda %10’luk bir gözeneklilik oranının oluşmasından sonra ileri yaşlarda dahi tamir harcı dayanımını önemli düzeylerde düşüğü ve zayıfladığı görülmüştür. Ancak, agrega bünyesindeki gözenek karakteristiğinde kapalı gözenek oranı arttıkça, harç matrisinde hamur da dahil gözenekliliği artsa bile basınç dayanım değerinden eşdeğer oranda bir zayıflama meydana gelmemektedir. Burada edinilen temel tecrübe, pomza agreganın doğal yapısında yer alan gözeneklerin kapalı ve/veya açık formda olmaları, dayanım performansını doğrudan etkileyen faktörden biri olarak görülebilmektedir. Açık gözenek miktarının yüksek miktarlarda yer alması, kapalı gözenek oranına kıyasla daha düşük dayanımlı harç matrislerinin oluşmasına sebep olabilmektedir.



Şekil 12. Test Örneklerinin Gözeneklilik Oranı 'δ' - Basınç Dayanımı İlişkisi 'σc90' (90 Gün)

Araştırmada bir diğer inceleme, tüm harç karışımlarının 28 gün sonrası eğilme dayanım ($\sigma_{eğ_28}$) değerleri analiz edilmiş olup, karışım tasarımında pomza ince/iri boyut oranına "ψ" bağlı değişimi grafiksel olarak Şekil 13'de gösterilmiştir.

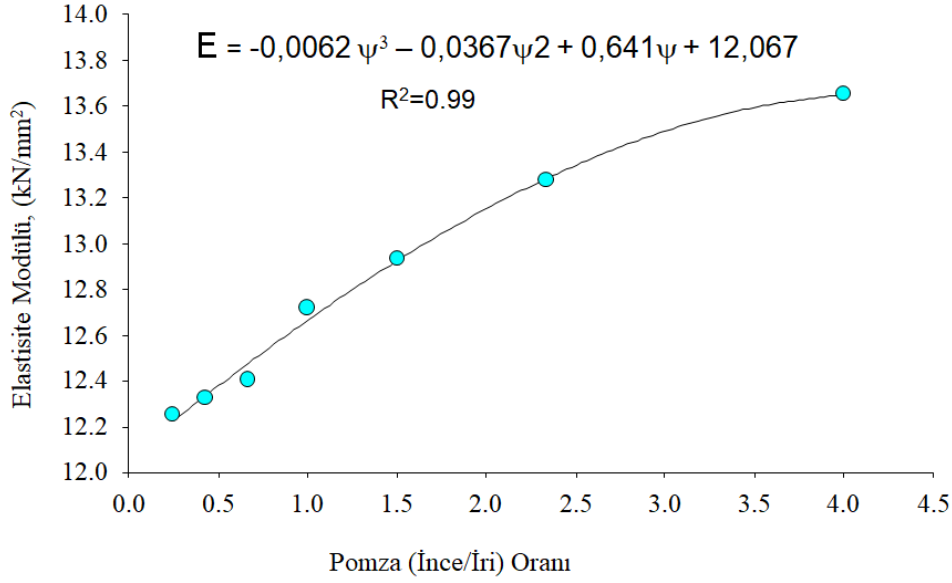


Şekil 13. Pomza (İnce/İri) Oranı 'ψ' - Eğilme Dayanımı "σeğ-28" İlişkisi (28 Gün)

Kontrol harcı örneğinin eğilme dayanım 9,79 N/mm² olup, yaklaşık eşdeğer kür süresinde basınç dayanımının %20,35'i kadardır. İnce boyut pomza malzemenin düşük oranda kullanımına (R1) ait harcın 28 günlük eğilme dayanım değeri ise ortalama 7,0 N/mm²'dir. Bu değerde aynı harç karışımına ait eşdeğer kür süresinde basınç dayanımının %20,9'u kadardır. Ancak, basınç dayanımındaki bulgulara benzer şekilde, karşımda ince boyut pomza miktarı arttığında harcın eğilme dayanım değeri de artmaktadır. İnce boyut pomzanın en yüksek kullanımlı (R7) karışımının eğilme dayanımı kontrol harcı değerinin yaklaşık %8 daha düşük olarak 9,02 N/mm²'dir. Karışım tasarımında pomza agrega boyutu ve kullanım oranına bağlı hemen hemen kontrol harcı eğilme dayanımı değerlerine ulaşılabilceği öngörülebilmeaktadır.

