



STİREN AKRİLİK KOPOLİMER KULLANIMININ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİT HARÇLARIN PERFORMANSINA ETKİSİ

INFLUENCE OF USING STYRENE ACRYLIC COPOLYMER ADDITIVE ON THE PERFORMANCE OF CEMENT BASED COMPOSITE MORTARS

Şevket Onur KALKAN¹

Lütfullah GÜNDÜZ²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1467719>

*Sorumlu Yazar
(Corresponding Author)*
sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr

*Geliş Tarihi
(Received)*
14.04.2024

*Revizyon Tarihi
(Revised)*
10.02.2025

*Kabul Tarihi
(Accepted)*
10.02.2025

Öz

Son yıllarda, çimentolu ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla polimer katkıların önem kazandığı görülebilmektedir. Bu katkılardan önemli bir tanesi de stiren akrilik kopolimer katkıdır. Bu çalışmada, stiren akrilik kopolimer (SAK) kullanımının çimento esaslı kompozit harçların performansı üzerindeki etkisine, özellikle, SAK kullanımının harçtaki yayılma, birim hacim ağırlık, su emme, eğilme ve basınç dayanımı, büzülme ve şişme karakteristiğine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, SAK ile çimento yer değiştirme oranı arttıkça harçların yayılma ve kuru ve yaş birim hacim ağırlık değerleri azalmıştır. SAK kullanımının en önemli olumlu katkısı ise SAK kullanım oranı arttıkça harçların kütlece su emme değerlerinin azalması ve eğilme dayanımlarının önemli ölçüde iyileşmesi olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında SAK kullanım oranı arttıkça harçların basınç dayanımları ve şişme değerleri azalmış, büzülme değerlerinin ise arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polimer, stiren akrilik kopolimer, hafif harç, kompozit harç, performans.

Abstract

In recent years, it can be seen that polymer admixtures have gained importance in order to improve the physical and mechanical properties of cementitious products. One of these admixtures is the styrene acrylic copolymer admixture. In this study, the effect of styrene acrylic copolymer (SAK) use on the performance of cement-based composite mortars, especially the effects of SAK use on the dispersion, unit volume weight, water absorption, bending and compressive strength, shrinkage and swelling characteristics of the mortar, were investigated. According to the study results, as the cement displacement rate with SAK increased, the spread and dry and wet unit volume weight values of the mortars decreased. It has been determined that the most important positive contribution of the use of SAK is that as the rate of SAK usage in mortars increases, the mass water absorption values of the mortars decrease, and their bending strength improves significantly. In addition, it was observed that as the SAK usage rate increased, the compressive strength and swelling values of the mortars decreased, and the shrinkage values increased.

Keywords: Polymer, styrene acrylic copolymer, lightweight mortar, composite mortar, performance.

¹ İzmir Kâtip Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.
sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr

² İzmir Kâtip Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.
lutfullah.gunduz@ikcu.edu.tr

1. GİRİŞ

Polimer modifiyeli çimento malzemelerinin avantajları birçok araştırmacı tarafından incelenmektedir (Aggarwal ve ark, 2007; Kharazian ve ark, 2019; Lee, 2017; Su ve ark, 1996). Polimer modifiyesi çimento bazlı malzemelerin işlenebilirliğini, yapışma gücünü, su direncini, çekme dayanımını ve birçok başka avantajını geliştirmek birçok çalışmada incelenmiştir (Kharazian ve ark., 2019). Özellikle aşırı ortamlara maruz kalan köprüler ve pistlerde uygulanan polimer modifiyeli harçlar hem son kat harçlarında hem de onarımlarda kullanılmaktadır (Kharazian ve ark., 2019). Çimentolu ürünlerin bu tip özelliklerini iyileştirmek ve olumsuz durumların üstesinden gelmek için yapılan çalışmalar, polimerler için en iyi kimyasal bileşimi bulma üzerine odaklanmıştır. Bunun yanında, daha çevreci ürünlerin üretilmesi ve atık değerlendirilmesi bağlamında yapılan bilimsel çalışmalarda, atık polimerlerin yapı malzemeleri ve özellikle beton içerisinde kullanımı ve betonun fiziksel mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi de son yıllarda artan polimer üretimi ve atık polimer meydana gelmesi ile artmaktadır (Gesoglu ve ark., 2017; Akgül ve ark., 2020; Etlı, 2023; Akgül & Etlı, 2024; Etlı 2024;). Polimer teknolojisindeki gelişmeler, 20. yüzyıl boyunca sentezlenen daha ileri seviye lateksler, reçineler ve polimerler için fırsat sağlamaktadır. Polimerler ilave edilerek üretilen çimentolu ürünler, organik polimer malzemelerin performans özelliklerini ve inorganik silikat malzemeleri birleştirir ve polimer içeriğine göre iki kategoriye ayrılabilir (Ning ve ark., 2018). Birincisi, düşük polimer-çimento oranına sahip sert bir polimer çimento kompozitidir. Bu tür malzemeler, harç veya beton içinde yüksek moleküler polimer ile karıştırılarak harcın işlenebilirliğini, mekanik özelliklerini, dayanıklılığını artırır ve çeşitli fonksiyonel harç veya onarım malzemesi olarak kullanılabilir (Al-Zahrani ve ark., 2003; Lho ve ark., 2012; Ma & Li, 2013; Medeiros ve ark., 2009; Mirza ve ark., 2002; Ohama, 1997, 1998; Senff ve ark., 2015; Zhong & Chen, 2002). Diğeri ise yüksek polimer-çimento oranına sahip esnek bir polimer çimento kompozit malzemedir. Yüksek polimer içeriği nedeniyle, organik yüksek moleküler polimer ile çimento arasında karmaşık bir çapraz bağlama reaksiyonu meydana gelir, bu da iyi bir bağ performansı ve su geçirmezlik performansı sergiler (Diamanti ve ark., 2013; Ning ve ark., 2018; Xue ve ark., 2015). Bu tip önemli özelliklerinden dolayı son yıllarda selüloz, doğal kauçuk, polivinil asetatlar (PVA), vinil asetat/etilen kopolimerleri, akrilik polimerler, stiren-bütadien kauçuk ve epoksi reçineler, beton ve çimento bazlı malzemeleri modifiye etmek için yaygın olarak kullanılan bir dizi polimerdir (Aggarwal ve ark., 2007; Assaad, 2018; Assaad & Gerges, 2019; Assaad & Issa, 2017; Muhammad & Ismail, 2012).

1.1. Literatür Çalışması

Akrilik polimerler, Portland çimento kompozitlerini modifiye etmek için 50 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Akrilik terimi, benzer bir kimyasal yapıya sahip ancak geniş bir özellik yelpazesine sahip malzemelerin büyük bir polimer ailesini ifade etmektedir (Lavelle, 1988). Stiren-akrilik kopolimeri (SAK), çimento harcında kullanılan akrilik polimerler ailesinde önemli bir rol oynamaktadır. Uygun bir SAK emülsiyonu çimentoya eklendiğinde, SAK/çimento oranının artmasıyla dinamik elastik modül azalabilmektedir. Belirli bir sönümleme kapasitesi, darbe mukavemeti ve aşındırıcılık, SAK/çimento oranının artmasıyla artabilmektedir (Wang & Wang, 2010; Wong ve ark., 2003). Schulze ve ark (Schulze & Killermann, 2001), stiren-akrilik (SA) ile modifiye edilmiş harçların açık hava ve kapalı ortam ikliminde 10 yıl süresince

