



Investigation of Mechanical Properties of Granite Waste Sludge and Sepiolite Substituted Self-Compacting Mortars

Aynur İRMAK ER^{1*} Salih YAZICIOĞLU²

¹Kırşehir Ahi Evran University, Kaman vocational high school, Drilling technology, Kırşehir, Turkey

¹Gazi University, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, Ankara, Turkey

²Gazi University, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, Ankara, Turkey

Article Info

Research article

Received: 31/07/2024

Revision: 25/09/2024

Accepted: 08/10/2024

Keywords

Self-compacting mortar
Granite waste sludge
Sepiolite
Fresh properties
Mechanical properties

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi

Başvuru: 31/07/2024

Düzeltilme: 25/09/2024

Kabul: 08/10/2024

Anahtar Kelimeler

Kendiliğinden yerleşen
harç
Granit atık çamuru
Sepiyolit
Taze özellikleri
Mekanik özellikleri

Graphical/Tabular Abstract (Grafik Özet)

In this study, the mechanical properties of Self-Compacting Mortars (SCC) produced by replacing Portland Cement (PC) with Granite Waste Mud (GWM) and Sepiolite (SP) at different ratios were investigated. / Bu çalışma ile, Portland Çimentosu (PÇ) yerine farklı oranlarda Granit Atık Çamuru (GAÇ) ve Sepiyolit (SP) ilave edilerek üretilen Kendiliğinden Yerleşen Harçların (KYH) mekanik özellikleri araştırılmıştır.

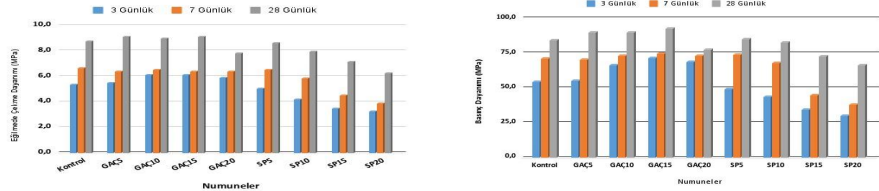


Figure A: Compressive and flexural tensile strengths of self-compacting mortars containing a single type of mineral admixture. / **Şekil A:** Tek tip mineral katkı içeren kendiliğinden yerleşen harçların basınç ve eğilmede çekme dayanımları.

Highlights (Önemli noktalar)

- Determination of workability and consistency values of granite waste sludge and sepiolite in self-compacting mortars / Granit atık çamuru ve sepiyolit in kendiliğinden yerleşen harçlarda işlenebilirlik ve kıvam değerlerinin belirlenmesi
- Investigation of capillary water absorption, total water absorption and porosity values of granite waste sludge and sepiolite in self-compacting mortars / Granit atık çamuru ve sepiyolit in kendiliğinden yerleşen harçlarda kapiler su emme, toplam su emme ve porozite değerlerinin incelenmesi
- Investigation of compressive and flexural tensile strength of granite waste sludge and sepiolite in self-compacting mortars / Granit atık çamuru ve sepiyolit in kendiliğinden yerleşen harçlarda basınç ve eğilmede çekme dayanımlarının incelenmesi

Aim (Amaç): The aim of this study was to determine the mechanical properties of Self-Compacting Mortars (SCC) produced by replacing Portland Cement (PC) with Granite Waste Mud (GWM) and Sepiolite (SP) at different ratios. / Bu çalışma ile, Portland Çimentosu (PÇ) yerine farklı oranlarda Granit Atık Çamuru (GAÇ) ve Sepiyolit (SP) ilave edilerek üretilen Kendiliğinden Yerleşen Harçların (KYH) mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Originality (Özgünlük): In this study, the mechanical properties of self-compacting mortars prepared using granite waste sludge and sepiolite were determined. / Bu çalışmada granit atık çamuru ve sepiyolit kullanılarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen harçların mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Results (Bulgular): The average flexural tensile strength and compressive strength of the specimens produced with granite waste sludge and sepiolite were 8.7-7.3 MPa and 87.6-76.8 MPa, respectively. / Granit atık çamuru ve sepiyolit ile üretilen numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımı 8,7-7,3 MPa ve basınç dayanımı 87,6-76,8 MPa sonuçları elde edilmiştir.