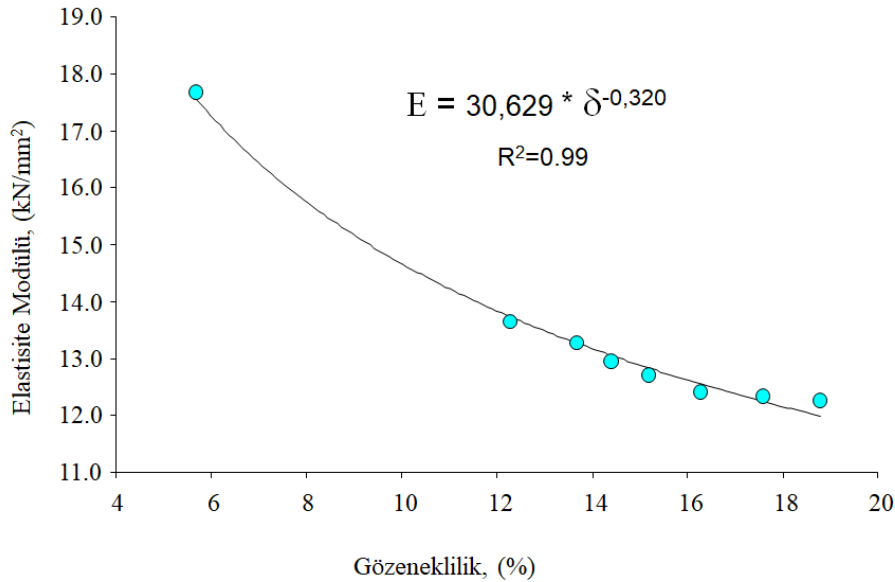
Tamir harcı test örneklerinin artan basınç dayanımlarına bağlı olarak elastisite modülü "E" değerleri de artmaktadır. Kontrol harcı örneğinin elastisite modülü 17,68 kN/mm²'dir. Pomza agregalı tamir harcı test örneklerinin elastisite modülü değerleri ise pomzanın ince/iri oran değişimine bağlı 12,26 – 13,65 kN/mm

aralığındadır. Harç karışımında pomzanın ince boyut oranı arttıkça elastisite modülü de artmaktadır. Bu değişim grafiksel olarak Şekil 14’de analiz edilmiştir.



Şekil 14. Pomza (İnce/İri) Oranı 'ψ' - Elastisite Modülü İlişkisi (28 Gün)

İnce boyutta pomzanın iri boyuta göre karışımdaki varlığı arttıkça, harcın matris yapısında gelişen kohezyona bağlı elastisite özelliğini de geliştirmektedir. Ayrıca, pomzanın ince boyutu ve harç bileşiminde kirecin varlığı ile birlikte gelişen puzolanik aktiviteye bağlı matris yapı daha da mukavemet kazanarak elastisite özelliğini iyileştirmektedir. Ancak, pomza ince/iri boyut oranı 4,00 olan R7 karışımında en yüksek oranda ince boyutlu pomza kullanımıyla birlikte, kontrol harcının elastisite modülü değerinden yaklaşık %23 daha küçük bir değere ulaşılmıştır. Bununla birlikte matris yapının gözeneklilik durumu da harcın elastisite özelliğini doğrudan etkileyen ana faktörler arasındadır. Gözenekliliğe bağlı elastisite değişimi regresyonel bir yaklaşımla Şekil 15’de verilmiştir.