kararlı mekanik değerler ve mikroyapı sergilediğini tespit etmiştir. Ohama ve ark. (1991), monomer oranının stiren-bütül akrilat lateksli polimer modifiyeli harçların tipik özellikleri üzerindeki etkisini rapor etmiştir. Sonuç olarak özellikler hem monomer oranından hem de polimer-çimento oranından büyük ölçüde etkilenmiştir. Pei ve ark. (2002), stiren-bütül akrilat kopolimeri modifiye edilmiş harç üzerinde emülgatör tiplerinin etkisini incelemiş ve makromolekül emülgatörlerin düşük moleküllü olanlardan daha iyi performans gösterdiğini sonucuna varmışlardır. Cemalgil ve ark. (2018) deneysel olarak stiren-bütadien kauçuk (SBR) ile kauçuklaştırılmış harcın (RM) mekanik özellikleriyle ilgili araştırma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar, SBR kullanımının artması erken kürlenme yaşında harcın eğilme dayanımını azalttığını göstermiştir. Ayrıca, harcın mekanik özellikleri, SBR yer değiştirme seviyesinin artan oranıyla su kürü süresinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Feiteira & Ribeiro (2013), sırasıyla modifiye edici olarak stiren-bütadien kauçuk lateksi, stiren-akrilik lateksi ve epoksi polimerini kullanarak çimento bazlı harcın alkali-silika reaksiyonu üzerinde polimer türlerinin etkilerini incelemiş ve polimerin katılmasının alkali-silika reaksiyonunu sınırlayabileceğini bulmuşlardır. Zhang ve ark. (2019) stiren-akrilik kopolimer lateksin (SA), Portland çimentosu/kalsiyum alüminat çimentosu/alçıtaşı bazlı üçlü bağlayıcı sistem harcı üzerindeki etkileri, mekanik özellikler, çekme bağ mukavemeti ve su emme değerlerini incelenmiştir. Sonuçlar, SA polimerinin eklenmesiyle üçlü bağlayıcı harcının eğilme mukavemetinin ve çekme bağ mukavemetinin geliştirilebileceğini göstermiştir. Wang ve Wang (Wang & Wang, 2010) stiren-akrilik ester kopolimer (SAE) lateksinin çimento harcı performansı üzerindeki etkisine, SAE lateksinin harçtaki su azaltma ve su tutma etkileri, taze harcın hava içeriği ve kütle yoğunluğu ile sertleşmiş harcın kütle yoğunluğu, basınç ve eğilme mukavemetleri, büzülme oranı, kılcal su absorpsiyonu üzerine deneysel çalışma yapmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, SAE lateksinin harçta iyi su azaltma ve su tutma etkileri tespit edilmiştir. SAE lateksinin ayrıca hava sürüklenme etkisi de saptanmıştır. SAE lateksi, basınç dayanımının gelişimini etkilemiş ancak eğilme dayanımını çok az etkilemiş ve harcın tokluğunu, büzülme özelliğini, su geçirmezlik kalitesini önemli ölçüde artırmıştır. Cruz ve ark. (2021) stiren akrilik kopolimer ile çimento levhaların özelliklerini iyileştirmeyi denemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, polimer modifiyeli çimento levhaların su emme değeri, eskitme döngüleri sonrasında modifiye edilmemiş levhalara göre %50 oranında azalmıştır. Elastisite modülü değerlerinin %40'a kadar düşürülmüş ve levha büzülmesi %15 oranında azaltılarak levhanın sertliğinde iyileşmeler tespit edilmiş, levhaların boyutsal stabilitesi artırılmış ve selüloz lifinin çimentolu malzemeye yapıştırılmış halde tutulmasıyla liflerin mineralizasyon sürecinden çıkması engellenmiştir.

1.2. Çalışmanın Önemi

Literatürde, çimentolu ürünlerde polimer kullanımının çimentolu ürünün su emme, mukavemet, gözeneklilik gibi önemli özelliklerine etkisi uzun zamandır çalışla gelen bir araştırma konusu olsa da özellikle stiren akrilik kopolimer katkısının hafif harçlarda ve hafif kompozit harçlarda kullanımının harcın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışmaların yeterli derecede olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, polimer modifiyesi çimentolu malzemeler alanında karma suyu ihtiyacı, kuma, işlenebilirlik ve stabilite geliştirme gibi alanlarda önemli başarılar elde edilmiştir (Kharazian ve ark., 2019; Meyer, 1974). Ancak, polimer modifiyesinin çimento bazlı ürünler üzerinde esneklik ve yapışma dayanımlarının artırılmasına rağmen, literatürde

halen çeşitli eksiklikler bulunmaktadır (Assaad, 2018; Assaad & Gerges, 2019; Knapen & Van Gemert, 2009; Kong ve ark., 2016; Montanaro ve ark., 1990). Özellikle büzülme ve şişme gibi alanlar hala iyileştirilmesi gereken noktalardır. Bununla birlikte, SAK kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanılan polimerin ilave olarak harç tasarımlarına eklendiği gözlemlenmekte ve çimento ile yer değiştirme olarak yapılan çalışmaların sayısının yetersiz olduğu gözlemlenmektedir. Bu sebeplerle, bu çalışmada, hafif kompozit harçların yüksek su emme değerlerinin azaltılması ve nispeten düşük mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi bakımından SAK hafif kompozit harçlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. SAK kullanılarak üretilen hafif kompozit harçların yayılma, birim hacim ağırlık (BHA), dayanım, su emme ve rötre özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

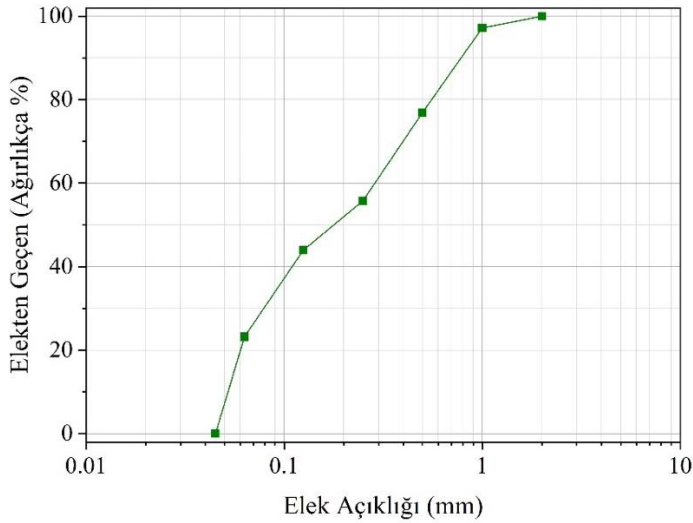
Bu çalışmada, 9 farklı çimento esaslı kompozit harç (ÇEKH) üretiminde CEM I 42.5R Portland çimentosu ana bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı 3,15'tir. Çimentonun kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

2.1.2. Volkan cürufu

Volkanik cüruf (VC) agregası gözenekli hafif bir agregadır olup, çeşitli volkanik aktiviteler nedeniyle çatlaklar boyunca bazaltik karakterli lavların sızması sonucu oluşan, bazaltik andezitik bileşimli camsı volkanik kaya türüdür (Gündüz & Kalkan, 2023). Volkanik olaylar sonucu oluşan, gözenekli bir yapıya sahip olan cüruf oluşumlarına, volkanik faaliyetlerin mevcut olduğu dünyanın birçok yerinde rastlanmaktadır. Oldukça kabarcıklı ve volkanik cam bakımından zengindir, bu da ona yüksek gözeneklilik ve düşük yoğunluk kazandırır (Ercan ve ark., 1978). Bir patlama sırasında gaz yüklü lav damlacıklarının havaya fırlatılması ve uçarken soğumasıyla oluşur ve sıkışıp kalmış gaz kabarcıkları tarafından oluşturulan boşluklar içeren koyu renkli volkanik kaya olarak oluşur (Ercan ve ark., 1983). Volkanik cüruf malzemeleri çoğunlukla yüksek demir içeriğinden dolayı genellikle kırmızımsı ila siyah renktedir. Bazı volkanik cürufların yüzeyi koyu yeşil alacalı bir renge sahip olabilir; oksidasyon koyu kırmızımsı kahverengi bir renge yol açabilir (Demirdag & Gunduz, 2008). Volkanik cüruf agregası örnekleri Türkiye'nin Ege bölgesindeki ocaklardan elde edilmiştir. Agregası malzemesi, çimento esaslı hafif harç birleşimlerinde kullanılmak üzere ince hafif doğal agregası olarak kırılmış, elenmiş ve 0/2 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Ortalama kuru birim ağırlığı $790 \pm 35 \text{ kg/m}^3$, ortalama özgül ağırlığı 1,81'dir. TS EN 13055-1'e göre yapılan volkanik agregasının ezilme direnci ortalama $6,43 \pm 0,18 \text{ N/mm}^2$ 'dir. VC agregası numunesinin doymuş yüzey kuru durumu için ağırlıkça ortalama su emme oranı $\%31 \pm 1$ 'dir. Kullanılan VC agregasının kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. VC'na ait agregası tane boyut analizi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çimento ve Volkan Cürufunun XRF Analizi Soncu Kimyasal İçeriği

Kimyasal Bileşen (%)	Çimento	Volkan Cürufu
SiO ₂	19,15	44,50
Al ₂ O ₃	4,78	20,80
Fe ₂ O ₃	3,55	7,30
MgO	0,94	7,00
CaO	64,70	11,60
Na ₂ O+K ₂ O	1,11	7,60
TiO ₂	0,00	0,03
Kızdırma Kaybı	2,12	2,98



Şekil 1. VC Agreganın Elek Analizi

2.1.3. Süperakışkanlaştırıcı

ÇEKH test örneklerinin hazırlanmasında harç karışımının işlenebilirlik ve dayanımını artırmak amacıyla çimento esaslı malzemelerde karışım suyunu azaltan ve yüksek akışkanlık özelliği kazandıran, toz formunda, melamin sülfonat formaldehit (MSF) süper akışkanlaştırıcı (SA) piyasa koşullarından temin edilerek karışımlarda kullanılmıştır. MSF toz katkı, beyaz renkli, suda kolay çözünebilen, ortalama %30-35'lik çözeltide pH değeri 8,5-9,5 aralığında olan, klor iyonu içermeyen, özgül ağırlığı ortalama 0,6 g/cm³ ve ASTM C 494 standardına uygun bir katkı malzemesidir.

