




Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yüksek Hacimli Çimento İçerikli Kompozitlerde Polipropilen Lif ve Alçıtaşı Kullanımının Mühendislik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

 Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR ^{a,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: obayraktar@kastamonu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.896642

ÖZ

Bu çalışmada, polipropilen lif ve alçıtaşı kullanımı ile üretilen harçların basınç ve eğilme dayanımına, görünür porozite ve su emme kapasitesine, kuruma büzülmesi davranışına etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda Türkiye’de üretilmeyen genişlen çimento için alternatif bir yöntem düşünülmüş ve alçıtaşı toplam hacime dahil edilmiştir. Tüm harç karışımlarında su/bağlayıcı değeri 0,25 olarak sabit tutulmuştur. Dayanım özellikleri ve kuruma büzülmesi davranışlarını geliştirmek amacı ile harç karışımlarına toplam hacmin %1,5 ve %3,0 oranlarında polipropilen lif eklenmiştir. Lif kullanımının harç karışımlarının işlenebilirliğini olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle lif içeren karışımlarda sabit yayılma değerlerini elde etmek için lif içermeyen karışıma kıyasla daha fazla su ilave edilmesi gerekmektedir. Ancak dayanım azalmasını engellemek amacıyla lif içeren ve içermeyen harç karışımlarında su miktarları sabit tutulmuştur. Kompozitlerin işlenebilirliği için kendiliğinden yerleşme özelliği esas alınmış ve bu kapsamda yüksek oranda su azaltıcı katkı oranı %2,5 olarak kullanılmıştır. Üretilen harç karışımlarının 1, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları, 28 günlük görünür porozite ve su emme miktarları, 90 günlük kuruma büzülmesi değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre lif kullanımı ile istenilen yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alçıtaşı, Kuruma büzülmesi, Mekanik özellikler, Polipropilen lif

The Effect of The Use of Polypropylene Fiber and Gypsum in High Volume Cement Contained Composites on Engineering Properties

ABSTRACT

In this study, the effects of mortars produced with the use of polypropylene fiber and gypsum on the compressive and flexural strength, apparent porosity and water absorption capacity, and drying shrinkage behavior were investigated. In this context an alternative method was considered for expanding cements not produced in Turkey and gypsum was included in the total volume. The water / binder value was kept constant at 0.25 in all mortar mixes. In order to improve the strength properties and drying shrinkage behavior, 1.5% and 3.0% of the total volume of polypropylene fiber was added to the mortar mixes. It is known that the use of fiber negatively affects the workability of mortar mixes. For this reason, more water has to be added to the fiber-free mixture in order to achieve constant spreading values in fiber-containing mixtures. However, the amount of water was kept constant in mortar mixes with and without fiber in order to prevent loss of strength. For the workability of composites, self-compacting feature was taken as a basis and in this context, a high rate of water reducing admixture was used as 2.5%. 1, 7 and 28 days compressive and bending strength, 28 days apparent porosity and water absorption, 90 days drying shrinkage values of the produced mortar mixtures were determined. According to the results, the need for water reducing additives has increased with the use of fiber to achieve the desired spreading value.

Keywords: Gypsum, Drying shrinkage, Mechanical properties, Polypropylene fiber

I. GİRİŞ

Dünya nüfusu son yüzyılda tarih boyunca olmadığı kadar artmış ve 1750’li yıllarda sadece 717 milyon civarında iken, 2020 yılında 7,7 milyarı aşmıştır. Dünya nüfus artışının devam edeceği ve 2030 yılında 8,5 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir [1]. Nüfus artışı, insanların temel ihtiyaçlarından olan barınma ihtiyacının karşılanabilmesi amacıyla yeni binaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır [2]. Günümüzde yapılan binaların büyük bölümünün temel yapıtaşını beton oluşturmaktadır. Çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşan beton, çağımızda çok çeşitli yapılarda kullanılmaktadır [3]. Dünyada Portland çimentosu ile üretilen betonlar en çok tercih edilenlerdir. Portland çimentosunun kullanımıyla beraber karşımıza çıkan ana davranışlarından biri de yaygın olarak kuruma büzülmesi davranışıdır. Kuruma büzülmesi sonucu beton elemanlarda çatlaklar meydana gelebilmektedir. Çimento içerisinde büzülmeye sebep olan, çimentonun hidratasyonu aşamasında açığa çıkan hidratasyon malzemelerinin hacminin giren malzeme hacminden az olması durumu ayrıca betonun bünyesinde bulunan suyun sıcaklık ile ilişkili olarak yok olması da büzülmeyi esas olarak etkileyen faktörlerden oluşmaktadır. Genleşen çimentolar bu aşamada devreye girerek rötre nedeniyle oluşan hacim azalmasını önlemiş, çekme gerilmelerinin donatı üzerinde yoğunlaşmasını sağlamıştır [4]. “Genleşen çimentolar” ACI Committe 223 tarafından şu şekilde tarif edilmiştir; “suyla karıştırıldığında priz esnasında ve sonrasında ve de sertleşme sırasında hacimde belirgin bir artış yaratan çimento türüdür.” [5]-[9].

Beton, günümüzde o kadar yoğun kullanılmaktadır ki, dünyada sudan sonra en çok tüketilen malzeme olduğu belirtilmektedir. Bunun nedenlerinin başında ise ekonomik olması gösterilmektedir. Örneğin; beton üretiminde kullanılan enerjinin çelik üretiminde kullanılan enerjiden 20 kat daha az olduğu ifade edilmektedir [10]. Bununla birlikte yine de betonun ana maddesi olan çimento maliyetleri oldukça yüksektir. Çimento sanayinde doğal puzolanik katkı maddesi olarak, büyük oranda doğal cürufur kullanılmaktadır. Ayrıca yapay olarak elde edilen yüksek fırın cürufu ve uçucu küller de katkı maddesi olarak kullanılabilir. Çimento maliyetlerinin düşürülmesi açısından katkı maddelerinin yüksek oranda kullanılabilir kalitede olması büyük önem taşımaktadır [11]. Bundan dolayı farklı katkı maddelerinin beton üretiminde kullanılabilirliğine ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır [12]-[13].

Günümüzde kentsel ve endüstriyel atıkların (uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb.) beton üretiminde kullanılması ile çevresel problemler azaltılmaktadır [14]. Beton ikame malzemeleri aynı zamanda betonun temel özelliklerini ve dolayısıyla farklı kullanım alanlarındaki kalitesini belirlemektedir. Silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi pek çok atık ikame malzemesi kullanılmaktadır [15]-[17].