Conclusion (Sonuç): The highest strength was observed at 15% of GWC in KYH specimens where granite waste sludge and sepiolite were used as mineral additives. Better results were obtained than the control specimen by positively affecting the strength. While sepiolite increased the strength when used at low rates of 5%, it negatively affected the ultimate strength as the amount of powder increased. / Mineral katkı olarak granit atık çamuru ve sepiyolit kullanıldığı KYH numunelerinde GAÇ %15'te en yüksek dayanım gözlenmiştir. Dayanımı olumlu yönde etkileyerek kontrol numunesinden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Sepiyolit düşük oranlarda %5 kullanıldığında dayanımı arttırırken toz miktarı arttıkça nihai dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir.



Investigation of Mechanical Properties of Granite Waste Sludge and Sepiolite Substituted Self-Compacting Mortars

Aynur İRMAK ER^{1*} Salih YAZICIOĞLU²

¹Kırşehir Ahi Evran University, Kaman vocational high school, Drilling technology, Kırşehir, Turkey

¹Gazi University, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, Ankara, Turkey

²Gazi University, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, Ankara, Turkey

Article Info

Research article
Received: 31/07/2024
Revision: 25/09/2024
Accepted: 08/10/2024

Keywords

Self-compacting mortar
Granite waste sludge
Sepiolite
Fresh properties
Mechanical properties

Abstract

In this study, the mechanical properties of Self-Compacting Mortars (SCC) produced by replacing Portland Cement (PC) with Granite Waste Sludge (GWS) and Sepiolite (SP) at different ratios were investigated. A total of 17 mortar specimens were produced by using GAC from Granitaş operation in Kırşehir and SP from Eskişehir Akmin Mineral and Mining together and separately. One of the important factors affecting the properties of self-compacting concretes is the freshness of mortars. In order to determine the workability of the mortars and to investigate their self-compacting properties, mini-slump-spread and mini V-moon tests were performed. Three-point flexural and compressive tests were performed on the prepared specimens at 3, 7 and 28 days periods. In addition, capillary water absorption tests were performed on 28-day old samples and then total porosity ratios, water absorption and densities of the samples were determined. When evaluated in terms of fresh and hardened properties of the mortars, it was determined that SP material can be used as a mineral admixture in mortars at substitution rates up to 15%, and SP can be used as a mineral admixture in mortars at low addition rates. The amount of water used in self-compacting mortars prepared with granite waste sludge decreased compared to the control sample. The specimens prepared with GCS gave better strength results than the control specimen and SP due to its more void-free structure. Since SP is a clay mineral, it required more water than the control sample. In addition, when the amount of SP mineral additive exceeded 5%, the tensile and compressive strength values in bending were lower.

Granit Atık Çamuru ve Sepiyolit İkameli Kendiliğinden Yerleşen Harçların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 31/07/2024
Düzeltilme: 25/09/2024
Kabul: 08/10/2024

Anahtar Kelimeler

Kendiliğinden yerleşen harç
Granit atık çamuru
Sepiyolit
Taze özellikleri
Mekanik özellikleri

Öz

Bu çalışma ile, Portland Çimentosu (PÇ) yerine farklı oranlarda Granit Atık Çamuru (GAÇ) ve Sepiyolit (SP) ilave edilerek üretilen Kendiliğinden Yerleşen Harçların (KYH) mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çimento yerine ikame yöntemiyle Kırşehir yöresinde bulunan Granitaş işletmesine ait GAÇ ve Eskişehir Akmin Mineral ve Madencilğe ait SP'le birlikte ve ayrı ayrı kullanılarak, toplamda 17 adet harç numunesi üretilmiştir. Kendiliğinden yerleşen betonların özelliklerini etkileyen önemli faktörlerden biri harçların taze özelliğidir. Harçların, işlenebilirliğini belirlemek ve kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini araştırmak amacıyla, mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde 3, 7 ve 28 günlük periyotlarda üç noktalı eğilme ve basınç deneyi yapılmıştır. Ayrıca 28 günlük numuneler üzerinde kapiler su emme deneyi yapılarak ve daha sonra numunelerin toplam porozite oranları, su emme ve yoğunlukları belirlenmiştir. GAÇ malzemesi, harçların taze ve sertleşmiş özellikleri bakımından değerlendirildiğinde %15 'e kadar ikame oranlarında harç içerisinde mineral bir katkı olarak kullanılabilir olduğu, kullanılan SP düşük ilave oranlarında harç içerisinde mineral bir katkı olarak değerlendirilebilir olduğu belirlenmiştir. Granit atık çamuru ile hazırlanan kendiliğinden yerleşen harçlarda kullanılan su miktarı kontrol numunesine göre azalmıştır. GAÇ ile hazırlanan numuneler daha boşluksuz bir yapıya sahip olması nedeniyle kontrol numunesi ve SP'den daha iyi dayanım sonuçları vermiştir. Ayrıca SP mineral katkı miktarı %5'i aştığında, eğilmede çekme ve basınç dayanım değerleri daha düşük sonuçlar vermiştir.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), ilk olarak 1980'lerin ikinci yarısında, konvansiyonel betonlarda meydana gelen dayanıklılık problemlerini ortadan kaldırmak amacıyla Japonya'da bir grup bilim adamı tarafından üretilmiştir [1]. KYB, kendi ağırlığı ile sık donatılı, dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç ve dış vibrasyon gerektirmeksizin, kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliğini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür [2].