2.1.4. Mukavemet artırıcı

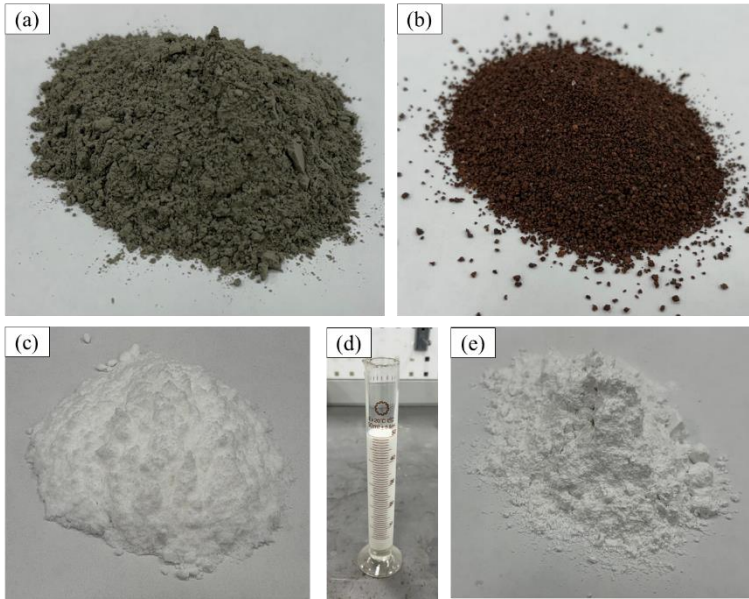
Bu çalışmada kullanılan mukavemet artırıcı (MA) toz polimer, polivinil alkol ortamında vinil asetat ve versatik asidin vinil esterinden oluşan bir kopolimer bazlı yeniden dağılılabir polimer tozudur. Orta sertlikte bir filme sahiptir ve çimento, alçı

veya polimer bağlayıcı bazlı kuru karışım harçlarının modifikasyonu için tasarlanmıştır. Genellikle beyaz renktedir, pH değeri 7-10 aralığında ve 500 µm'den büyük tane içeriği en fazla %0,5'tir. Özgül ağırlığı ortalama 1,18'dir.

2.1.5. Stiren akrilik kopolimer

Bu çalışmada stiren akrilik kopolimer (SAK) özellikle su yalıtım membranı ve dayanım artırıcı özellikleri sebebiyle bir polimer katkı olarak çimento ile yer değiştirme yöntemi ile kullanılmıştır. Karbon zinciri, hidrofilik grup ve hidrofobik grup olmak üzere iki tür yan grup içeren SAK'in ana zincirini oluşturur. Hidrofilik grup, yüksek alkali koşullar altında kısmen hidrolize olabilir ve polimerin suda çözünmesini sağlar. Hidrofobik grup ise SAK parçacıklarının polimer filmleri oluşturmaya yardımcı olur (Zhang ve ark., 2019). Stiren akrilik kopolimerin ortalama özgül ağırlığı 1,09'dur.

Çalışma kapsamında kullanılan malzemeler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Malzemeler: (a) Çimento, (b) Volkan Cürufu, (c) Süperakışkanlaştırıcı, (d) Stiren Akrilik Kopolimer, (e) Mukavemet Artırıcı

2.1. Metot

2.2.1. ÇEKH üretimi ve test yöntemleri

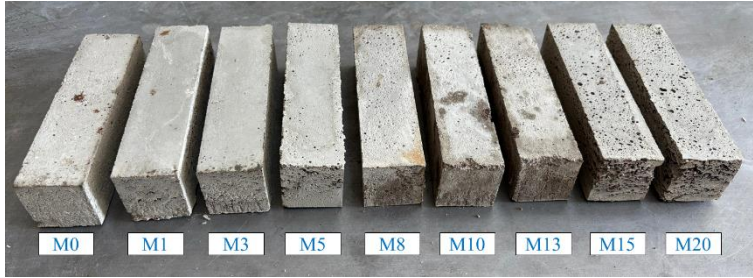
Bu deneysel çalışmada, SAK'in çimento esaslı hafif kompozit harçlar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla sekiz farklı harç karışım oranı tasarlanmıştır. Ayrıca SAK kullanımından doğabilecek etkilerin doğru bir şekilde incelenmesi amacıyla referans ÇEKH karışımı olarak SAK içermeyen ayrı bir karışım tasarlanmıştır. Kompozit kombinasyonların tasarımı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Karışım Tasarımı

Grup	Karışım Kodu	SA (çimentonun ağırlığına %)	MA (çimentonun ağırlığına %)	S/Ç	A/Ç	SAK (çimentonun ağırlığına %)
R	M0	1,50	1,00	1,00	2,30	0,00
1	M1	1,45	1,00	1,00	2,30	1,00
	M3	1,45	1,00	1,00	2,30	3,00
	M5	1,45	1,00	1,00	2,30	5,00
	M8	1,425	1,00	1,00	2,30	8,00
2	M10	1,425	1,00	1,00	2,30	10,00
	M13	1,425	1,00	1,00	2,30	13,00
	M15	1,40	1,00	1,00	2,30	15,00
3	M20	1,40	1,00	1,00	2,30	20,00

Tablo 2'den kolaylıkla görülebileceği gibi SAK'in ÇEKH'lar üzerindeki etkisini belirlemek için karışımlarda kullanılan çimento ağırlığına %0, %1, %3, %5, %8, %10, %13, %15 ve %20 oranlarında SAK çimento ile yer değiştirilerek dokuz farklı kompozit harç karışımı üretilmiştir. Bütün karışımlarda A/Ç (agrega/çimento) oranı 2,30 olacak şekilde sabit tutulmuştur. S/Ç (su/çimento) oranı bütün karışımlarda 1,00 olarak sabitlenmiştir. MA toz polimer bütün karışımlarda çimento ağırlığının %1,00'ı olacak şekilde harç karışımlarına eklenmiştir. Tablo 2'de gösterildiği gibi referans karışımı (R grubu) çimento ağırlığında %1,50 SA katkı kullanılarak üretilmiştir ve Grup 1, Grup 2 ve Grup 3 karışımlarında kullanılan SA katkı sırasıyla çimento ağırlığında %1,45, %1,425 ve %1,40 olacak şekilde azaltılarak harç kombinasyonlarına eklenmiştir. Bunun sebebi, literatürde polimer modifiyeli harçların, yüksek akışkanlık ve işlenebilirlik gibi çimento ve polimerin avantajlarını birleştirmesidir (Berkak ve ark., 2020; Mermerdaş ve ark., 2021; Shete & Upase, 2014; S. Zhang ve ark., 2011). Karıştırma aşamasında homojen kuru karışım elde etmek için öncelikle tüm malzemeler mikserle konularak 2 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra sıvı malzemeler kendi içerisinde homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Taze çimento esaslı hafif kompozit karışımlar üretmek için mikserle sıvı karışım ilave edilmiş ve karışım 2 dakika daha karıştırılmıştır. Çalışmada kullanılan su şebeke suyudur ve $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklığında kullanılmıştır. Taze ÇEKH'lar elde edildikten sonra harçların işlenebilirliğinin tespit edilebilmesi için TS EN 1015-3 (Turkish Standards Institution, 2000a) standardına uygun olarak harçların yayılma değerleri tespit edilmiştir. ÇEKH'ların taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlıkları sırasıyla TS EN 1015-6 (Turkish Standards Institution, 2000b) ve TS EN 1015-10 (Turkish Standards Institution, 2001) standartlarına uygun olarak tespit edilmiştir. Hafif kompozit harçların eğilme ve basınç dayanımlarının tespiti için her bir seride 3'er numune olacak şekilde $40 \times 40 \times 160$ mm boyutlarında prizma kalıplar kullanılarak prizma numuneler üretilmiştir (Şekil 3). Üretilen numuneler TS EN 1015-11 standardına uygun olarak öncelikle eğilme dayanımı testine tabi tutulmuş, bu test sonucu kırılıp iki parça haline gelen numunelere basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Eğilme ve basınç dayanımı testleri 3, 7, 28 ve 180 gün kür uygulanan numuneler üzerinde yapılmıştır. Her bir kür süresine bağlı dayanım testi için 3 numune kullanılmıştır. Numunelere mekanik test süresi gelinceye kadar hava kürü ($23 \pm 2^\circ\text{C}$ ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem) uygulanmıştır. Numunelere normal hava