Bu çalışmada da yüksek hacimli çimento içerikli kompozitlerde polipropilen lif ve alçıtaşı kullanımının, beton kalitesini belirleyen önemli karakterlerden kuruma büzülmesi üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Prizini almış betonun içerisinde alçıtaşı meydana gelmesi genleşmeye yol açmaktadır. Fakat, alçıtaşı ve yarı kararlı durumdaki kalsiyum-alüminomonosülfhidrat arasındaki reaksiyonlar sonucunda asıl genleşme meydana gelmektedir. Prizini almış beton içerisinde etrenjit ($C_6AS_3H_{32}$) yapısının oluşması, çok büyük genleşmeler oluşturmada, betonun çatlamasına ve parçalanmasına neden olmaktadır [18]. Kaplan ve Öztürk yaptıkları çalışmada C_3A ’nın çimento esaslı kompozitlerdeki boyutsal kararlılığa etkisini göstermiştir [19]. Çalışmaya konu polipropilen (PP) lifler, petrolün bir türevidir olup, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle, inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan organik bir malzemedir. Dünyada çimento ve alçı gibi organik kökenli inorganik bağlayıcılar ile bitüm gibi organik bağlayıcıları mikro donatılandırmak ve durabilite özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen liflerin beton içerisinde kullanılmasıyla gösterdiği en önemli özellik, beton dökümünün ilk saatleri içerisinde meydana gelen plastik büzülmeden dolayı oluşan çatlama kontrol etmektir [3].

Polipropilen filmlerin fibrilasyonu ile üretilen polipropilen lifler, Portland çimento betonunda 1960’ların sonlarından itibaren kullanılmaktadır. Polipropilen ve diğer sentetik lifler, plastik büzülmesini kontrol etmek için ikincil donatı olarak betona eklenir. En yaygın uygulama, beton nem kaybından dolayı büzülmesinde temelin veya yapının diğer kısımlarının kısıtlamasının çekme

gerilmeleri ürettiği eğimli döşeme inşaatıdır. Bu gerilmeler erken yaşta beton dayanımını aşarak büzülme çatlaklarına neden olabilir. Polipropilen lifler, gerilme betonunu artırarak ve oluşan çatlakları köprüleyerek plastiğin ve erken kuruma büzülmesini azaltır. Polipropilen liflerin sertleşmiş betonun özellikleri üzerindeki etkisi, lifin cinsine, uzunluğuna ve hacim oranına, karışım tasarımına ve kullanılan beton malzemelerin niteliğine bağlı olarak değişmektedir [20].

Bu çalışmada agrega olarak silis kumu (doğal agrega) ile lif içeren ve içermeyen olmak üzere 9 tip harç karışımları üretilmiştir. Dayanım özellikleri ve kuruma büzülmesi davranışlarını geliştirmek amacıyla harç karışımlarına toplam hacmin %1,5 ve %3,0 oranlarında polipropilen lif eklenmiştir. Üretilen harç karışımlarının 1, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları, 28 günlük görünür porozite ve su emme miktarları, 90 günlük kuruma büzülmesi değerleri belirlenmiştir.

II. MALZEMELER ve YÖNTEM

A. MALZEMELER

Karışımların üretilmesinde CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. TS EN 196-1 standardına uygun çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Bileşim			
<i>(%)</i>			
SiO₂	20,31	Al₂O₃	5,64
Fe₂O₃	3,27	CaO	64,02
MgO	1,64	SO₃	2,86
Na₂O	0,87	K₂O	0,80
Kızdırma kaybı			
<i>(%)</i>			2,17
C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF
55,55	16,50	9,41	1,48
Özgül yüzey alanı			
<i>(cm² gr⁻¹)</i>			3150
Özgül ağırlık			
<i>(kg m⁻³)</i>			3,13

Agrega olarak 0-1 mm elek açıklığına sahip silis kumu (doğal agrega) kullanılmıştır. Agregaya ait tane dağılımı Tablo 2’de verilmiştir. Agreganın özgül ağırlığı 2.64, su emme değeri ise %2,3 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Agregaya ait tane dağılımı tablosu.

Elek açıklığı	4	2	1	0,5	0,25	0,125	Pan
<i>(mm)</i>							
Elekten geçen	100	99,8	99,2	78,5	2,3	0,3	0
<i>(%)</i>							

Çimento esaslı kompozitlerin işlenebilirliğini arttırmak için yeni nesil polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Şeffaf renkli olan yüksek oranda su azaltıcı katkının özgül ağırlığı 1,05’dir. Karışımların üretiminde ve kür işleminde içilebilir nitelikte su kullanılmıştır. Çimento esaslı kompozitlerde genleştirici olarak kullanılan alçıtaşının SO₃ içeriği %38,13 olarak belirlenmiştir (XRF yöntemi ile). Alçıtaşı bilyalı değirmende 1 saat öğütüldükten sonra kullanılmıştır.

Genleşme ve büzülme etkisini kontrol etmek için kullanılan polipropilen lifin (PP) teknik özellikleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Polipropilen lifin (PP) teknik özellikleri.

Özgül ağırlığı	0,91	Erime noktası (°C)	175
Çekme dayanımı (MPa)	350	Boy (mm)	6
Kopma uzaması (%)	100	Çap (µm)	34

B. KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE TEST YÖNTEMLERİ

Karışımların hazırlanmasında yüksek erken ve nihai dayanım için çimento içeriği 1000 kg/m³ olarak seçilmiştir. s/ç oranı ise tüm karışımlarda sabit olarak 0.25'dir. Kompozitlerin işlenebilirliği için kendiliğinden yerleşme özelliği esas alınmış ve bu kapsamda yüksek oranda su azaltıcı katkı oranı %2,5 olarak kullanılmıştır. Alçıtaşı çimento ağırlığına göre %2,5 ve 5 oranlarında karışıma eklenmiştir. Alçıtaşı ilavesinde çimento miktarında herhangi bir azaltma yapılmamıştır. Alçıtaşı bağlayıcı olarak düşünülmüş toplam hacime dahil edilmiştir. Bu yüzden alçıtaşı ilavesi ile agrega miktarı azalmıştır. PP lif karışıma hacimce %1,5 ve 3 oranlarında eklenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında üretilen karışımların oranları ve malzeme miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Çimento esaslı kompozitlere ait malzeme miktarları.

Karışım	Karışım Oranları		Malzeme Miktarları (kg/m ³)					
	PP	Alçı	Çimento	Agrega	Su	Kimyasal	Alçı	Lif
P0A0	0	0	1000	1062,7	250	25	0	0
P0A2	0	2,5	1000	1034,4	250	25	25	0
P0A5	0	5	1000	1006,2	250	25	50	0
P1A0	1,5	0	1000	1062,7	250	25	0	1,37
P1A2	1,5	2,5	1000	1034,4	250	25	25	1,37
P1A5	1,5	5	1000	1006,2	250	25	50	1,37
P3A0	3	0	1000	1062,7	250	25	0	2,73
P3A2	3	2,5	1000	1034,4	250	25	25	2,73
P3A5	3	5	1000	1006,2	250	25	50	2,73

Karışımların hazırlanmasında izlenen yol 10 adımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- 1) Çimento + 2/3 su karıştırılır (30 sn-düşük hız)
- 2) 30 sn yüksek hızda karıştırma işlemine devam edilir
- 3) 1 dakika karışımın dinlendirilir
- 4) 1/3 su + kimyasal katkı yapılır (30 sn-düşük hız)
- 5) 1 dakika yüksek hızda karıştırma işlemine devam edilir
- 6) Agrega eklenir (60 saniye-düşük hız)
- 7) 2 dakika yüksek hızda karıştırma işlemine devam edilir
- 8) 1 dakika karışım dinlendirilir
- 9) Alçı ve PP lif ilavesi yapılır (60 saniye-düşük hız)
- 10) 1 dakika yüksek hızda karıştırma işlemine devam edilir.

