



İnce pomza agreganın çimento esaslı kendiliğinden yayılan tesviye şapının performansına etkisi

Effect of fine pumice aggregate on performance of cement based self-leveling screed

Lütfullah Gündüz¹, Şevket Onur Kalkan^{2*}

^{1,2} İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35620, İzmir Türkiye

Öz

Şaplar, yüzey kusurlarını düzeltmek ve zeminlere eğim vermek için kullanılan yapı malzemeleridir. Konvansiyonel çimento esaslı şaplar, yüzey düzlemek için fazladan işçilik gerektirmekte ve normal yoğunluklu agregalar kullanılarak üretildiği için binalarda fazladan ölü yük oluşturmaktadır. Bu çalışmada, 1080 – 1156 kg/m³ yoğunluk değerlerinde oldukça hafif ve kendiliğinden yerleşme özelliği iyileştirilmiş şap harçları üretilmiştir. Üretilen kompozit harçlarda ana agrega olarak iki farklı boyutta pomza ve kendiliğinden yayılmayı sağlamak için melamin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kompozit harçların yayılma, yoğunluk, gözeneklilik, 1, 7, 28 ve 120 günlük basınç ve eğilme dayanımı, aşınma direnci, yüzey sertliği, negatif rötre ve pozitif rötre özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, karışıma giren pomza miktarı arttıkça harçların yayılma özelliği azalmaktadır. Benzer şekilde pomza miktarı arttıkça harcın gözenekliliği artmakta, birim hacim kütlesi azalmakta, buna bağlı olarak da mekanik performansı azalmaktadır.

Anahtar kelimeler: Pomza agrega, Kendiliğinden yayılan şap, Şap harcı, Kendiliğinden yayılma özelliği, Hafif harç

1 Giriş

Kendiliğinden yayılan tesviye şapı, çimento esaslı polimer modifiye, düzgün ve pürüzsüz bir zemin yüzeyi elde etmek için yüksek akışkan özelliğine sahip kendinden yayılan bir harç malzemesidir. İlk pompalanabilir kendiliğinden yayılan zemin kaplama malzemesi 1970'lerin ortasında geliştirilmiştir. Bu üründe, bir üst döşeme uygulamadan önce beton zeminleri düzleştirmenin kolay ve hızlı bir yolunu elde etmek amacıyla Portland çimentosu, kazein bazlı akıcı bir madde ile birlikte bağlayıcı olarak kullanılmıştır [1].

Kendiliğinden yayılan tesviye şap harcı, bağlayıcılar, dolgu malzemeleri, yeniden dağılılabılır polimerler ve katkılardan oluşan kompozit bir yapıya sahiptir. Bağlayıcı malzemenin türüne göre şap harcı ayrı tanımlamalar altında isimlendirilebilmektedir. Bu isimlendirmeler TS EN 13813 standardında 5 ayrı kategoride gruplandırılmıştır [2]: Çimentolu şap malzemeleri (CT), Kalsiyum sülfatlı şap malzemeleri (CA), Magnezitli şap malzemeleri (SA), Mastik

Abstract

Screeds are building materials used to fix surface defects and bevel floors. Conventional cementitious screeds require extra labor to level the surface and create an extra dead load in buildings as they are produced using normal weight aggregates. In this study, self-compacting and lightweight screeds with a density value of 1080 – 1156 kg/m³ were produced. In the produced composite mortars, pumice in two different sizes was used as the main aggregate and melamine sulfonate-based superplasticizer was used to provide self-leveling. Within the scope of the study, flowability, density, porosity, 1, 7, 28 and 120 days compressive and flexural strength, abrasion resistance, surface hardness and shrinkage and expansion properties of composite mortars were determined. According to the results of the study, the flowability property of the mortars decreases as the amount of pumice entering the mixture increases. Similarly, as the amount of pumice increases, the porosity of the mortar increases, the unit volume mass decreases, and accordingly its mechanical performance decreases.

Keywords: Pumice aggregate, Self-leveling screed, Screed mortar, Self-leveling property, Lightweight mortar

asfaltlı şap malzemeleri (AS) ve Sentetik reçineli şap malzemeleri (SR). Dolgu malzemeleri olarak genellikle kum ve kireçtaşı gibi ince öğütülmüş mineral malzemelerin ağırlıklı olarak kullanıldığı görülmektedir. Katkı maddeleri olarak, örneğin, priz süresi, kütleme süresi, akış özellikleri, hava sürüklenmesi ve ayırmayı kontrol etme amacıyla farklı orijinli alternatif mineral ve/veya kimyasal polimer esaslı katkıları kullanılabilmektedir [3-5].

Kendiliğinden yayılan şap harcının genellikle üç temel kullanımı yer söz konusudur. Bunlardan ilki, herhangi bir yüzeyi düzeltmek ve betonun sahip olabileceği düzensizlikleri gidermek amacıyla kullanılan altlıklar olarak bilinir [6]. Bu uygulama, her türlü zeminin montajından önce yapılır. Örneğin, PVC, fayans, seramik, granit seramik, mermer, doğal granit, parke, halı, lamine parke, laminat parke, kauçuk döşeme gibi malzemelerin altında zemini düzeltmek, tesviyeye, teraziye getirmek için kullanılabilir. İkinci kullanım yeri ise, zemin kaplamasına ihtiyaç duymadan gerçek bitmiş zemin olarak hareket etmek için

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: onur_kalkan@hotmail.com (Ş.O. Kalkan)
Geliş / Received: 19.06.2022 Kabul / Accepted: 15.11.2022 Yayınlanma / Published: 15.01.2023
doi: 10.28948/ngumuh.1132825

projenin başlangıcından itibaren kendiliğinden yayılan harcı son kat uygulama olarak yapmaktır. Kendiliğinden yayılan harcın üçüncü kullanımı ise, köprü veya yol gibi uygulamalarda hasarlı beton için onarım malzemesi olarak kullanılır. Buna ek olarak, kendiliğinden yayılan harçlar, dekoratif işlemler için pürüzsüz ve dayanıklı yeni bir yüzey sağlamak için kullanılabilir gibi [7], yoğun trafiği olan alanlarda, konut, ticari ve endüstriyel yapılarda, hastane, süpermarket, eğitim binalarında, otel, alışveriş merkezi gibi yerlerde de kullanılır. Ayrıca, epoksi altı uygulamalarda kullanımları da görülebilmektedir. Kendiliğinden yayılan harç, doğrudan kullanılmadan önce su ile karıştırılması gereken, kullanıma hazır bir harçtır. Ayrıca geleneksel çimento harcına benzer veya daha yüksek basınç dayanımına sahip düz ve pürüzsüz bir yüzey oluşturmak için kullanılır ve esas olarak altlık veya dolgu malzemesi olarak kullanılır [7].

Günümüzde zemin kaplamalarının düzlük ve pürüzsüzlük derecelerinin artması nedeniyle kendiliğinden yayılan harç uygulamalarına olan ihtiyaç artmıştır. Kendiliğinden yayılan harçlar, geleneksel çimento harcının aksine yüksek akış özelliklerine sahiptir. Aynı zamanda akıcılığı ile de karakterize edilirler. Ancak kendiliğinden yayılan harç kalınlaştıkça akışkanlığı azalır. Ayrıca yüksek akışkanlık özelliğinden dolayı dikey yüzeylerde uygulanamaz. Kendiliğinden yayılan harç, herhangi bir titreşim veya sıkıştırma gerektirmez [3, 8, 9]. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kendiliğinden yayılan harç malzemelerin yoğunluk aralığı çoğunlukla 2000 ile 2200 kg/m³ arasında olup [10-12], 2400 ile 2600 kg/m³ arasında değişen normal harçtan daha düşüktür. Bu nedenle, binalarda uygulandığı alanlarda ölü yükü azaltıcı önemli bir katma değer sağlar. Bu bağlamda, inşaat projelerinde kendiliğinden yayılan şap harç uygulamalarının yaygınlaşması, projenin ölü yük değerlerinin minimize edilmesi için şap malzemenin birim yoğunluğunun olduğunca düşük olması önem kazanmaktadır. Şap harcının mukavemet değerini çok düşürmeden daha düşük yoğunlukta karışım tasarımlarının formüle edilmesi ayrı bir önem arz etmektedir. Bu amaçla, normal kum ve kırmataş agregası bileşenlere göre birim ağırlığı düşük doğal ve/veya yarı suni gözenekli yeni nesil malzemelerin kendiliğinden yayılan şap tasarımlarında kullanımını birer yenilikçi araştırma konusu olmaktadır. Yüksek yoğunluğu nispeten düşük malzemeler arasında volkanik orijinli doğal gözenekli pomza, volkan cürufu, ignimbrit, tüfit gibi malzemelere ilaveten diğer orijinlerde genleşmiş perlit, genleşmiş kil, açılmış vermikülit, genleşmiş cam ve geri dönüşüm agregası vb. gibi malzemelerin kullanılabilirliği üzerine çalışmalar giderek önem kazanmaktadır [12-14]. Barluenga ve ark. [15] taş ocağı atıklarından elde edilmiş öğütülmüş arduvazın kendiliğinden yerleşen çimento esaslı harç üretiminde kullanımı üzerine yaptığı çalışmada yüksek dayanımlı şap harcı üretiminin mümkün olabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte Júnior ve ark. [16] kül bazlı hibrit bağlayıcı kendinden yerleşen harç uygulamaları üzerine başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Altuncu ve ark. [17] çalışmalarında, genleşmiş cam ve genleşmiş perlit agregasının hafif şap harçlarının üretiminde etkin olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Altuncu ve ark. [18] bir diğer çalışmalarında, genleşmiş cam ve genleşmiş perlit

kullanarak şap harcının birim hacim ağırlığının azaldığını, ısı ve ses izolasyon performanslarının iyileşebildiğini tespit etmişlerdir. Şahin ve ark. [19] çalışmalarında normal yoğunlukta kum ve farklı tip kimyasal katkıları kullanarak 30 MPa basınç dayanımının altında kalmayacak şekilde kendiliğinden yayılan şap harçları üretmişlerdir.

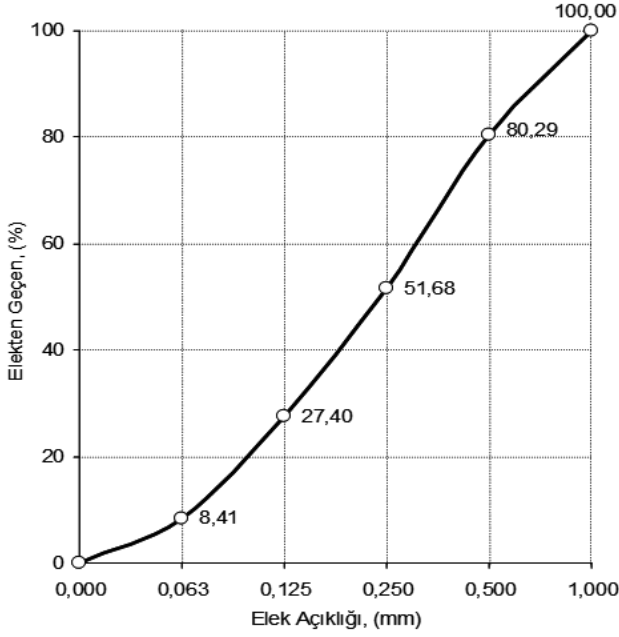
Literatür incelendiğinde, gözenekli agregası malzemelerin kendiliğinden yayılan şap ürünlerinde kullanımı üzerine yeter düzeyde araştırma çalışmaları görülmektedir. Bu bağlamda, gözenekli agregaların farklı tane boyutlarında çimento esaslı şap harçlarında uygulanabilirliği ve harcın teknik performansları üzerine olan etkileri araştırılması, avantaj ve dezavantajlarının tecrübe edinilmesi gerekli bir çalışma alanıdır.

