

Poli vinil alkol (PVA) lif boyutunun çimento esaslı hafif harcın özelliklerine etkisi üzerine bir inceleme

Osman UĞURER¹, Şevket Onur KALKAN^{1*}, Lütfullah GÜNDÜZ¹

¹İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. İnşaat Müh. Böl., İzmir.

Geliş Tarihi (Received Date): 04.06.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.05.2023

Öz

Çimento bağlayıcılı malzemelerin gevrek olması istenilmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Gevrek karaktere sahip harçlar uygulanan yükler altında kırılma özelliği gösterirler. Taşıyabileceği yük ve sönümleyebileceği enerji sınırına ulaştıkları zaman kırılmalar meydana gelir. Çimentolu ürünlerin bu tip özellikler sergilemesi kullanım amacına da bağlı olarak çoğunlukla istenmeyen bir durum olarak değerlendirilebilmektedir. Daha sünek ve daha fazla enerji sönümleyebilen harçlar tercih edilmektedir. Çimento esaslı harçlara süneklik kazandırabilmek ve daha fazla enerji sönümletebilmek amacıyla farklı lifler kullanılabilir. Bu deneysel çalışmada Poli Vinil Alkol (PVA) lif boyutunun çimento esaslı hafif harcın özelliklerine etkilerinin incelenmesi amacıyla 9 farklı harç kombinasyonu hazırlanmış, karışımlara ağırlıkça %0.3, %0.6, %1, %1.4 oranlarında PVA lif ilave edilerek harç örnekleri hazırlanmıştır. 6 mm ve 8 mm uzunluklarında olmak üzere 2 farklı boyutta PVA lif kullanılarak hazırlanan test örneklerinin yanı sıra referans amaçlı lif içermeyen kontrol örnekleri de hazırlanmıştır. Tüm test örneklerinin basınç dayanımı, su emme ve ultrases geçiş hızı testleri deneysel olarak yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, 6 mm PVA lif kullanım miktarı artırıldığında harcın basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerlerinde artma gözlemlenirken, kütlece su emme ve kapiler su emme değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 8 mm boyutunda PVA lif kullanım miktarı artırıldığında basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı ve su emme değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Kontrol harcının yük altında deformasyon değerinin daha az olduğu ve bu harcın daha kırılma olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, harca lif ilavesi ile birlikte, lif oranı da arttıkça, harçların daha sünek bir davranış sergilediği tespit edilmiştir. Bununla beraber, 6 mm PVA liflerinin hem kırılma yükünü hem de deformasyonu birlikte artırabildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: PVA lif, hafif harç, performans, yük deformasyon, analiz.

*Şevket Onur KALKAN, sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-0250-8134>

Osman UĞURER, ugurerosman98@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2406-4004>

Lütfullah GÜNDÜZ, lutfullah.gunduz@ikcu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-2487-467X>

An investigation on the effect of Poly Vinyl Alcohol (PVA) fiber size on the properties of cementitious lightweight mortar

Abstract

It is an undesirable situation for cement-bound materials to be brittle. Mortars with brittle character show brittle properties under applied loads. When they reach the limit of the load they can carry and the energy they can absorb, fractures occur. The fact that cemented products exhibit such properties can often be considered as an undesirable situation depending on the purpose of use. More ductile and more energy-absorbing mortars are preferred. Different fibers can be used to add ductility to cement-based mortars and to absorb more energy. In this experimental study, in order to examine the effects of Poly Vinyl Alcohol (PVA) fiber size on the properties of cement-based light mortar, 9 different mortar combinations were prepared, and mortar samples were prepared by adding PVA fiber at the rates of 0.3%, 0.6%, 1%, 1.4% by weight. In addition to the test samples prepared using PVA fibers in 2 different sizes, 6 mm and 8 mm in length, control samples without fiber for reference purposes were also prepared. Compressive strength, water absorption and ultrasound transmission velocity tests of all test samples were carried out experimentally. According to the findings, when the amount of 6 mm PVA fiber used was increased, an increase was observed in the compressive strength and ultrasound transmission velocity values of the mortar, while a decrease was observed in the water absorption by mass and capillary water absorption values. However, when the amount of 8 mm PVA fiber used was increased, it was determined that the compressive strength and ultrasound transmission rate values decreased, and the water absorption values increased. It has been observed that the deformation value of the control mortar is less under load and this mortar is more brittle. However, it was determined that the mortars exhibited a more ductile behavior as the fiber content increased. Also, it has been observed that 6 mm PVA fibers can increase both the ultimate load and the deformation together.

Keywords: PVA fiber, lightweight mortar, performance, load deformation, analysis.

1. Giriş

İnşaat sektöründe kullanılan harçlar genellikle çimento, agrega, su ve çeşitli kimyasal katkıları ile hazırlanan normal ağırlığa sahip harçlardır. Kullanılan normal ağırlıklı harçlar malzeme tedariki, kolay hazırlanabilirlik, kolay uygulanabilirlik veya maliyet gibi çeşitli sebeplerle tercih edilmektedir. Diğer bir taraftan, bu ürünlerde birim hacim kütlelerinin yüksek olması binalarda uygulama alanlarında yapının ölü yükünün artmasına neden olmasını da gündeme getirmektedir. Artan bu ölü yük sebebiyle deprem gibi afetlerde ortaya çıkan kuvvetlerden yapılar daha çok etkilenip yapı daha fazla zarar görebilmektedir. Depremsellik ve yapılar da ölü yüklerin artmasının yanı sıra, normal ağırlıklı harçların yoğunlukları fazla ve gözenekliliği nispeten daha düşük olduğu için ısı yalıtımı gibi yapı üzerinde istenen diğer kriterler açısından da dezavantajlı durumlar oluşturabilmektedir [1,2]. Çimento bağlayıcılı hafif harç tasarımlarının bu tip dezavantajları tolere edebilecek nitelikte malzemeler olabileceği değerlendirilebilmektedir.

Hafif harçlar, içerisinde doğal ya da yapay yollarla elde edilmiş normal agregalardan daha düşük yoğunluğa sahip agregaların tercih edilmesi veya harç içerisinde çeşitli yöntemler kullanılarak boşluklar oluşturulması ile üretilebilen harçlardır. Yapılarda normal ağırlıklı harçlar yerine hafif harçlar kullanarak daha düşük ölü yük ile daha fazla enerji sönmülenebilir. Bununla birlikte, binanın ısı yalıtımına katkı da sağlanarak binaların termal konfor özellikleri iyileştirilebilir, yangınlara karşı daha güvenli yapılar elde edebilir, aynı zamanda binalarda ses yalıtım özellikleri de iyileştirilerek daha konforlu yapılar tasarlanabilmektedir [3,4,5].

Hafif harçların hafif agregalar ve matris yapıdaki yüksek boşluk miktarından dolayı mekanik özelliklerinin nispeten düşük olduğu bilinmektedir. Ancak, çimento esaslı hafif harçların içerisinde farklı orijinde lifler kullanarak harcın fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir [6,7,8,9]. Harcın durabilite özelliklerini, enerji sönmüleme miktarını, çekme dayanımını ve tokluğunu artırmak için selülozik, polimer, sentetik, karbon, çelik vb. lifler kullanılmaktadır [10,11,12]. Çimentolu harçların yapısına lif eklemek, mekanik özelliklerini iyileştirmenin bir yolu olarak uzun zamandır çoğu araştırmacılar tarafından irdelenmektedir [13,14,15]. Harç karışımlarına farklı türlerde liflerin eklenmesi ile harcın basınç dayanım değerlerinde %4-%27 gibi değerlere kadar iyileşme elde edilebilmektedir [16]. Kullanılan bu lifler içerisinde Poli Vinil Alkol (PVA) diğer liflerden farklı olarak yüksek elastisite modülü ve yüksek dayanıklılık göstermesi yönünden önemli bir yere sahiptir [17,18]. Çimento esaslı hafif harç içerisinde PVA lif kullanılması iyi bir lif-matris aderansı sağlaması ve çimento ile iyi bir uyum içerisinde olması taze harca geçirimsizlik, büzülme, rötne, segregasyon gibi; sertleşmiş harca ise darbe dayanıklılığı, yorulma direnci, basınç dayanımı ve çekme dayanımı açısından katkı sağlamaktadır [19,20]. PVA liflerinin normal yoğunluklu çimento esaslı kompozit malzemelerin üretimlerinde de kullanımı çoğu araştırmalara da konu olmuştur [21].

İnşaat sektöründe son yıllarda giderek önem kazanan çimentolu hafif ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi de önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir. Bu çalışmada PVA lif miktarının ve lif boyutunun çimento esaslı hafif harçların özelliklerine etkisi bir dizi deneysel analizlerle incelenmiştir. Laboratuvar ortamında 6 mm ve 8 mm olmak üzere iki farklı boyutta ve ağırlıkça farklı kullanım oranlarında PVA lif kullanarak 8 farklı seri PVA lif katkılı harç örneklerinin oluşturulan PVA lif katkısız kontrol harcının bir seri fiziksel ve mekanik değerleriyle karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen veriler detaylı bir şekilde tartışılmış olup, çimento bağlayıcı kompozit yapıda hafif harç üretimi üzerine yapılan ArGe çalışmalarında PVA lif katkısının etkileri bağlamında karakterize edilebilecek bazı teknik tecrübeler paylaşılmıştır.