Yukarıda verilen işlem basamaklarından sonra elde edilen çimento esaslı kompozitlerde yayılma çapı ölçülerek taze hal özellikleri belirlenmiştir. 9. Karışım hariç tüm kompozitlerde kendiliğinden

yerleşme özelliği elde edilmiştir. Şekil 1’de bazı çimento esaslı kompozitlerin taze hal görünüşleri verilmiştir.



Şekil 1. Bazı çimento esaslı kompozitlerin taze hal görünüşleri.

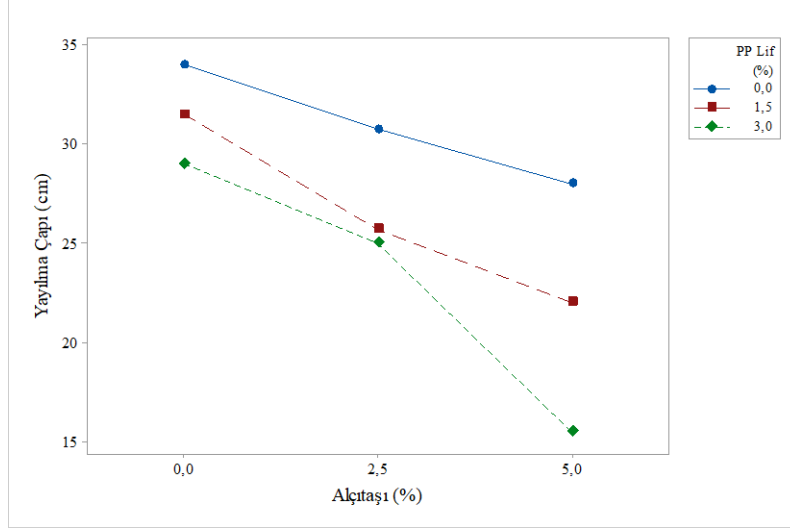
Yayıma çapları belirlenen karışımlar daha sonrasında kalıplarına yerleştirilmiştir. Ayrıca kompozitlerin 50*50*50 mm ayrıtlı küp numuneler ile taze birim hacim ağırlıklarında tespit edilmiştir. 24 saat oda koşullarında bekletilen kompozitler kalıplarından sökülerek kür işlemine (standart su kürü) tabi tutulmuştur. Çimento esaslı kompozitlerin basınç ve eğilme dayanımları 40*40*160 mm boyutlarına sahip prizma numuneler ile belirlenmiştir. İlk olarak 3 noktalı eğilme deneyi gerçekleştirilmiş daha sonrasında basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Mekanik özelliklerde 1, 7 ve 28. gündeki dayanımlar belirlenmiştir. 24 saat sonra kalıplarından sökülen karışımlar su kürüne tabi tutulmadan (1 gün) test edilmiştir.

Basınç ve eğilme dayanımı deneyinde ASTM C348 ve 349 standartları esas alınmıştır. Kompozitlerin kuruma büzülmesi 25*25*285 mm harç çubukları kullanılarak belirlenmiştir. Kuruma büzülmesi deneyi ASTM C 596 standardında belirtilen kurallara göre gerçekleştirilmiştir. Kuruma büzülmesi için ilk olarak 7 günlük su kürü yapılmıştır. Su kürü sonrasında kompozitlerin 90. güne kadar belirli periyotlarda kuruma büzülmesi davranışı dijital komparatör ile ölçülmüştür. Çimento esaslı kompozitlerin kapilerite özellikleri ASTM C 1585’e uygun olarak 50*50*50 mm ayrıtlı küp numunelerde belirlenmiştir. Küp numunelerin 24 saatteki su işleme derinlikleri belirlenmiştir. Kompozitler 28 günlük kür işlemi sonrasında 3 gün boyunca 50 °C’de etüvde kurutulmuştur. Küp numunelerin yan yüzeylerine yaklaşık 0,5 cm yüksekliğinde su geçirimsizlik malzemesi sürülmüş ve sonrasında 24 saate kadar kılcal yolla su emme özelliği belirlenmiştir. Çimento esaslı kompozitlerin porozite özellikleri arşimed terazisi yöntemiyle tespit edilmiştir. Arşimed terazisi yönteminde 50*50*50 mm ayrıtlı küp numuneler kullanılmıştır. Bütün deneysel veriler en az 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

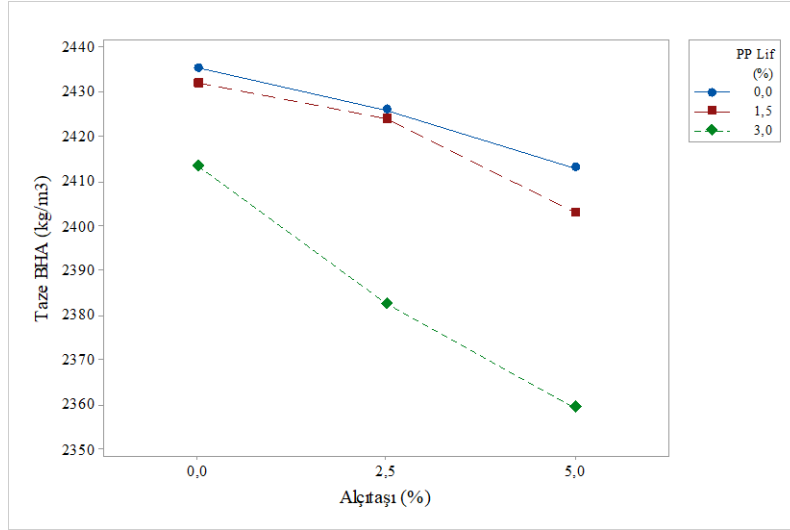
III. BULGULAR

A. TAZE HAL ÖZELLİKLERİ

Çalışma kapsamında farklı oranlarda polipropilen lif ve alçıtaşı ilave edilen çimentolarda yayılma çapı ve taze birim hacim ağırlığı üzerine etkileri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin yayılma çapına etkisi.



Şekil 2. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin taze birim hacim ağırlığına etkisi.

Şekil 2 incelendiğinde en yüksek yayılma çapının PP lif ilavesi yapılmayan çimentolarda ölçüldüğü, PP lif ilavesi arttıkça yayılma çapının azaldığı görülmektedir. Aynı durum alçıtaşı ilavesi için de geçerlidir. Alçı taşı ilave oranı arttıkça yayılma çapı da belirgin şekilde azalmaktadır.