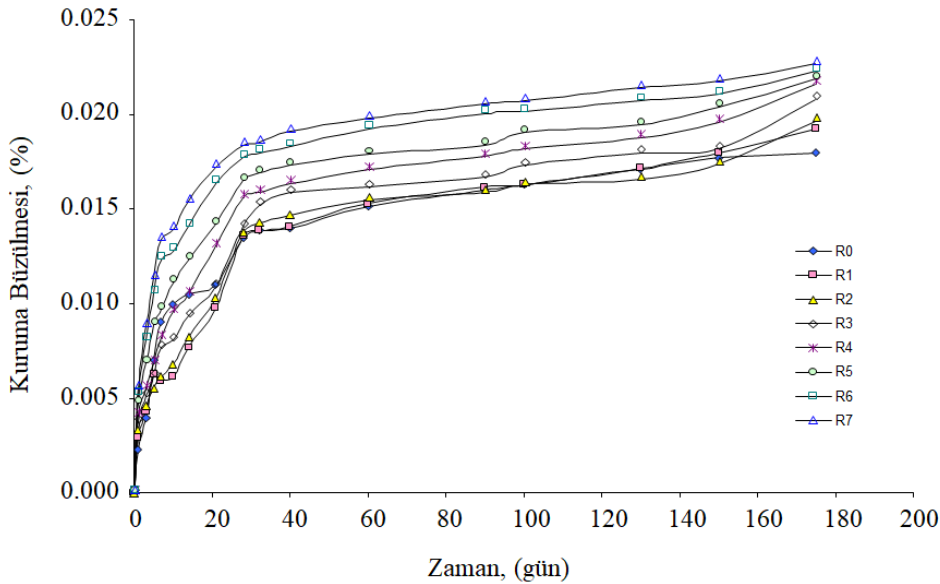
Şekil 15. Test Örneklerinin Gözeneklilik Oranı 'δ' - Elastisite Modülü İlişkisi (28 Gün)

Harcın gözenekliliği arttıkça elastisite modülü değeri düşmektedir. Gözenekliliğin artması matris yapının yük altında daha kırılabilir ve daha yerleşebilir bir nitelik kazanmasını sağlamaktadır. Bu da harcın elastisite özelliğini zayıflatan bir etki olarak görülebilmektedir. Tamir harcı uygulamalarında özellikle yüksek elastisite değerinin öngörüldüğü durumlarda, gözenekliliği düşük harç tasarımları kullanmak önem kazanırken, birim yoğunluğu düşük

ancak elastisite modülü yüksek bir malzeme uygulanması gerektiği durumlar için bileşiminde ince boyut pomzanın yer aldığı harç karışımları daha etkin bir sonuç oluşturacağı bu analiz bulgularından öngörülebilir.