Bu makale, volkanik orijinli ve doğal gözenekli bir yapıya sahip olan pomza agregasının ince boyutlarda, çimento esaslı kendiliğinden yayılan tesviye şapı üretimlerinde kullanımında pomza agregasının performansının daha iyi bilinmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Farklı tane boyut ve kullanım oranlarında pomza kullanımlı çimento esaslı tesviye şapı harçların geliştirilmesine yönelik deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Laboratuvarında test edilen 10 farklı karışım tasarımına sahip pomza agregalı polimer modifiyeli çimento esaslı tesviye şapı harcı örneklerinin detaylı performans bulguları tartışılmıştır. Yapılan deneysel analizlerde pomza agregasının kendiliğinden yayılan tesviye şapı harcının yoğunluğuna, gözeneklilik oranına, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, aşınma direnci, yüzey sertliği, büzülme ve şişme olan etkileri detaylı analiz edilmiş olup, elde edilen bulgular burada özetle tartışılmıştır. Pomza agregasının optimum kullanım oranında kendiliğinden yayılan tesviye şapı harcı karışımlarında, standartların öngördüğü teknik limitleri sağlayabilen özellikte kolay uygulanabilen şap harçlarının elde edilebileceği gözlemlenmiştir.

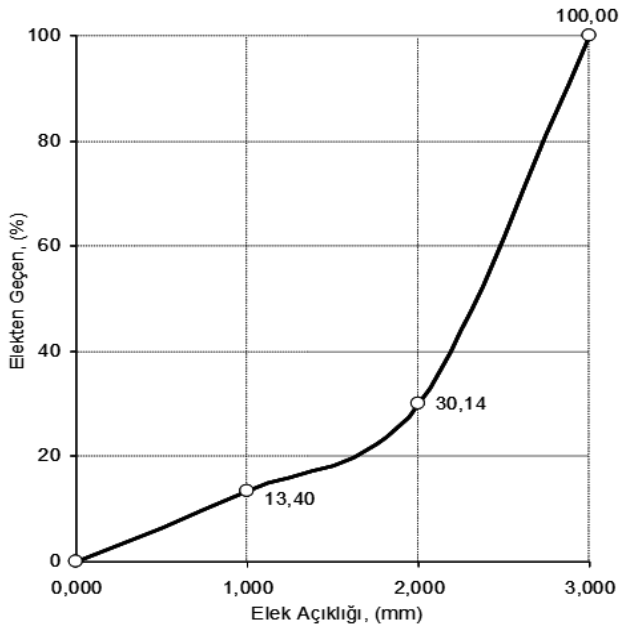
2 Materyal ve metod

2.1 Test örneklerinde kullanılan malzemeler

Maksimum 30 mm kalınlığa kadar uygulanması tasarlanan çimento esaslı kendiliğinden yayılan tesviye şap (ÇEKYTS) harcı örneklerinin hazırlanmasında ana agregası malzeme olarak doğal gözenekli volkanik orijinli pomza agregası Nevşehir bölgesinde endüstriyel olarak faaliyet gösteren ocaklardan ham formda tedarik edilmiştir. Laboratuvar ortamında pomza agregası öncelikle 105±5°C'lik havalandırılmalı bir etüv ortamında kurularak sonrasında mafsallı bir kırıcıyla ince granüllü malzeme boyutuna küçültülmüştür. Ufalanmış pomza malzeme sonrasında kare göz açıklıklı elekler ile sınıflandırmaya tabi tutularak şap harcı örneklerinde kullanılmak üzere başlıca iki ayrı 0-1 mm ve 1-3 mm ince boyut fraksiyonuna sınıflandırılmıştır. 0-1 mm pomza "FPA" olarak, 1-3 mm pomza ise "CPA" olarak kodlanmıştır. Her iki pomza agregası boyut aralığına ait malzemelerin elek analizi Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. 0-1 mm pomza agregasının etüv kurusu yığın yoğunluğu ortalama 890 kg/m³ olup, kütlece su emme oranı ise %19.8'dir. 1-3 mm pomza agregasının etüv kurusu yığın yoğunluğu ise ortalama 670 kg/m³ olup, kütlece su emme oranı ise %25.7'dir.



Şekil 1. FPA elek analizi (0-1 mm pomza)



Şekil 2. CPA elek analizi (1-3 mm pomza)

ÇEKYTŞ test örneklerinin hazırlanmasında dolgu materyali olarak piyasa koşullarından temin edilmiş 250 mikron boyutlu olarak sınıflandırılmış kırmataş kumu kullanılmıştır. Öğütülmüş kırmataş kumunun ortalama yığın yoğunluğu $1430 \pm 150 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Ayrıca şap harç örneklerinde maksimum tane boyutu 45 mikron olan mikro silika dayanım artırıcı, puzolanlık özelliği göstermesi sebebiyle de katkı materyali olarak kullanılmıştır.

ÇEKYTŞ test örneklerinin hazırlanmasında harç karışımının işlenebilirlik ve dayanımını artırmak amacıyla çimento ve alçı esaslı malzemelerde karışım suyunu azaltan ve yüksek akışkanlık özelliği kazandıran, düşük sıcaklıklarda da kullanıma uygun, toz formunda, melamin

sülfonat esaslı bir süper akışkanlaştırıcı piyasa koşullarından temin edilerek karışımlara ilave edilmiştir. Melamin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı toz katkı (AKL), 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/cm^3 ve ASTM C 494 Type G [20] standardına uygun bir katkı malzemesidir. Bu katkı, endüstriyel uygulamalarda kendiliğinden yayılan şap ürünlerinde, fugalarda, hazır harç ve sıvalarda, alçı plaka, alçı blok ve kalıp alçılarındaki, hazır beton uygulamalarında ve ayrıca prekast elemanların imalatında da kullanılabilen yeni nesil bir süper akışkanlaştırıcı katkıdır.

Şap harçlarına katılan elyaf lif katkıları hamur içerisinde düzgün dağılan ve rastgele yönlendirilen lifler olması sebebiyle çekme ve basınç gerilmelerine karşı matris yapıda önemli birer donatı vazifesi görürler. ÇEKYTŞ test örneklerinin hazırlanmasında S-2 tipi cam lifi piyasa koşullarından temin edilerek elyaf katkı olarak ilave edilmiştir. S-2 tipi cam lifi, alüminyum silikatların yüksek sıcaklıktaki karışımlarından oluşan, incelikleri ortalama 5-27 μm arasında değişen liflerdir. Bu lif katkısı, şap harcının yüksek mukavemet ve basınç dayanımı sağlaması, yüksek sıcaklık dayanımı ve gelişmiş darbe dayanımı sağlaması amacıyla kullanımı düşünülmüştür. Bununla birlikte ayrıca, şap harcının priz sonrası oluşabilecek rötre çatlaklarını ve mikro çatlakları engellemesi, şapın su geçirgenliğini azaltılmasına katkı sağlaması, sertleşmiş şap yüzeyinin yüzey aşınması ve tozumasını önlemesi gibi teknik avantajları sebebiyle kullanımı düşünülmüştür.

Kendiliğinden yayılan şap harcının uygulandığı yüzeye yüksek yapışma kabiliyetinin sağlanması amacıyla karışım tasarımlarında modifiye edilmiş polimer katkıları kullanılabilmektedir. Bu amaçla, ÇEKYTŞ test örneklerinin hazırlanmasında vinil asetat-Veova-akrilat esaslı ve polivinil alkol koruyuculu bir toz polimer katkı piyasa koşullarından temin edilerek karışımlara ilave edilmiştir. Bu polimer katkı harcın çalışılabilirlik özelliğinin artırması ve su direncini yükseltmesi yanı sıra, harcın uygulama zamanının uzatılmasında (open time) etkili olup, karışımlarda kullanılan su miktarını azaltarak örneklerin nihai mukavemet değerlerinin yükseltilmesine de yardımcı olur. Bu polimer katkı, düşük film oluşturma sıcaklığında kullanılabilen ve çimento esaslı ürünlerde harcın yapışma özelliğini geliştirme özelliği olan sağlayan bir beyaz renkli toz formda bir katkı türüdür. Ortalama yoğunluğu $550-650 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Minimum film oluşturma sıcaklığı $+3^\circ\text{C}$ 'dir. ÇEKYTŞ test örneklerinin hazırlanmasında CEM I 42.5R Portland Çimento (özgül ağırlık değeri 3.15 g/cm^3) kullanılmış olup, su olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2 Tamir harcı karışım tasarımı ve örneklerin hazırlanması

Çimento esaslı kendiliğinden yayılan şap harcının üretiminde ince boyut pomza agrega kullanımının harcın performansına etkisinin analizi amacıyla 10 ayrı karışım tasarımı yapılmış ve karışım bileşenleri 1 m^3 harç üretimi için kullanılan malzeme miktarları olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. ÇEKYTS test örneklerinin karışım bileşenleri (1 m³ harç için malzeme miktarı kg)

Karışım	Çimento (kg)	FPA (kg)	CPA (kg)	250 µm Kalsit (kg)	Mikro Silika (kg)	AKL Katkı (kg)	Lif (kg)	Mikro Silika (kg)
SD1	430	150	225	94	43	5.4	1.4	5.7
SD2	410	155	232	97	43	5.1	1.4	5.7
SD3	390	159	239	99	42	4.9	1.4	5.7
SD4	370	164	246	102	42	4.6	1.4	5.6
SD5	350	169	253	104	42	4.4	1.4	5.6
SD6	340	171	257	106	42	4.2	1.4	5.6
SD7	320	176	264	108	41	4.0	1.4	5.5
SD8	310	178	267	109	41	3.9	1.4	5.5
SD9	300	181	271	110	41	3.7	1.4	5.5
SD10	280	185	278	113	41	3.5	1.4	5.4

İnce boyut pomza agreganın ÇEKYTS üretiminde harç performansını analiz etmek amacıyla ağırlıkça %31 - %45 aralığında değişen oranlarda çimento dozajı (280–430 kg/m³) kullanımlı alternatif karışım tasarımları hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan analiz serisinde ilk tasarlanan örneklerde yüksek dozajda çimento kullanımı düşünülmüş olup, daha sonraki örneklerde ise çimento kullanım oranının azalmasının etkinliğinin irdelenmesi düşünülmüştür. Çalışma kapsamında hazırlanan tüm örneklerde çimento miktarı hariç karışım bileşenlerinin toplam ağırlığının %18'i oranında 250 µm kalsit malzeme dolgu materyali olarak sabit oranda kullanılmıştır. Bununla birlikte tüm karışımlarda ağırlıkça %4.5 oranında mikro silika, ağırlıkça %0.15 oranında S-2 tipi cam lifi ve ağırlıkça %0.60 oranında modifiye edilmiş polimer katkı sabit oranlarda kullanılmıştır. Melamin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı toz katkı uygulamaya göre çimento veya alçı ağırlığının %0.2 - %1.5'i aralığında kullanımının önerildiği çoğu çalışmada tecrübe edinilmiştir. Bu çalışma kapsamında karışım tasarımlarında kullanılan çimento miktarının ağırlıkça %1.25'i oranında melamin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı toz katkı sabit oranda tutulmuştur. Karışım tasarımlarında bağlayıcı malzeme, mineral ve polimer katkıları ve lif katkı miktarları toplamı haricinde, agrega olarak ince pomza malzemenin etkinliğinin irdelenmesi amacıyla toplam agrega malzemenin ağırlıkça %40'ı FPA (0-1 mm pomza) ve ağırlıkça %60'ı CPA (1-3 mm pomza) malzemeden oluşacak şekilde tüm karışımlar tasarımılandırılmıştır. Bu bağlamda, karışım tasarımlarında çimento kullanım oranı azalırken agrega pomza kullanım oranı ise artmaktadır. Pomza malzeme kullanım oranı çalışma kapsamında çimento dozajına bağlı olarak ağırlıkça %39.3 ile %51 aralığında değişim göstermektedir. Tüm karışımlarda Su/Çimento oranı sabit tutulup w/c=0.55 oranında karışım suyu ile örnekler hazırlanmıştır.