2. Materyal ve metot

2.1. Harç tasarımlarında kullanılan malzemeler

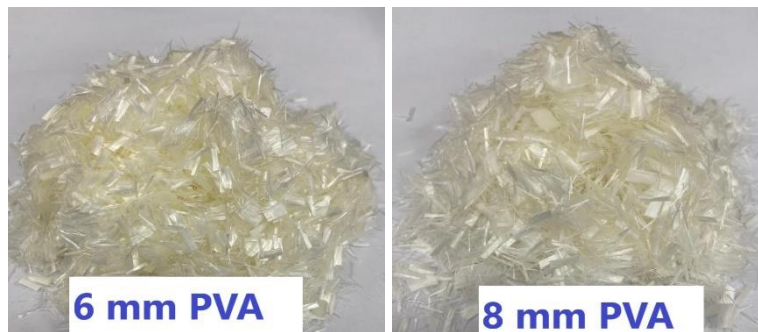
PVA lif katkılı çimento esaslı hafif harçlarda (ÇEHH) lif boyutunun harcın özelliklerine etkisinin analizi amacıyla tasarlanmış harç karışımlarında 7 ayrı malzeme türü kullanılmıştır. ÇEHH test örneklerinin hazırlanmasında özgül ağırlık değeri ortalama 3.0 g/cm³ olan CEM I-42.5R tipi Portland çimentosu bağlayıcı ana malzeme olarak kullanılmış olup, harç karışımlarında karma işlemi normal şebeke suyu ile yapılmıştır. ÇEHH test örneklerinin hazırlanmasında hafif agrega olarak pomza kayacı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında pomza agrega tüvenan formda Nevşehir ilinde bulunan pomza ocaklarından doğal şekliyle içerdiği nemi de korunarak tedarik edilmiş ve laboratuvar

ortamında ilk önce bünyesindeki doğal nemi $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında etüv ortamında kurutulularak kuru forma dönüştürülmüştür. Sonrasında tüvenan pomza bir kırıcıda kırılarak boyut ufalama işlemine tabi tutulmuş ve kare açıklıklı elekler yardımıyla 2 ayrı boyut fraksiyonunda sınıflandırılmıştır: 0-500 μm ve 2-4 mm boyut aralıkları. 0-500 μm pomzanın doğal nem içerikleri, su emme değeri ve kuru yığın yoğunluk değerleri sırasıyla, %9, %32 ve 813 kg/m^3 'tür. Benzer özellikler 2-4 mm pomza agregası için ise sırasıyla, %14, %37 ve 642 kg/m^3 'tür. Bu malzeme boyutlarından 0-500 μm boyutundaki pomza, tüm karışımlarda hafif dolgu materyali olarak, 2-4 mm boyut aralığındaki pomza ise doğal gözenekli hafif agregası olarak irdelenmiştir. ÇEHH test örneklerinde ana dolgu materyali olarak 0-75 μm boyut aralığında sınıflandırılmış kuvars tozu hazır boyutlandırılmış malzeme olarak piyasa koşullarından temin edilmiştir. Kuvars tozunun ortalama yığın yoğunluğu $1450\pm 180 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

ÇEHH test örneklerinde ayrıca kıvam ayarlayıcı özellik taşıması ve pH düzenleyici özelliği bakımından CL-90-S söndürülmüş toz kireç normal piyasa koşullarından temin edilerek katkı olarak karışımlarda kullanılmıştır. Toz kirecin yığın yoğunluğu ortalama 540 kg/m^3 olup, CL-90-S söndürülmüş kalsiyum kireci TS EN 459-1 (2015) standardında öngörülen teknik değerleri sağlamaktadır.

Deneysel çalışmalarda tasarlanan tüm harç karışımlarının viskozitesini artırmak ve çatlak oluşumlarını önlemek amacıyla normal piyasa koşullarından temin edilen ortalama yoğunluğu 650 kg/m^3 ve maksimum uzunluğu 40 μm olan selüloz lif katkı materyali olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte hafif harç karışımlarında işlenebilirlik, çok hızlı kıvam geliştirme, sarkma direnci, yüksek su talebi, su tutma ve ısı stabilitesi, uygulama yüzeyine yapışma ve çimento priz sürecinde gerekli olan su ihtiyacını karşılamaya yardımcı olma gibi özelliklere sahip olması nedeniyle suda çözünür, iyonik olmayan, yüksek oranda eterlenmiş, modifiye edilmiş metil hidroksietil selüloz (MHEC) toz formda katkı olarak karışımlara ilave edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan metil hidroksietil selülozün kütle yoğunluğu ortalama 0.40 g/cm^3 , viskozitesi 50000 – 60000 mPa.s ve pH değeri 5-9 aralığındadır. Metil hidroksietil selüloz türleri, örgü harçları üretimleri, çimento esaslı yapıştırıcı, genel amaçlı harçlarda ve alçı bağlayıcılı harç ve sprey sıva uygulamalarında yaygın kullanımları görülmektedir.

Çalışma kapsamının ana temasını oluşturmak amacıyla orijini aynı olan 6 mm ve 8 mm olmak üzere 2 farklı uzunluk değerine sahip PVA lifi kullanılmıştır. Ortalama yoğunlukları sırasıyla 0.91 g/cm^3 ve 1.3 g/cm^3 olan 6 mm ve 8 mm boylarındaki PVA liflerinin çapları 40 μm 'dir. Elastisite modülleri ise 3600 MPa (6 mm PVA) ve 4100 MPa'dır (8 mm PVA). Çalışmada kullanılan iki farklı boyut PVA lifinin genel fiziksel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Karışımlarda kullanılan PVA liflerin genel fiziksel görünümü.

2.2. Harç tasarımları ve numune hazırlama

PVA lif katkılı çimento esaslı hafif harçlarda (ÇEHH) lif boyutunun harcın özelliklerine etkisinin analizi amacıyla 9 ayrı karışım tasarımı yapılmıştır. Çalışma kapsamında tasarımılanan karışım kombinasyonları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. PVA lif katkılı ÇEHH karışım kombinasyonları (ağırlıkça %).

Karışım	Çimento	2-4 mm Pomza	0-500 µm Pomza	0-75 µm Kuvars	Toz Kireç	Selüloz lif	MHEC	PVA lif 6 mm	PVA lif 8 mm	Su/Katı Oranı
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
PVA-R	27	16.25	34	15	7	0.3	0.45	-	-	0.5
PVA6-0.3	27	15.95	34	15	7	0.3	0.45	0.3	-	0.5
PVA6-0.6	27	15.65	34	15	7	0.3	0.45	0.6	-	0.5
PVA6-1.0	27	15.25	34	15	7	0.3	0.45	1.0	-	0.5
PVA6-1.4	27	14.85	34	15	7	0.3	0.45	1.4	-	0.5
PVA8-0.3	27	15.95	34	15	7	0.3	0.45	-	0.3	0.5
PVA8-0.6	27	15.65	34	15	7	0.3	0.45	-	0.6	0.5
PVA8-1.0	27	15.25	34	15	7	0.3	0.45	-	1.0	0.5
PVA8-1.4	27	14.85	34	15	7	0.3	0.45	-	1.4	0.5

ÇEHH karışımlarında öncelikle PVA lif katkısı içermeyen ve PVA-R olarak kodlanmış bir kontrol karışımı tasarlanmıştır. PVA-R kontrol karışımında ağırlıkça %16.25 oranında 2-4 mm pomza kullanılmıştır. Bu karışıma daha sonraki adımda, 2-4 mm pomza ile ağırlıkça yer değiştirmeli olarak sırasıyla 0.3, %0.6, %1, %1.4 oranlarında 6 mm PVA lif eklenerek PVA lif katkılı 4 ayrı yeni harç tasarım serisi elde edilmiştir. Diğer bir deyişle, çalışma kapsamında kontrol harcı tasarımında değişken malzeme bileşeni 2-4 mm pomza olarak ele alınmıştır. PVA lif katkılı bu seriler içerdikleri lif oranı miktarlarını da temsilen PVA6-0.3, PVA6-0.6, PVA6-1.0 ve PVA6-1.4 olarak kodlanmışlardır. Benzer seri oluşumları 8 mm PVA lif katkısı için de uygulanmış olup, bu seriler de PVA8-0.3, PVA8-0.6, PVA8-1.0 ve PVA8-1.4 olarak kodlanmışlardır. Böylece 1 seri PVA lif katkısız olmak üzere 4 seri 6 mm PVA katkılı ve 4 seri de 8 mm PVA katkılı olmak üzere toplamda 9 seri karışım tasarımı yapılarak ÇEHH test örnekleri hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda çimento ağırlıkça %27 oranında sabit olarak uygulanmış olup, benzer şekilde 0-500 mm pomza, 0-75 mm kuvars tozu, toz kireç, selüloz lif ve MHEC sabit oranlarda kullanılmıştır. Ağırlıkça eklenen PVA lif miktarı 2-4 mm pomzadan azaltılarak toplam ağırlık sabit tutulmuştur. Toplam hacmin de bütün karışımlar için sabit tutulabilmesi için yer değiştirme 2-4 mm pomza ile yapılmıştır. Ayrıca tüm ÇEHH test örneklerinin hazırlanmasında su/katı oranı 0.50 olarak sabit oranda karma suyu ile karılmıştır. ÇEHH test örneklerinin hazırlanmasında öncelikle tüm karışımlar belirtilen malzeme oranlarında toz formda karıştırıcı mikserin karma kabında harmanlanmış olup, topaklanma olmaksızın karıştırıcı yardımıyla düşük devirde 3-4 dakika boyunca karıştırılmıştır. PVA lif katkılı karışımlarda liflerin homojen bir formda dağıldığı gözleninceye kadar gerektiğinde karıştırma işlemine birkaç dakika daha devam edilmiştir. PVA lif katkılı toz formda bir karışımın genel görünümü Şekil 2’de verilmiştir. Daha sonra toz karışım üzerine karma suyu, su/katı oranı 0.5 olacak şekilde yavaş yavaş ilave edilerek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Karma suyunun tamamı ilave edildikten sonra düşük devirde karıştırma işlemine ortalama 4 dakika daha devam edilerek homojen yaş karışımlar elde

edilmiştir (Şekil 3). Homojen taze yaş harç 5 dakika kadar dinlendirildikten sonra tekrar 30 saniyelik ilave karışım işlemi uygulanmış olup, bu işlemden sonra yaş harç test örneklerinin kalıplanması için uygun forma getirilmiştir. Tüm test örnekleri karıştırma işlemi sonrası 30 dakikalık bir sürede ortalama 20°C sıcaklığa sahip bir ortamda kalıplanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen test örnekleri ilk 24 saat boyunca olumsuz dış koşullardan korunmuş olup, hızlı buharlaştırma gibi işlemler için özel bazı uygulamalar yapılmamıştır [22].