KYB, özellikle deprem sonrası onarım-güçlendirme işleri ve prefabrik sektörü başta olmak üzere inşaatın farklı alanlarında giderek daha fazla uygulanma olanağı bulmaktadır. KYB kolay yerleşmesi, vibrasyon gerektirmemesi, ayrışma direncinin yüksek oluşu, yüksek durabilite özelliği gibi nedenlerle yüksek performanslı beton üretiminde oldukça önemlidir. KYB'un bileşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı kullanımı, su/bağlayıcı oranı, maksimum agrega boyutu, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterir [3]. Mineral katkıların ve beton tasarımına uygun olarak kullanımını sağlamak amacıyla yeni deney yöntemleri ve standartlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada TS EN 12350-9 ve EFNARC (European Federation of National Trade Associations) tarafından yayınlanan standartlardan faydalanılmıştır [4-6]. EFNARC, kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliğini değerlendirirken üç temel özelliğin sağlanmasını ister. Bunlar, betonun hacmi tamamen doldurma kapasitesi, akma oranıyla belirlenen uygun viskozite, dar kesitlerden geçiş yeteneği ve ayrışma (segregasyon) direncidir.[5].

Kendiliğinden yerleşen beton veya harçların en önemli sorunlarından biri maliyettir. Bu durum kimyasal katkı ve çimentonun yüksek miktarda kullanımından kaynaklanmaktadır. Kimyasal katkının kullanımı KYB için kaçınılmaz bir durum olduğundan çimento miktarı puzolanik veya toz haldeki mineral katkıları kullanılarak azaltılabilir. Mineral katkı maddeleri, çimentonun harç

karışımlarında ve hafif beton, reaktif pudra, silindire sıkıştırılmış ve kendiliğinden yerleşen

beton gibi bazı beton türlerinde, puzolanik ve/veya kendinden kaynaklanan bağlama mekanik etkilerinden özellikleri ve dayanıklılığı arttırmak için kullanılmaktadır [7-9]. Bu mineral katkılara, silis dumanı, uçucu kül, sepiyolit, granit tozu, yüksek fırın cürufu vb. örnek verilebilir. Bu alanda yapılan çalışmalardan örnek verilirse, Şahmaran vd., kimyasal katkılar ile uçucu kül, tuğla tozu, kaolin ve kireçtaşı tozunun KYB üzerindeki etkilerini araştırırken, Kavas vd., sepiyolit takviyeli çimento kompozitlerin yapısal özellikleri ve optimum karışım oranlarını araştırılarak, %10 oranında sepiyolit (doğal kil minerali) liflerinin eklenmesinin harcın mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini belirlemiştir [10, 11].

Menezes vd. (2005) ve Gomes vd, (2021) granit kesim artıklarının seramik materyallerde kullanılabilirliğini inceleyerek, fiziksel ve mineralojik yapı açısından olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. [12, 13]. Uysal, mermer artık tozlarını kendiliğinden yerleşen betonda kullanmış olumlu sonuçlar elde etmiştir [14]. Sharma vd. (2008) granit artıklarının beton içinde parça agrega olarak kullanımını araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, ürünlerin su emme, su geçirimsizliği ve aşınma dayanımı özelliklerinde iyileşmeler gözlemlenirken, çekme ve basınç dayanımı değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Ayrıca, bu artıkların yapay mermer üretiminde kullanılabilirliğine yönelik de bazı araştırmalar yapılmıştır.[15].