kürü uygulanmasının sebebi, SAK katkısının hava kürü koşullarında polimer film yapabilme karakterinin daha iyi olduğunun daha önceki çalışmalarda tespit edilmesidir (Zhang ve ark., 2019). Harçların ağırlıkça su emme değerleri ASTM C642-13 (ASTM, 2013) standardında belirtilen yöntemlerle tespit edilmiştir. Çimento esaslı kompozit harçların büzülme ve şişme özelliklerinin tespiti için TS EN 13872 (*TS EN 13872, Perdah ve/Veya Tesviye İşlerinde Kullanılan ve Hidrolik Priz Alabilen Bileşiklere Uygulanacak Deney Metotları - Büzülmenin Tayini*, 2010) 'ye uygun olarak analiz edilen $40 \times 40 \times 160$ mm³ boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Büzülme test örneklerinin 28 gün sonrası büzülme değerleri 3'er numune üzerinden analiz edilmiştir. Şişme test örneklerinin 28 gün kür edildikten sonra 28 gün suda bekletilerek su emmesi sağlanarak 3'er numune üzerinden şişme analizleri elde edilmiştir.

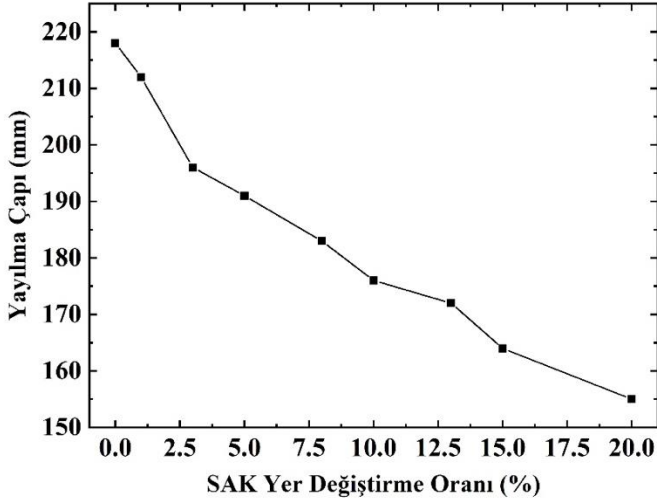


Şekil 3. Çalışma Kapsamında Üretilen Numuneler

3. DENEYSEL BULGULAR

3.1. Yayılma

Taze harçların işlenebilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla her bir taze harç için yayılma tablası testi yapılmıştır. Bütün ÇEKH örneklerinin yayılma değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. ÇEKH'ların Yayılma Değerleri

Şekil 4 incelendiğinde, harç örneklerinin yayılma özelliğinin çimento ile SAK yer değiştirme oranı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer bir deyişle, SAK katkısının harçların işlenebilirlik özelliğinde negatif etki sergilediği tespit edilmiştir. Her ne kadar benzer sonuçların literatürde elde edilmiş olmasına rağmen (Chew ve ark., 2004), literatürde daha fazla elde edilen işlenebilirlik analiz sonuçları polimer katkısının harçlarda işlenebilirliği geliştirebildiği yönündedir (Berkak ve ark., 2020; Mermerdaş ve ark., 2021; Shete & Upase, 2014; S. Zhang ve ark., 2011). Ancak, literatür incelendiğinde polimer katkılı harçların genellikle normal yoğunluklu agregâ/kum kullanılarak normal yoğunluklu harçlar için kullanımları incelenmiştir. Bu çalışmada, hafif agregâ olarak gözenekli ve düşük yoğunluklu volkan cürufu kullanılmıştır. İşlenebilirlik kaybının bir sebebinin SAK katkısının agregâ tarafından gözeneklere emilerek etkisinin azaldığı değerlendirilebilir. Ayrıca, MA toz polimer ile SAK birlikte kullanımının da işlenebilirlik kaybında bir etkisi olup olmadığı ayrıca incelenmelidir. MA toz polimer ile SAK ortak kullanımı ile polimer zincirlerinin toplam özgül yüzey alanı artarak harcın akış sürecinde zincirlerin birbirlerine kenetlenerek akış özelliğini engellemiş olabileceği düşünülebilir. Bu sebeplere bağlı olarak, %1-%20 çimento ile SAK yer değiştirme oranında, harçların akıcılık özelliğinde %2,75 ile %28,90 aralığında azalma gözlemlenmiştir. Bunun yanında, karışım tasarımları hazırlanırken SAK oranındaki artışın harcın akma özelliğini iyileştireceği düşünüldüğü harçlarda SAK oranı arttıkça 1., 2., ve 3. Grup örneklerin süperakışkanlaştırıcı katkı içeriği azaltılmıştır. Taze harçların yayılma değerindeki azalmaya bu durumunda katkı sağladığı düşünülebilir, gelecek çalışmalar için sabit SA katkı kullanım oranlarında yayılma değerlerinin değişimi gözlemlenebilir.

3.2. Birim Hacim Ağırlık

ÇEKH örneklerinin taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlık (BHA) değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

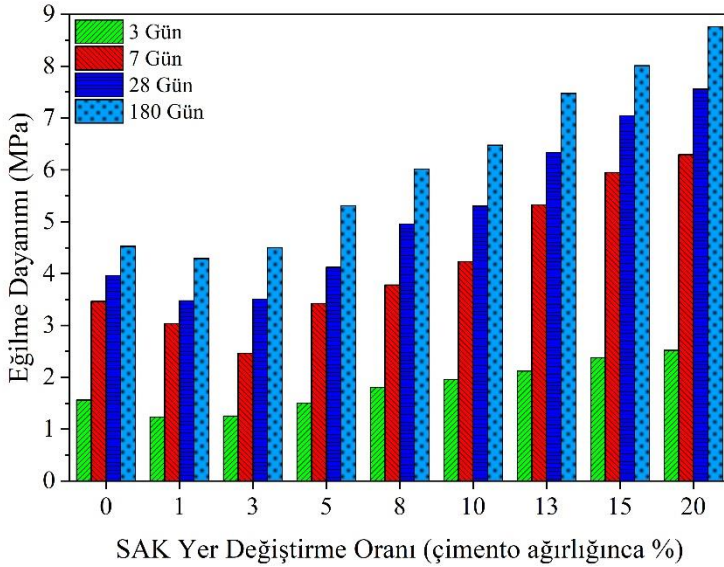
Tablo 3. ÇEKH Örneklerinin BHA Değerleri

Karışım Kodu	Taze Harç BHA (kg/m ³)	Sertleşmiş Harç BHA (kg/m ³)
M0	1793	1489
M1	1790	1487
M3	1787	1485
M5	1787	1484
M8	1784	1481
M10	1781	1479
M13	1778	1476
M15	1775	1473
M20	1770	1469

Tablo 3 incelendiğinde, ÇEKH'ların taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlıklarının az miktarda azaldığı tespit edilmiştir. Birçok araştırmacı, polimer ilavesinin bir sonucu olarak polimer modifiyeli harçlarda hapsolmuş aşırı hava boşluklarının varlığını bildirmiştir (Kharazian ve ark., 2019; Knapen & Van Gemert, 2015; Wang & Wang, 2010). Bu çalışmaların sonuçlarına göre, polimerlerin boşlukları oluşturmadığı ancak boşlukların taze harçlarda stabilize edilmesi için bir koşul sağladığını, dolayısıyla matris sertleşene kadar boşlukların daha uzun süre kalmasını tetiklediğini tespit etmişlerdir. Bu da daha az yoğun harçların üretileceği ve daha düşük basınç dayanımı seviyelerine ulaşılabilceği anlamına gelmektedir. Bu çalışma kapsamında üretilen hafif kompozit harçların, SAK kullanımı ile birlikte literatür sonuçlarına paralel olarak, SAK kullanım oranının artması ile BHA değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, BHA ağırlıklardaki azalma miktarı minimal seviyelerde bulunmuştur. Bunun sebebinin sıvı polimerin bir kısmının gözenekli agrega tarafından emilmesi ve polimerin hava boşluklarını stabilize etmesinin bir miktar engellenmiş olması olarak değerlendirilebilir. En yüksek kullanım oranı olan %20 çimento ile SAK yer değiştirme oranında, taze harcın BHA değeri %1,28, sertleşmiş harcın BHA değeri %1,34 oranında azalmıştır.