Rötre Özellikleri

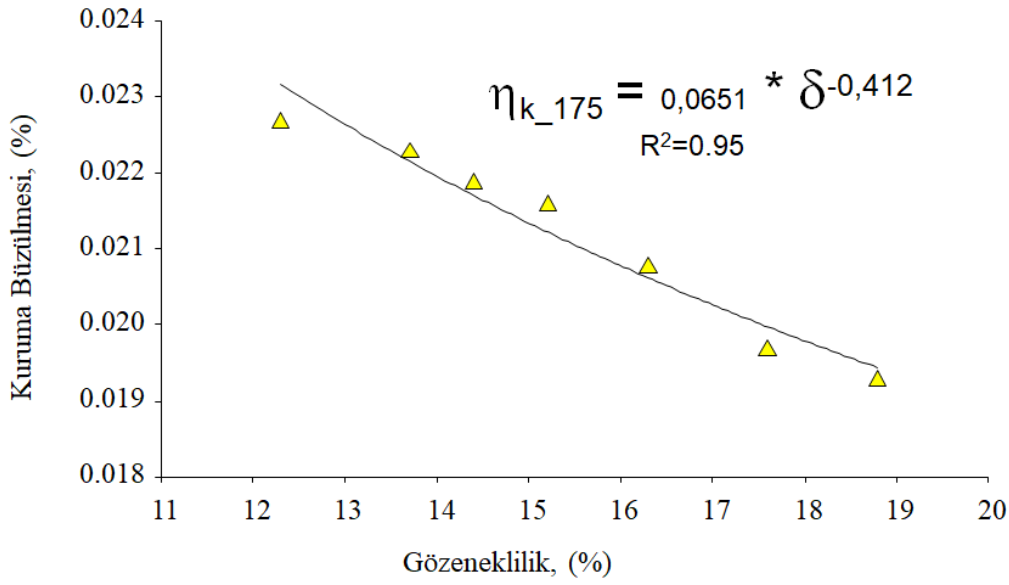
Beton onarım malzemeleri ve/veya tamir harcı performansı üzerinde en önemli etkiye sahip özelliğin genel olarak kuruma büzülmesi olduğu kaydedilmiştir (Mirza et al., 2002). Harç karışımlarının zamana bağlı kuruma büzülmesi analiz bulguları Şekil 16'de gösterilmiştir. Bu analizde her bir değer en az üç ölçüm değerinin ortalaması olarak değerlendirilmiştir. Pomza agreganın yer almadığı tamir harcı örneğinde ilk günlerde kuruma büzülme artışı hızlı olup, ilerleyen zamanlarda büzülme hızı düşmektedir. Bu olgunun pomzanın kullanıldığı tüm karışımlarda daha belirgin bir eğilim olduğu görülmektedir. Kuruma büzülmesi testleri tüm test örnekleri için 175 gün süreyle yapılmıştır. 21. günden sonra kuruma büzülme artış hızlarında belirgin bir yavaşlamanın olduğu görülmekle birlikte, 60'ıncı günden sonra neredeyse ihmal edilebilir düzeyde düşük bir hızla artışın seyrettiği belirlenmiştir. Kontrol harcının 175 gün sonrasında kuruma büzülmesi ortalama %0,018 iken pomza agregalı karışımların kuruma büzülmesi oranı %0,0193-%0,0227 aralığındadır. Her ne kadar pomza agregalı örneklerin kuruma büzülmesi oranları kontrol harcından görece yüksek bir değerde olmasına rağmen, elde edilen sayısal büyüklükler rötre açısından kabul edilebilir düzeydedir. Karışımındaki pomza ince boyut miktarı arttıkça, harcın kuruma büzülmesi de artmaktadır. Genel bir eğilim olarak gözenekliliği yüksek bir agrega malzemenin ince tabaka harçlarda kullanımında rötre değerlerinin yüksek olabileceği beklentisi kuvvetle ihtimaldir. Ancak, harç tasarımında gerek agrega boyutu, malzemeler arasındaki uyum ve gerekse katkı olarak kullanılan bileşenlerin hidrasyon sürecinde oluşturacağı reaksiyonlara bağlı olarak, harcın priz süresi ve sonrasında kuruma büzülmesi değerleri kontrol edilebilir ve arzu edilen seviyelerde değişim göstermesi yapılacak ArGe çalışmalarıyla mümkün kılınabilmektedir. Harç tasarımında kullanılan rötre önleyici polimer katkının da etkisiyle tüm harç örneklerinde düşük seviyelerde kabul edilebilecek bir kuruma büzülme olgusu elde edilmiştir. ASTM C928-92a (2005) standardına göre, beton onarımları için hızlı sertleşen çimento bağlayıcılı harç örneklerinin kuruma büzülmesi veya genişemesinin başlangıç uzunluklarının %0,15'ini geçmemesi ve ikisinin toplam mutlak değerinin, diğer bir deyişle büzülme ve genişemenin %0,20'yi geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. Bu bağlamda, pomza agregalı tamir harcı karışımlarının kuruma büzülmesi için bu genel trendi sağladığı görülmektedir.



Şekil 16. Test Örneklerinin Zamana Bağlı Kuruma Büzülme Oranı Değişimi

Bilindiği gibi, çimentonun ana bağlayıcı olarak kullanıldığı ince tabaka harç tasarımlarında, hidrasyon sürecinde ve sonrasında bünyede mevcut olan suyun zamanla kaybı sonucu, matris yapıda büzülme olgusu gelişebilmektedir. Bu sebeple, karışımda yer alan malzeme bileşenlerinin karakteristiklerine de bağlı matris yapının gerek gözenekliliği gerekse geçirgenlik özelliği, kuruma büzülme davranışını önemli ölçekte etkilemektedir. Bu bağlamda, gözenekliliği en düşük olan matris yapıyı oluşturan karışımların düşük geçirgenlik karakteristiği sergilemesi olası bir sonuçtur. Ancak, tamir harcı örneklerinde pomzanın ince boyutta kullanımı arttığında, azalan gözeneklilik oranına rağmen kuruma büzülmesinin arttığı sonucu elde edilmiştir. Pomzanın orijinde doğal gözenekli yapısı sebebiyle tane boyutu küçültülmesine rağmen agrega yapısında gözenekliliği tamamen