Samad & Rashid (2020) yaptıkları çalışmada dolomit ve granit artığı kullanarak yapay mermer üreterek, ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında ağırlıkça %10 granit atığını dolomit yerine kullanmanın basınç ve çekme dayanımı değerlerini artırdığını, su emme oranını düşürdüğünü belirlemişlerdir [16]. Barani (2016) çalışmasında granit ve mermer artıklarını kullanarak yapay mermer üretmiş ve ürünlerin doğal taşlara kıyasla yoğunluk, su emme, eğilme, basınç dayanımı değerlerinin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir [17].

Boz (2019), yaptığı çalışmada granitin bozunmuş hali olarak bilinen ve granit agregası

olarak adlandırılan doğal malzemenin filler olarak kullanılmasının beton üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Karışımda CEM II/A-P 52.5 N Portland çimentosu tercih edilirken; çimentonun ağırlıkça % 5, % 10, % 15'i filler malzeme miktarı olarak belirlenip, bu miktar karışımda agregayla yer değiştirilmiştir. En yüksek basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerine sırasıyla % 15 ve % 10 filler katkılı numunelerde ulaşılmıştır. Filler miktarının artması ve kür süresinin uzun tutulmasının betonun mekanik özelliklerini olumlu yönde geliştirdiği sonucu ortaya konulmuştur [18].

KYH, KYB'na benzer mekanik ve dayanıklılık özellikleri sergiler ve KYB' un performans mekanizmalarını incelemek için kullanılabilir [10]. Harç, KYB işlenebilirlik özelliklerinin temelini oluşturduğundan dolayı bu özellikler KYH' lar ile değerlendirilebilir. Aslında, KYH'ların özelliklerini değerlendirmek KYB tasarımının ayrılmaz bir parçasıdır [10, 12]. Kendiliğinden yerleşen beton tasarım yöntemleri genellikle, hamur veya harç üzerinde ön çalışma gerektirmektedir. Domone ve Jin (1999) göre KYB'da harç deneylerinin üstünlükleri, KYB'nin geleneksel betona göre daha az iri agrega içermesinden (hacimce % 30) kaynaklanır; bu nedenle harç özellikleri baskındır, harç tasarımın temelini oluşturur ve harçta deney yapmak daha kolaydır [19].

Özellikle granit endüstrisi önemli bir atık kaynağı olarak kabul edilir. Dünya granit üretiminin yılda 309 ile 349 milyon m² olduğu tahmin edilmektedir [20]. Bunların yaklaşık %20-30'u atık haline geliyor [21]. Bu atık katı veya çamur olabilir ve granit taşının kesilmesinden kaynaklanan farklı boyutlar katı atık olarak kabul edilir. Çamur atığı, tozun kesme ve parlatma aletinin soğutma suyuyla karıştırıldığı taş boyutunun dönüştürülmesi ve küçültülmesi sırasında oluşur [22]. Böylece, granit atık çamuru, granit kesme atığı, granit tozu veya kırılmış granit ince agregası olarak geniş bir şekilde tanımlanabilen bir kolloidal atık oluşur. Ortalama granit çamuru miktarının kesilmiş bloğun hacminin %30'u olduğu tahmin edilmektedir [23]. Granit çamuru depolama yoluyla yönetildiğinde su buharlaştığında ciddi çevre sorunlarına yol açabilir. Bu atık, rüzgarla sürüklenebilen ve hayvanlar ve insanlar tarafından solunabilen ince kuru bir toza dönüşür. Ayrıca depolama alanlarına bitişik arazinin mekaniğini değiştirebilir, yeraltı suyu seviyesinde değişikliklere yol açabilir, suyu