Karışımların hazırlanmasında boyutlandırılmış tüm kuru durumdaki pomza agrega malzemeler, agrega yüzey gerilimlerinin minimize edilmesi amacıyla öncelikle ağırlıkça %1 oranındaki su ile ön nemlendirme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra karışımda yer alan diğer malzemeler ile birlikte bir mikser kabı içerisinde düşük devirli karıştırma ortamında homojen bir toz form elde edilinceye kadar ortalama 3 dakika karıştırılmıştır. Sonrasında belirlenen sabit su/çimento oranında karışıma karma suyu eklenerek karıştırma işlemine 3 dakika boyunca topaklanma olmaksızın homojen bir karışım elde edilinceye kadar

karıştırılmaya devam edilmiştir. Elde edilen taze harç yaklaşık 3-4 dakika dinlendirilip tekrar 20 saniye kadar ilaveten karıştırıldıktan sonra yaş harç, test örneklerinin kalıplanması ve ayrıca yaş harç ölçümleri için de hazır hale getirilmiştir. Karıştırma sonrasında test örneklerinin kalıplanması 20±2°C de yaklaşık 15 dakikalık süre içerisinde yapılmıştır.

Yaş taze harç formundaki ÇEKYTS test örneklerinin öncelikle yayılma tablası yöntemi kullanılarak mm biriminde yayılma değerleri kıvam değerlendirmelerinin yapılabilmesi amacıyla yapılmıştır. Test örneklerinin TS EN 13813 standardında [2] öngörülen eğilme dayanımı, basınç dayanımı aşınma direnci gibi parametrelere uygunluğunu test etmek amacıyla iki farklı boyut grubunda ÇEKYTS test örnekleri hazırlanmıştır. Her bir karışımdan 71x71x71 mm³ boyutlu küp örneklerden 6'şar adet ve 40x40x160 mm³ boyutlu prizma formulu test örneklerinden ise 25'şer adet dökümler yapılmıştır. Tüm test örnekleri dökümden 1 gün sonra kalıplardan çıkartılmış ve TS EN 13892-1 standardında [21] çimentolu şap örnekleri için öngörüldüğü üzere 20±2°C'lik bir ortamda normal kür ortamına bırakılmıştır. Tüm test örnekleri kalıptan çıkarıldıktan sonra ilk 5 gün boyunca 20±2°C'lik ve %95±5 R_H nem olan bir ortamda kürlenmeye devam edilmiştir. Sonrasında 21 günlük kür süresine ulaşınca kadar benzer sıcaklık ortamı ve %65±5 R_H nemli bir ortamda kürlenme işlemi sürdürülmüş ve 21 günlük sonrası ortam nemi %50±5 R_H olacak koşulda kürlenme işlemi yapılmıştır. Hazırlanan karışımlardan TS EN 13892-1'de [21] belirtildiği şekilde hazırlanmış 40x40x160 mm³ boyutlarındaki 3'er adet numune, TS EN 13892-2'de [22] öngörüldüğü prensiple 1, 7, 28 ve 120 günlük kür sonrasında muhafaza edildiği yerden alındıktan hemen sonra öncelikle eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Eğilme deneyi sonucunda elde edilen altışar numune, eğilme deneylerinin yapıldığı aynı gün beklemeksizin TS EN 13892-2'de [22] öngörüldüğü prensiple basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Test örneklerinin eğilme ve basınç dayanımı deneylerinde döküm yüzeylerinden, kum vb. gevşek malzemeler ile olası diğer maddeler uzaklaştırılarak, deney cihazının yatak yüzeyi ve yatak plakaları temiz bir bezle silinmiş ve numune, döküm esnasında altta kalan yüzeye yük uygulanacak şekilde, ayarlama tertibatı kullanılarak deney cihazına yerleştirilerek testler uygulanmıştır. Bununla birlikte tüm test örneklerinin ASTM C642 (2017) [23] standardına göre yoğunluk ve gözeneklilik değerleri analiz edilmiştir.

Tablo 2. ÇEKYTS harcı örneklerinin analiz bulguları

Karışım	Çimento miktarı (kg/m ³)	Toplam pomza agrega oranı (%)	Toz yığın yoğunluk (kg/m ³)	Yaş harç yoğunluğu (kg/m ³)	Sertleşmiş harç yoğunluğu (kg/m ³)	Yayılma değeri "kıvam" (mm)	Gözeneklilik oranı (%)
SD1	430	39.3	1002	1377	1156	225	11.33
SD2	410	40.8	990	1347	1141	220	14.46
SD3	390	42.3	988	1338	1132	216	16.26
SD4	370	43.9	977	1304	1128	209	18.47
SD5	350	45.4	969	1289	1111	202	19.39
SD6	340	46.2	970	1288	1113	193	19.59
SD7	320	47.8	965	1257	1100	188	19.92
SD8	310	48.6	958	1252	1094	185	20.28
SD9	300	49.4	957	1248	1093	174	20.59
SD10	280	51.0	946	1217	1080	166	20.94

Pomza agrega kullanımının kendiliğinden yayılan şap harcının uygulama alanında aşınan yüzeylerde kullanımı düşünülerek, her bir test örneğinin 28 günlük kür sonrası 71x71x71 mm boyutlu küp örnekler üzerinde TS EN 13892-3'e [24] göre Böhme aşınma direnci analizleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular "cm³/50 cm²" biriminde aşınma miktarları olarak tanımlanmıştır. Aşınma direnci özelliğine benzer şekilde, şap harcının uygulama alanında aşınan yüzeylerde kullanımı düşünülerek yüzey sertliği değerinin de analizi tasarlanmış olup, TS EN 13892-6 [25] standardına göre 40x40x160 mm³ boyutlarındaki 3'er adet numune üzerinde her bir test serisinin yüzey sertliği değerleri "MPa" biriminde analiz edilmiştir. Ayrıca her bir ÇEKYTS test serisine ait 28 gün kür sonrası büzülme ve şişme değerleri (rötre) TS EN 13454-2 standardına [26] göre 40x40x160 mm boyutlarındaki 3'er adet numune kullanılarak "mm/m" biriminde analiz edilmiştir.

3 Araştırma bulguları ve tartışma

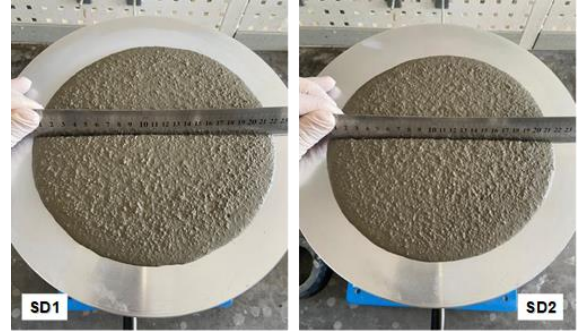
Çimento esaslı kendiliğinden yayılan şap harcının üretiminde ince boyut pomza agrega kullanımının harcın performansına etkisinin analizi amacıyla farklı alternatif karışım tasarımlarında hazırlanan test örneklerinin bazı teknik bulguları Tablo 2'de verilmiştir.

3.1 Harç karışımlarının özellikleri

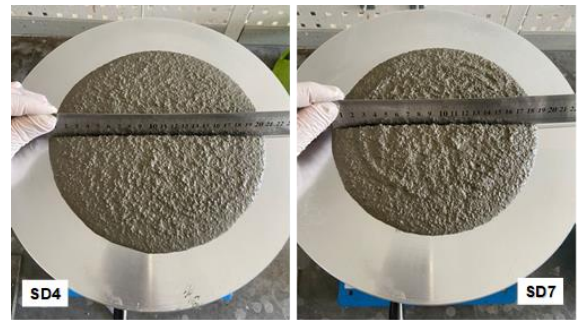
ÇEKYTS harcı örneklerinin toz yığın yoğunluk değerleri artan çimento dozajına bağlı olarak 946 kg/m³ ile 1002 kg/m³ aralığında değişmektedir. En yüksek çimento kullanım oranlı karışım (SD1) ile en düşük çimento kullanım oranlı karışım (SD10) arasında pomza agrega oranındaki toplam %29.8'lik artışa paralel olarak şap harcı örneklerinin toz yığın yoğunluk değerinde %5.6'lık bir düşüş, diğer bir değişle hafifleme oluşmuştur. Benzer şekilde, bu harç karışımları sabit w/c=0.55 oranında su ile karıldığında yaş formdaki yoğunluk değerleri ise artan çimento dozajına bağlı olarak 1217 kg/m³ (SD10) – 1377 kg/m³ (SD1) aralığında değişim göstermektedir. En yüksek çimento kullanım oranlı karışım (SD1) ile en düşük çimento kullanım oranlı karışım (SD10) arasında yaş şap harcı örneklerinin yoğunluk değerinde %11.6'lık bir azalma olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak, artan pomza agrega oranına bağlı harcın gözeneklilik değerinin artması ve yaş harcın karma suyu sonrasında

sıkışabilirlik kabiliyetinin düşerek görece daha yüksek hacim oluşturması olduğu düşünülmektedir.

Sabit w/c oranında karışımları yapılan ÇEKYTS harcı örneklerinin yayılma değerleri ise karışımdaki pomza agrega oranının artışına bağlı 225 mm'den 180 mm'ye kadar azaldığı görülmektedir. Artan pomza agrega oranına karşın, karışımdaki çimento oranındaki azalma miktarı, harcın yayılma miktarını düşürmektedir. Yayılma ve kıvamın daha yüksek değerlerde olabilmesi için karma suyu miktarının ya da melamin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı toz katkı miktarının artırımı düşünülebilir. Farklı çimento dozajlarında hazırlanmış ÇEKYTS harcının taze harç formu ve kıvam durumları Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Karışımlarda kullanılan toplam ağırlıkça pomza agrega miktarına karşın harç örneklerinin yayılma değerleri değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 3. SD1 ve SD2 karışımlarına ait harç kıvamı ve genel görünümü