kaybolmamaktadır. Bununla birlikte, toplam gözeneklilik içerisinde ince boyutta pomza malzemelerin kapalı gözenek oranı açık gözeneklilik durumuna göre daha yüksektir. Bu da karma suyu sonrasında matris yapıda daha uzun sürede su tutulumunu sağlamakta ve bünyeden su atılım süreci de görece daha uzun zaman almaktadır. Bünyeden suyun atılma süresi uzadıkça, matris yapının büzülme davranışının da devam edebildiği görülmektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak, ince taneli, su emme kapasitesi yüksek ve aynı zamanda gözenekliliği olan agrega malzemelerin ince tabaka harç tasarımlarında kuruma büzülme davranışlarının da kontrol harcı değerlerine göre farklı bir davranış sergileyebilmesi mümkün olabilmektedir. Pomza agregalı tamir harçları için hazırlanan test örneklerinin kuruma büzülme “ η_k ” davranışındaki bu değişim, harcın gözeneklilik “ δ ” oranına bağlı olarak analiz edilmiş olup, 175 gün sonrası değerlere ilişkin grafiksel değerlendirme Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Gözeneklilik Oranı “ δ ”- Kuruma Büzülme Oranı “ η_k ” İlişkisi

Grafiksel analiz irdelendiği görüldüğü üzere, tamir harcı örneklerinde pomza ince boyut oranı iri boyuta kıyasla arttığında, kuruma büzülme değerlerinde bir düşme görülmektedir. Bu analizde gözenekliliğin artışı, karışımdaki iri taneli pomza agregaların varlığı ve matris yapıda açık gözenek oranının yüksek oluşuna bağlıdır. Gözeneklilik oranının düşük olduğu pomzalı karışımlar ince boyutlu pomza agrega malzemelerin yüksek oranda olduğu karışımlara ait olup, kapalı gözenek varlığı daha yüksek olan matris yapıları temsil etmektedir. Kapalı gözenek miktarının artışı, matris yapıda suyun daha uzun sürede tutulması ve dolayısıyla suyun daha uzun bir zaman periyodunda kaybı, kısmen daha yüksek kuruma büzülme davranışı sergilemesine neden olmaktadır. Ancak, test bulgularında nihai olarak elde edilen kuruma büzülme oranı değerleri gerek ASTM C 928 gerekse endüstriyel olarak kabul edilebilen maksimum $\%0,15$ oran şartını sağladığı için, uygun birer rötre değerine sahip olduğu görülebilmektedir. Bununla birlikte, ölçülen kuruma büzülme oranı değerleri ASTM C 928 (2005) standardında öngörülen limit $\%0,15</math>'lik değer yaklaşık 6,5 kat daha az oranında gerçekleştiği için bu harç tasarımları rötresiz harç olarak düşünülebilir.$

Kuruma büzülmesinin yoğun olarak geliştiği harç uygulama yüzeylerinde çatlak oluşumları genelde gözlenen bir durumdur. Mirza et al. (2002) beton onarımı için geliştirilen harçlarda çatlama ve/veya ayrılmanın çoğunluğunun ilk 3 gün içinde meydana geldiğini ve bundan sonraki zaman diliminde stabilize olma eğilimin olduğunu belirtmişlerdir. Bu karakteristik davranışın, yüksek derecede büzülme gösteren harçlarda belirgin bir şekilde gözlemlendiğini vurgulamışlardır. Çatlak oluşumlarının genellikle çok hızlı kuruma davranışı gösteren yüzeylerde kısa bir sürede oluşurken, su atılım süresi uzayan harçlarda kuruma büzülmesi değerine bağlı olarak çatlak oluşumları da zamanla gelişim gösterebilmektedir. Bu olgunun genel bir eğilim olarak kuruma büzülme oranı $\%0,15</math>'ten fazla olduğu harç yüzeylerinde belirginlik kazandığı teknik olarak tecrübe edinilmiştir. Ancak, çalışma kapsamında analiz yapılan tüm test örneklerinde kuruma büzülme davranışı sonrası çatlak oluşumları, mikroyapı analizleriyle değerlendirilmiş olup, numune yüzeylerinde herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanılmamıştır.$