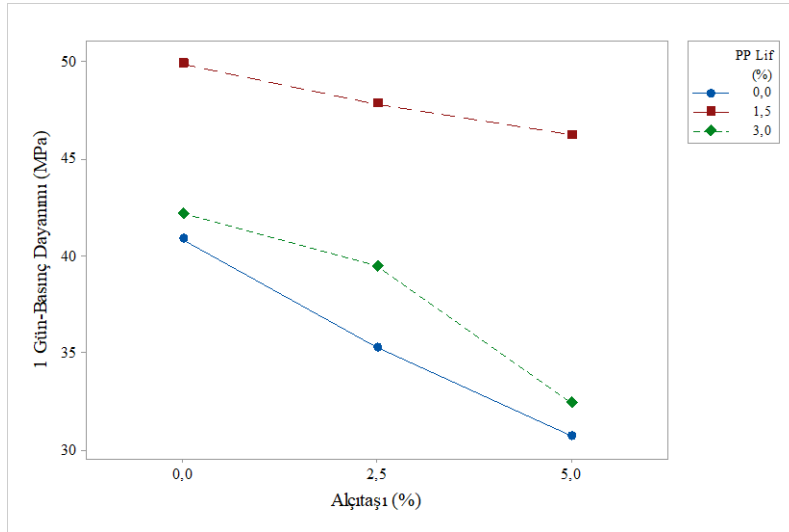
PP lif ve alçıtaşı ilavesi yapılmayan betonda yayılma çapı 35 cm civarında iken %3 PP lif ve %5 alçıtaşı ilavesi yapılan betonlarda yayılma çapı 15 cm civarına düşmüştür.

Benzer durum taze birim hacim ağırlığı için de geçerlidir. Hem PP lif hem de alçıtaşı ilavesi taze birim hacim ağırlığı oranını önemli ölçüde düşürmektedir. Ancak Şekil 2’de görüleceği üzere dikkat çeken önemli bir husus %1,5 PP lif ilavesinin taze birim hacim ağırlığı oranını önemli ölçüde etkilememesine rağmen %3 PP lif ilavesinin önemli düzeyde etkilemesidir. %5 alçıtaşı ilavesi yapılarak, PP lif ilavesi yapılmayan ve %1,5 PP lif ilavesi yapılan betonlarda taze birim hacim ağırlığı miktarı 2400 kg/m³’ün üzerinde iken, %3 PP lif ilavesi yapılan betonlarda bu miktar 2360 kg/m³ civarında hesaplanmıştır.

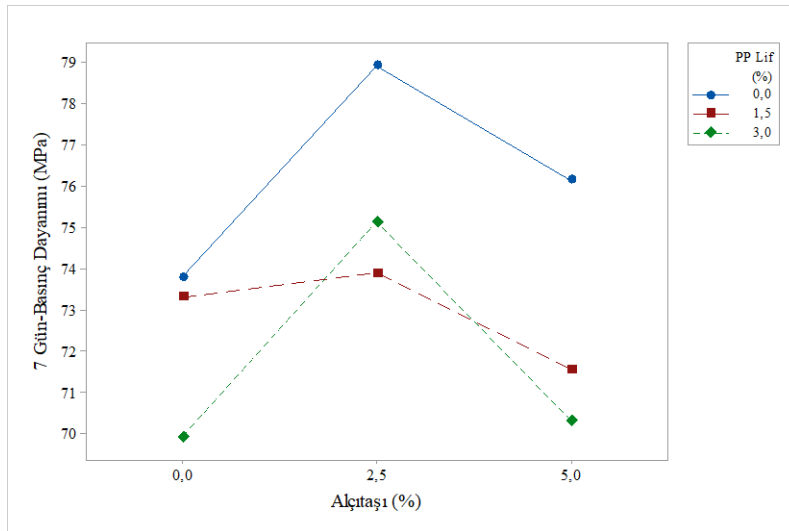
PP liflerin hidrofil özellikte olması işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir. Karışım suyunun bir kısmını PP lif emdiği için işlenebilirlik azalmıştır. Ayrıca karışımlarda alçıtaşı kullanıldığı için birincil etrenjit oluşumuna bağlı olarak karışımların işlenebilirliği azalmıştır.

B. BASINÇ DAYANIMI

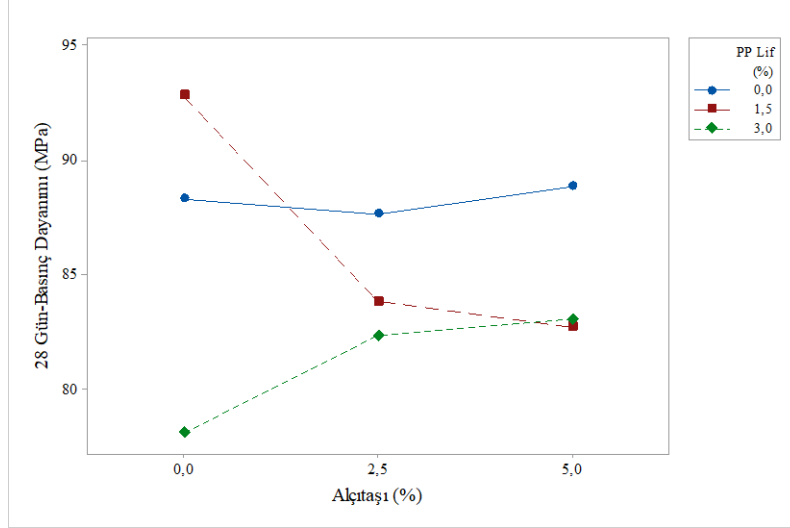
PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 1. 7. ve 28. günde basınç ve eğilme dayanımına etkisini gösterir grafikler Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 1 günlük dayanımına etkisi.



Şekil 4. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 7 günlük basınç dayanımına etkisi.



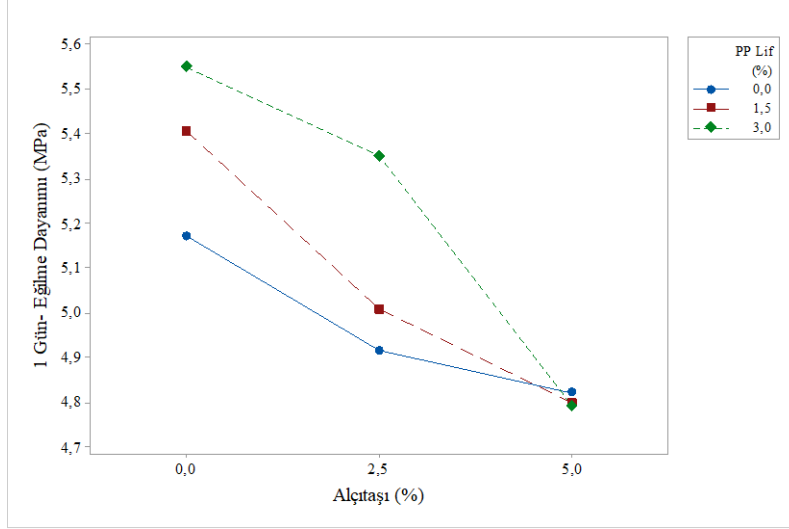
Şekil 5. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 28 günlük basınç dayanımına etkisi.