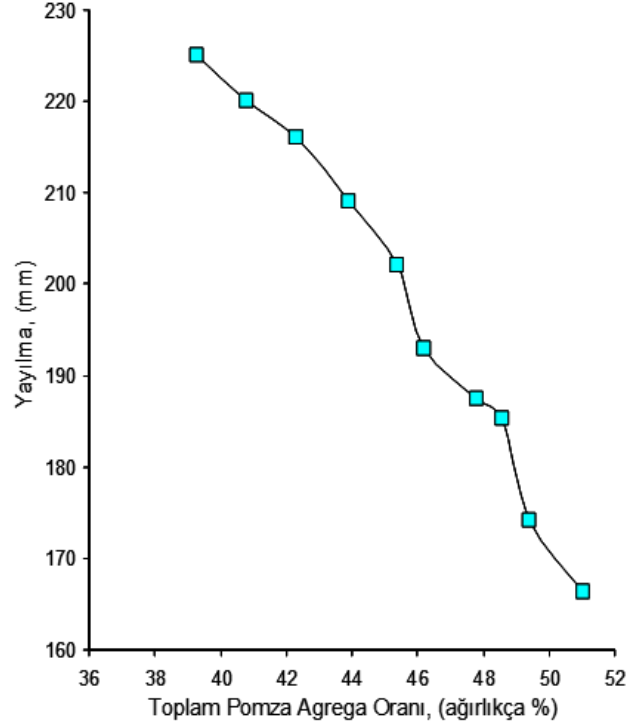


Şekil 4. SD4 ve SD7 karışımlarına ait harç kıvamı ve genel görünümü

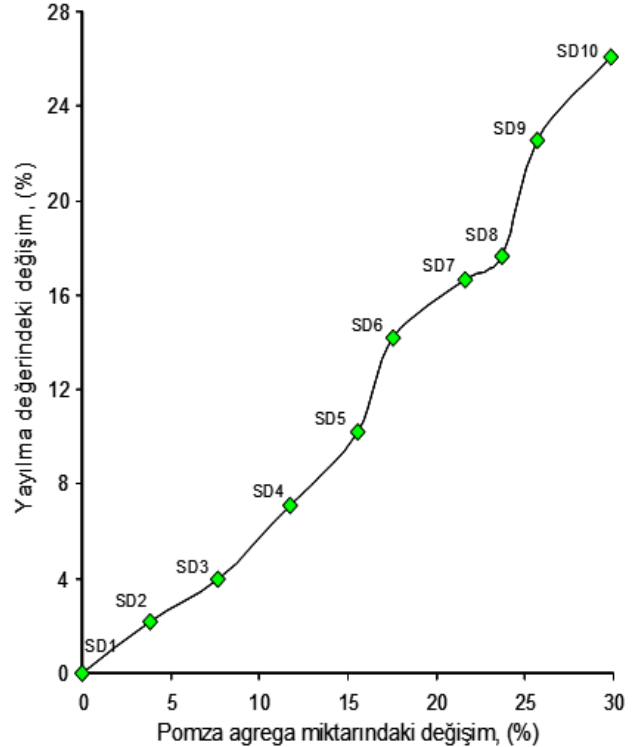
Kıvam analizlerinden görüleceği üzere, karışımdaki pomza agrega miktarı arttıkça, pomza malzeme bileşeni içerisinde 1-3 mm boyut oranının da artmasına paralel olarak sabit su/çimento oranı ve akışkanlaştırıcı oranı sebebiyle harcın akıcılığı azalmaktadır. Bunda en büyük etken olan parametrenin iri tane miktarının artış olduğu kadar, pomza agreganın doğal gözenekliliği sebebiyle matris yapının daha gözenekli bir form kazanması, daha yüksek karma suyu ihtiyacını ortaya koymaktadır. Gözeneklilik artışı, karma suyunun büyük bir bölümünü agrega gözeneklerine emilmesini sağlayarak, harç kıvamının akıcılık özelliğini olumsuz yönde etkilemekte ve harcın yayılma değerinin <170 mm'nin altına düştüğü değerlerde kendiliğinden yerleşme kabiliyetini çoğunlukla kaybettiği tecrübe edinilmiştir (Şekil 5). Bu bağlamda ÇEKYTŞ yaş harç örnekleri irdelendiğinde SD10 kodlu ve 280 kg/m³ çimento dozajlı test örneğinin yayılma değeri, tasarımılanan şap harcının kendinden yayılan harç formunu tam olarak sağlayamadığı görülmektedir. Çalışma kapsamında 225 mm'lik değerle en yüksek yayılma değerini sağlayan SD1 kodlu karışım, referans değer olarak ele alındığında; SD2 kodlu karışımındaki toplam pomza agrega oranı SD1'e göre %3.8 oranında artarken yayılma değeri ise %2.2 oranında azalmıştır. Benzer şekilde SD5 kodlu karışımındaki toplam pomza agrega oranı SD1'e göre %15.5 oranında artarken yayılma değeri ise %10.2 oranında azalmıştır. En düşük yayılma değerinin elde edildiği SD10 karışımındaki toplam pomza agrega oranı SD1'e göre %29.8 oranında artarken yayılma değeri ise %26 oranında azalmıştır. Bu değerler genel bir eğilim olarak ÇEKYTŞ test örneklerinde yer alan pomza agrega oranı artışının yayılma değerlerinde önemli bir azalmaya neden olduğu görülmektedir (Şekil 6).

Tablo 2'den görüldüğü üzere, 430 kg/m³ çimento dozajlı ve yayılma değeri en yüksek olan şap harcı karışımının (SD1) kapalı ve açık gözeneklerin oluşturduğu toplam gözeneklilik oranı %11.33 ve 28 gün kür sonrası sertleşmiş harcın birim hacim kütlesi ise 1156 kg/m³ olarak belirlenmiş. Pomzanın harç bileşiminde yer alması, agreganın doğal gözenekli yapısı sebebiyle kullanım oranına göre değişmekle birlikte, iri pomza malzeme miktarı arttıkça harcın toplam gözeneklilik değeri de artmaktadır. ÇEKYTŞ harcı test örneklerinin çimento dozajına bağlı gözeneklilik oranı %11.33 ile %20.94 arasında değişmektedir. Pomza agrega miktarı arttıkça harç örneklerinin gözeneklilik oranı da regresyonel bir eğilimle artmaktadır. Pomza bileşenli kendiliğinden yayılan şap harcı örneklerinin toplam karışımdaki pomza agrega malzeme oranı "PA" ile toplam gözeneklilik "δ" değişimi arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil 7'de verilmiştir. Ayrıca, harç örneklerinde gözeneklilik oranının artması 28 gün kür sonrası sertleşmiş harcın birim hacim kütle değerlerinin de azalmasına neden olmaktadır. Pomza bileşenli kendiliğinden yayılan şap harcı örneklerinin toplam gözeneklilik "δ" oranı ile sertleşmiş harç birim hacim kütle (BHK) değişimi arasındaki ilişki ise grafiksel olarak Şekil 8'de verilmiştir. Şap harcı örneklerinde gözenekliliğin artması ve buna bağlı olarak yoğunluk değerinin azalması, harcın mekanik özelliklerini azaltıcı etken bir rol oynayacağı da kaçınılmaz olmaktadır. Grafiksel analizlerden görüldüğü

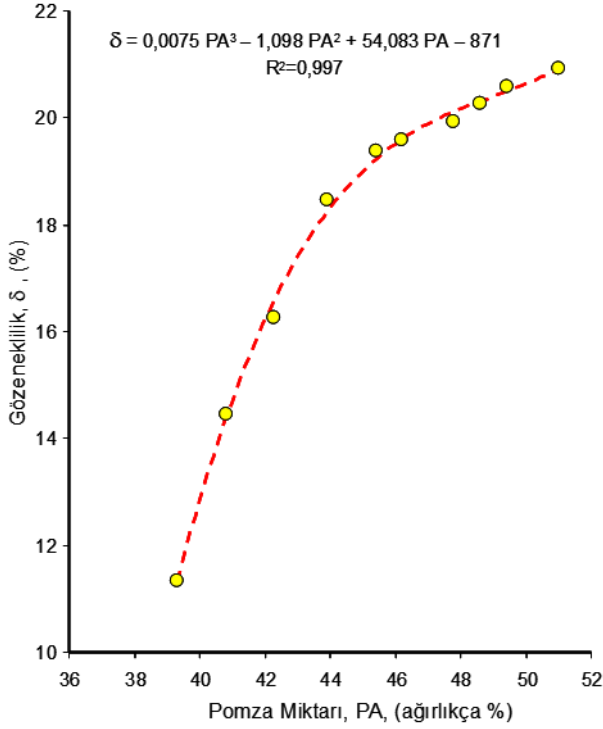
üzere, karışım tasarımında pomza miktarı arttıkça, sertleşmiş harcın toplam gözeneklilik oranı azalmaktadır.



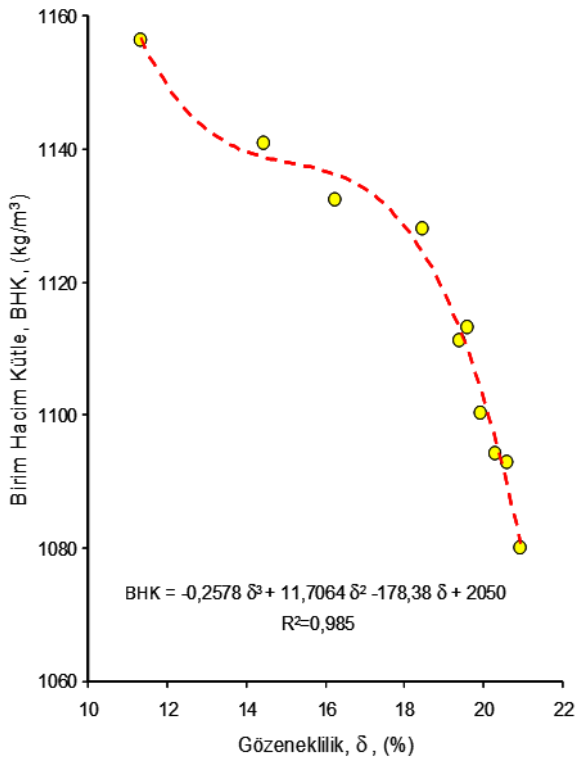
Şekil 5. Pomza agrega - harç yayılma değeri ilişkisi



Şekil 6. Pomza - yayılma değerlerindeki değişim ilişkisi



Şekil 7. Pomza oranı 'PA'-gözeneklilik oranı 'δ' ilişkisi



Şekil 8. Gözeneklilik oranı 'δ' - BHK ilişkisi

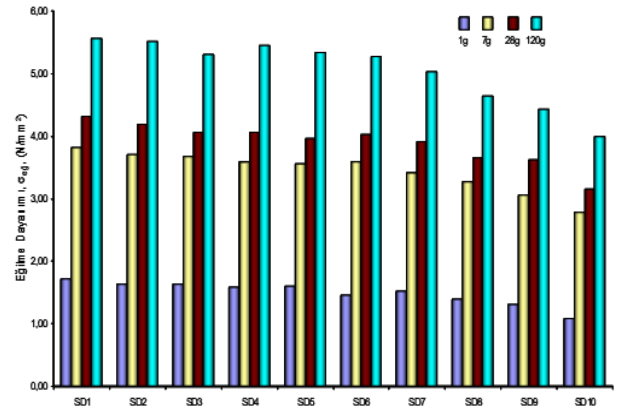
3.2 Mekanik özellikler

ÇEKYTS test örneklerinin mekanik özellikleri TS EN 13892-2 standardında [22] öngörülen prensiplere göre iki ayrı parametre bağlamında irdelenmiştir. Bunlar: *Eğilme dayanımı* ve *basınç dayanımı*. Her bir karışım tasarımı için 40x40x160 mm boyutlu prizma formu hazırlanmış

örneklerden 3'er adet numune TS EN 13892-2'e göre öncelikle 1, 7, 28 ve 120. gün kür sonrası eğilme dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Eğilme dayanımı sonrası ÇEKYTS test örneklerinin sembolik genel görünüşleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Eğilme dayanımı analizinde numuneler tek noktadan yüklemeye tabi tutulmuştur. Örneklerde kullanılan lif takviyesi sayesinde nispeten sünek kırılma gerçekleşmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi beklendiği üzere kırılma örneklerin yüklemeye düzlemi olan ve en büyük momentin olduğu orta noktadan gerçekleşmiştir. Analizlerde elde edilen eğilme dayanımı değerleri ise kürleme gün sürelerine bağlı olarak Şekil 10'da verilmiştir. Buradaki eğilme dayanım değerleri her bir seriden üçer adet test örneğinin bulgularının ortalamasını temsil etmektedir.