kirletebilir ve bitki örtüsüne ve ekinlere ulaşabilir [20]. Bu nedenle bu atığı değerlendirmek için alternatif yollar aranmalıdır. Geçtiğimiz yıllarda, seramik tuğlalar ve fayanslar, çimento harcı, çatı kiremitleri ve beton kaldırım blokları ve tuğlaları gibi farklı türde katma değerli inşaat ürünlerinin üretimi için granit atığı incelenmiştir [24]. Chen ve ark. (2018) iki farklı endüstriyel atığın birleştirilmesinin betonun performansını önemli ölçüde artırabileceğini ve ayrıca endüstriyel atık birikimini önemli ölçüde azaltabileceğini bildirmiştir [25]. Khotbehsara ve ark. (2021) pomza ve bir kil minerali olan metakaolinin birlikte dahil edilmesiyle kendiliğinden yerleşen betonun gelişmiş performansını gözlemlediler [26]. Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen harç (KYH) karışımlarında mineral katkı olarak çimento yerine GAÇ ve SP kullanılarak, bu katkıların KYH üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada, GAÇ ve SP çimento ile ikame edilerek kendiliğinden yerleşen harç karışımlarında kullanılmıştır. GAÇ ve SP ayrı ayrı ve birlikte farklı oranlarda çimento yerine ikame edilerek kendiliğinden yerleşen harçlar oluşturulmuştur. GAÇ ve SP kullanılmadan kontrol harç karışımı hazırlanarak diğer harç karışımlarla karşılaştırılmıştır. Toplamda 17 tip harç karışımı ile çalışma 2 aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada, harçların taze özellikleri belirlenerek mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi deneyleri yapılmıştır. İkinci aşamada ise harçların sertleşmiş özellikleri için 3, 7 ve 28 günlük numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 28 günlük numuneler kapiler su emme deneyi yapılmıştır, daha sonra numunelerin toplam su emme kapasitesi ve porozite oranları belirlenmiştir.

2.1. Malzeme Özellikleri (Material Properties)

Çalışmada, CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. KYH için maksimum tane çapı 2 mm olan agreganın elek analizi Tablo 1'de gösterilmektedir. Agreganın kuru birim hacim ağırlığı 2,63 g/cm³'tür. Kimyasal katkı malzemesi olarak, 1,08 g/cm³ yoğunluğa sahip modifiye polikarboksilat esaslı polimer bir süper akışkanlaştırıcı (SA) 17 karışımda da 8,5 kg/m³ oranında kullanılmıştır. Mineral katkı olarak

kullanılan GAÇ ve SP Şekil 1 'de gösterilmektedir. Tablo 2'de çimento, GAÇ ve SP'nin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri verilmiştir. Ayrıca GAÇ ve SP'nin standart kalitatif mineral analizi yapılarak Tablo 3'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Kullanılan GAÇ, SP ve Agrega malzemeleri (GAÇ, SP and Aggregate materials used)

Tablo 1. İnce agrega elek analizi (Fine aggregate sieve analysis)

Elek no (mm)	Elekten üzerinde kalan miktar (%)
4 mm	0
2 mm	0
1 mm	18.25
0.5 mm	22.8
0.25 mm	39.4
0.125 mm	17.8
0.063 mm	1.75
Toplama kabı	0.0

Tablo 2. Çimento, GAÇ ve SP'nin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri (Chemical composition and physical properties of cement, GAC and SP)

	CEM I 42,5 R	Granit Atık Çamuru (GAÇ)	Sepiyolit (SP)
SiO ₂ (%)	17.0	62.9	18
Al ₂ O ₃ (%)	4.0	16.5	0.4
Fe ₂ O ₃ (%)	3.4	4.2	0.2
CaO (%)	64.3	4.9	25.0
K ₂ O (%)	1.0	4.5	<0.1
MgO (%)	1.8	1.4	19.6
Kızdırma kaybı (%)	3.45	1.0	36.65
Özgöl ağırlık (g/cm ³)	3.10	2.70	2.61
Özgöl yüzey alanı (cm ² /g)	3410.0	5411.0	8406.0

Tablo 3. GAÇ ve SP'nin Standart kalitatif mineral analizi (Standard qualitative mineral analysis of GAC and SP)

GAÇ	SP
Kuvars	Sepiyolit
Plajiyoklaz	Dolomit
Amfibol Minerali	Kalsit
Mika Minerali	
İllit	
Alkali Feldispat	
Kaolinit	
Piroksen Minerali	

2.3. Karışım Oranları Ve Taze Harç Deneyleri (Mixing ratios And Fresh Mortar Experiments)

Karışımlar, içerdiği mineral katkı oranlarına göre adlandırılmıştır. Örneğin GAÇ15, harçta çimentonun ağırlıkça %15 'inin azaltılarak yerine GAÇ kullanıldığı anlamına gelmektedir. İçerisinde GAÇ ve SP bulunmayan karışım kontrol numunesi olarak isimlendirilmiştir. Kullanılan karışım oranları Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Kullanılan karışım oranları (Mixing proportions used)