Şekil 2. Toz formdaki karışımın genel görünümü.



Şekil 3. Yaş harç karıştırma işlemi görüntüsü.

Hazırlanan karışımlar 50x50x50 mm³ boyutlarında küp numunelere dökülmüştür. Her bir seri karışımdan 24 adet numune dökümü yapılmış olup, çalışma kapsamında toplam 216 adet örnek kullanılmıştır. Dökümü yapılan test örneklerinin kalıplama ve kalıp sonrası genel görünümlerine ilişkin genel bir görsel Şekil 4'te verilmiştir. Döküm işleminden 24 saat sonra sertleşmiş numuneler kalıptan çıkartılmış ve test yapılacak günden bir gün öncesine kadar tamamen su içerisinde olacak şekilde kürlenme işlemi yapılmıştır. Kürlenme işlemi tamamlanan test örnekleri su içerisinden çıkartılarak değişmez kütle değerine ulaşana kadar etüv içerisinde kurutma işlemi yapılarak, birim hacim kütle değerleri belirlenmiştir.



Şekil 4. ÇEHH test örneklerinin kalıplanma ve kalıp sonrası genel bir görüntüsü.

Tüm karışımlara ait priz almış örneklerin mikroskobik yapısal analizleri Nikon marka stereo mikroskop yardımıyla yapılarak, fiziksel matris durumları görsel olarak irdelenmiştir. Ayrıca, ÇEHH test örneklerinin basınç dayanım ve birim yük – deformasyon ilişkisi mekanik analiz olarak yapılmıştır. ÇEHH test örneklerinin 7 ve 28

günlük basınç dayanım testleri ASTM C109 (2017) standardına uygun ve yükleme hızı 900 N/s olarak yapılmıştır. Basınç dayanımı için ayrılan test örneklerinde yük uygulamaları öncesinde her bir test örneğinin ultrases geçiş hızı değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. 24 saat süre boyunca su içerisinde bırakılarak doymun hale getirilen test örneklerinin atmosfer ortamında kütlece su emme değerleri ve ayrıca sertleşmiş test örneklerinin kılcal (kapiler) su emme değerleri incelenmiştir.

3. Araştırma bulguları ve tartışma

3.1. Birim ağırlık ve mikroskobik yapısal analiz

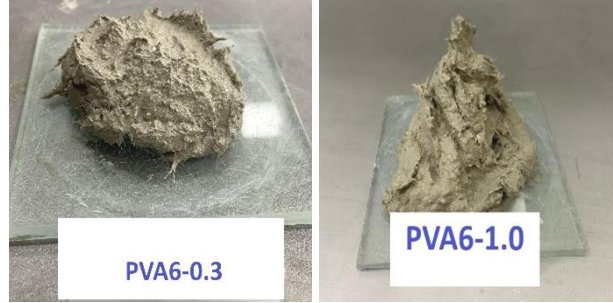
ÇEHH test örneklerinin karışım başlangıcında toz formdaki yığın yoğunluğu, taze yaş formunda yığın yoğunluğu ve farklı kür günlerindeki birim hacim ağırlık (BHA) değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. ÇEHH test örneklerinin yoğunluk analizi bulguları.

Karışım	PVA Lif Oranı	S/K Oranı	Toz Yığın Yoğunluk (kg/m ³)	Yaş Harç Yığın Yoğunluk (kg/m ³)	7. Gün BHA (kg/m ³)	14.Gün BHA (kg/m ³)	21.Gün BHA (kg/m ³)	28.Gün BHA (kg/m ³)
PVA-R	0	0.5	854	996	931	901	868	860
PVA6-0.3	0.3	0.5	795	999	983	933	909	889
PVA6-0.6	0.6	0.5	806	1063	980	929	904	871
PVA6-1.0	1.0	0.5	763	1088	1159	989	963	947
PVA6-1.4	1.4	0.5	754	1120	1033	972	944	912
PVA8-0.3	0.3	0.5	780	1005	967	902	874	849
PVA8-0.6	0.6	0.5	727	924	872	822	791	767
PVA8-1.0	1.0	0.5	714	973	914	857	825	802
PVA8-1.4	1.4	0.5	691	981	895	822	799	790

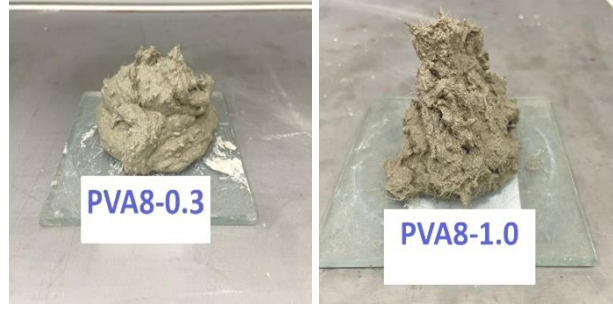
Bileşiminde PVA lif bulundurmayan PVA-R kontrol test örneğinin toz formda yığın yoğunluk değeri 854 kg/m³ olarak tespit edilmiş olup, bu kontrol karışımı 0.5 su/katı oranında karıldıktan sonra yaş harç yığın yoğunluğu 996 kg/m³ ve 28 gün kür sonrası sertleşmiş harcın kuru birim hacim kütle değeri ise 860 kg/m³ olarak ölçülmüştür. PVA-R kontrol harcı ağırlıkça %13.7 nem atarak nihai sertleşmiş harç matris yapısına ulaşmıştır. 6 mm uzunluğunda PVA lif katkılı ÇEHH test örneklerinin toz formda yığın yoğunluk değerleri PVA kullanım oranına bağlı olarak 754 kg/m³ – 806 kg/m³ aralığında değişim göstermiştir. Bu yığın yoğunluk değerleri PVA-R kontrol örneğinin değerlerinden daha düşük olup, genel bir eğilimle 6 mm PVA lif katkı oranı arttıkça toz yığın yoğunluk değerlerinin azaldığı tecrübe edinilmiştir. Ancak, karma suyu sonrası yaş yığın yoğunluk değerleri irdelendiğinde ise lif katkı oranına bağlı olarak yoğunluk değerlerinin 999 kg/m³ – 1120 kg/m³ aralığında değiştiği görülmüştür. PVA lif katkı oranı arttıkça yaş yığın yoğunluk değeri de artmıştır. Bu bulgu, 6 mm PVA lif kullanımının harcın yerleşmesinde daha etkin olduğu söylenebilir. 28 gün kür sonrası birim hacim kütle değerleri irdelendiğinde ise benzer bir durumun varlığı dikkat çekmekte olup, BHA değerleri 871 kg/m³ – 912 kg/m³ aralığında değişim göstermiştir. Bu bağlamda, 6 mm PVA katkılı tüm ÇEHH test örneklerinin yaş harcın daha fazla yerleşebilirlik karakteristiği sebebiyle kontrol örneklerinden daha yüksek bir yoğunluk değerine sahip olduğu görülmektedir. PVA6-0.3 – PVA6-1.4 kodlu test örneklerinin priz sürecinde elde

edilen nem atma yüzde değişimleri ise sırasıyla, %11, %18.1, %13 ve %18.6 olarak en düşük PVA katkı oranından en yüksek PVA katkı oranına doğru değişim göstermiştir. Buradan görüldüğü üzere, 6 mm PVA katkı oranına bağlı test örneklerinde düzensiz kabul edilebilecek bir nem atma olgusu sergilediği gözlenmiştir. PVA6-0.3 ve PVA6-1.0 kodlu harç tasarımlarının yaş harç formları sembolik olarak Şekil 5'te gösterilmiştir.



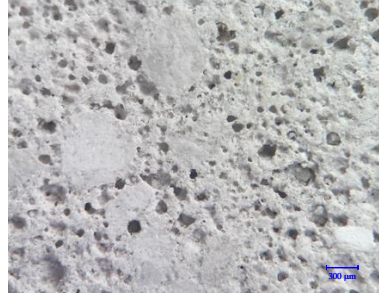
Şekil 5. PVA6-0.3 ve PVA6-1.0 karışımlarının yaş harç formu.