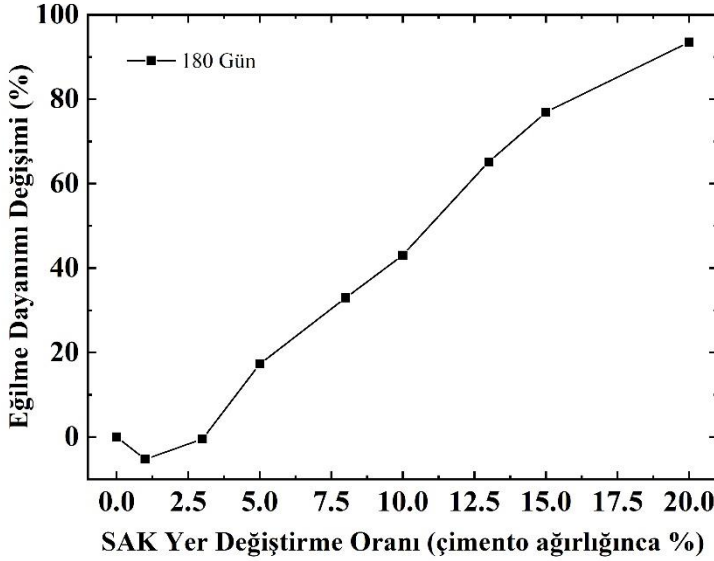
3.3. Eğilme ve Basınç Dayanımı

ÇEKH örneklerinin 3, 7, 28 ve 180 gün hava kürü uygulanmasından sonra eğilme testi sonucu dayanım değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Harçların Farklı Yer Değiştirme Oranlarında Eğilme Dayanımı Gelişimi

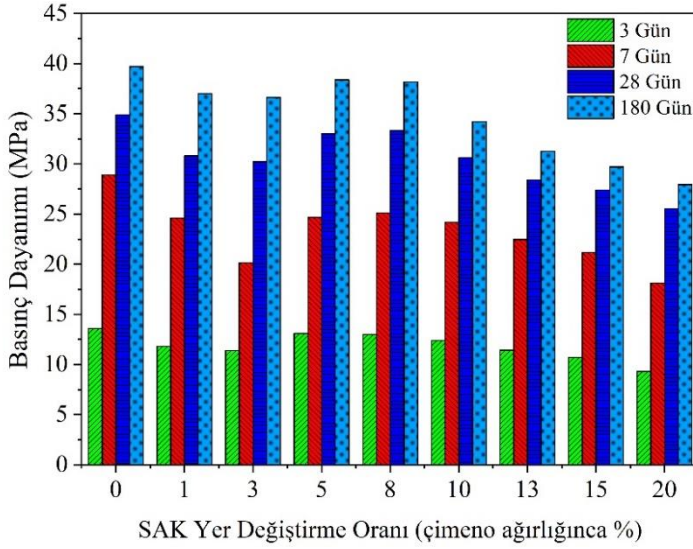
Şekil 5'ten görülebileceği gibi SAK'in çimento ile yer değiştirme seviyesi arttıkça ÇEKH'ların eğilme mukavemeti değerleri 3, 7, 28 ve 180. günlerde arttığı ve bu iyileşmenin %20'ye kadar hep ilerlediği gözlemlenmiştir. %1 ve %3 SAK yer değiştirmeli M1 ve M3 örneklerinin 3, 7, 28 ve 180. günlük eğilme dayanımlarının SAK kullanılmayan M0 referans örneğinin eğilme dayanımına yakın veya az miktarda altında kaldığı gözlemlenmiştir. SAK katkısının eğilme dayanımı üzerindeki etkisinin hafif harçlar için özellikle %3 yer değiştirme oranından sonra kendisini gösterdiği belirlenmiştir. SAK katkısının harçların eğilme dayanımını artırdığı diğer araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir (Berkak ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2019). Ayrıca, kür süreleri dikkate alındığında, hava kürü süresi arttıkça numunelerin eğilme mukavemetlerinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Özellikle uzun dönem (180 gün) hava kürü sonucunda numunelerin eğilme dayanımının oldukça iyileştiği tespit edilmiştir. M0 referans örneğinin 3, 7, 28 ve 180 gün kür sonunda eğilme dayanımları sırasıyla 1,56, 3,46, 4,00 ve 4,50 MPa olarak tespit edilmiştir. En yüksek eğilme dayanımını sergileyen M20 (%20 çimento ile SAK yer değiştirme) örneğinin 3, 7, 28 ve 180 gün kür sonunda eğilme dayanımları sırasıyla 2,56, 6,30, 7,60 ve 8,80 MPa olarak tespit edilmiştir. Şekil 6'da SAK yer değiştirmeli test örneklerinin eğilme dayanımlarının 180 gün kür sonucunda M0 kodlu SAK kullanılmayan referans örneklerinin eğilme dayanımlarına oranı grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Harçların Farklı Yer Değiştirme Oranlarında Eğilme Dayanımı Gelişimi

Şekil 6 irdelendiğinde, %1 çimento ile SAK yer değiştirme oranında harçların eğilme dayanımlarının ortalama %5,30 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalmanın düşük kullanım oranında polimerlerin henüz istenilen performansı sağlamaması ve çimento miktarının azalmasından kaynaklı hidrasyon ürünlerinin miktarının azalmasından kaynaklı olabileceği söylenilebilir. %3 çimento ile SAK yer değiştirme oranında eğilme dayanımlarının artık iyileşmeye başladığı ve referans harcına oranla ortalama sadece %0,50 oranında dayanım kaybının olduğu gözlemlenmiştir. Polimer kullanımındaki artış ile polimer film oluşumunun başladığı ve bu film oluşumunun eğilme dayanımını iyileştirdiği söylenebilir. Bu kullanım oranından sonra %20 çimento ile SAK yer değiştirme oranına kadar bütün SAK kullanım oranlarında harçların eğilme dayanımlarının önemli ölçüde iyileştiği tespit edilmiştir. Literatürde, yüksek oranda stiren akrilik kullanımının hidrasyon ürünleri üzerinde, boşlukları dolduran ve hidrasyon ürünlerini birbirine bağlayan, elastisite modülü nispeten düşük ve dolayısıyla esnek bir film tabakası oluşturduğu ve böylelikle harçların eğilme dayanımını arttırdığı belirtilmektedir (Zhang ve ark., 2019). Literatür bilgisine benzer şekilde, bu çalışmada da özellikle %5 ile %20 oran aralığında SAK ile çimento yer değiştirmesinde harçların eğilme dayanımları referans (M0) harcına göre 180 gün kür sonrasında %17,3 ile %93,5 aralığında dayanım kazanmıştır.

ÇEKH örneklerinin 3, 7, 28 ve 180 gün hava kürü uygulanmasından sonra basınç dayanımı testi sonucu dayanım değerleri Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Harçların Farklı Yer Değiştirme Oranlarında Basınç Dayanımı Gelişimi