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, volkanik orijinli ve doğal gözenekli bir yapıya sahip olan pomza kayacının ince tabaka tiksotropik rötresiz tamir harçlarında kullanımı ile harcın performansına etkisi incelenmiştir. Laboratuvar ortamında test edilen 8 farklı karışım tasarımına sahip pomza agregalı polimer modifiyeli çimento esaslı tamir harcı örneklerinin detaylı performans bulguları tartışılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre;

- 1- Beklenildiği gibi pomza kullanımı ile birlikte tamir harcı örneklerinin taze ve sertleşmiş yığın yoğunlukları azalmıştır.
- 2- Benzer şekilde gözenekli ve hafif yapıdaki pomza agregası tamir harcının gözeneklilik oranını artırmıştır.
- 3- Yapılan mikroskobik analizlerde agregaların harç örnekleri içerisinde homojen dağılabildiğini göstermiştir.
- 4- Hafif yapısı sayesinde sertleşmiş harçlarda da hafif harç formunu oluşturabilen pomza agregası, bu çalışmada üretilen tamir harçlarının da beklenildiği üzere hafiflemesini sağlamış buna karşın birim hacim ağırlıkları düşen harçların yine beklenildiği üzere dayanımlarında kontrol harcına kıyasla düşüş kaydedilmiştir.
- 5- Bununla birlikte pomzanın mikronize boyutta kullanımının puzolanik özelliği olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada da ince pomza miktarının artması ile uzun dönem basınç dayanımlarının iyileştiği tespit edilmiştir.
- 6- Benzer şekilde ince pomza miktarındaki artış eğilme dayanımında da artışa sebep olmuştur.
- 7- Tamir harcı test örneklerinin artan basınç dayanımlarına bağlı olarak elastisite modülü “E” değerleri de artmaktadır.
- 8- Kontrol harcının 175 gün sonrasında kuruma büzülmesi ortalama %0,018 iken pomza agregalı karışımların kuruma büzülmesi oranı %0,0193-%0,0227 aralığındadır. Her ne kadar pomza agregalı örneklerin kuruma büzülmesi oranları kontrol harcından görece yüksek bir değerde olmasına rağmen, elde edilen sayısal büyüklükler rötre açısından kabul edilebilir düzeydedir. ASTM C928-92a (2005) standardına göre, beton onarımları için hızlı sertleşen çimento bağlayıcı harç örneklerinin kuruma büzülmesi veya genleşmesinin başlangıç uzunluklarının %0,15’ini geçmemesi ve ikisinin toplam mutlak değerinin, diğer bir deyişle büzülme ve genleşmenin %0,20’yi geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. Bu bağlamda, pomza agregalı tamir harcı karışımlarının kuruma büzülmesi için bu genel trendi sağladığı görülmektedir.
- 9- Bununla birlikte, ölçülen kuruma büzülme oranı değerleri ASTM C 928 (2005) standardında öngörülen limit %0,15’lik değerın yaklaşık 6,5 kat daha az oranında gerçekleştiği için bu harç tasarımları rötresiz harç olarak düşünülebilir.