Şekil 3 incelendiğinde 1. günde dayanımının hem PP lif ilavesi hem de alçıtaşı ilavesi ile doğru orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Ancak 7. günde farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Genel olarak PP lif ilavesi basınç dayanımını azaltmaktadır. Ancak alçıtaşı ilavesi basınç dayanımını önce azaltmakta, daha sonra ise artırmaktadır. 7. günde en yüksek basınç dayanımı %2,5 alçıtaşı ilavesinde elde edilmiştir. 28. günde ise alçıtaşı ilavesi yapılmayan harçlarda en yüksek basınç dayanımı %1,5 PP lif ilavesi yapılan harçlarda, en düşük basınç dayanımı ise %3 PP lif ilavesi yapılan harçlarda elde edilirken %2,5 alçıtaşı ilavesi yapılan harçlarda en yüksek basınç dayanımı PP lif ilavesi yapılmayan harçlarda, en düşük basınç dayanımı ise %3 PP lif ilavesi yapılan harçlarda elde edilmiştir. %5 alçıtaşı ilavesi yapılan harçlarda ise en yüksek basınç dayanımı yaklaşık 9 MPa ile PP lif ilavesi yapılmayan harçlarda elde edilirken hem %1,5 hem de %3 PP lif ilavesi yapılan harçlarda basınç dayanımının 8,5 MPa'nın altına düştüğü görülmektedir.

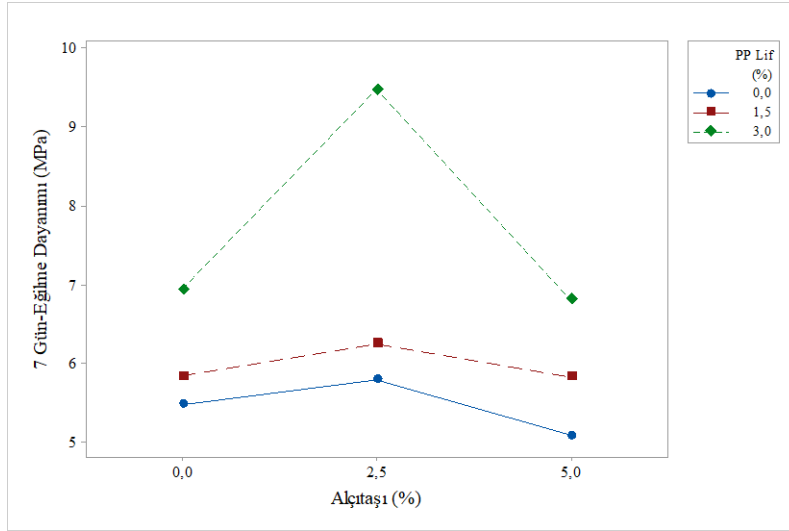
PP lif ilavesi 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını genellikle azaltmıştır. İşlenebilirliğin azalması sonucunda basınç dayanımları azalmaktadır. Türkiye'de genleşen çimento üretimi olmadığı için çimento esaslı kompozitlerde rötre hasarını azaltmak için genellikle mineral katkıları kullanılmaktadır. Öz [26], atık cam tozu ve yüksek fırın cürufu mineral katkı malzemelerinin, kendiliğinden yerleşen harçların basınç ve eğilme dayanımı gibi temel mekanik özelliklerini geliştirdiğini ve üretilen harçların basınç dayanımlarını artırdığını belirtmektedir. Binici vd. [27] pamuk atığı, uçucu kül ve yapıştırıcı reçine kullanılarak üretilen hafif yapı malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı için kullanılabileceğini ayrıca, baritli hafif yapı malzemelerinin radyoaktif geçirgenliklerinin düşük düzeyde olduğunu belirtmektedirler. Lu vd., [28] atık cam tozunun, harçların priz süresini daha düşük bir hidrasyon ısıyla kısalttığını cam tozunun %20 oranında çimentoyla ikamesinin numunenin mukavemetini arttırdığını belirlemişlerdir. Ez-Zaki et al., [29] atık malzeme olarak cam tozu ve midye kabuğu tozu kullanılmıştır. Cam tozu ve midye kabuğu tozu malzemenin ısı geçirgenliğini düşürmüş ve yalıtım işlerinde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Younes et al., [30] çimento harcı kompozitlerinin üretiminde pirinç kabuğu külü, atık cam parçalarının kullanılmasını araştırmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde hem atık camın hem de pirinç kabuğu külünün bütün harç numunelerinde basınç dayanımı değerlerini ve hidrasyon süresini artırdığını, gözeneklilik ve su emme kapasitesi gibi fiziksel özelliklerde ise azalmalar göstermiştir. Lu ve Poon [31] Atık silis camı kırıntısı miktarının artmasıyla işlenebilirliğin arttığını, aynı doğrultuda, mekanik özelliklerin ve yüksek sıcaklığa karşı direncin arttığını da belirlemişlerdir. Sonuç olarak çimento ikamesi olarak farklı malzemelerin kullanılması beton özelliklerini önemli ölçüde değiştirebildiği çok sayıda çalışmada ortaya konulmuştur.

C. EĞİLME DAYANIMI

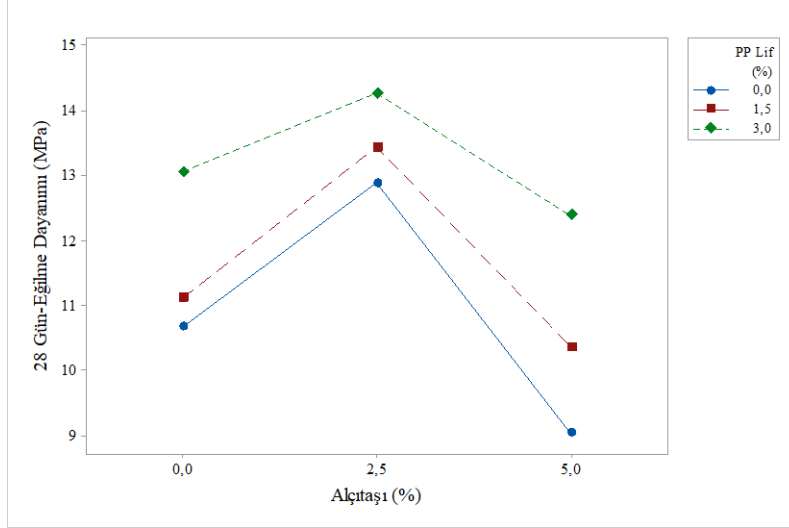
PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 1., 7. ve 28. günde eğilme dayanımına etkisini gösterir grafikler Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 6. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 1 günlük eğilme dayanımına etkisi.



Şekil 7. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 7 günlük eğilme dayanımına etkisi.