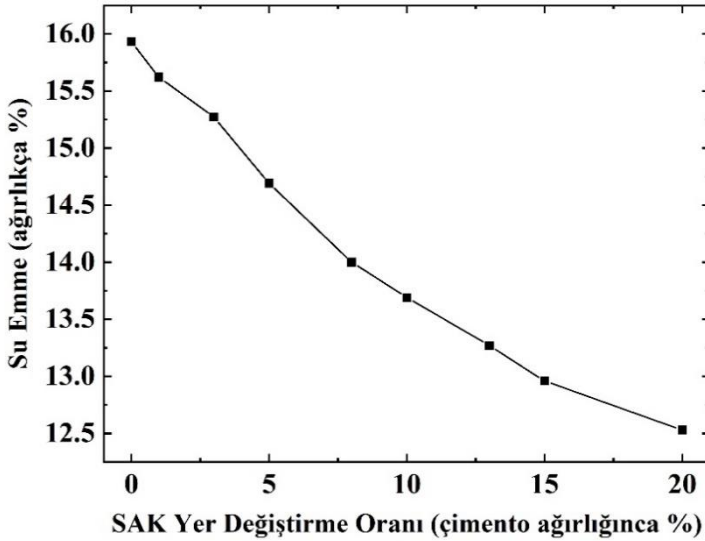
Şekil 7 irdelendiğinde, beklendiği üzere kür süresi arttıkça harçların basınç dayanım değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, SAK ile çimento yer değiştirme oranı arttıkça, özellikle %10'dan sonra olduğu gibi yüksek kullanım oranlarında, harçların basınç dayanım özelliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi özellikle bu çalışmada çimento ile yer değiştirme metodu kullanıldığı için, azalan çimento miktarına bağlı azalan hidrasyon ürünleridir. Bir diğer önemli sebep ise, bu çalışma açısından az da olsa polimer katkının taze harç içerisinde oluşan sıkışmış hava kabarcıklarını bir miktar sabitlemesidir (Wei & Meyer, 2015; Zhang ve ark., 2019). Bu çalışmada, sertleşmiş harçların birim hacim ağırlıklarının referans harcına oranla %1,34 kadar daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Birim ağırlıktaki bu kayıp da harçların basınç dayanımının kaybına sebebiyet vermektedir. Bununla birlikte, %1, %3, %5 ve %8 oranında SAK ile çimento yer değiştirme oranlarında test harçlarının referans harcına oranla 180 günlük basınç dayanım kaybı sırasıyla %6,8, %7,8, %3,27 ve %3,78 olarak oldukça düşük oranlarda tespit edilmiştir. Daha yüksek yer değiştirme oranlarında ise test örneklerinin basınç dayanım değerlerinin en fazla (M20) %29,6 oranında azalabildiği tespit edilmiştir. Basınç dayanım değerlerinin eğilme dayanımı değerlerine kıyasla düşük olmasının bir sebebi de harçlarda polimer film oluşabilmesi için hava kürü uygulanması ve bu sebeple çimento taneciklerinin yeteri derecede hidrate olamayışı olarak değerlendirilebilir. Bu etki eğilme dayanımında negatif etki sağlamamaktadır çünkü oluşan polimer filmin çekme dayanımı kuvvetli ve eğilme dayanımını artırmaktadır. Ayrıca, basınç dayanımının düşük olması yine polimer filmin hidrasyon ürünleri üzerinde gelişmesi ve bunun sonucunda hidrasyonu azaltması olarak değerlendirilebilir. Diğer yandan, bu polimer film hidrate boşluklar arasını da doldurarak harçların çekme dayanımını iyileştirdiği söylenebilir.

SAK ile çimento yer değiştirmesi sonucu ÇEKH örneklerinin basınç dayanımları her ne kadar referans harcının basınç dayanım değerinin altında kalsa da düşük yer değiştirme oranlarında (özellikle M5 ve M8 harcı) dayanım kaybının minimal

seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Harçların mekanik davranışı göz önüne alındığında (hem eğilme hem basınç) bu örneklerin optimum seviye SAK kullanım oranına sahip olduğu söylenilebilir. Bununla birlikte, sadece eğilme dayanımları göz önüne alındığında SAK kullanımının bütün oranları etkili olarak çalışmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada çimentodan azaltılarak polimer kullanıldığı için de daha çevreci bir ürün üretilebileceği söylenilebilir.

3.4. Su Emme

ÇEKH örneklerinin 28 gün hava kürü uygulanmasından sonra etüvde kurutulup suya daldırılması sonucu elde edilen su emme değerleri Şekil 8’de gösterilmiştir.

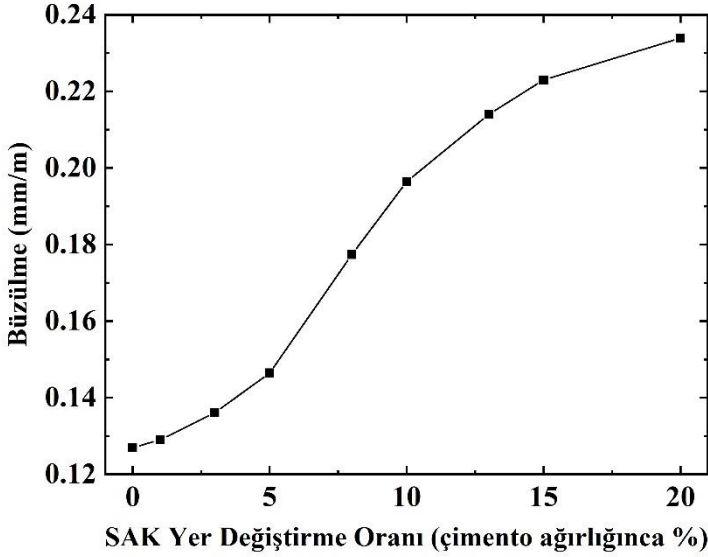


Şekil 8. Harçların Kütlece Su Emme Değerleri

Şekil 8 incelendiğinde, SAK ile çimento yer değiştirme oranı arttıkça ÇEKH örneklerinin kütlece su emme değerlerinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmektedir. SAK içermeyen referans harcının kütlece su emme değeri %15,93 olarak tespit edilmişken, %1, %3, %5, %8, %10, %13, %15 ve %20 oranında SAK kullanılan harç örneklerinin su emme değerleri sırasıyla %15,62, %15,27, %14,69, %14,00, %13,69, %13,27, %12,96 ve %12,53 olarak azalan bir trend ile saptanmıştır. Polimer modifiyeli harçların yapısında, polimer tarafından sürüklenen ve kısmen polimer zincirleri tarafından doldurulan veya polimer film tarafından kapatılan çok sayıda mikro gözenek bulunmaktadır (Ramli & Tabassi, 2012). Bu etki her zaman polimer içeriğinin artmasıyla artmaktadır (Zhang ve ark., 2019). SAK kullanım oranının artması ile su emme özelliğinin azalması, ÇEKH numunelerinde büyük ve küçük boyutlu gözeneklerin mevcut olmasına rağmen gözeneklerin SAK polimeri tarafından doldurulup kapatılabildiğini göstermektedir. Diğer araştırmacılar da harçlarda stiren akrilik modifiyesinin hem kütlece su emme değerlerini hem de harçların kapiler su emme değerlerini azaltabildiğini tespit etmişlerdir (Wang & Wang, 2010; Zhang ve ark., 2019).

3.5. Büzülme ve Şişme

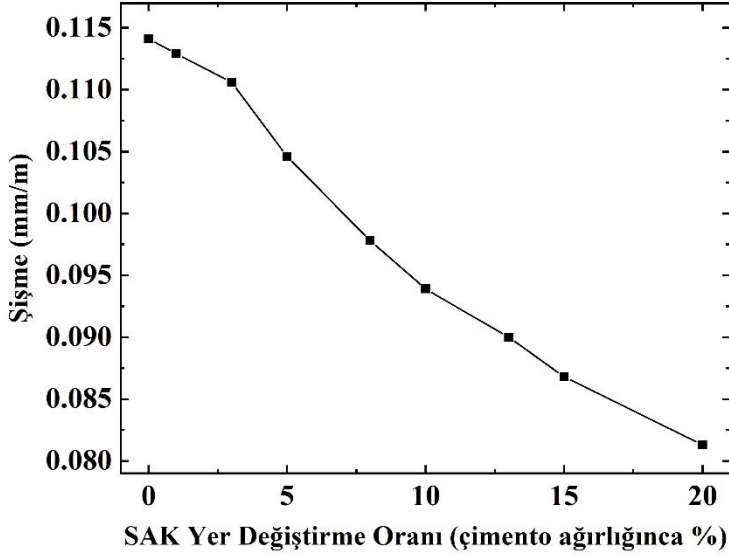
ÇEKH örneklerinin büzülme karakteristiği Şekil 9’da grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 9. SAK Kullanım Oranına Göre Harçların Büzülme Değerleri

Şekil 9 incelendiğinde elde edilen bulgulara göre karışımlarda artan SAK miktarına bağlı olarak kompozit harçların büzülme özelliklerinde belirgin bir artış eğilimi olduğu gözlemlenmiştir. Literatür incelendiğinde stiren akrilik modifiyesinin çimentolu ürünlerde büzülme azaltabileceği sonucuna ulaşan çalışmalar bulunmaktadır (Cruz ve ark., 2021; Wang & Wang, 2010). Ancak, bu çalışmada bu sonucun aksine SAK kullanım oranının artması ile harçların büzülme değerlerinin de arttığı görülmektedir. Harcın kuruma etkisinde büzülme değerine etki eden en önemli faktörlerden birisi, harcın gözenekli yapısıdır (Gündüz & Kalkan, n.d.). ÇEKH test örneklerinde karışımdaki volkan cürufu matris yapıyı daha gözenekli bir forma büründürmekle birlikte, karışımda SAK miktarının da artması harcın gözenekliliğini bir miktar daha artırıp rötre özelliğini olumsuz yönde etkileyerek büzülme değerinin artmasına neden olmaktadır.