Pomzanın uygun miktarlarda farklı boyut dağılımına sahip bir şekilde tamir harcı karışımlarında kullanımı, tiksotropik özellikte sarkma ve akma yapmayan, rötre davranışı sergilemeyen ve ayrıca ilgili standartların öngördüğü teknik limitleri sağlayabilen harçların elde edilebileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Ahmadi, M., Farzin, S., Hassani, A. & Motamedi, M. (2017). Mechanical properties of the concrete containing recycled fibers and aggregates. *Construction and Building Materials*, 144, 392–398. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.215>
- ASTM, (2021). ASTM C348, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, ASTM International, 2021 Edition, April 1,.
- ASTM, (2018). ASTM C596, Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement, , ASTM International, West Conshohocken, PA,.
- ASTM, (2017). ASTM C109, Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic Cement Mortars, ASTM International, West Conshohocken, PA,.
- ASTM, (2017). ASTM C642, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, , ASTM International, West Conshohocken, PA,.
- ASTM, (2005). ASTM C928, Standard Specification for Packaged, Dry, Rapid-Hardening Cementitious Materials for Concrete Repairs, ASTM International, 2005 Edition, May 1,.
- Benharzallah, K., Bouhicha, M., Kenai, S. & Courard, L. (2018). Formulation of low cost eco-repair mortar based on dune sand and Stipa tenacissima microfibers plant. *Construction and Building Materials*, 171, 950–959. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.200>
- Curtis, (2001). Lightweight Repair Mortar, *Fast-setting repair mortar*, A technical Report, ISSUE 02ASS, <https://curtis-enterprises.com/html/Industrial%20Flooring/Mortars%20&%20Grouts/Repair%20Mortars/Lightweight%20Repair%20Mortar.pdf> Accessed 20.03.22.

- EMACO, (2022). EMACO S88C (Thixotropic), Cementitious trowel applied shrinkage compensated structural repair mortar, A technical document, BASF Construction Chemicals New Zealand Ltd.
- Fixa, (2017). Rötresiz grout harçları ne tip uygulamalarda kullanılır?.. <http://fixa.com.tr/?sss/rotresiz-grout-harclari-ne-tip-uygulamalarda-kullanilir> Accessed 20.03.22.
- Kawashima, S. & Shah, S. P. (2011). Early-age autogenous and drying shrinkage behavior of cellulose fiber-reinforced cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 33, 2, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.10.018>
- Mirza J., Mirza M. S. & Lapointe R. (2002). Laboratory and field performance of polymer-modified cement-based repair mortars in cold climates. *Construction and Building Materials*, 16(6), 365–374. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00027-2)
- Mohammadi, M., Moghtadaei, R. M. & Samani, R. A. (2014). Influence of silica fume and metakaolin with two different types of interfacial adhesives on the bond strength of repaired concrete. *Construction and Building Materials*, 51, 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.048>
- Pekmezci, B. Y., & Atahan, H. N. (2014). Kimyasal ve nano katkıları: betonda kullanımı ve beton performansına etkileri. *Hazır Beton Dergisi*, Mayıs-Haziran, 69, 82.
- Rapoport, J. R. & Shah, S. P. (2005). Cast-in-place cellulose fiber-reinforced cement paste, mortar, and concrete. *ACI Materials Journal*, 102, 5, 299–306. Retrieved from <https://www.proquest.com/scholarly-journals/cast-place-cellulose-fiber-reinforced-cement/docview/197991522/se-2?accountid=141837>
- Shaikh, F. U. A. (2016). Mechanical and durability properties of fly ash geopolymer concrete containing recycled coarse aggregates. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 277–287. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.05.009>
- Tarmac, (2022). “Pozament Concrete Repair”, Pozament – Tarmac Building Products Ltd, Swains Park Industrial Estate. www.pozament.co.uk Accessed 20.03.22.
- Tayeh, B. A., Bakar, B. H. A. & Johari, M. A. M. (2013). The relationship between substrate roughness parameters and bond strength of ultra-high-performance fiber concrete. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27(16), 1790–1810. <https://doi.org/10.1080/01694243.2012.761543>
- Toledo Filho, R. D., Ghavami, K., Sanjuán, M. A. & England, G. L. (2005). Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), 537–546. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.005>
- TSE, (2015). TS EN 459-1, Yapı kireci - Bölüm 1: Tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri,.
- Xiong, G., Liu, J. & Li, G. (2002). A way for improving interfacial transition zone between concrete substrate and repair materials. *Cement and Concrete Research*, 32(12), 1877–1881. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00840-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00840-2)