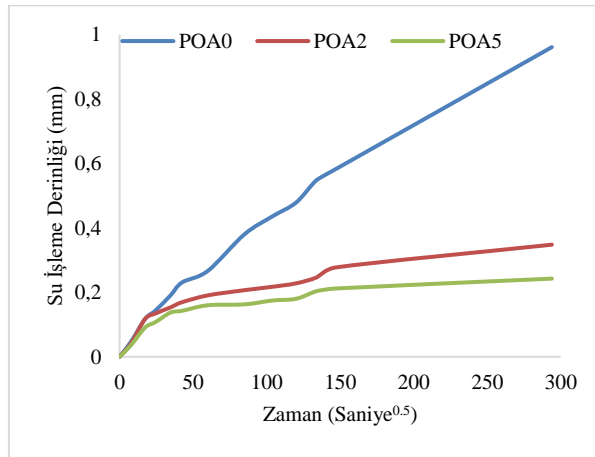
Şekil 8. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 28 günlük eğilme dayanımına etkisi.

Eğilme dayanımının değişimine ilişkin grafikler incelendiğinde 1. günde genel olarak eğilme dayanımının PP lif ilavesi ile doğru orantılı olarak arttığı, alçıtaşı ilavesi ile ise ters orantılı olarak arttığı yani alçıtaşı miktarı arttıkça eğilme dayanımının azaldığı görülmektedir. 7. günde ise PP lif ilavesi yapılmayan ve %1,5 oranında PP lif ilavesi yapılan harçlarda alçıtaşı ilavesi ile birlikte eğilme dayanımının önemli ölçüde değişmediği görülmektedir. 1. gün sonuçlarında olduğu gibi 7. Gün sonuçlarına göre de eğilme dayanımı PP lif ilavesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

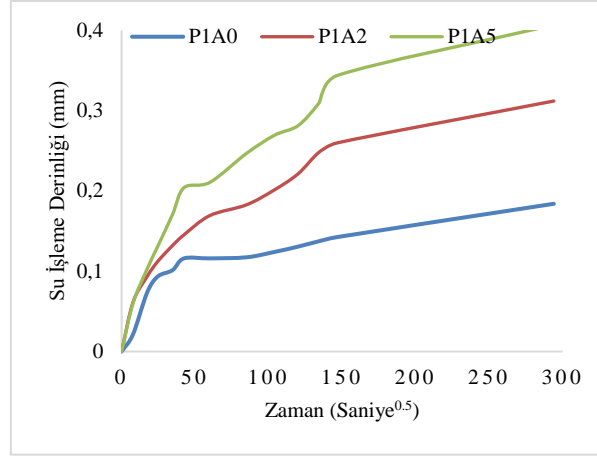
28. gün sonuçlarına göre de artan PP lif ilavesi eğilme dayanımını artırmaktadır. Ancak, en yüksek eğilme dayanımı değerleri %2,5 alçıtaşı ilavesi yapılan harçlarda elde edilmiştir. Genel olarak en düşük değerler ise %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilmiştir.

D. KAPİLARİTE VE GÖRÜNÜR POROZİTE

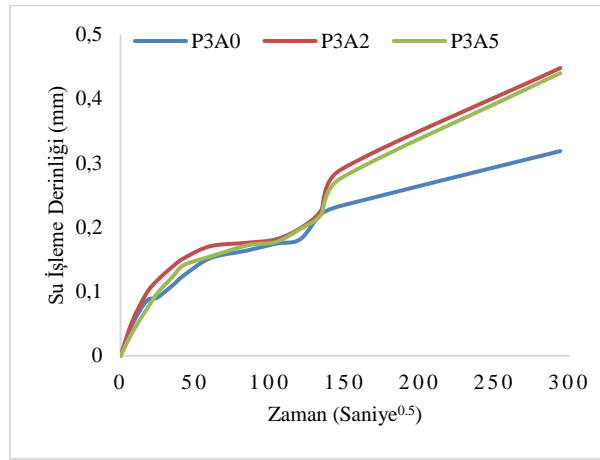
PP lif ve alçıtaşı ilavesinin kapilarite ve görünür porozite değerlerini gösterir grafikler Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



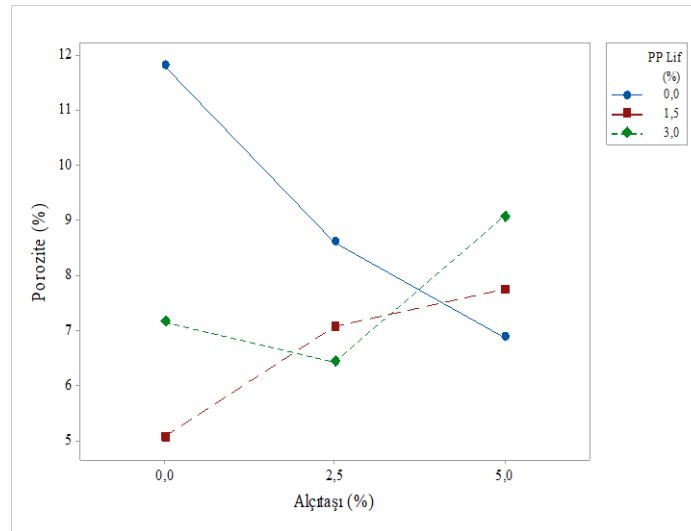
Şekil 9. Lif katkısız harçların zamana bağlı su işleme derinlikleri.



Şekil 10. %1,5 lif katkılı harçların zamana bağlı su işleme derinlikleri.



Şekil 11. %3 lif katkılı harçların zamana bağlı su işleme derinlikleri.



Şekil 12. Porozite değerleri.

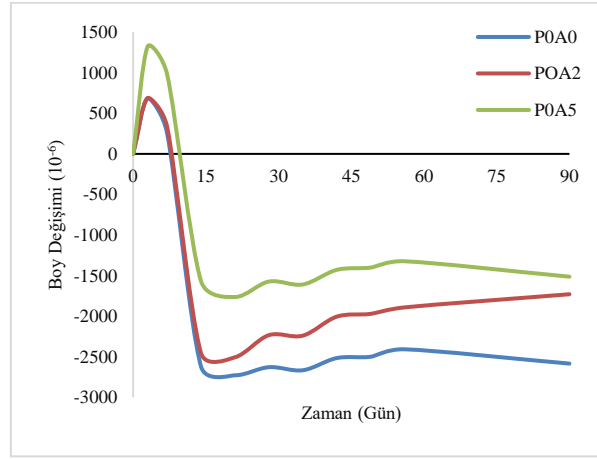
Kapilarite değerleri incelendiğinde PP lif ilavesi yapılmayan örneklerde alçıtaşı ilavesi arttıkça zamana bağlı olarak su işleme derinliğinin azaldığı belirlenmiştir. Ancak %1,5 PP lif ilavesi yapılan numunelerde bu durum tersine dönmüştür. %1,5 PP lif ilavesi yapılan örneklerde zamanla birlikte en yüksek su işleme derinliği değerleri %5 alçıtaşı ilavesi yapılan örneklerde, en düşük değerler ise

alçıtaşı ilavesi yapılmayan örneklerde elde edilmiştir. %3 PP lif ilavesi yapılan örneklerde ise %2,5 ve %5 alçıtaşı ilavesi yapılan örneklerde elde edilen değerler birbirine oldukça yakın ve bu değerler alçıtaşı ilavesi yapılmayan örneklerdekinden daha yüksektir.