Şekil 10’da ÇEKH örneklerinin 28 gün sonunda kurutulup su emdirilmesi sonucu şişme özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 10. SAK Kullanım Oranına Göre Harçların Şişme Değerleri

Şişme, çimento esaslı harç veya beton numunelerinin sürekli ıslak koşullarda tutulduğunda meydana gelen bir özelliğidir. Sürekli ıslak ortamda kalan numuneler, birim ağırlıklarındaki artışla birlikte hacimlerinde de artış gösterebilirler. Bu gelişim beton örnekler için yaklaşık %1'e kadar değişim gösterebilmektedir. Nem genleşmesi, suyun çimento jeli tarafından emilmesiyle ilgilidir, bu nedenle su parçacıkları, malzemenin ortaya çıkan yapısındaki kohezyon kuvvetlerine karşı koyan bir etki sergiler (Gündüz & Kalkan, n.d.; Lenart, 2015). Bu çalışma sonucu elde edilen bulgulara göre, harçların şişme özelliği olarak M0 – M20 aralığındaki örneklerin şişme değerleri 0,144 mm/m'den 0,081 mm/m değerine kadar azalarak değişmektedir. Harçların şişme değerlerinin azalmasının en önemli sebebi, harçlarda gözenekliliğin bir miktar artmasına rağmen, bu gözenekleri kullanan polimerin nispeten kapatabilmesi ve film oluşturarak su emme değerlerini azaltabilmesidir (Şekil 8). Harçların su emme özelliklerinin azalması ile birlikte şişme karakteristiği de azalmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hafif kompozit harçların yüksek su emme değerlerinin azaltılması ve nispeten düşük mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi bakımından SAK katkısı hafif kompozit harçlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre,

1. %1-%20 çimento ile SAK yer değiştirme oranında, harçların akıcılık özelliğinde %2,75 ile %28,90 aralığında azalma gözlemlenmiştir. Buna bir sebep çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcının azaltılması olabilir. Harçların akıcılık özelliğinin iyileştirilmesi amacıyla farklı tip süperakışkanlaştırıcı katkıları denenebilir. Ayrıca, bu çalışmada mukavemet

- artırıcı polimer de bir miktar akıcılık özelliğini azaltmış olabilir bu polimerin ayrıca harçların akıcılık özelliğine etkisi deneysel olarak araştırılmalıdır.
2. SAK kullanım oranının artması ile BHA değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, BHA ağırlıklardaki azalma miktarı minimal seviyelerde bulunmuştur. En yüksek kullanım oranı olan %20 çimento ile SAK yer değiştirme oranında, taze harcın BHA değeri %1,28, sertleşmiş harcın BHA değeri %1,34 oranında azalmıştır. Malzemelerin basınç dayanımlarının bir miktar azalmasının bir sebebi de BHA değerlerindeki azalmadan kaynaklanmış olabilir.
 3. Özellikle uzun dönem (180 gün) hava kürü sonucunda numunelerin eğilme dayanımının oldukça iyileştiği tespit edilmiştir. bu çalışmada da özellikle %5 ile %20 oran aralığında SAK ile çimento yer değiştirmesinde harçların eğilme dayanımları referans (M0) harcına göre 180 gün kür sonrasında %17,3 ile %93,5 aralığında dayanım kazanmıştır.
 4. SAK ile çimento yer değiştirme oranı arttıkça, özellikle %10'dan sonra olduğu gibi yüksek kullanım oranlarında, harçların basınç dayanım özelliğinin azaldığı tespit edilmiştir. %10'a kadar bu çalışmada kullanılmayan SAK kullanım oranı bağlamındaki ara değerler ileriki çalışmalarda kullanılabilir.
 5. SAK kullanım oranının artması ile su emme özelliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. En basit durabilite testi olan su emme deneylerinde olumlu sonuç veren bu tip harçların ileriki çalışmalar için diğer durabilite özellikleri deneysel olarak araştırılabilir.
 6. Karışımlarda artan SAK miktarına bağlı olarak kompozit harçların büzülme özelliklerinde belirgin bir artış eğilimi olduğu gözlemlenmiştir. Büzülme özelliklerini azaltmak için farklı katkı maddelerinin (örneğin, kalsiyum karbonat, fiber takviyeler) etkisi test edilebilir. Büzülme eğilimlerinin uzun vadeli çatlak oluşumuna etkisi üzerine bir çalışma yapılabilir.
 7. Harçların şişme özelliği olarak M0 – M20 aralığındaki örneklerin şişme değerleri 0,144 mm/m'den 0,081 mm/m değerine kadar azalarak değişmektedir.

SAK ile çimento yer değiştirmesi sonucu ÇEKH örneklerinin basınç dayanımları her ne kadar referans harcının basınç dayanım değerinin altında kalsa da düşük yer değiştirme oranlarında (özellikle M5 ve M8 harcı) dayanım kaybının minimal seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Harçların mekanik davranışı göz önüne alındığında (hem eğilme hem basınç) bu örneklerin optimum seviye SAK kullanım oranına sahip olduğu söylenilebilir. Özellikle harçların eğilme dayanımları göz önüne alındığında, SAK ile çimento yer değiştirmesine bağlı harçların eğilme dayanımları %90'ın üzerinde artabilmektedir. Eğilme dayanımının yüksek arzu edilebileceği uygulamalarda bu tip ürünlerin kullanılabilceği düşünülmektedir. Çekme kuvvetlerinden dolayı çatlama riski daha yüksek olan yapısal elemanlar (döşemeler, zemin betonları, geniş yüzeye uygulanacak son kat uygulamalar, prekast cephe panelleri, geniş yüzeyli prefabrike elemanlar vb. gibi geniş yüzeyli çimentolu ürünler) için SAK kullanımının uygun olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, çimento ile yer değiştirme yapıldığı için SAK kullanılarak üretilen ÇEKH örneklerinin konvansiyonel harç örneklerine kıyasla çok daha çevreci ürünler olduğu söylenebilir.

Yazarların Katkısı

1. yazar %60 oranında, 2. yazar %40 oranında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Aggarwal, L. K., Thapliyal, P. C., & Karade, S. R. (2007). Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions. *Construction and Building Materials*, 21(2), 379–383.
- Akgül, M., Dogan, O., & Etli, S. (2020). Farklı çimento ile üretilen granül atık kauçuk agregaların ikame edilmiş kendiliğinden yerleşen beton harcının mekanik özelliklerinin incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2), 787–798.
- Akgül, M., & Etli, S. (2024). Investigation of the variation of mechanical and durability properties of elements manufactured with rubber substituted SCMs with element height. *Construction and Building Materials*, 428, 136300.
- Al-Zahrani, M. M., Maslehuddin, M., Al-Dulaijan, S. U., & Ibrahim, M. (2003). Mechanical properties and durability characteristics of polymer-and cement-based repair materials. *Cement and Concrete Composites*, 25(4–5), 527–537.
- Assaad, J. J. (2018). Development and use of polymer-modified cement for adhesive and repair applications. *Construction and Building Materials*, 163, 139–148.
- Assaad, J. J., & Gerges, N. (2019). Styrene-butadiene rubber modified cementitious grouts for embedding anchors in humid environments. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 84, 317–325.
- Assaad, J. J., & Issa, C. A. (2017). Effect of recycled acrylic-based polymers on bond stress-slip behavior in reinforced concrete structures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(1), 4016173.
- ASTM. (2013). *ASTM C642-13, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*.
- Berkak, H., Bederina, M., & Makhoulfi, Z. (2020). Physico-mechanical and microstructural properties of an eco-friendly limestone mortar modified with styrene-polyacrylic latex. *Journal of Building Engineering*, 32, 101463.
- Chew, M. Y. L., Tan, P. P., & Yeo, Y. S. (2004). Effect of styrene acrylic ester polymer on mortar render properties. *Architectural Science Review*, 47(1), 43–52.