Şekil 9. Eğilme dayanımı sonrası ÇEKYTS test örneklerinin sembolik genel görünüşü

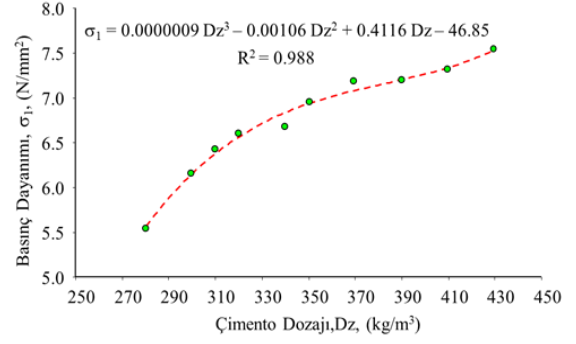


Şekil 10. ÇEKYTS test örneklerinin eğilme dayanımı analizi

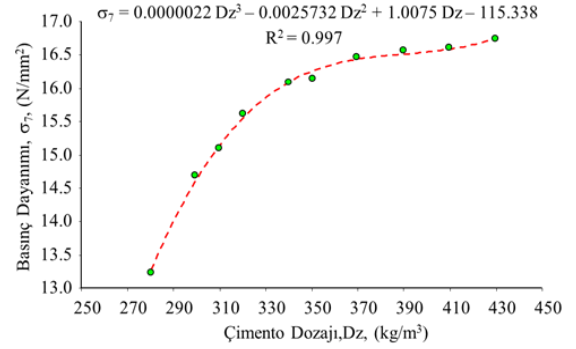
Her bir karışımın eğilme dayanım değerleri zamana bağlı olarak artmıştır. En yüksek çimento dozajı kullanımı ve en düşük miktarda pomza agrega kullanımlı SD1 harcı karışımın zamana bağlı eğilme dayanım değerleri 1, 7, 28 ve 120. günde sırasıyla 1.72, 3.81, 4.32 ve 5.57 N/mm² değerlerine ulaşmıştır. Karışımındaki toplam pomza agrega oranı arttıkça, eğilme dayanımlarının da düştüğü görülmektedir. SD1 karışım tasarımı bu çalışmada diğer karışımlardaki malzeme bileşenlerinin etkisinin mukayesesi açısından referans karışım olarak ele alındığında, çimento dozajı azaldıkça eğilme dayanımının da düştüğü belirlenmiştir. Eğilme dayanımlarındaki düşme oranı, şap

harcı örneğinin kür süresine bağlı olarak da gelişim göstermekte olup, 1 gün kür sonrası ÇEKYTS test örneklerinin SD1 örneğine göre eğilme dayanım değişimleri %5.2 - %36.98 oranında çimento dozajına bağlı olarak azalma eğilimi göstermektedir. Bununla birlikte, benzer olgu 7 gün kür sonrası ÇEKYTS test örneklerinin SD1 örneğine göre eğilme dayanım değişimleri ise %2.77 - %27.17 oranında çimento dozajına bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. TS EN 13892-2 standardında [19] göre çimento esaslı şap harçlarının eğilme dayanımları için "F" sınıflama sistemi öngörülmüştür. Bu sınıflamaya göre 28 günlük test örneklerinin eğilme dayanımları irdelendiğinde SD1-SD4 karışımlarının (430 kg/m³ - 370 kg/m³ arası çimento dozajlı) eğilme dayanımları F4 sınıfında yer alıp >4 N/mm²'den büyük olduğu belirlenmiştir. Ancak 350 kg/m³ doz ve daha düşük çimento oranlı ÇEKYTS test örneklerinin 28 günlük eğilme dayanımlarının F3 sınıfında yer alıp >3 N/mm²'den büyük olduğu belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, karışımlardaki pomza agrega miktarı arttıkça, matris yapının gözenekliliğinin artışı ve birim yoğunluğunun düşüşünün de bir sonucu olarak eğilme dayanımlarının düştüğünü göstermektedir. Çalışma kapsamında uzun zaman periyodunda tüm test örneklerinin eğilme dayanım değerlerinin mukavemet kazandığı gözlenmiş olup, bu periyodu temsilen 120 gün sonrası eğilme dayanımları analiz edilerek karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre ÇEKYTS test örneklerinin eğilme dayanımları azalan çimento dozajı bağlamında 5.57 N/mm² - 4.00 N/mm² aralığında değişim göstermektedir. SD1 karışımı referans değer olarak ele alındığında, diğer karışımların eğilme dayanımlarının sırasıyla %0.94, %4.58, %2.02, %4.04, %5.39, %9.70, %16.71, %20.35 ve %28.17 oranlarında düştüğü görülmüştür. Buna göre SD1 - SD7 karışımları (430 kg/m³ - 320 kg/m³ arası çimento dozajlı) eğilme dayanımları F5 sınıfında yer alıp >5 N/mm²'den büyük olduğu belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, 28 günlük kür süresine göre SD1-SD4 karışımları F4 sınıfında yer alırken, 120 gün sonrası eğilme dayanımları F5 sınıfına yükselmiştir. Benzer şekilde 28 günlük kür süresine göre SD5-SD7 karışımları F3 sınıfında yer alırken, 120 gün sonrası eğilme dayanımları 2 sınıf birden dayanım kazanarak F5 sınıfına yükselmiştir. Bu dayanım kazanmadaki esas etken olgunun, pomza agreganın gözenekli yapısı sebebiyle bünyede tuttuğu su miktarının, uzun zaman periyodunda çimentonun hidrasyonunda dayanım kazandırıcı mineral oluşumlarının gelişmesine ve miktarlarının artmasına katkıda bulunması olduğu düşünülmektedir.

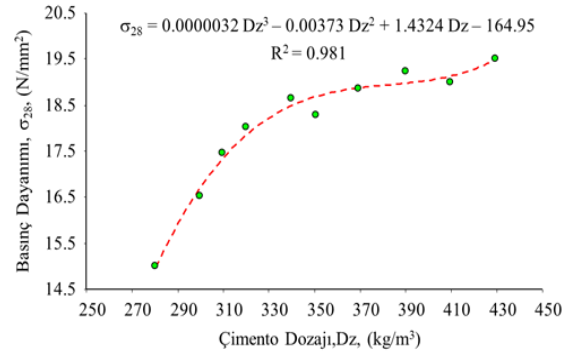
Eğilme deneyi sonucunda her bir karışım serisine ait elde edilen altışar numune, eğilme deneylerinin yapıldığı aynı gün beklemeksizin TS EN 13892-2'de [22] öngörüldüğü prensiple basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Böylece her bir seri için 1, 7, 28 ve 120 gün kür sonrası karışım tasarımlarına ilişkin basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Analizlerde elde edilen basınç dayanımı değerleri, 1, 7, 28 ve 120 günlük dört ayrı kür süresinde çimento dozajı (DZ) ve basınç dayanım ilişkileri grafiksel gösterimler sırasıyla Şekil 11 - Şekil 14'te verilmiştir. Buradaki basınç dayanım değerleri her bir seriden altışar adet test örneğinin bulgularının ortalamasını temsil etmektedir.



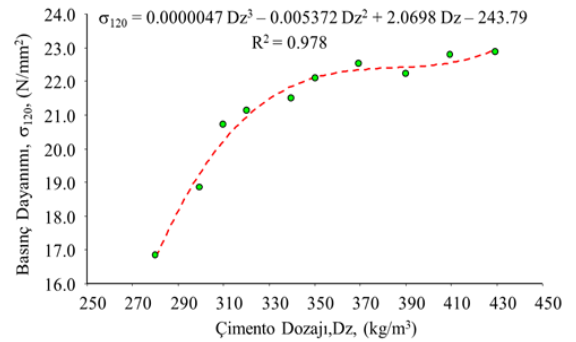
Şekil 11. ÇEKYTS test örneklerinin 1 gün kür sonrası basınç dayanımı analizi



Şekil 12. ÇEKYTS test örneklerinin 7 gün kür sonrası basınç dayanımı analizi



Şekil 13. ÇEKYTS test örneklerinin 28 gün kür sonrası basınç dayanımı analizi



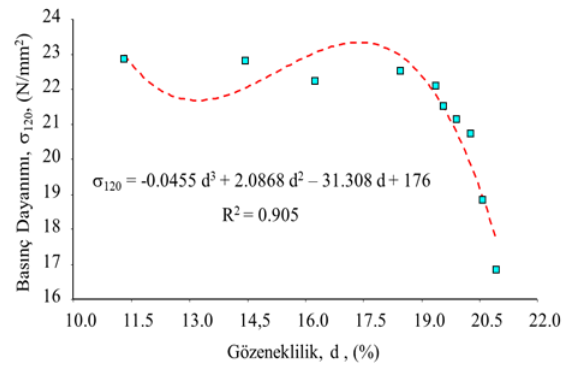
Şekil 14. ÇEKYTS test örneklerinin 120 gün kür sonrası basınç dayanımı analizi

Her bir karışımın basınç dayanım değerleri, eğilme dayanımında olduğu gibi zamana bağlı olarak artmıştır. En yüksek çimento dozajı kullanımı ve en düşük miktarda pomza agrega kullanımlı SD1 harcı karışımın zamana bağlı basınç dayanım değerleri 1, 7, 28 ve 120. günde sırasıyla 7.54, 16.74, 19.5 ve 22.86 N/mm² değerlerine ulaşmıştır. Bununla birlikte, SD1-SD10 karışımlarında çimento miktarının azalması buna karşın pomza agrega malzeme miktarının artışı dayanım değerlerini düşürmüştür. Test örneklerinin 1 günlük kür sonrası kazanmış oldukları dayanım değerleri açısından SD1-SD10 karışımları bağlamında basınç dayanımları 7.54 N/mm²'den 5.54 N/mm² değerine kadar (%26.44'lük değişimle) azalarak değişim göstermiştir. Diğer bir değişle SD1 ve SD10 numuneleri baz alındığında pomza malzeme miktarındaki %29.8'lik artış, basınç dayanımının ortalama %26.44'lük düşüşüne sebep olmuştur. Benzer eğilim 7 gün kür sonrası basınç dayanım değerleri için de tecrübe edinilmiş olup, SD1-SD10 karışımları bağlamında basınç dayanımları 16.74 N/mm²'den 13.23 N/mm² değerine kadar (%20.97'lik değişimle) azalarak değişim göstermiştir. 1 gün kür sonrası dayanım değerlerindeki değişim trendi (Şekil 11) yakınsak olarak irdelendiğinde özellikle 230 kg/m³ - 430 kg/m³ çimento miktarı aralığındaki değişimin test örneklerinin dayanım iyileşmesinde lineer kabul edilebilecek bir artış oranıyla geliştiği görülmektedir. Buna karşın 7 gün kür sonrası dayanım değerlerindeki değişim trendi (Şekil 12) ise yakınsak olarak irdelendiğinde özellikle 340 kg/m³ çimento miktarından sonraki artan bağlayıcı oranlarında dayanım değişiminin daha düşük bir eğilimle artış göstermiştir. Ancak, 280 kg/m³ - 340 kg/m³ çimento miktarı aralığında ise dayanım değişiminin daha yüksek oranlarda olduğu tecrübe edinilmiştir. Buradaki bulgulardan karışımdaki toplam pomza agrega oranının sertleşmiş şap harcının mukavemetinde önemli bir parametre olduğu görülmekle birlikte, elde edilen değerler bağlamında basınç dayanımlarının yüksek olduğu öngörülebilir. TS EN 13892-2 standardında [22] göre çimento esaslı şap harçlarının basınç dayanımları için "C" sınıflama sistemi öngörülmüştür. Bu sınıflamaya göre 28 günlük test örneklerinin basınç dayanımları irdelendiğinde SD1-SD3 karışımlarının (430 kg/m³ - 390 kg/m³ arası çimento dozajlı) basınç dayanımları C19 sınıfında yer alıp >19 N/mm²'den büyük olduğu belirlenmiştir. Ancak 370 kg/m³ - 320 kg/m³ doz çimento oranlı ÇEKYTS test örneklerinin 28 günlük basınç dayanımlarının C18 sınıfında yer alıp >18 N/mm²'den büyük olduğu belirlenmiştir. Diğer bir değişle, karışımlardaki pomza agrega miktarı arttıkça, matris yapının gözenekliliğinin artışı ve birim yoğunluğunun düşüşünün de bir sonucu olarak basınç dayanımlarının düştüğünü göstermektedir. Diğer SD8, SD9 ve SD10 karışım serilerinde ise basınç dayanım sınıfı sırasıyla C17, C16 ve C15 olarak değişmektedir.