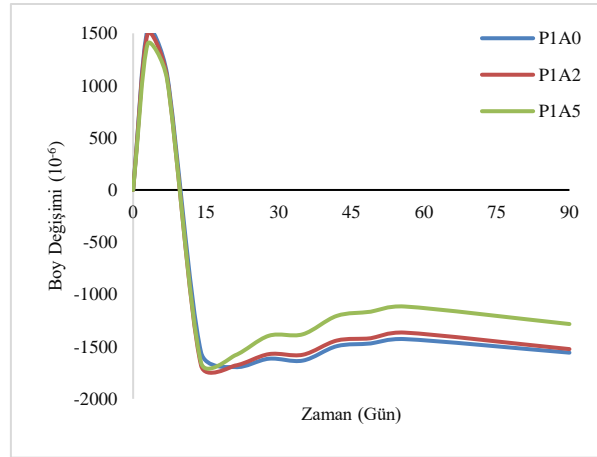
Görünür porozite değerleri incelendiğinde ise PP lif ilavesi yapılmayan örneklerde en yüksek değer alçıtaşı ilavesi yapılmayan numunelerde, en düşük değer ise %5 alçıtaşı ilavesi yapılan örneklerde elde edilmiştir. Dolayısıyla PP lif ilavesi yapılmayan numunelerde alçıtaşı ilavesi arttıkça görünür porozite değerleri düşmektedir. %1,5 PP lif ilavesi yapılan numunelerde ise tam tersi bir durum söz konusu olup alçıtaşı ilavesi arttıkça görünür porozite değerleri de artmaktadır. %3 PP lif ilavesi yapılan numunelerde ise en düşük görünür porozite değeri %2,5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde, en yüksek görünür porozite değeri ise %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilmiştir.

E. KURUMA BÜZÜLME DEĞİŞİMİ

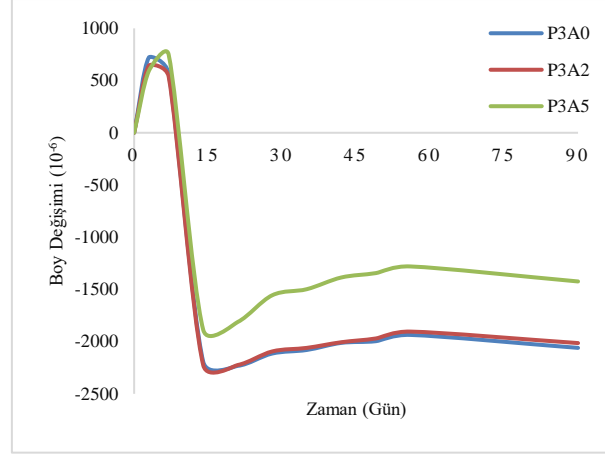
Çalışmaya konu numunelerde PP lif ve alçıtaşı ilavesinin zamana bağlı boy değişimi değerlerini gösterir grafikler Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 13. Lif katkısız harçların kuruma büzülmesi değişimi.



Şekil 14. %1,5 lif katkılı harçların kuruma büzülmesi değişimi.



Şekil 15. %3 lif katkılı harçların kuruma büzülmesi değişimi.

Çalışmaya konu numunelerin kuruma büzülme değişimleri incelendiğinde, bütün uygulamalarda zamana bağlı olarak boy değişiminde önce hafif bir artış olduğu daha sonra hızlı bir düşüş gösterdiği ve daha sonra çok hafif bir yükseliş yaparak yatay seyrettiği görülmektedir. PP lif ilavesi yapılmayan numunelerde en yüksek değerler genel olarak %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde, en düşük değerler ise alçıtaşı ilavesi yapılmayan numunelerde elde edilmiştir. %1,5 ve %3 PP lif ilavesi yapılan numunelerde ise alçıtaşı ilavesi yapılmayan ve %2,5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilen değerler birbirine oldukça yakınken %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilen değerler daha yüksek düzeydedir.

Literatürde çimento esaslı kompozitlerde kuruma rötresini azaltmaya yönelik birçok çalışma yer almaktadır. Bunlar içerisinde en sık kullanılan yöntemlerden birisi lif kullanımudur. Kuruma büzülmesi özellikle bu çalışmadaki gibi yüksek dayanıma sahip karışımlarda daha büyük bir problem olmaktadır. Toutanji [21], silis dumanının lifli betonun işlenebilirliği üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu, %5 silis dumanının eklenmesinin genleşmede küçük bir azalmaya ve kuruma büzülmesinde benzer bir artışa neden olduğunu ve bu etkinin, %10 silis dumanı ilavesiyle daha belirginleştiğini belirtmiştir. Aynı çalışmada %5 silis dumanı ilavesinin, eğilme dayanımını artırdığı, silis dumanı içeriğinin %5'ten %10'a çıkarılmasıyla eğilme dayanımı azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, polipropilen liflerin kullanılması, özellikle %10 silis dumanı içeren karışımlar için aderansta bir artışa neden olmuştur [21]. Rao [22] silis dumanının eklenmesinin, 28 günlük nihai kuruma büzülmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, silis dumanı içeriğindeki artışla harcın nihai kuruma büzülmesinin arttığını belirtmektedir. Rao [22] harcın nihai kuruma büzülmesinde agreganın boyutunun çok önemli bir role sahip olduğunu, harçlardaki ince agrega boyutunun artmasıyla harcın nihai kuruma büzülmesinin azaldığını bildirmiştir. Altun [23] %0,1 oranında polipropilen lif katkısının hem normal betonların hem de geri dönüşüm agregalı betonların darbe dayanımlarını az miktarda artırdığını belirtmektedir.

IV. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışma sonucunda, hem PP lif ilavesinin hem de alçıtaşı ilavesinin beton özelliklerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Bu etki bazı özellikleri olumlu bazı özellikleri ise olumsuz yönde etkilemiştir. Örneğin hem polipropilen elyaf betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır hemde PP lif hem de alçıtaşı ilavesi arttıkça yayılma çapı ve taze birim hacim ağırlığı değerlerinin düştüğü en düşük değer ise %3 PP lif ve %5 alçıtaşı ilavesi yapılan betonlarda elde edildiği belirlenmiştir. İşlenebilirliğin azalması sonucunda PP lif ilavesi ile 7 ve 28 günlük basınç dayanımları azalmaktadır.

Kuruma büzülme değerlerinin hem PP lif ilavesi hem de alçıtaşı ilavesine bağlı olarak değiştiği, betonda ayrı ayrı veya birlikte olması kuruma büzülmesini azaltmaktadır. Kuruma büzülmesi değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilen değerlerin

daha yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Kapilarite ve görünür porozite değerlerinin ise PP lif ilavesi ve alçıtaşı ilavesine göre farklı düzeylerde değiştiği belirlenmiştir.%3 PP lif ilavesi yapılan örneklerde ise en yüksek kapilarite ve görünür porozite değeri %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilmiştir.