- Cruz, E. O., Radler, M. J., Perello, M., & Savastano Jr, H. (2021). Fiber cement boards modified with styrene-acrylic copolymer: An approach to address dimensional stability and cellulose fiber preservation. *Journal of Composite Materials*, 55(3), 437–452.
- Demirdag, S., & Gunduz, L. (2008). Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units. *Construction and Building Materials*, 22(3), 135–142.
- Diamanti, M. V., Brenna, A., Bolzoni, F., Berra, M., Pastore, T., & Ormellese, M. (2013). Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete. *Construction and Building Materials*, 49, 720–728.
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A., & Günay, E. (1978). Uşak Yöresinin Neojen Havzaları Jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 21(2), 104.
- Ercan, T., Türkecan, A., Dinçel, A., & Günay, E. (1983). Kula-Selendi (Manisa) dolaylarının jeolojisi. *Jeoloji Mühendisliği*, 17, 3–29.
- Etli, S. (2023). Evaluation of the effect of silica fume on the fresh, mechanical and durability properties of self-compacting concrete produced by using waste rubber as fine aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 384, 135590.
- Etli, S. (2024). Mechanical Properties of Self-Compacting Mortars Containing Rubber Waste Particles as Fine Aggregate in Freeze–Thaw Cycles. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 36(9), 4024246.
- Feiteira, J., & Ribeiro, M. S. (2013). Polymer action on alkali–silica reaction in cement mortar. *Cement and Concrete Research*, 44, 97–105.
- Gesoglu, M., Güneyisi, E., Hansu, O., Etli, S., & Alhassan, M. (2017). Mechanical and fracture characteristics of self-compacting concretes containing different percentage of plastic waste powder. *Construction and Building Materials*, 140, 562–569.
- Gündüz, L., & Kalkan, Ş. O. (n.d.). İnce pomza agreganın çimento esaslı kendiliğinden yayılan tesviye şapının performansına etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 1.
- Gündüz, L., & Kalkan, Ş. O. (2023). The effect of different natural porous aggregates on thermal characteristic feature in cementitious lightweight mortars for sustainable buildings. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 47, 843–861.
- Kharazian, H. A., Zare, M. R., Noktehdan, M., & Sedaghatdoost, A. (2019). Effect of water-based acrylic copolymer on void systems of cementitious repair mortar. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00261.

- Knapen, E., & Van Gemert, D. (2009). Cement hydration and microstructure formation in the presence of water-soluble polymers. *Cement and Concrete Research*, 39(1), 6–13.
- Knapen, E., & Van Gemert, D. (2015). Polymer film formation in cement mortars modified with water-soluble polymers. *Cement and Concrete Composites*, 58, 23–28.
- Kong, X., Pakusch, J., Jansen, D., Emmerling, S., Neubauer, J., & Goetz-Neuhoeffer, F. (2016). Effect of polymer latexes with cleaned serum on the phase development of hydrating cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 84, 30–40.
- Lavelle, J. A. (1988). Acrylic latex-modified Portland cement. *Materials Journal*, 85(1), 41–48.
- Lee, J.-B. (2017). Physical properties of polymer-modified cement mortars by the functional additives and modification of polymerization. *Journal of Ceramic Processing Research*, 18(3), 220–229.
- Lenart, M. (2015). Assessment of mortar shrinkage in aspect of organic and inorganic modifiers use. *Procedia Engineering*, 108, 309–315.
- Lho, B. C., Joo, M. K., Choi, K. H., & Choi, J. Y. (2012). Effects of polymer-binder ratio and slag content on strength properties of autoclaved polymer-modified concrete. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16, 803–808.
- Ma, H., & Li, Z. (2013). Microstructures and mechanical properties of polymer modified mortars under distinct mechanisms. *Construction and Building Materials*, 47, 579–587.
- Medeiros, M. H. F., Helene, P., & Selmo, S. (2009). Influence of EVA and acrylate polymers on some mechanical properties of cementitious repair mortars. *Construction and Building Materials*, 23(7), 2527–2533.
- Mermerdaş, K., Algin, Z., Ekmen, Ş., & Karadağ, M. (2021). Stiren-Bütadien Kauçuk Lateks Modifiyeli Harçların Erken Yaştaki Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2), 154–162.
- Meyer, J. (1974). Stability of polymer composites as positive-temperature-coefficient resistors. *Polymer Engineering & Science*, 14(10), 706–716.
- Mirza, J., Mirza, M. S., & Lapointe, R. (2002). Laboratory and field performance of polymer-modified cement-based repair mortars in cold climates. *Construction and Building Materials*, 16(6), 365–374.
- Montanaro, L., Festa, D., Bachiorrini, A., & Penati, A. (1990). Influence of added polymer emulsions on the short-term physical and mechanical characteristics of plastic mortar. *Cement and Concrete Research*, 20(1), 62–68.

- Muhammad, B., & Ismail, M. (2012). Performance of natural rubber latex modified concrete in acidic and sulfated environments. *Construction and Building Materials*, 31, 129–134.
- Ning, Y., Er-lei, B., Jin-yu, X., Guang, P., & Bo-xu, M. (2018). Study on tensile mechanical property of styrene-acrylic cement composite material. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 153(2), 22022.
- Ohama, Y. (1997). Recent progress in concrete-polymer composites. *Advanced Cement Based Materials*, 5(2), 31–40.
- Ohama, Y. (1998). Polymer-based admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 20(2–3), 189–212.
- Ohama, Y., Demura, K., Hamatsu, M., & Kakegawa, M. (1991). Properties of polymer-modified mortars using styrene-butyl acrylate latexes with various monomer ratios. *Materials Journal*, 88(1), 55–61.
- Pei, M., Kim, W., Hyung, W., Ango, A. J., & Soh, Y. (2002). Effects of emulsifiers on properties of poly (styrene-butyl acrylate) latex-modified mortars. *Cement and Concrete Research*, 32(6), 837–841.
- Ramli, M., & Tabassi, A. A. (2012). Effects of polymer modification on the permeability of cement mortars under different curing conditions: a correlational study that includes pore distributions, water absorption and compressive strength. *Construction and Building Materials*, 28(1), 561–570.
- Schulze, J., & Killermann, O. (2001). Long-term performance of redispersible powders in mortars. *Cement and Concrete Research*, 31(3), 357–362.
- Selim, C., Serkan, E., & Onur, O. (2018). Curing effect on mortar properties produced with styrene-butadiene rubber. *Computers and Concrete*, 21(6), 705–715. <https://doi.org/10.12989/CAC.2018.21.6.705>
- Senff, L., Modolo, R. C. E., Ascensão, G., Hotza, D., Ferreira, V. M., & Labrincha, J. A. (2015). Development of mortars containing superabsorbent polymer. *Construction and Building Materials*, 95, 575–584.
- Shete, G. N., & Upase, K. S. (2014). Evaluation of compressive strength and water absorption of styrene butadiene rubber (SBR) latex modified concrete. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 4(10), 40–44.
- Su, Z., Sujata, K., Bijen, J., Jennings, H. M., & Fraaij, A. L. A. (1996). The evolution of the microstructure in styrene acrylate polymer-modified cement pastes at the early stage of cement hydration. *Advanced Cement Based Materials*, 3(3–4), 87–93.
- TS EN 13872, *Perdah ve/veya tesviye işlerinde kullanılan ve hidrolik priz alabilen bileşiklere uygulanacak deney metotları - Büzülmenin tayini*. (2010).

- Turkish Standards Institution. (2000a). *TS EN 1015-3 - Methods of test for mortar for masonry- Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*.
- Turkish Standards Institution. (2000b). *TS EN 1015-6, Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar*.
- Turkish Standards Institution. (2001). *TS EN 1015-10, Methods of test for mortar for masonry- Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar*.
- Wang, R., & Wang, P. (2010). Function of styrene-acrylic ester copolymer latex in cement mortar. *Materials and Structures*, 43, 443–451.
- Wei, J., & Meyer, C. (2015). Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. *Cement and Concrete Research*, 73, 1–16.
- Wong, W. G., Fang, P., & Pan, J. K. (2003). Dynamic properties impact toughness and abrasiveness of polymer-modified pastes by using nondestructive tests. *Cement and Concrete Research*, 33(9), 1371–1374.
- Xue, X., Yang, J., Zhang, W., Jiang, L., Qu, J., Xu, L., Zhang, H., Song, J., Zhang, R., & Li, Y. (2015). The study of an energy efficient cool white roof coating based on styrene acrylate copolymer and cement for waterproofing purpose—Part II: Mechanical and water impermeability properties. *Construction and Building Materials*, 96, 666–672.
- Zhang, S., Li, G. Z., & Ning, C. (2011). Properties of the Mortar Modified with the Styrene-Acrylic Emulsion. *Advanced Materials Research*, 194, 1022–1025.
- Zhang, X., Li, G., & Song, Z. (2019). Influence of styrene-acrylic copolymer latex on the mechanical properties and microstructure of Portland cement/Calcium aluminate cement/Gypsum cementitious mortar. *Construction and Building Materials*, 227, 116666.
- Zhong, S., & Chen, Z. (2002). Properties of latex blends and its modified cement mortars. *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1515–1524.