Karışım Kodu	Çimento (g)	GAÇ (g)	SP (g)	Kum (g)	Su (g)	Akışkanlaştırıcı (g)
Kontrol	660	0	0	1240	243	8,5
GAÇ5	627	33	0	1240	240	8,5
GAÇ10	594	66	0	1240	232	8,5
GAÇ15	561	99	0	1240	226	8,5
GAÇ20	528	132	0	1240	221	8,5
SP5	627	0	33	1240	257	8,5
SP10	594	0	66	1240	269	8,5
SP15	561	0	99	1240	300	8,5
SP20	528	0	132	1240	340	8,5
GAÇ5+SP5	594	33	33	1240	257	8,5
GAÇ5+SP10	561	33	66	1240	280	8,5
GAÇ10+SP5	561	66	33	1240	250	8,5
GAÇ10+SP10	528	66	66	1240	275	8,5
GAÇ15+SP5	528	99	33	1240	245	8,5
GAÇ15+SP10	495	99	66	1240	270	8,5
GAÇ20+SP5	495	132	33	1240	243	8,5
GAÇ20+SP10	462	132	66	1240	268	8,5

Karışımlarda kıvamı belirlemek için çökme-yayılma deneyi yapılmış ve TS EN 12350-9 ile EFNARC’da önerilen mini çökme-yayılma değerleri 240–260 mm arasında sabit tutulmuştur [4-5] (Şekil 2). Hazırlanan harç numunelerinde ASTM C109/C 109M–01’e uygun bir mikser kullanılmıştır [27].

Çökme-yayılma deneyinde, kesik koni düz bir yüzey üzerinde harçla doldurulmuş ve ardından yukarı kaldırılmıştır. Harcın çapı, iki dik boyutunun ortalaması alınarak ölçülmüş ve bu çapın 240-250 mm arasında kalması sağlanmıştır. V-hunisi deneyinde ise, huniyi harçla tamamen doldurduktan sonra alt çıkış kapağı açılarak harcın akması sağlanmıştır.

Kapağın açıldığı andan itibaren üstten bakıldığında ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre t olarak kaydedilmiştir. Kontrol harcı da dahil olmak üzere bütün harçların V-hunisi akma zamanı değerleri 8~10 s. arasında belirlenmiştir. EFNARC (2002)’ye göre bu zaman 7~11 s. arasında olmalıdır [5]. Mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi (Şekil 2) deneyleri TS EN 12350-9 ve EFNARC standartlarına göre yapılmıştır [4, 5].



Şekil 2. Mini çökme-yayılma ve V-hunisi testi (Mini collapse-diffusion and V-hunting test)

2.4. Sertleşmiş Harç Deneyleri (Hardened Mortar Tests)

Taze harç deneyleri yapıldıktan sonra numuneler herhangi bir sıkıştırma ve vibrasyon işlemi olmaksızın 40x40x160 mm ve 50x50x50mm

boyutlarında kalıplara dökülmüştür. Kalıplarda 24 ± 5 saat bekletilen numuneler kalıplardan alınmış ve $22 \pm 3^\circ\text{C}$ sıcaklığındaki suyun içerisinde küre bırakılmıştır. 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinin sonunda her numune, basınç ve üç noktalı eğilme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca 28 günlük 50x50x50 mm boyutlu numuneler, kapiler su emme deneyi yapılmıştır. Daha sonra numunelerin doygun kuru yüzey, etüv kurusu ve su içindeki ağırlıkları da belirlenerek toplam su emme kapasitesi, porozite oranları ve yoğunlukları hesaplanmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. İşlenebilirlik Ve Kıvam (Workability And Consistency)

Tablo 5'te GAÇ ve SP malzemelerinden hazırlanan harçların mini-çökme yayılma ve V hunisi deney değerleri görülmektedir.