Bu çalışmada üretilen numunelere benzer üretim yapılarak yüksek sıcaklık direnci, donma-çözülme direnci, termal iletkenlik katsayısı, sülfat dayanıklılığı gibi diğer mühendislik özellikleri araştırılabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. A. M. Elsunousi, “Mısırata’da hava kalitesinin zamansal ve mekansal değişimi,” Yüksek Lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye, 2020.
- [2] C. Kilicoglu, M. Cetin, B. Aricak, and H. Sevik, “Site selection by using the multi-criteria technique a case study of Bafra, Turkey,” *Environmental Monitoring and Assessment.*, vol. 192, no. 9, ss. 1-12, 2020.
- [3] M. Aktürk, “Polipropilen lif takviyeli kendiliğinden yerleşen betonların performans özelliklerinin araştırılması,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2007.
- [4] Ç. Yalçınkaya, “Mineral katkıli kendiliğinden yerleşen lifli betonun mekanik, durabilite ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2009.
- [5] K. Nakarai, N. H. May, Y. Kubori, T. Matsuyama, H. Kawakane, and S. Tani, “Air permeability coefficients of expansive concrete confined by rebars,” in *Innovation for Sustainable Infrastructure*, Singapore: Springer, 2020, pp. 561-566.
- [6] W. Saengsoy, R. Chatchawan, and S. Tangtermsirikul, “Compressive strength, free expansion and shrinkage of expansive concrete containing fly ash,” *Sixth International Conference on Durability of Concrete Structures*, 2019, pp. 120-126.
- [7] T. B. T. Nguyen, R. Chatchawan, W. Saengsoy, S. Tangtermsirikul, T. Sugiyama, “Influences of different types of fly ash and confinement on performances of expansive mortars and concretes,” *Construction and Building Materials*, vol. 209, pp. 176-186, 2019.
- [8] J. L. García Calvo, F. Pedrosa, P. Carballosa, and D. Revuelta, “Evaluation of the sealing effectiveness of expansive cement grouts through a novel water penetration test,” *Construction and Building Materials*, vol. 251, pp. 118974, 2020.
- [9] P. Carballosa, J. L. García Calvo, and D. Revuelta, “Influence of expansive calcium sulfoaluminate agent dosage on properties and microstructure of expansive self-compacting concretes,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 107, pp. 103464, 2020.
- [10] E. Karakulak, “Uçucu kül ve kablo atıklarının çimento harcı üretiminde kullanılması,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2019.
- [11] İ. Akan, “Çanakkale-Ayvacık bölgesinde bulunan volkanik tüfün katkıli çimento üretiminde kullanılabilirliğinin incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2019.

- [12] O. Y. Bayraktar, G. Saglam Citoglu, C. M. Belgin, S. Cetin, and M. Cetin, "Investigation of effect of brick dust and silica fume on the properties of portland cement mortar," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 28, no.11, pp. 7823-7832, 2019.
- [13] O. Y. Bayraktar, G. Saglam Citoglu, C. M. Belgin, and M. Cetin, "Investigation of the mechanical properties of marble dust and silica fume substituted portland cement samples under high temperature effect," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 28, no. 5, pp. 3865-3875, 2019.
- [14] G. Kaplan, A. Öztürk, ve A. B. Uğur Kaplan, "Çimento ve uçucu kül bünyesindeki ağır metallerin etkilerinin hidrasyon ve çevre sağlığı açısından incelenmesi," *Mühendislik Bilim ve Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 305–313, 2020.
- [15] N. A. Farhan, M. N. Sheikh, and M. N. Hadi, "Investigation of engineering properties of normal and high strength fly ash based geopolymer and alkali-activated slag concrete compared to ordinary Portland cement concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 196, 26-42, 2019.
- [16] C. Suksiripattanapong, K. Krosoongnern, J. Thumrongvut, P. Sukontasukkul, S. Horpibulsuk, and P. Chindaprasirt, "Properties of cellular lightweight high calcium bottom ash-portland cement geopolymer mortar," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 12, pp. e00337, 2020.
- [17] C. Narattha, and A. Chaipanich, "Effect of curing time on the hydration and material properties of cold-bonded high-calcium fly ash–Portland cement lightweight aggregate," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, pp. 1-10, 2020.
- [18] B. Alişer, S. Yıldız, ve O. Keleştemur, "Cam lif takviyeli çimento harçlarının sülfat direncine mermer tozu ilavesinin etkisi," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 28, s. 2, ss. 175-183, 2016.
- [19] G. Kaplan, and A. U. Öztürk, "Dimensional stability and microstructural properties of cements with different C3A contents," *INAE Letters*, vol. 4, no. 1, pp. 15–26, 2019.
- [20] O. Karahan, and C. D. Atiş, "The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete," *Materials & Design*, vol. 32, no. 2, pp. 1044–1049, 2011.
- [21] H. A. Toutanji, "Properties of polypropylene fiber reinforced silica fume expansive-cement concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 13, no. 4, pp. 171-177, 1999.
- [22] G. A. Rao "Long-term drying shrinkage of mortar—influence of silica fume and size of fine aggregate," *Cement and Concrete Research*, vol. 31, no.2, pp. 171-175, 2001.
- [23] M. G. Altun, "Geri kazanılmış agrega (GKA) ile üretilen betonların mekanik özelliklerinin lif kullanılarak iyileştirilmesi," Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2014.
- [24] W. C. Tang, and T. Y. Lo, "Mechanical and fracture properties of normal-and high-strength concretes with fly ash after exposure to high temperatures," *Magazine of Concrete Research*, vol. 61, no. 5, pp. 323–330, 2009.
- [25] O. Y. Bayraktar, "The possibility of fly ash and blast furnace slag disposal by using these environmental wastes as substitutes in portland cement," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 191, no. 9, pp. 1-12, 2019.
- [26] H. Ö. Öz, "Atık Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçların Taze, Mekanik ve Durabilite Özellikleri," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 20, s. 4, ss. 9-22, 2017.

[27] H. Binici, M. Eken, and O. Aksođan, “Cüruf, uçucu kül, silis kumu ve pomza esaslı geopolimerlerin fiziksel, mekanik ve radyasyon geçirgenlik özellikleri,” *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 12-25, 2012.

[28] J. X. Lu, Z. Duan, C. S. Poon, and Z. H. Duan, “Fresh properties of cement pastes or mortars incorporating waste glass powder and cullet,” *Construction and Building Materials*, vol. 131, pp. 793-799, 2017.

[29] H. Ez Zaki, B. El Gharbi, and A. Diouri, “Development of eco-friendly mortars incorporating glass and shell powders,” *Construction and Building Materials*, vol. 159, pp. 198-204, 2018.

[30] M. M. Younes, H. A. Abdel Rahman, and M. M. Khattab, “Utilization of rice husk ash and waste glass in the production of ternary blended cement mortar composites,” *Journal of Building Engineering*, vol. 20, pp. 42-50, 2018.

[31] J. X. Lu, and C. S. Poon, “Use of waste glass in alkali activated cement mortar,” *Construction and Building Materials*, vol. 160, pp. 399-407, 2018.