Çalışma kapsamında uzun zaman periyodunda tüm test örneklerinin basınç dayanım değerlerinin eğilme dayanımında da görüldüğü üzere mukavemet kazandığı gözlenmiş olup, bu periyodu temsilen 120 gün sonrası basınç dayanımları analiz edilerek karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre ÇEKYTS test örneklerinin basınç

dayanımları azalan çimento dozajı bağlamında 22.86 N/mm² - 16.83 N/mm² aralığında değişim göstermektedir. SD1 karışımı referans değer olarak ele alındığında, diğer karışımların basınç dayanımlarının sırasıyla %0.31, %2.88, %1.5, %3.4, %6.03, %7.59, %9.37, %17.61 ve %26.4 oranlarında düştüğü görülmüştür. Buna göre SD1 - SD5 karışımları (430 kg/m³ - 350 kg/m³ arası çimento dozajlı) basınç dayanımları C22 sınıfında yer alıp >22 N/mm²'den büyük olduğu belirlenmiştir. Diğer bir değişle, 28 günlük kür süresine göre SD1-SD3 karışımları C19 sınıfında ve SD4 - SD5 karışımları C18 sınıfında yer alırken, 120 gün kür sonrası bu karışımların basınç dayanımları C22 sınıfına yükselmiştir. Benzer şekilde 28 günlük kür süresine göre SD6 ve SD7 karışımları C18 sınıfında yer alırken, 120 gün kür sonrası basınç dayanımları 2 sınıf birden dayanım kazanarak C21 sınıfına yükselmiştir. Benzer dayanım kazanım eğilimi SD 8, SD9 ve SD10 karışımları içinde gözlenmiş olup, sırasıyla C20, C18 ve C16 sınıflarına ulaşmış olduğu görülmektedir. Bu dayanım kazanmadaki esas etken olgunun, pomza agreganın gözenekli yapısı sebebiyle bünyede tuttuğu su miktarının, uzun zaman periyodunda çimentonun hidrasyonunda dayanım kazandırıcı mineral oluşumlarının gelişmesine ve miktarlarının artmasına katkıda bulunması olduğu düşünülmektedir.

Test örneklerinde matris yapıdaki gözeneklilik oranının "δ" şap harcın basınç dayanımına doğrudan etken bir faktör olduğu belirlenmiş olup, bu etkileşim 120 günlük harç örneklerinin dayanımı "σ₁₂₀" için grafiksel olarak Şekil 15'te verilmiştir. Bu analizden görüldüğü üzere, harcın matris yapısında toplam gözeneklilik artışı dayanımı düşürücü bir rol üstlenmiştir. Matris yapıda %19'luk bir gözeneklilik oranının oluşmasından sonra ileri yaşlarda dahi şap harcı dayanımını önemli düzeylerde düşüştüğü ve zayıfladığı görülmüştür. Buradan edinilen genel tecrübe, gözenekli agregalarla üretilen ve kendiliğinden yayılan şap harcı formları için yüksek mukavemet elde etmek amaçlandığında matris yapının toplam gözeneklilik oranını minimum seviyede tutabilecek agrega miktar ve boyutlarının optimize edilmesi gerektiğidir. Bu yaklaşım bağlamında pomza agrega kullanımlı şap harçlarında matris yapının gözenekliliğinin %19'dan daha düşük düzeylerde tutulabilmesi önem kazanmaktadır.

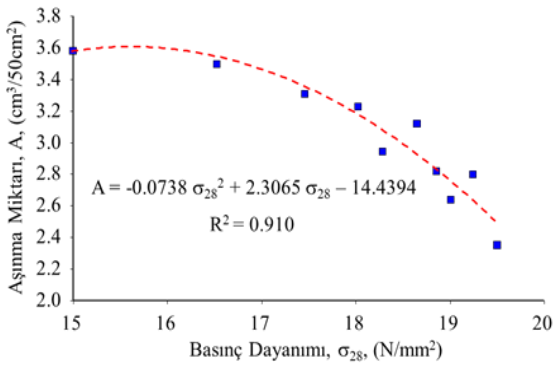


Şekil 15. Test örneklerinin gözeneklilik oranı 'δ' - basınç dayanımı ilişkisi 'σ₁₂₀' (120 gün)

3.3 Aşınma özellikleri

Kendiliğinden yayılan şap uygulamalarının yapıldığı uygulama alanının yüzeyi serbest kullanıma açık formda olduğu durumlarda, aşınma olgusunun incelenmesi sertleşmiş şap harcının kalitesi ve dayanıklılığı için bozulmaya ve erken bozulmaya yol açan en öncelikli parametrelerden biridir. Şap performansları daha yaygın olarak basınç ve/veya eğilme dayanımları gibi mekanik özellikler üzerinden irdelenmektedir [27]. TS EN 13813 standardına [2] göre çimento esaslı şap malzemeleri ve zemine uygulanan şaplar için basınç ve eğilme dayanımları yanı sıra aşınma özelliğinin tanımlanması da zorunlu bir analiz olarak öngörülmüştür. Ancak, çimento esaslı şap harçlarının aşınma direnci aslında sertleşmiş şap harcının en az araştırılan dayanıklılık özelliklerinden birisi olarak da literatürde görülmektedir. Bu bağlamda, TS EN 13813 standardına göre şap harcının *aşınma miktarı* ve *aşınma direnç sınıfının* belirlenmesi için üç alternatif test yöntemi önerilmiştir. Bunlar: *Böhme aşınma direnci testi*, *BCA aşınma direnci testi* ve *dönen tekerleğe karşı aşınma direnci testidir*. Bu çalışma kapsamında tüm ÇEKYTS test örneklerinin aşınma miktarı, TS EN 13892-3 standardında [24] öngörülen prensiple Böhme aşınma direnci test yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu test yönteminde aşınma kaybı, prensip olarak harç örneklerinin yüzeylerinin aşındırıcı maddelerle sürtünmesiyle oluşan hacimsel azalması prensibine dayanmaktadır. Genellikle inşaat proje uygulamalarında özellikle açık yüzeyli sertleşmiş şap birimleri aşınma olayının etkisinde kalırlar. Bu nedenle merdiven basamakları ve döşemeler vb. gibi yerlerde kullanılan şap malzemeler aşınmaya dayanıklı olmalıdır. Bu malzemelerin aşınmaya karşı olan dirençlerinin belirlenmesi, şap malzemenin durabilitesi açısından da önem arz etmektedir.

Pek çok araştırmacı, aşınma miktarı ile basınç dayanımı arasında genel bir eğilim olduğu konusunda hem fikir olup, çimento esaslı beton ve harç dayanımının artırılmasının aşınmanın etkilerini azaltıcı önemli bir etken olduğunu göstermişlerdir [28-30]. Pomza agrega kullanımlı ÇEKYTS test örneklerinin 28 günlük kür sonrası 71x71x71 mm³ boyutlu hazırlanmış küp örnekleri üzerinde TS EN 13892-3'e göre Böhme aşınma direnci analizleri yapılmıştır.

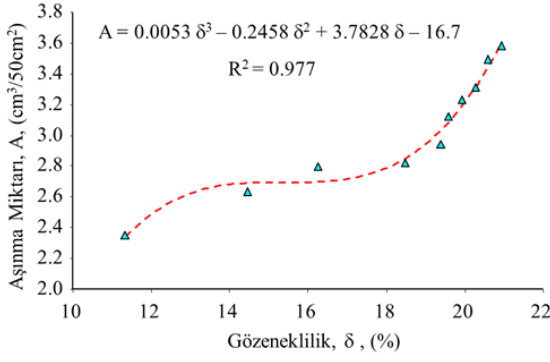


Şekil 16. Test örneklerinin basınç dayanımı- aşınma miktarı ilişkisi (28. gün)

Elde edilen bulgular “cm³/50 cm²” biriminde aşınma miktarları olarak tanımlanmış olup, karışım tasarımlarına ait 28 günlük basınç dayanımları ile aşınma miktarı arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil 16’da verilmiştir.

Şekil 16 irdelendiğinde görüldüğü üzere, basınç dayanımı ile aşınma miktarı arasında hafif asimptotik bir ilişkinin varlığından söz edilebilir. Bu incelemede elde edilen tecrübe, şap harcının basınç dayanımındaki nispeten düşük bir artış, malzemenin aşınma direncinde büyük bir değişime neden olduğudur. Özellikle şap harcının basınç dayanımı >17.5 N/mm²’nin üzerindeki değerler olarak geliştiğinde, şap harcının aşınmaya karşı çok daha yüksek bir direnç kazandığı görülmektedir. Farklı malzeme bileşenleriyle üretilmiş çimento esaslı alternatif şap malzemelerinde benzer dayanım değerlerine karşın çok daha düşük değerlerde aşınmaya karşı direnç özellikleri görülebilmektedir. Ancak, pomza agregası bileşenli şap harçlarında pomza malzemenin doğasında yer alan yüksek silis içeriği, şap malzeme yüzeyini aşınmaya karşı çok daha yüksek bir direnç özelliği kazandırdığı düşünülmektedir. TS EN 13813 standardında [2] çimento esaslı şap harçlarının aşınma direnci için “A” sınıflama sistemi öngörülmüştür. Bu sınıflamaya göre 28 günlük test örneklerinin aşınma miktarı irdelendiğinde SD1 karışımının aşınma direnci A2.5 sınıfında yer almaktadır (A=2.35 m³/50cm²). Aşınma miktarı değerinin sayısal büyüklüğü ne kadar düşük ise malzemenin aşınmaya karşı dirençliliği o derece yüksektir anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, SD1 harcı çalışma kapsamındaki aşınmaya karşı en yüksek dirençli şap tasarımı olarak görülmektedir. Bununla birlikte SD2 – SD5 aralığındaki örneklerin ise aşınma direnç sınıfı A3 olduğu belirlenmiştir. Diğer serilerden SD6 – SD10 karışımlarının aşınma direnç sınıfının ise A3.5 olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamındaki şap harcı tasarımlarında doğal gözenekli pomza agregası kullanımı sebebiyle, matris yapıda oluşan toplam gözenekliliğin de şap harcının aşınma miktarını etkileyebilecek önemli bir parametre olduğu düşünülmüştür. Bu bağlamda, tüm test örneklerinin belirlenen gözeneklilik oranı ile aşınma miktarı değerleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak irdelenmiş olup, parabolik bir ilişkinin varlığı gözlenmiştir (Şekil 17). Şap harcı örneklerinin gözeneklilik oranı arttıkça genel bir eğilim olarak aşınma miktarı da artmaktadır. Özellikle %18.5 gözeneklilik oranından daha yüksek gözenekliliğe sahip olan matris yapıların hacimsel veri bağlamında aşınma miktarlarının da hızla arttığı, aşınmaya karşı daha dirençsiz bir forma dönüştüğü görülmektedir. Gözenekliliğin yüksek oluşu aynı zamanda, malzeme yüzeylerinde daha belirgin formlarda açık gözeneklerin varlığı ve bu sebeple malzeme yüzeylerinden daha kolay bir şekilde partiküllerin koparak/ayırarak daha kolay bir şekilde deforme olmasına neden olmuştur.