8 mm uzunluğunda PVA lif katkılı ÇEHH test örneklerinin ise toz formda yığın yoğunluk değerleri PVA kullanım oranına bağlı olarak $691 \text{ kg/m}^3 - 780 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim göstermiştir. Bu yığın yoğunluk değerleri PVA-R kontrol örneği değerlerinden daha düşük olup, diğer lif boyutundaki değişime göre daha düzenli olan genel bir eğilimle 8 mm PVA lif katkı oranı arttıkça toz yığın yoğunluk değerleri azalmıştır. Ancak, karma suyu sonrası yaş yığın yoğunluk değerleri irdelendiğinde ise lif katkı oranına bağlı olarak yoğunluk değerlerinin $973 \text{ kg/m}^3 - 1005 \text{ kg/m}^3$ aralığında değiştiği görülmekle birlikte, 8 mm PVA oranı arttıkça kontrol harcına göre daha düşük yoğunlukta hazır harç elde edilebildiği görülmüştür. Diğer bir değişle, 6 mm PVA kullanımıyla yaş harç yoğunluğu artış eğilimi gösterirken, 8 mm PVA (2 mm daha uzun)'nın kullanımıyla harç yoğunluğunun azalarak, harcın hafiflediği görülmüştür. Bu olgu, lif boyu arttıkça yaş harç bünyesinde lifin daha yüksek sarmal bir yapı oluşturarak görece daha gözenekli bir matris elde edilebilmesi olarak yorumlanabilir. Diğer taraftan, 28 gün kür sonrası birim hacim kütle değerleri irdelendiğinde ise BHA değerlerinin $767 \text{ kg/m}^3 - 802 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim göstermiştir. Bu bağlamda, 8 mm PVA katkılı tüm ÇEHH test örneklerinin yaş harcın daha fazla gözenekli matris karakteristiği oluşturması sebebiyle kontrol örneklerinden daha düşük bir yoğunluk değerine sahip olduğu görülmektedir. PVA8-0.3 – PVA8-1.4 kodlu test örneklerinin priz sürecinde elde edilen nem atma yüzde değişimleri ise sırasıyla, %15.5, %17, %17.6 ve %19.5 olarak artan lif oranları bağlamında değişim göstermiştir. Burada dikkat çekici bulgulardan biri, PVA lif boyu arttıkça, ÇEHH test örneklerinin priz sürecinde nem atma yüzdelerinin daha düzenli bir eğilimle artan özellik göstermesidir. Diğer bir değişle, daha hızlı bir kuruma olgusu sergileyebilmeleridir. PVA8-0.3 ve PVA8-1.0 kodlu harç tasarımlarının yaş harç formları ise sembolik olarak Şekil 6'da gösterilmiştir. Benzer bir karakteristik olgu, Dilli'nin [23] deneysel olarak irdelenmiş olduğu hafif agrega içeren yalın ve PVA lif ile güçlendirilmiş yapısal beton özelliklerinde de görüldüğü rapor edilmiştir.

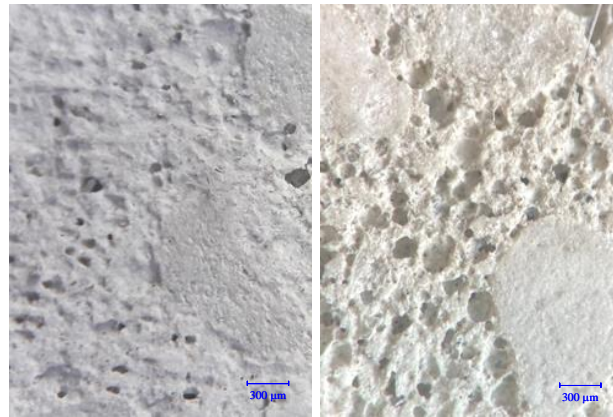


Şekil 6. PVA8-0.3 ve PVA8-1.0 karışımlarının yaş harç formu.

Çalışma kapsamında PVA lif katkısı bulunmayan kontrol harcı örneklerinin ve ayrıca 6 mm ve 8 mm PVA lif katkılı ÇEHH test örneklerinin mikroskopik olarak matris yasındaki agrega, katkı materyalleri, lif malzemenin dağılımı ve oluşan boşluk formları gibi genel karakteristik durumlar gözlemsel açıdan Nikon marka stereo mikroskop yardımıyla farklı büyütme oranlarında analiz edilmeye çalışılmıştır. Tüm ÇEHH test örneklerine ait matris yapılarının sembolik genel görünümü ayrı ayrı Şekil 7 – Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 7. PVA-R kontrol harcı örneği matris yapısının genel görünümü.



(a). PVA6-0.3 örneği matris yapısı.

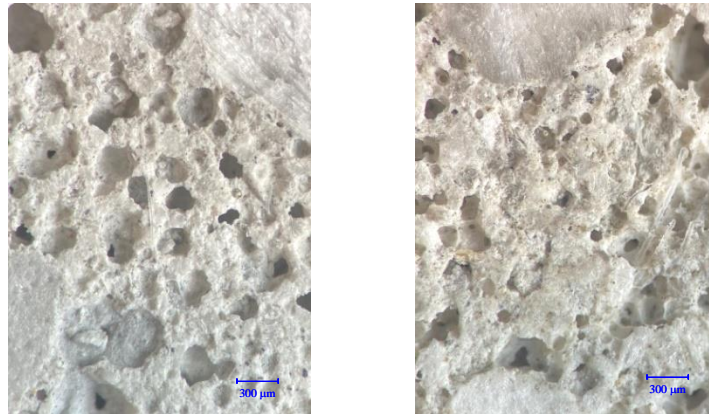
(b). PVA6-0.6 örneği matris yapısı.



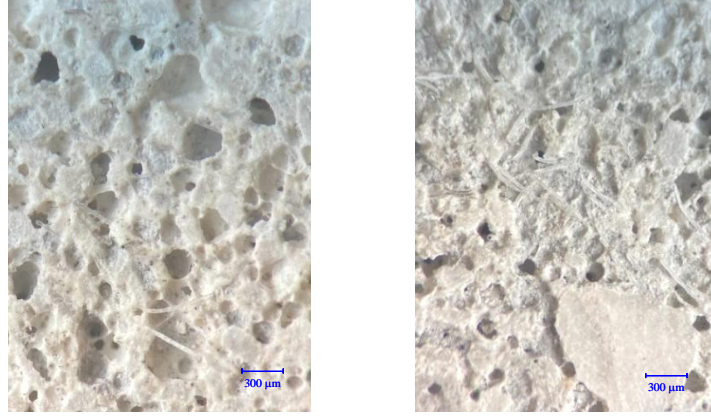
(c). PVA6-1.0 örneği matris yapısı. (d). PVA6-1.2 örneği matris yapısı.

Şekil 8. ÇEHH test örneklerinin matris yapısı genel görünümü (6 mm PVA katkılı).

Şekil 7 irdelendiğinde görüleceği üzere özetle PVA-R kontrol örneğinin matris yapısında düzensiz dağılımlı farklı büyüklüklerde boşlukların varlığı dikkat çekmektedir. Bu karışımda ana agrega materyali olarak kullanılan pomza tanelerinin cidarlarında matris yapıda boşluk oluşumlarının yer aldığı ve matris yapıyı kısmen zayıflattığı görülebilmektedir. Benzer şekilde Şekil 8 ve Şekil 9 incelendiğinde ise PVA lif katkısının kullanım oranına da bağlı olarak matris yapıdaki davranışı gözlemsel olarak irdelenebilmektedir. 6 mm PVA katkılı örneklerin matris yapılarında lif kullanım oranı arttıkça, matris yapının daha sık dokulu ve düşük gözenekli bir form kazandığı dikkat çekmektedir. Bu olgu, aynı örneklerin fiziksel yoğunluk analizlerinde elde edilen bulgularla da örtüştüğü görülmüştür. Bununla birlikte, 6 mm PVA kullanımıyla matris yapıda agrega cidarlarında boşluk oluşumlarının daha düşük düzeylerde oluştuğu belirlenmiştir. Bu olgu özellikle Şekil 8(c)'de PVA 6-1.0 örneğinde çok daha belirgin bir görünümde dir. 8 mm PVA lif katkılı örneklerin mikroskobik incelemelerinde matris yapılarında lif boyunun daha uzun olmasının etkileri daha fark edilir bir özellik kazanmıştır. 8 mm PVA liflerinin matriste homojen kabul edilebilecek bir dağılım sergilediği ve lif oranı arttıkça matris yapının liflerin sarmallığı sebebiyle daha boşluklu bir yapı kazandığı gözlemlenebilmektedir (Şekil 9 (c) ve (d)).



(a). PVA8-0.3 örneği matris yapısı. (b). PVA8-0.6 örneği matris yapısı.



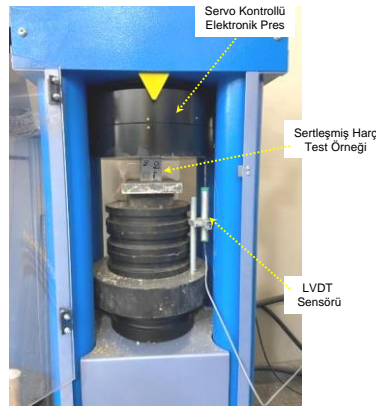
(c). PVA8-1.0 örneği matris yapısı.

(d). PVA8-1.2 örneği matris yapısı.

Şekil 9. ÇEHH test örneklerinin matris yapısı genel görünümü (8 mm PVA katkılı).

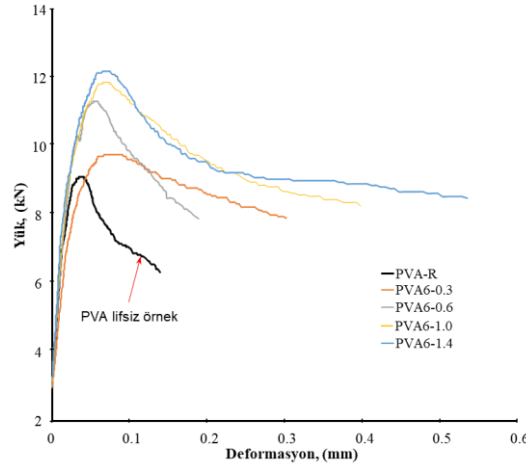
3.2. Yük altında davranış ve basınç dayanımı özelliği

PVA lif boyutunun çimento esaslı hafif harcın yük altındaki mekanik davranışını incelemek amacıyla her bir karışıma ait 5'er adet test örneğinin servo kontrollü elektronik bir basınç presinde yük-deformasyon davranışı analiz edilmiştir (Şekil 10).