Tablo 5. Harçların mini çökme-yayılma ve V hunisi deney değerleri (Mini slump-swelling and V funnel test values of mortars)

Karışım Kodu	Mini Çökme ve Yayılma Deneyi (240-260 mm)	V Hunisi Deneyi (7-11 sn)
Kontrol	246	8,9
GAÇ5	248	8,5
GAÇ10	246	8,8
GAÇ15	247	8,7
GAÇ20	247	8,4
SP5	247	8,5
SP10	248	8,3
SP15	246	8,7
SP20	249	8,1
GAÇ5+SP5	247	8,6
GAÇ5+SP10	248	8,7
GAÇ10+SP5	249	8,3
GAÇ10+SP10	246	8,5
GAÇ15+SP5	248	8,4
GAÇ15+SP10	249	8,2
GAÇ20+SP5	246	8,6
GAÇ20+SP10	247	8,6

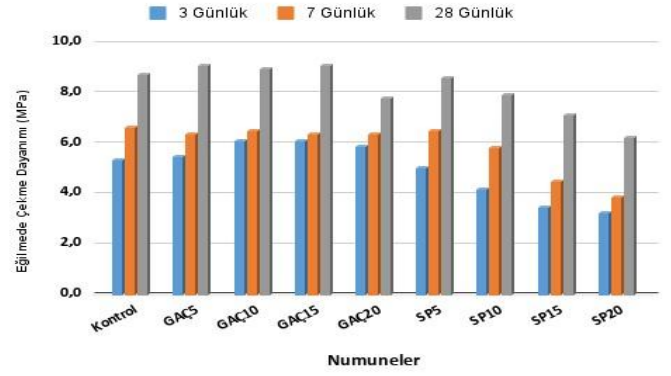
Kontrol harcının işlenebilirlik değerleri baz alındığında; GAÇ'nın % 5, %10, %15 ve %20 oranlarında hazırlanan karışımlarda kullanılan su miktarı azalmıştır. Ancak kil esaslı bir malzeme olan Sepiyolit, artan oranlarda akışkanlık için gerekli su miktarını bünyesinde absorbe ederek su ihtiyacını arttırmıştır. Hazırlanan numunelerdeki harcın çapı, iki dik boyutunun ortalaması alınarak ölçülmüş ve bu çapın 240-250 mm arasında kalması sağlanmıştır. Kontrol harcı da dahil olmak üzere bütün harçların V-hunisi akma zamanı değerleri 8~10 s. arasında belirlenmiştir. Tüm karışımlar TS EN 12350-9 ve EFNARC'ın belirttiği sınır değerler arasında olması sağlanmıştır [4, 5].

3.2. Eğilmede Çekme Dayanımı (Flexural Tensile Strength)

Kendiliğinden yerleşen harçların sertleşmiş özelliklerini belirlemek için 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinin sonunda numuneler üzerinde ASTM C348 standartlarına göre üç noktalı eğilme testi gerçekleştirilmiştir [27]. Elde edilen eğilmede çekme dayanımı sonuçları Tablo 6 ve 7'de, grafikleri Şekil 3 ve 4'te görülmektedir.

Tablo 6. Tek tip mineral katkı içeren KYH'ların eğilmede çekme dayanım sonuçları (Flexural tensile strength results of PBFs containing a single type of mineral admixture)

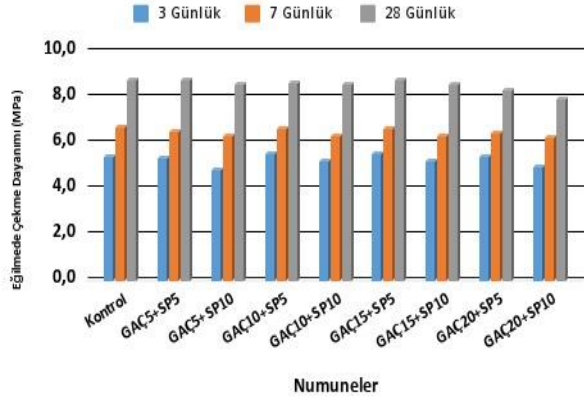
Numuneler	3 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	7 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	28 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
Kontrol	5,4	6,6	8,7
GAÇ5	5,5	6,4	9,1
GAÇ10	6,1	6,5	9,0
GAÇ15	6,1	6,4	9,1
GAÇ20	5,9	6,4	7,8
SP5	5,0	6,5	8,6
SP10	4,2	5,8	7,9
SP15	3,5	4,5	7,1
SP20	3,2	3,9	6,2



Şekil 3. Tek tip mineral katkı içeren KYH'ların eğilmede çekme dayanımları (Flexural tensile strength of PBFs containing a single type of mineral admixture)

Tablo 7. İki tip mineral katkı içeren KYH'ların eğilmede çekme dayanım sonuçları (Flexural tensile strength results of PBFs containing two types of mineral additives)