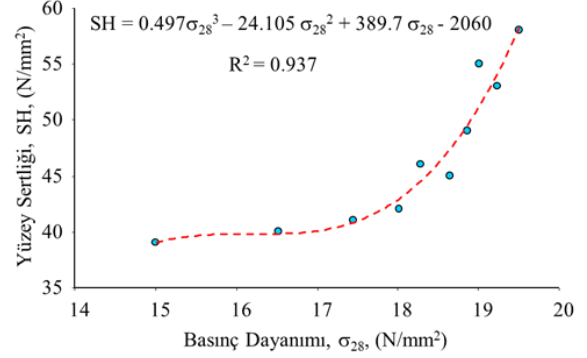
Şekil 17. Test örneklerinin gözeneklilik - aşınma miktarı ilişkisi

3.4 Yüzey sertliği özellikleri

Çimento esaslı şap malzemelerde yüzey sertliği özelliği genellikle opsiyonel bir parametre olarak ele alınmaktadır. Bu öngörü TS EN 13813’de de açıkça beyan edilmiştir. Ancak <4 mm’den daha düşük boyut fraksiyonunda ince agrega içeren şap malzemeler için yüzey sertliği özelliğinin de irdelenmesi gerekliliği tavsiye olunmaktadır. Bu bağlamda tüm ÇEKYTS test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan malzeme boyutlarının tamamı <4 mm olduğu için, bu çalışma kapsamında 28 gün kür sonrası her bir seriden 3’er adet örneğin yüzey sertliği özelliği TS EN 13892-6 standardında [22] öngörüldüğü prensiple analiz edilmiştir. ÇEKYTS test örneklerinin yüzey sertliği, SD1 karışımı için 58 N/mm² olarak belirlenmiştir. Bu değer, çalışmadaki şap örneklerinin elde edilen en yüksek yüzey sertliği değeridir. Karışım tasarımlarında artan pomza agrega miktarına (azalan çimento oranı) bağlı test örneklerinin yüzey sertliği değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu bağlamda, diğer karışım serilerinin (SD2 – SD10) yüzey sertliği değerleri 55 N/mm²’den 39 N/mm²’e ye kadar azalmıştır. Bunda en etken parametrenin pomza agrega miktarına bağlı birim hacim ağırlığının ve dolayısıyla basınç dayanım değerlerinin düşmesi olduğu tecrübe edinilmiştir. TS EN 13813 standardında çimento esaslı şap harçlarının yüzey sertliği sınıflaması için “SH” sınıflama sistemi öngörülmüştür. Bu sınıflamaya göre 28 günlük test örneklerinin yüzey sertliği irdelendiğinde SD1-SD3 karışımlarının yüzey sertliği SH50 sınıfında yer almaktadır (yüzey sertlikleri sırasıyla 58, 55 ve 53 N/mm²). Yüzey sertliği değerinin sayısal büyüklüğü ne kadar büyük ise malzemenin yüzey bozulmalarına ve deformasyonlara karşın dirençliliği o derece yüksektir anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, SD1 harcı çalışma kapsamındaki yüzey bozulmalarına ve deformasyonlara karşın en yüksek dirençli şap tasarımı olarak görülmektedir. Bununla birlikte SD4 – SD9 aralığındaki örneklerin ise yüzey sertliği sınıfı SH40 olarak öngörülebilmektedir. SD10 karışımının yüzey sertliği sınıfının ise SH30 olabileceği öngörülmüştür (yüzey sertlik değeri 39 N/mm²).

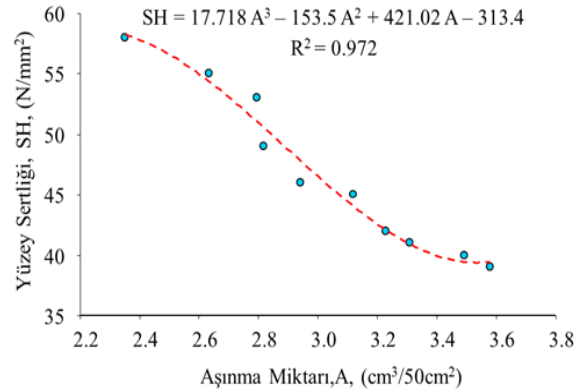
Yapılan irdelermelerde şap harcının yüzey sertliği ile basınç dayanımı arasında parabolik bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir. Şap harcının dayanımı arttıkça, yüzey sertliği değeri de artmaktadır. ÇEKYTS test örnekleri için bu değişim Şekil 18’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu analiz bulgusunda da görüleceği üzere özellikle 17.5 N/mm²’lik

basınç dayanımından daha büyük dayanımlı şap örneklerinin yüzey sertliği önemli ölçüde iyileşme göstermektedir. Diğer bir değişle, malzemenin dayanım kazanması aynı zamanda yüzey sertliğini de geliştirerek daha dirençli bir yüzey özelliğinin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır.



Şekil 18. Test örneklerinin basınç dayanımı – yüzey sertliği ilişkisi

Çimento esaslı şap harçlarında yüzey sertliği ile aşınma miktarı arasında istatistiksel kabul edilebilecek bir trendin olduğu düşünülmüş olup, çalışma bulguları bu bağlamda da irdelenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgulardan Şekil 19’da verilen grafiksel ilişki oluşturulmuştur.



Şekil 19. Test örneklerinin aşınma miktarı – yüzey sertliği ilişkisi

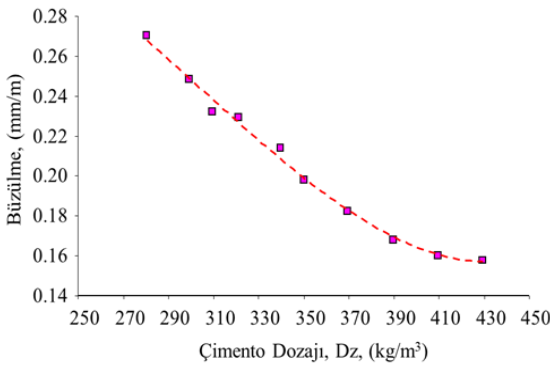
Bu analiz irdelendiğinde, şap harcının aşınma miktarı hacimsel olarak arttığında, yüzey sertliğinin de parabolik bir yaklaşımla düştüğü görülmektedir. Aşınma miktarının artışına sebep olan porozite, pomza agrega malzeme miktarının artışı, bağlayıcı malzeme miktarının düşmesi vb gibi bileşenler sebebiyle malzeme yüzeyinin daha kolay deforme olabilme olasılığı artmakta ve buna bağlı olarak da yüzey sertlinin zayıfladığı düşünülmektedir.

3.5 Rötire özellikleri

Çimento esaslı kompozit malzemelerin büzülmesi, dayanıklılıklarını etkileyen çok önemli bir faktördür. Bu, teknolojik açıdan istenmeyen bir özellik olup, bu nedenle birçok araştırma faaliyetinin konusu olmuştur [31]. Çimento esaslı harçlarda büzülmeyi etkileyen bir dizi faktörler

sayılabilmektedir. Bunlar arasında önem kazananları harcın iç faktörleri bağlamında karışım bileşenleri olarak, bağlayıcı malzeme türü, agregalar ve kullanılan katkıları sayılabilir. Bununla birlikte, harç tasarımı ile ilgili faktörler olarak su/çimento oranı ve su miktarı, agrega özellikleri ve hacim oranı sayılabilir. Ayrıca, büzülme özelliğine etken bir diğer faktör grubu ise harcın yapımı ile ilgili olup, yerleştirme, sıkıştırma ve kütleme gibi koşullar düşünülebilir. Pratik nedenlerle, çimento matrisinin büzülmesi, harç yapısının performansı için önemli sorunlara neden olabilir. Çok yüksek büzülme, malzeme yüzeyinde görünen çatlaklara neden olabilir. Çatlak bir yüzey, zararlı ortamların malzemeye nüfuz etmesini kolaylaştırdığından, elemanların dayanıklılığını azaltır ve daha fazla tahribata yol açar [31]. Çimento esaslı kompozit matrislerde beton tasarımlarına göre rötre miktarını sınırlayan iri agrega muhteviyatı olmadığından harç rötresi çok daha yüksek değerlerde görülebilmektedir. Çimento esaslı kompozit malzeme doymamış bir buharla çevrili olarak depolandığında bünyesindeki su, malzeme yüzeyinden buharlaşarak kaybedilir. Büzülme değeri esas olarak sıcaklığa, dış ortamın nem koşullarına ve ortamdaki olası rüzgâr hızına vb. faktörlere bağlıdır. Çünkü bu parametreler suyun buharlaşma oranını etkiler [31].

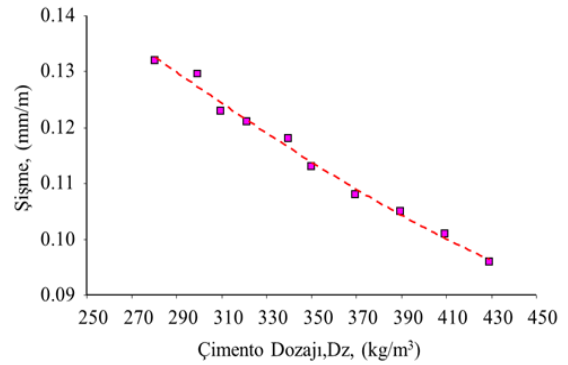
TS EN 13813 standardında mastik asfalt haricindeki şap malzemeleri için şap malzemesinin EN 13454-2'ye [26] veya tasarlanan uygulama kalınlığı 10 mm'den az olan ürünler için EN 13872'ye [32] uygun olarak analiz edilen büzülme ve şişme değerinin "mm/m" biriminde tanımlanabileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, 40x40x160 mm³ boyutlarında hazırlanmış tüm ÇEKYTS test örneklerinin 28 gün sonrası EN 13454-2'ye göre büzülme ve şişme değerleri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre karışımlarda artan pomza agrega miktarına bağlı olarak büzülme ve şişme özelliklerinin her ikisinde de belirgin bir artış eğilimi olduğu görülmüştür. Büzülme özelliği olarak SD1 – SD10 aralığındaki örneklerin büzülme değerleri 0.158 mm/m'den 0.270 mm/m değerine kadar artarak değişmektedir. Bu değişimde azalan çimento miktarı (artan pomza agrega miktarı) büzülme özelliğinin artmasına neden olmaktadır. Tüm ÇEKYTS test örneklerinin çimento miktarı ile büzülme değerleri arasındaki ilişki Şekil 20'de analiz edilmiştir.



Şekil 20. Karışım tasarımlarındaki çimento miktarı – büzülme değeri ilişkisi

Harcın kuruma etkisinde büzülme değerine etki eden en önemli faktörlerden birisi, harcın gözenekli yapısıdır. ÇEKYTS test örneklerinde karışımdaki artan pomza miktarı matris yapıyı daha gözenekli bir forma büzürdüğüne birlikte, karışımda 0-1 mm boyut pomza ince malzeme miktarının da artması şap harcının rötre özelliğini olumsuz yönde etkileyerek büzülme değerinin artmasına neden olmaktadır.

Bununla birlikte, su, matris yapıdaki büyük kılcal gözeneklerden malzeme yüzeyine taşınarak nispeten kolayca buharlaşır. Bu kapiler su taşınımı olgusu, malzeme gözenekliliği arttıkça ve ayrıca matris yüzeyinin açık gözenek oranı arttıkça daha belirgin bir su buharlaşması oluşabilmektedir. Bu olgunun miktarı ve boyutu, su/çimento oranı bağlamında su miktarı ne kadar büyük olursa kuruma büzülmesi de o kadar büyük olabilmektedir. ÇEKYTS test örneklerinde pomza agrega miktarının artışı, matris yapıyı daha gözenekli bir forma ulaştırmanın ötesinde, malzeme bünyesindeki suyun daha hızlı bir şekilde buharlaşmasına da sebep olabilecek ortamı oluşturmaktadır. Bu sebeple, şap harcı kurudukça, ilk olarak kapiler gözeneklerden serbest suyun hızla uzaklaştığı ve ardından şap harcının büzülmesine neden olan suyun adsorbe edildiği düşünülmektedir. Burada önemli olan bir diğer parametre de, karışımda yar alan ince madde oranı arttıkça, matris yapının rötre riski muhtemel hale gelebilmektedir. Bu olgu, aynı zamanda matris yapının gözeneklilik oranının büyüklüğünün, harç tasarımında rötre önleyici özel nitelikli ajan veya katkıların bulunmadığı durumlarda rötreyi tetikleyici bir etken olduğu da teknik olarak tecrübe edinilmiştir. Büzülme değerlerindeki etkileşime benzer şekilde şap harcı örneklerinin şişme özellikleri de karışımlardaki çimento miktarına bağlı olarak değişimi irdelenmiştir. Tüm ÇEKYTS test örneklerinin çimento miktarı ile şişme (genleşme) değerleri arasındaki ilişki Şekil 21'de analiz edilmiştir.