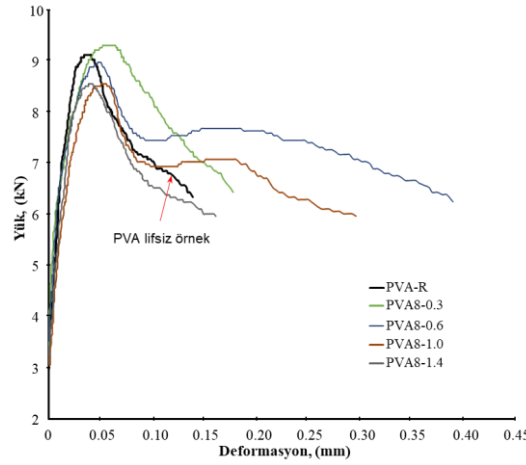


Şekil 10. ÇEHH test örneklerinin yük altında mekanik davranış testi genel görünümü.

Bu analizde yükleme sürecinde yenilme sonrası deformasyon değerinin maksimum yükün %50'sine ulaştığı noktada yükleme durumu sonlandırılmıştır. 6 mm ve 8 mm PVA lif katkılı 28 gün kür sonrası ÇEHH test örneklerinin yük altındaki mekanik davranışları grafiksel gösterimle Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.

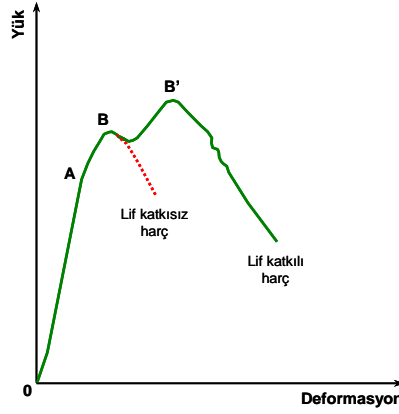


Şekil 11. ÇEHH test örneklerinin yük – deformasyon ilişkisi (6 mm PVA katkılı).



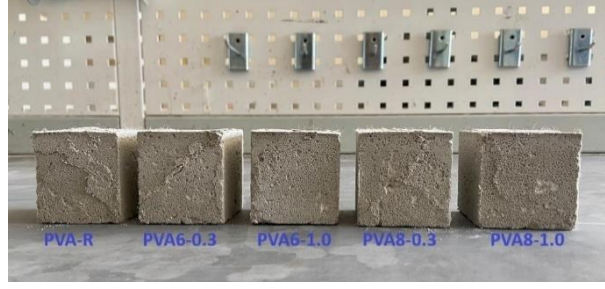
Şekil 12. ÇEHH test örneklerinin yük – deformasyon ilişkisi (8 mm PVA katkılı).

Şekil 11 irdelendiğinde 6 mm PVA lif katkısı ile birlikte kontrol örneğine göre test örneklerinin yenilme yük değerlerinin arttığı ve bununla birlikte yenilme sonrası deformasyon değerlerinin artan lif oranı miktarına bağlı artma yönünde davranış sergilediği görülmektedir. Ancak 8 mm PVA lif katkısı ile birlikte kontrol örneğine göre test örneklerinin %0.3 lif katkı oranı hariç diğer katkı oranlarında yenilme yük değerlerinin azaldığı, dolayısıyla matris yapının dayanım kaybettiği açıkça görülmektedir. Ayrıca, 6 mm PVA lif katkılı örneklerde olduğuna benzer şekilde, yenilme sonrası deformasyon değerlerinin artan lif oranı miktarına bağlı daha düşük oranlarda artma yönünde davranış sergilediği de görülmektedir. Diğer bir değişle, 8 mm PVA lif katkılı test örneklerinin kırılma (yenilme) sonrası deformasyon özellikleri 6 mm PVA katkısına göre daha düşük seviyelerdedir. Çalışma kapsamında elde edilen lif katkılı harçların mekanik davranış özelliği daha detay irdelendiğinde literatürde lif içeren betonların yük-deformasyon ilişkisi üzerine tecrübe edinilmiş özelliklere [18,24,25,26] benzer karakteristik davranış sergilediği gözlenmiştir. Çimento esaslı lifli harç örneklerinin temsili yük-deformasyon ilişkisi bu benzerlik bağlamında Şekil 13’de verilen grafiksel gösterimle karakterize edilebilir.



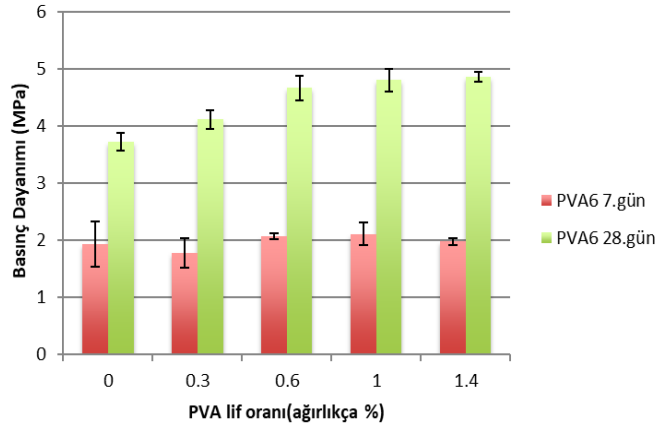
Şekil 13. Çimento esaslı lifli harç örneklerinin temsili yük-deformasyon ilişkisi [24].

Bu yaklaşıma göre OA noktaları arasında kalan doğrusal kısım, harcın yük altında yenilme olgusu göstermeden taşıyıcılık özelliğini temsil etmektedir. A noktasında ise “ilk çatlama yükü” olarak nitelendirilmekte olup, matris yapıda içsel ilk yorulmaların başladığı yük olarak değerlendirilebilir. Lif içermeyen harç matrislerinde bu ilk çatlama noktasından sonra, matris yapının az bir miktar daha yük taşıyıp B noktası olarak temsil edilmiş yenilme (kırılma) yük değerine ulaşıldığı görülmektedir. A noktasından (ilk çatlama yükü-ilk yenilme yükü) sonrasında taşınan yük değeri kısmen azalarak eğriselleşme olgusu sergiler. Sertleşmiş harç matrisinin yenilmesi (kırılması) ile birlikte taşınan yük değeri azalarak matris taşıyıcılık özelliğini kaybeder [24,25]. Çalışma kapsamında lif içermeyen kontrol örneğinin (PVA-R) yük-deformasyon özelliği irdelendiğinde bu karakteristik davranışın oluştuğu görülmüştür (Şekil 11 ve Şekil 12). Lif katkısı içeren lifli harç matrislerde ise ilk çatlama yükü sonrasında oluşan gerilmelerin liflere aktarılmasıyla birlikte taşınabilen yük, lif miktarına da bağlı olarak önce görece düşük bir oranda yük kaybına uğrayarak daha sonra bir miktar daha artış özelliği gösterebilmektedir. Bu şekilde ulaşılan yük, B' noktası ile temsil edilebilir. Bu noktadan sonra harcın matrisi, taşınan yük değeri azalarak taşıyıcılık özelliğini kaybeder. Ancak, bu karakteristik davranış harcın bileşiminde bulunan lif oranı ve lif boyutuna bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Yapılan bu çalışmada, 6 mm uzunluktaki PVA lif katkılı tüm test örneklerinin yük-deformasyon davranışı, genel bir trend olarak kontrol karışımına benzer özellik sergilediği görülmüştür. Ancak, PVA6-0.6 kodlu örneklerin yük-deformasyon ilişkisinde yukarıda özetle tanımlanan ilk çatlama yükü sonrası gerilmelerin liflere aktarılmasıyla kısmi bir yük artış özelliği oluştuğu gözlenmiştir. 6 mm boyutlu PVA test örneklerinin tamamında ilk çatlama yükü sonrası eğriselleşme miktarının artan lif katkı oranı bağlamında artış oluşturduğu görülmüştür (Şekil 11). Diğer taraftan 8 mm PVA boyutlu lif katkılı test örneklerinin davranış karakteristiği irdelendiğinde ise PVA8-0.6 ve PVA8-1.0 kodlu test örneklerinde ilk çatlama yükü sonrasında oluşan gerilmelerin liflere aktarılmasıyla birlikte taşınabilen yük değerinde önemli bir artış eğilimi sergilediği ve yukarıda lifli harç matrisleri için karakterize edilen davranış modelinin oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 12). Bu çalışmada elde edilen bulgular bağlamında, PVA lif boyu arttıkça, yenilme yük değeri kısa lifli matrislere nazaran daha düşük seviyede olmakla birlikte, ilk yenilme sonrası yükün lif boyunca ötelenerek taşınabildiği ve sonrasında lif yüzeyinden sıyrılmaların oluşumuyla birlikte nihai yenilme yükü değerine ulaşılabilirdiği tecrübe edinilmiştir. Yük-deformasyon ilişkisi analizleri sonrası ÇEHH test örneklerinin yenilme sonrası genel görünümleri sembolik olarak Şekil 14'te gösterilmiştir.

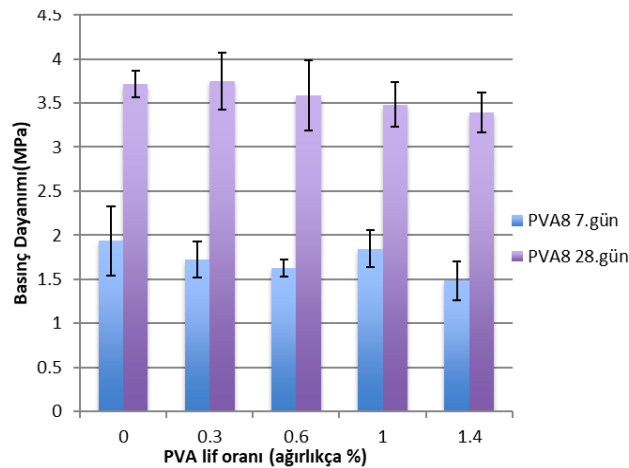


Şekil 14. Yük-deformasyon davranış analizi sonrası test örneklerinin sembolik görünümleri.

Çalışma kapsamında tüm ÇEHH test örneklerinin yük-deformasyon ilişkisi analizleri ile birlikte yenilme (kırılma) yük değerleri dikkate alınarak her bir seride 5'şer adet örnek kullanılarak 7. ve 28. gün basınç dayanım değerleri analiz edilmiş olup [27], sayısal bulguların aritmetik ortalaması alınmıştır. ÇEHH test örneklerinin PVA lif boyuna bağlı basınç dayanım analiz bulguları Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 15. ÇEHH test örneklerinin basınç dayanım analizi (6 mm PVA katkılı).



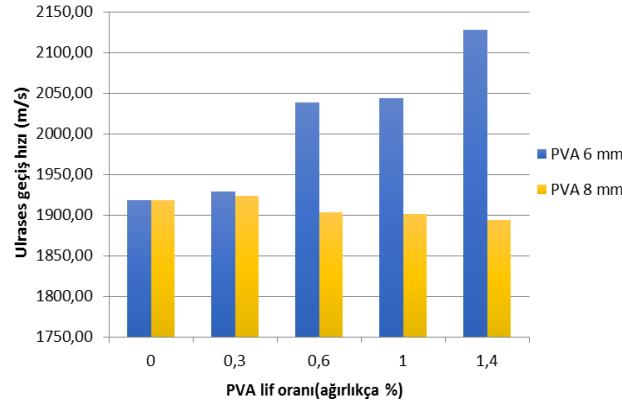
Şekil 16. ÇEHH test örneklerinin basınç dayanım analizi (8 mm PVA katkılı).

Tüm ÇEHH test örneklerinin 7. ve 28. gün basınç dayanım değerleri kür süresine (zamana bağlı olarak) göre artış göstermiştir. PVA-R kodlu kontrol harcının zamana göre 7. ve 28.

gün basınç dayanımları sırasıyla 1.94 ve 3.71 MPa'dır. PVA lif oranının ağırlıkça %0.6 olduğu PVA6-0.6 kodlu karışım örneğinde 7. ve 28. gün basınç dayanım değerleri sırasıyla 2.07 ve 4.66 MPa, PVA lif oranının ağırlıkça %1.4 olduğu PVA6-1.4 kodlu karışım örneğinde 7. ve 28. gün basınç dayanım değerleri sırası ile 1.97 ve 4.86 MPa'dır. Bununla birlikte 8 mm boyutunda PVA lif katkı kullanılan ağırlıkça %0.6 PVA lif içeren PVA8-0.6 kodlu karışım örneğinde 7. ve 28. gün basınç dayanım değerleri sırası ile 1.62 ve 3.59 MPa, PVA lif oranının ağırlıkça %1.4 olduğu PVA8-1.4 kodlu karışım örneğinde 7. ve 28. gün basınç dayanım değerleri sırasıyla 1.48 ve 3.39 MPa'dır. Elde edilen bulgulara göre karışıma ağırlıkça %0.3 - 1.4 oranında ilave edilen 6 mm boyutuna sahip PVA lifler harcın basınç dayanımını PVA lif bileşensiz kontrol örneğine göre %31 oranına kadar artırabilmekte ve bu artış PVA lif miktarı ile doğru orantılı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra, karışımlara ağırlıkça %0.3-1.4 oranlarında ilave edilen 8 mm boyutuna sahip PVA lifler harcın basınç dayanımını önce bir miktar artırabilmekte fakat ağırlıkça %1.4 oranında kullanımında basınç dayanımını PVA katkısız kontrol harcının dayanımına kıyasla %8 oranına kadar düşürebilmektedir. Bu dayanım düşüşün sebebi olarak 8 mm boyutuna sahip PVA lif bileşenli test örneklerinde daha sarmal bir matris yapı oluşumu ve buna bağlı gözeneklilik oranının artış eğilimi göstermesi, sertleşmiş harç bünyesinde zayıf bölgeler oluşturmasına bağlanabilir. Ünal ve Şimşek [28] çimento harçlarında optimum uçucu kül ve PVA lif oranının belirlenmesine yönelik yapmış oldukları araştırma çalışmada benzer matris davranışını rapor etmişlerdir.

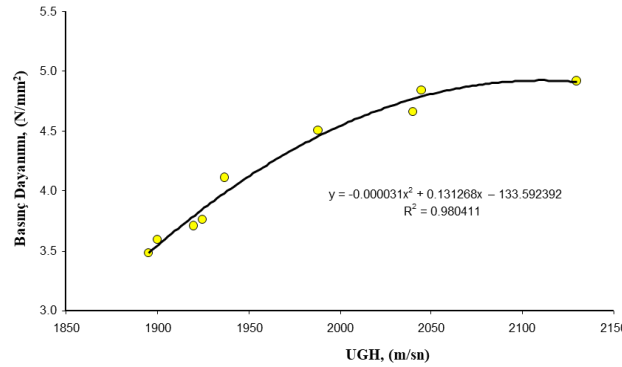
3.3. Ultrases geçiş hızı

Sertleşmiş harç matrislerinde ultrases geçiş hızı (UGH) tahribatsız bir deney yöntemi olup, bu hızın değişimleri farklı uygulamalarda kullanılabilir. Hata ve kusur tespiti, içyapı incelenmesi ve elastisite özelliklerinin tahmini vb. gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu uygulamalar arasında en çok kullanılanı harç kalitesinin belirlenmesidir. Tüm ÇEHH test örneklerinin gözeneklilik olgusunu ve matris kalitesinin yorumlanabilmesi amacıyla 28. gün kür sonrası ultrases geçiş hızı değerleri belirlenmiştir. UGH değerleri tamamen kuru test örnekleri üzerine ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı ile gönderilen ses dalgalarının bir probtan diğerine geçtiği sürenin ölçülmesiyle elde edilmiş olup, bulgular Şekil 17'de verilmiştir. Elde edilen bulgular bağlamında, PVA-R kodlu PVA lif bileşensiz kontrol test örneğindeki ultrases geçiş hızının 6 mm PVA lif bileşenli test örneklerinden daha düşük olmakla birlikte, 8 mm PVA lif bileşenli test örneklerinin ultrases geçiş hızı ise daha büyük değerlerde olduğu elde edilmiştir. Basınç dayanımı ve yük taşıma kapasitesi bağlamında harç örneklerinin matris kalitesi, düşük gözeneklilik ve daha kompakt bir yapısal form göstermesine bağlı değişim göstermektedir. Diğer bir değişle ultrases geçiş hızı değerinin yüksek olması arzu edilir. Bu açıdan ele alındığında lif katkılı sertleşmiş harçlarda 6 mm boyutlu PVA lif katkısının bu kalite yaklaşımını karşılayabildiği görülmektedir. Ancak, harç malzemenin kullanım yeri itibariyle yük taşıyıcılık özelliğinin yüksek seviyede önem arz etmediği, buna karşın yalıtım özelliklerinin daha önem kazandığı uygulama yerlerinde ise ultrases geçiş hızı değerinin daha düşük değerlerde olması öngörülebilmektedir. Ultrases geçiş hızı değerlerinin düşük olması, harcın matris yapısının boşluklu olduğunu temsil ettiği gibi [29], yalıtkanlık özelliklerinin de iyileştiği yönünde kalite bulgusu olarak düşünülebilmektedir. Bu bağlamda ele alındığında ise 8 mm boyutlu PVA lif katkılı ÇEHH test örneklerinin ultrases geçiş hızı değerleri hem kontrol harcının hem de 6 mm PVA lif katkılı örneklerin değerlerinden daha düşük düzeylerdir. Artan lif oranıyla birlikte ultrases geçiş hızı değerleri de düşmektedir. Bu da matris yapının daha gözenekli bir form kazandığını temsil etmektedir.



Şekil 17. PVA lif katkılı harçların ultrases geçiş hızı değerleri.

Çalışma bulgularında ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı değerleri arasında bir ilişki olduğu gözlenmiş olup, bu ilişki grafiksel olarak Şekil 18’de verilmiştir. Bu ilişki incelendiğinde 6 mm boyundaki PVA lif miktarı arttıkça lifler yardımcı ile harç materyallerinin birbirine tutunması artmakta, harç içerisindeki boşluk oranı azalmakta bu sebeple basınç dayanımı artmaktadır. Buna bağlı olarak da ultrases geçiş hızı değeri de artmaktadır. Ancak, 8 mm boyunda PVA lif bileşenli test örnekleri irdelendiğinde ise lif boyutunun uzun olması sebebiyle harç içerisinde oluşan sarmallıkla birlikte yer yer olası topaklanmaların meydana geldiği, daha fazla boşluklu matris yapının oluşabileceği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla daha fazla boşluk olan bir ortamda ses daha yavaş yayılacağı için 8 mm PVA lif bileşenli test örneklerinin ultrases geçiş hızı değerleri de daha düşük düzeylerde oluşmuştur.

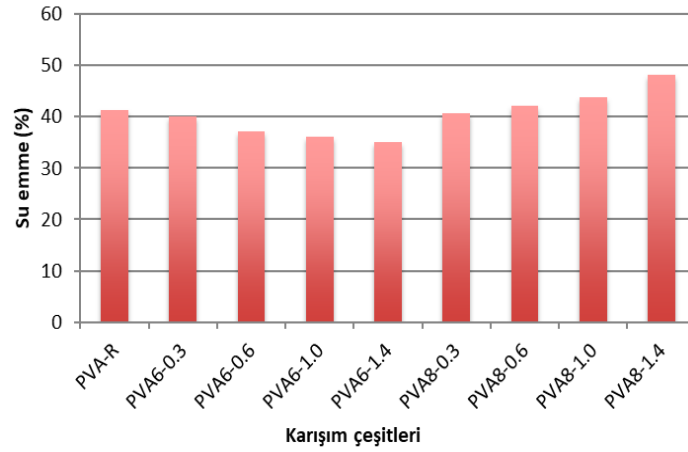


Şekil 18. Ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı ilişkisi.