Şekil 21. Karışım tasarımlarındaki çimento miktarı – şişme değeri ilişkisi

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 [33]. Nem genleşmesi, suyun çimento jeli tarafından emilmesiyle ilgilidir, bu nedenle su parçacıkları, malzemenin ortaya çıkan

yapısındaki kohezyon kuvvetlerine karşı koyan bir etki sergiler [31]. Elde edilen bulgulara göre şişme özelliği olarak SD1 – SD10 aralığındaki örneklerin şişme değerleri 0.096 mm/m'den 0.132 mm/m değerine kadar artarak değişmektedir. Bu değişimde azalan çimento miktarı (artan pomza agregası miktarı) şişme özelliğinin artmasına neden olmaktadır. Burada önemsenen husus, şap harcı tasarımında malzemenin priz sonrası su iticilik özelliğini iyileştirecek özel nitelikli bir ajan veya katkı kullanılmadığı için, test örneklerinde pomza agregası oranının artışına bağlı olarak kapalı ve açık gözenekler oluşan artan gözeneklilik, malzeme matrisinin su emme kabiliyetini de artırıcı bir etki sergilemektedir. Bu nedenle, rutubetli veya sürekli nemli bir ortamda tutulan pomza agregalı şap harcı örneklerinin bünyeye ortamdaki su miktarının artması, buna paralel olarak özellikle agreganın kapalı gözeneklerinde bu emilen suyun uzun süre matriste hapsedilmesi, matristeki çimento jeli tarafından bu suyun emilimi şap harcının nemleşmesi veya şişme özelliğinin artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı tane boyut ve kullanım oranlarında pomza kullanımlı çimento esaslı tesviye şapı harçları geliştirilmiştir. Çalışma bulgularına göre,

1. Kıvam analizlerinden görüleceği üzere, karışımdaki pomza agregası miktarı arttıkça, pomza malzeme bileşeni içerisinde 1-3 mm boyut oranının da artmasına paralel olarak sabit su/çimento oranı ve akışkanlaştırıcı oranı sebebiyle harcın akıcılığı azalmaktadır.

2. Karışımdaki toplam pomza agregası oranı arttıkça, harcın boşluk oranı artmakta, birim hacim kütlesi azalmakta ve buna bağlı olarak eğilme ve basınç dayanımlarının da düştüğü görülmektedir.

3. Çalışma kapsamında üretilen kompozit harçların TS EN 13892-2 standardında öngörülen eğilme dayanım kriterlerini sağlayabildiği görülmüştür.

4. Benzer şekilde harçların TS EN 13892-2 standardında öngörülen basınç dayanımı kriterlerini de sağlayabildiği tespit edilmiştir.

5. Harçların gözenekliliğindeki artış aşınma direncinde azalmaya sebep olmuştur. Gözenekliliğin yüksek oluşu aynı zamanda, malzeme yüzeylerinde daha belirgin formlarda açık gözeneklerin varlığı ve bu sebeple malzeme yüzeylerinden daha kolay bir şekilde partiküllerin koparak/ayırılarak daha kolay bir şekilde deforme olmasına neden olmuştur.

6. Karışım tasarımlarında artan pomza agregası miktarına (azalan çimento oranı) bağlı test örneklerinin yüzey sertliği değerlerinin azaldığı görülmüştür.

7. Test örneklerinde karışımdaki artan pomza miktarı matris yapıyı daha gözenekli bir forma büründürmekle birlikte, karışımda 0-1 mm boyut pomza ince malzeme miktarının da artması şap harcının rötre özelliğini olumsuz yönde etkileyerek büzülme değerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, azalan çimento miktarı (artan pomza agregası miktarı) şişme özelliğinin artmasına neden olmaktadır.

Çalışma kapsamında, pomza agregası miktarı artırılarak oldukça hafif kompozit harçlar üretilmiştir. Ortalama %45'den fazla pomza agregası kullanımının (340 kg/m³'den az çimento kullanımı) harcın kendiliğinden yerleşme ve mekanik özelliklerinde hızlı bir kayba neden olduğu görülmüştür. Bununla birlikte üretilen karışımlar ilgili standartlarda öngörülen kriterleri sağlayabilmesine karşın kendiliğinden yerleşme özelliği ön planda tutulduğunda SD1 ve SD2 kodlu örnekler mekanik özellikler de dahil en iyi sonucu vermektedir.

Bu çalışma ile pomza agregalı hafif ve kendiliğinden yerleşebilen kompozit şapların üretilebilirliği tespit edilmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %8

Kaynaklar

- [1] A. Anderberg, Moisture properties of selflevelling flooring compounds. Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, LTH, Lund University, TVBM-3120 Licentiate Thesis, ISSN 0348-7911 TVBM, 2004.
- [2] TS EN 13813, Şap malzemeleri ve zemine uygulanan şaplar - Şap malzemeleri - Özellikler ve gerekler, TSE, s31, Ankara, 2004.
- [3] J. F. Georjın, J. Ambroise, J. Péra, J. M. Reynouard, Development of self-leveling screed based on calcium sulfo aluminate cement: Modelling of curling due to drying, Cem. Concr. Compos., 30, 769–778, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.06.004>.
- [4] M. Canbaz, I. B. Topçu and Ö. Ateşin, Effect of admixture ratio and aggregate type on self-leveling screed properties, Construction and Building Materials, 116, 321–325, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.084>.
- [5] J. Bizzozero, K. L. Scrivener, Limestone reaction in calcium aluminate cement–calcium sulfate systems, Cement and Concrete Research, 76, 159-169, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.019>.
- [6] A. Anderberg and L. Wadso, Drying and Hydration of Cement Based Self-Leveling Flooring Compounds, Drying Technology, 25(12), 1995-2003, 2007. <https://doi.org/10.1080/07373930701728372>.
- [7] S. E. Klemenc, Self Levelers, Concrete Decor Magazine, <https://www.concretedecor.net/author/staceyklemenc/page/18/>, Accessed 18 June 2022.
- [8] J. Kighelman and K. Scrivener, Kinetics of two types of flooring mortar: PC dominated vs CAC dominated. In Calcium Aluminate Cements, Proceedings of the Centenary Conference, Avignon, France, 30 June–2 July 2008; HIS BRE Press: Garston, Watford, pp. 567–572, ISBN 13:978-1-84806-045-6, 2008.
- [9] J. Do and Y. Soh, Performance of Polymer-modified Self-leveling Mortars with High Polymer–cement Ratio for Floor Finishing, Cement and Concrete Research, 33(10), 1497-1505, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01057-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01057-8).

- [10] A. Padilla, I. Panama, A. Toledo and A. Flores, Development of Low Weight Self-leveling Mortars, VII International Congress of Engineering Physics, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 582, 012030, 2015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/582/1/012030>.
- [11] A. De Gasparo, M. Herwegh, R. Zurbriggen and K. Scrivener, Quantitative Distribution Patterns of Additives in Self-leveling Flooring Compounds (underlayments) as Function of Application, Formulation and Climatic Conditions, Cement and Concrete Research, 39(4), 313-323, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.12.009>.
- [12] L. Evangelista and J. de Brito, Mechanical Behaviour of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates, Cement and Concrete Composites, 29(5), 397-401, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>.
- [13] A. Kiliç, C. D. Atiş, A. Teymen, O. Karahan, F. Özcan, C. Bilim and M. Özdemir, The Influence of Aggregate Type on the Strength and Abrasion Resistance of High Strength Concrete, Cement and Concrete Composites, 30(4), 290-296, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.05.011>
- [14] L. A. Sbia, A. Peyvandi, P. Soroushian and A. M. Balachandra, Optimization of Ultra-High-Performance Concrete with Nano- and Micro-scale Reinforcement, Cogent Engineering, 1(1), 990673, 2014. <https://doi.org/10.1080/23311916.2014.990673>.
- [15] G. Barluenga and F. Hernández-Olivares, Self-leveling cement mortar containing grounded slate from quarrying waste, Construction and Building Materials 24, 1601-1607, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.033>.
- [16] L. U. D. Tambara Júnior, M. Cheriaf and J. C. Rocha, Development of Alkaline-Activated Self-Leveling Hybrid Mortar Ash-Based Composites, Materials, 11(10), 1829, 2018. <https://doi.org/10.3390/ma11101829>.
- [17] Y. T. Altuncı, Ö. Cenk, K. Saphioğlu, H. H. İnce ve M. Çevikbaş, Genleştirilmiş Cam Agregası ve Genleştirilmiş Perlit Agregası İkameli Şap Betonlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Teknik Bilimler Dergisi, 11(2), 8-13, 2021. <https://doi.org/10.35354/tbed.918849>.
- [18] Y. T. Altuncı, Ö. Cenk, K. Saphioğlu, H. H. İnce ve M. Çevikbaş, Genleştirilmiş Cam Agregalı ve Genleştirilmiş Perlit Agregalı Şap Harçlarının Performans Özelliklerinin Belirlenmesi. El-Cezeri, 8(1), 11-20, 2021. <https://doi.org/10.31202/ecjse.753475>.
- [19] E. Y. Şahin, İ. Gökalop, A. E. Ormancı ve Y. Akkaya, Kendiliğinden yayılan çimento esaslı şap üretimi. <https://www.thbbakademi.org/wpcontent/uploads/2020/12/B2011180-191.pdf>. Erişim Tarihi: 28/10/2022.
- [20] ASTM C494, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [21] TS EN 13892-1, Şap malzemeleri - Deney metotları - bölüm 1: Deneyler için numune alma, hazırlama ve kütleme, TSE, s9, Ankara, 2004.
- [22] TS EN 13892-2, Şap malzemeleri - Deney metotları - bölüm 2: Eğilme ve sıkıştırma mukavemeti tayini, TSE, s7, Ankara, 2004.
- [23] ASTM C642-21, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022.
- [24] TS EN 13892-3, Şap malzemeleri - Deney yöntemleri - Bölüm 3: Aşınma direncinin belirlenmesi - Böhme deneyi, TSE, 11, Ankara, 2010.
- [25] TS EN 13892-6, Şap malzemeleri - Deney metotları - Bölüm 6: Yüzey sertliği tayini, TSE, s7; Ankara, 2004.
- [26] TS EN 13454-2, Bağlayıcılar, kompozit bağlayıcılar ve fabrika yapımı karışımlar - Kalsiyum sülfat esaslı - Şap malzemesi olarak kullanılan - Bölüm 2: Deney metotları, TSE, s22, Ankara, 2004.
- [27] A. Ünsal ve H. Şen, Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2008.
- [28] Y. W. Liu, T. Yen and T. H. Hsu, Abrasion Erosion of Concrete by Water-borne Sand, Cement and Concrete Research, 36(10), 1814-1820, 2005.
- [29] R. K. Dhir, P. C. Hewlett and Y. N. Chan, Near-surface Characteristics of Concrete: Abrasion Resistance, Materials and Structures, 24, 122-128, 1991.
- [30] C. D. Atiş, High Volume Fly Ash Abrasion Resistant Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 14(3), 274-277, 2002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)08991561\(2002\)14:3\(274\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)08991561(2002)14:3(274))
- [31] M. Lenart, Assessment of mortar shrinkage in aspect of organic and inorganic modifiers use, 7th Scientific-Technical Conference Material Problems in Civil Engineering (MATBUD'2015), Procedia Engineering 108, 309 - 315, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.152>.
- [32] TS EN 13872, Perdah ve/veya tesviye işlerinde kullanılan ve hidrolik priz alabilen bileşiklere uygulanacak deney metotları - Büzülmenin tayini, TSE, Ankara, 2011.
- [33] A. M. Neville, Properties of Concrete, 5th Edition, The Royal Academy of Engineering, ISBN:9788177585872, Stowarzyszenie Producentów Cementu, 2012.