3.3. Su emme analizi

İnşaat endüstrisinde harç uygulamalarının yapıldığı alanlarda, harcın suya maruz kalması durumlarında su emme özelliklerinin minimum seviyede olması genelde arzu edilen bir durumdur. Bu bağlamda, harcın projelerde uygulandıkları yer ve amaca göre iki farklı konumda suya maruz kalabildikleri düşünülebilmektedir. Bunlardan birincisi harcın suya tamamen maruz kaldığı durumlar ve ikincisi ise kapiler (kılcal) su ortamına maruz kalma durumudur. Bunlardan ilki genellikle havuz, kanal vs. gibi uygulamaların olduğu durumlar için düşünülebilmektedir. İkinci durum ise projelerde daha sıklıkla karşılaşılan ve özellikle tamir tarama harcı, sıva harcı veya son kat kaplama amaçlı harç uygulamalarında sıklıkla gündeme gelen bir özelliktir. Örneğin yağmurlu bir ortamda bina yüzeyinin kapiler suya maruz kalması veya zeminle teması bulunan satırlarda

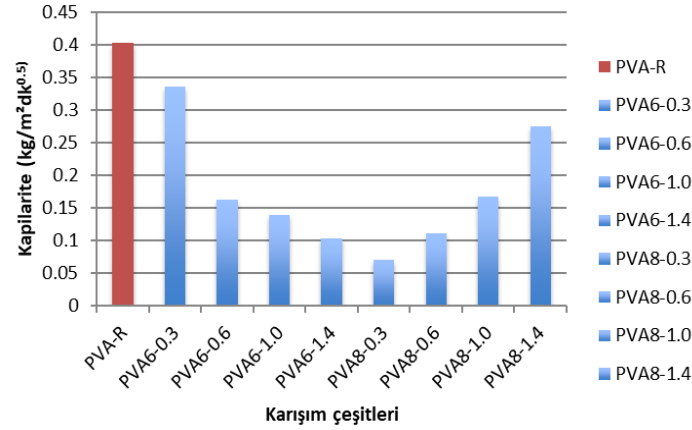
zeminden kapiler olarak yükselen suya maruz kalma durumları vb. gibi. Diğer taraftan, bünyesinde su ihtiva eden harçların mekanik ve yalıtım performans değerlerinde değişimlerin görüleceği de kaçınılmaz olmaktadır. Genellikle bünyede tutulan su, harcın bu özelliklerine dezavantaj oluşturacak bir etki sağladığı da genel bir tecrübedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında tüm ÇEHH test örneklerinin normal atmosfer ortamında kütlece su emme ve ayrıca kapiler su emme özellikleri deneysel olarak her bir karışım serisinden 5'şer adet örnek üzerinde analiz edilmiştir. ÇEHH test örneklerinin kütlece su emme oranının belirlenmesi için 28 gün kür sonrası sertleşmiş harç örnekleri öncelikle havalandırılmalı bir etüvde $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta değişmez kütleye ulaşınca kadar kurutulularak tamamen kuru duruma gelmeleri sağlanarak, birim ağırlık değerleri kaydedilmiştir (m_0). Daha sonra bu örnekler laboratuvar ortamında sıcaklığı $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ olan bir su tankı içerisinde su içerisine daldırılarak 24 saatlik zaman diliminde su emilimi sağlanmış ve birim ağırlığı kaydedilmiştir. Bundan sonraki her 12 saatlik periyotlarda su emilimi sebebiyle kütlesi sabit bir değere ulaşınca kadar su içerisinde bekletilmeye ve değerlerin kaydedilmesine devam edilmiştir. En son birim ağırlık değeri (m_1) olarak ele alınarak, örneklerin kütlece su emme değeri (SE); $SE = ((m_1 - m_0) / m_0) * 100$ yaklaşımı kullanılarak “%” değer olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel bulgulara göre ÇEHH test örneklerinin kütlece su emme oranları Şekil 19’da verilmiştir.



Şekil 19. ÇEHH test örneklerinin kütlece su emme oranları.

Elde edilen bulgulara göre PVA-R kontrol harcının kütlece su emme değeri ortalama %41 dolayındadır. 6 mm boyutlu PVA lif katkılı test örneklerinin kütlece su emme değerleri ise artan lif kullanım oranına bağlı olarak düşmektedir. Diğer bir değişle, kontrol harcına göre daha az su emen bir özellik göstermektedir. En yüksek PVA lif katkı oranlı PVA6-1.4 örneğinin PVA-R kontrol harcına göre su emme değerindeki azalma ortalama %14.6'dır. 6 mm boyutlu lif kullanımının matris yapıda daha kompakt bir form yapı oluşturması sebebiyle gözenekliliğin de düşük olmasıyla birlikte harcın su emme kabiliyetinde düşüşe neden olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan, 8 mm boyutlu PVA lif katkılı harç örneklerinin kütlece su emme değerleri ise, 6 mm boyutlu PVA lif katkının etkisinin tersine bir davranış sergilediği gözlenmiştir. 8 mm PVA katkı oranı arttıkça, PVA-R kontrol harcına göre kütle su emme oranları da lineer bir eğilimle artmaktadır. Aynı zamanda elde edilen parametrik bulguların eş değer katkı oranlı 6 mm PVA'lı harç örneklerinin değerlerinden de %8-%24 oranlarında değişen büyüklüklerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak, yukarıdaki diğer parametre analizlerinde de değinildiği üzere 8 mm PVA lif katkısıyla birlikte harç matrisi daha gözenekli bir form kazanmakta ve bu gözenekler su emme kabiliyetini artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca,

uzun lif boylarının matris yapıda bir su yolu oluşturarak suyun daha hızlı içyapıda taşınmasına olanak sağladığı da düşünülmektedir. Bu bağlamda, kütlece su emme özelliği düşük düzeylerde olması arzu edilen uygulamalarda daha kısa boyutlu lif katkılarının kullanımı önem kazanacağı tecrübe edinilmiştir. Diğer bir su emme özelliği olarak ÇEHH test örneklerinin kapiler (kılcal) su emme kabiliyetleri analiz edilmiştir. Yapılan deneysel bulgulara göre ÇEHH test örneklerinin kapiler su emme değerleri Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. ÇEHH test örneklerinin kapiler (kılcal) su emme değerleri analizi.

Elde edilen bulgulara göre PVA-R kontrol harcının kapiler su emme değeri ortalama 0.40 kg/m²dk^{0.5}’dir. 6 mm boyutlu PVA lif katkılı test örneklerinin kapiler su emme değerleri ise artan lif kullanım oranına bağlı olarak önemli ölçüde düşmekte ve daha yüksek su geçirimsiz bir form kazanmaktadır. 6 mm PVA lif katkısının %1.4 en yüksek kullanım oranlı PVA6-1.4 test örneğinde, kapiler su geçirimsizlik özelliğinin kontrol harcına göre %75’e ulaşan bir oranda iyileştiği ve su geçirimsizliğine karşı daha dirençli bir matrise sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma bulgularından genel edinilen tecrübe, 6 mm PVA lif katkısının kullanım oranının artışı, harcın kapilarite özelliğinin su direnci bağlamında önemli bir etki oluşturduğudur. Teknik bulgular, çimento bağlayıcılı kaba ve ince sıva harcı-kâgir harcı özelliklerinin tanımlandığı TS EN 998-1 standardında öngörülen (Madde 5.2., Tablo 1’de) [30] kılcal (kapiler) su emme sınıflanması dikkate alındığında, PVA-R test örneklerinin W0 sınıfı kılcal su emme grubunda yer aldığı görülmektedir. Bu özelliği itibarıyla genel amaçlı kâgir harcı uygulamaları için uygun olabileceği görülmektedir. PVA6-0.3 test örneğinin ise W1 sınıfında (≤ 0.4 kg/m²dk^{0.5}) yer alabileceği ve kılcal su yalıtımına katkı sağlayacak bir harç uygulaması için uygun olabileceği öngörülebilmektedir. PAV6-0.6 – PVA6-1.4 test örneklerinin tamamının W2 sınıfında (≤ 0.2 kg/m²dk^{0.5}) yer aldığı ve kılcal su yalıtımı amaçlı harç uygulamaları için uygun olabileceği belirlenmiştir. 8 mm boyutlu PVA lif katkılı ÇEHH test örneklerinin kılcal su emme değerlerinin tamamı, PVA-R kontrol harcının değerinden düşüktür. Ancak, 8 mm boyutlu PVA lifinin karışım tasarımında katkı oranı arttıkça, kılcal su emme değerlerinde de üstel bir eğilimle artış olduğu belirlenmiştir. Lif katkı oranı %0.3’den %1.4 oranına arttığında kılcal su emme değerinde yaklaşık %74 oranında artış oluşmaktadır. Yukarıda da özetle değinildiği üzere, uzun lif boyları matris yapıda su yolu oluşturduğu düşüncesiyle suyun daha hızlı ve yüksek oranda içyapıda taşınmasına sebep vermekte ve kılcal su emilimini artırmaktadır. Bununla birlikte uzun lif boylarının matris yapıda daha fazla boşluk oluşumuna da sebebiyet vermesi, kılcal su emilimini artıran bir diğer faktör olarak düşünülebilir. 8 mm boyutlu PVA katkı kullanımını bağlamında PVA8-0.3 – PVA8-1.0 kodlu numunelerin TS EN 998-1 standardına göre [30] W2 sınıfında (≤ 0.2 kg/m²dk^{0.5})

yer aldığı ve kılcal su yalıtımı amaçlı harç uygulamaları için uygun olabileceği belirlenmiştir. Diğer taraftan PVA8-1.4 kodlu test örneklerinin ise W1 sınıfında ($\leq 0.4 \text{ kg/m}^2 \text{ dk}^{0.5}$) yer alabildiği ve kılcal su yalıtımına katkı sağlayacak bir harç uygulaması için uygun olabileceği öngörülebilmektedir. Çalışma kapsamında analiz edilen kılcal (kapiler) su emme değerleri bağlamında, kılcal su geçirimsizlik kabiliyetinin iyileştirilmesi amacıyla oluşturulacak bir harç tasarımında düşük katkı oranlı uzun boyutlu PVA liflerin ya da yüksek katkı oranlı kısa boyutlu PVA liflerinin kullanımının daha etkin bir rol oynadığı tecrübe edinilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında PVA lif boyutunun çimento esaslı hafif harcın özelliklerine etkisi deneysel metotlarla incelenmiştir. Laboratuvar ortamında hazırlanan 9 farklı test serisi örneklerin bulguları göz önünde bulundurularak tartışılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre;

- * Çimento esaslı PVA lif katkılı hafif harçlarda lif oranı arttıkça taze yaş harcın ve sertleşmiş harcın yoğunluk değerlerinde yaklaşık %8 oranına varan bir azalma gözlemlenmiştir.
- * Yapılan mikroskobik analizlere göre agrega ve PVA liflerin harç matrisi içerisinde düzenli bir şekilde dağılabildiği gözlemlenmiştir.
- * Karışıma ağırlıkça %0.3 - %1.4 oranında ilave edilen 6 mm boyutuna sahip PVA lifler harcın basınç dayanımını PVA lif katkısız kontrol örneğine göre %31 oranına kadar artırabilme, karışımlara ağırlıkça %0.3 - 1.4 oranlarında ilave edilen 8 mm boyutuna sahip PVA lifler ise harcın basınç dayanımını kontrol harcının dayanımına kıyasla %8 oranına kadar düşürebilmektedir.
- * Ultrases geçiş hızı testlerine göre ağırlıkça %0.3 - %1.4 kullanım aralığında 6 mm boyutunda PVA lif miktarının PVA-R kodlu referans örneğine göre ultrases geçiş hızı değerini %9.8 oranına kadar arttırabildiği, 8 mm boyutunda PVA lif miktarının PVA-R kodlu referans örneğine göre ultrases geçiş hızı değerini % 1.30 oranına kadar düşürebildiği gözlemlenmiştir.
- * 6 mm boyutunda PVA lif kullanımı kütlece su emme oranını %6 oranında düşürebilmesiyle birlikte 8 mm boyutunda PVA lif kullanımı kütlece su emme oranını %7 oranında arttırabildiği gözlemlenmiştir.
- * Benzer şekilde 6 mm boyutunda PVA lif kullanımı kapiler su emme değerlerini %75 oranına kadar azaltabildiği ve 8 mm boyutunda PVA lif kullanımı kapiler su emme değerlerini %74 oranına kadar arttırabildiği tespit edilmiştir. Kılcal su geçirimsizlik kabiliyetinin iyileştirilmesi amacıyla oluşturulacak bir harç tasarımında düşük katkı oranlı uzun boyutlu PVA liflerin ya da yüksek katkı oranlı kısa boyutlu PVA liflerinin kullanımının daha etkin bir rol oynadığı tecrübe edinilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan tüm testlerden elde edilen bulgular ve test örneklerinin mikroskobik matris analizine göre 6 mm boyutunda PVA lif kullanımının harç içerisindeki boşluk oranını azalttığı ve 8 mm boyutunda PVA lif kullanımının lif boyutunun fazla olması sebebi ile harç içerisinde sarmallık oluşturarak daha fazla boşluklu bir matris formuna dönüştüğü tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Balun, B., Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen harçların mekanik ve durabilite özellikleri/Mechanical and durability properties of self compacting mortar with lightweight aggregate, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (2013).
- [2] Sonoda, Y., Tamai, H., ve Ikeda, H., Seismic Performance of Dam Piers Retrofitted with Reinforced Polymer Cement Mortar, **Applied Sciences**, 11(16), 7255, (2021).
- [3] Coppola, B., Courard, L., Michel, F., Incarnato, L., Scarfato, P., ve Di Maio, L., Hygro-thermal and durability properties of a lightweight mortar made with foamed plastic waste aggregates, **Construction and Building Materials**, 170, 200-206, (2018).
- [4] Okasha, M. A. T. A., Abdel Razek, M., ve El-Esnawi, H., Strengthening of existing RC buildings by using autoclaved aerated concrete infill Wall, **HBRC Journal**, 16(1), 143-155, (2020).
- [5] Faghihmaleki, H., Nejati, F., ve Masoumi, H., In vitro evaluation of additives allowed for high strength concrete (HSC) and foam concrete, **Pamukkale University Journal of Engineering Sciences**, 23(3), (2017).
- [6] Türk, K., ve Kına, C., Çimento esaslı kompozitlerde karma lif kullanımı. **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 23(6), 671-678, (2017).
- [7] Mujebul Rahman LATIFI, Makro Sentetik Polipropilen Lif Kullanımının Beton Karışımlarının Taze ve Sertleşmiş Hal Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2020).
- [8] Yaprak, H., Memis, S., Kaplan, G., Yilmazoglu, M. U., ve Ozkan, I. G. M. Effects on compressive strength of accelerated curing methods in alkali activated mortars, **Int J Sci Technol Res**, 4, (2018).
- [9] Zhang, P., Li, Q. F., Wang, J., Shi, Y., ve Ling, Y. F. Effect of PVA fiber on durability of cementitious composite containing nano-SiO₂, **Nanotechnology Reviews**, 8(1), 116-127, (2019).
- [10] Kızıllıgın, B., Çelik ve karbon lifli harçların sülfat etkilerine dayanıklılığının incelenmesi (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü), (2009).
- [11] Ji, Y., Zou, Y., Wan, X., ve Li, W., Mechanical Investigation on Fiber-Doped Cementitious Materials, **Polymers**, 14(9), 1663, (2022).
- [12] de França, M. S., Cardoso, F. A., ve Pileggi, R. G., Influence of the addition sequence of PVA-fibers and water on mixing and rheological behavior of mortars. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, 9, 226-243, (2016).
- [13] Abbas, W. A., Gorgis, I. N., ve Hussein, M. J., Performance of Cement Mortar Composites Reinforced with Polyvinyl Alcohol Fibers, **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Vol. 518, No. 2, p. 022045, (2019).
- [14] Huang, J., Wang, Z., Li, D., ve Li, G., Effect of Nano-SiO₂/PVA Fiber on Sulfate Resistance of Cement Mortar Containing High-Volume Fly Ash, **Nanomaterials**, 12(3), 323, (2022).
- [15] Calis, G., Akpınar, M. E., Yildizel, S. A., ve Çöğürçü, M. T., Evaluation and optimization Of PVA reinforced cementitious composite containing metakaolin and fly ash, **Revista Romana de Materiale**, 51(1), 53-66, (2021).
- [16] Çomak, B., Bideci, A., ve Bideci, Ö. S., Effects of hemp fibers on characteristics of cement based mortar, **Construction and Building Materials**, 169, 794-799, (2018).

- [17] Küçükarslan Sarioğlu, Ö., Tasarlanmış çimento esaslı kompozitlerde pva lif oranının temel mekanik, boyutsal stabilite ve üstyapı kaplaması olarak performans özellikleri üzerine etkisi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü), (2020).
- [18] Dilli, M. E., Şengül, C., ve Atahan, H. N. Yalın ve Pva Liflerle Güçlendirilmiş Yapısal Yarı Hafif Betonların Kırılma Performanslarının İncelenmesi, (2021). [hazir_beton_dergisi_makale_yalin_ve_pva_liflerle_guclendirilmis_yapisal_yari_hafif_betonlarin_kirilma_performanslarinin_incelenmesi_-165.pdf](#) (thbb.org).
- [19] Uygunoğlu, T., Topçu, İ. B., Şimşek, B., Eryeşil, Ö., & Al-Turki, Y. A. Y. A. Çimento esaslı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde polivinil alkol (pva) liflerin etkisi. **Politeknik Dergisi**, 1-1, (2022).
- [20] Coşkun, A., ve Sarıışık, A. Polipropilen Lif Takviyeli Pomza Tozu İçeren Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. **Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 11(1), 269-277, (2022).
- [21] Öner, B., Lif takviyeli çimento esaslı kompozit üretiminde polimer atıkların değerlendirilmesi (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü), (2013).
- [22] Boğazkesen, K. K., PVA lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2011).
- [23] Dilli, M. E., Hafif agrega içeren yalın ve PVA lif ile güçlendirilmiş yapısal betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2015).
- [24] <https://pngmerkezdotorg.wordpress.com/2020/06/20/lifli-betonlar/> (04.06.2022).
- [25] Özbay, E., Lif türünün betonların yük-deplasman davranışı ve donma-çözülme direncine etkisi. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 31(1), 273-280, (2016).
- [26] Yao, X., Huang, G., Wang, M., ve Dong, X., Mechanical properties and microstructure of PVA fiber reinforced cemented soil. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 25(2), 482-491, (2021).
- [27] ASTM C109/C109M-02 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).
- [28] Ünal, M. T., Ve Şimşek, O., Çimento harçlarında optimum uçucu kül ve PVA lif oranının belirlenmesi. **Politeknik Dergisi**, 1-1, (2021).
- [29] Topçu, İ. B., Demirel, O. E., ve Uygunoğlu, T., Polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri, **Politeknik Dergisi**, 20(1), 91-96, (2017).
- [30] TS EN 998-1, (2011), Kâgir harcı - Özellikler - Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı, TSE, Ankara, s20.