Numuneler	3 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	7 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	28 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
Kontrol	5,4	6,6	8,7
GAÇ5+SP5	5,3	6,5	8,7
GAÇ5+SP10	4,8	6,3	8,5
GAÇ10+SP5	5,5	6,6	8,6
GAÇ10+SP10	5,2	6,3	8,5
GAÇ15+SP5	5,5	6,6	8,7
GAÇ15+SP10	5,2	6,3	8,5
GAÇ20+SP5	5,4	6,4	8,3
GAÇ20+SP10	4,9	6,2	7,9



Şekil 4. İki tip mineral katkı içeren KYH'ların eğilmede çekme dayanımları (Flexural tensile strength of PBFs containing two types of mineral additives)

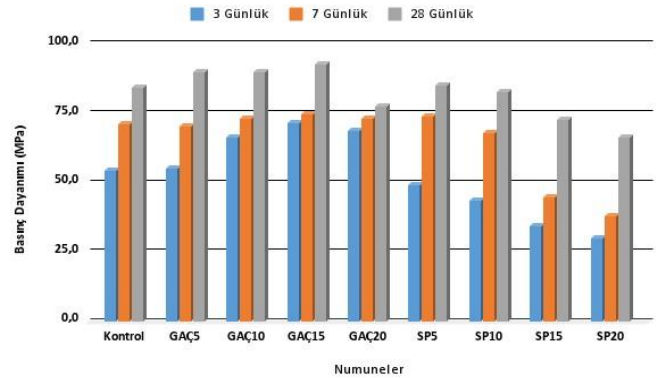
Şekil 3'de tek başına GAÇ veya SP içeren numunelerin eğilmede çekme dayanımları görülmektedir. Buna göre, kontrol numunesinin dayanımlarıyla karşılaştırıldıklarında GAÇ, % 15 oranına kadar 3,7 ve 28 günlük dayanımlarda kontrolden daha iyi performans göstererek dayanımı olumlu yönde etkilemiştir. %20 GAÇ ise ilk 3 günlük dayanımı kontrolden daha iyi olmasına rağmen sonraki kür periyotlarında dayanımı düşürmüştür. Yapılan önceki çalışmalarla sonuçlar benzerlik göstermektedir [16],[18], [20],[28],[29]. SP kür periyotlarında % 5 oranında dayanımı olumlu yönde etkileyerek artmıştır. Ancak SP %5'ten fazla oranlarda kullanıldığında eğilmede çekme dayanımını düşürmüştür. Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde GAÇ'nin 3, 7 ve 28 günlük eğilmede çekme dayanımlarında daha etkili sonuçlar elde edildiğini söyleyebiliriz. GAÇ %15 kadar 28 günlük eğilmede çekme dayanımları olumlu yönde etkileyerek artmıştır. SP %5'ten fazla kullanıldığında eğilmede çekme dayanım değerleri azalmıştır. Daha önceki yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [11],[30].

3.3. Basınç Dayanımı (Compressive Strength)

Hazırlanan numuneler 3, 7 ve 28 günlük kür süresinden sonra tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 8 ve 9'da, grafikler Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde GAÇ5, GAÇ10 ve GAÇ15'te sırasıyla %6,5, %6,9 ve %9,8 artış gözlenmiştir. Ancak GAÇ20 de %8,1 azalma gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Boz, (2019) ile benzerlik göstermektedir [18].

Tablo 8. Tek tip mineral katkı içeren KYH'ların basınç dayanım sonuçları (Compressive strength results of PBFs containing a single type of mineral admixture)

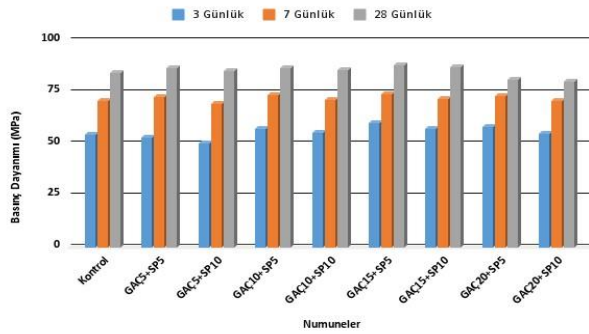
Numuneler	3 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
Kontrol	54,4	71,1	84,4
GAÇ5	55,2	71,4	89,9
GAÇ10	66,3	73,0	90,2
GAÇ15	71,7	74,7	92,7
GAÇ20	68,7	73,3	77,6
SP5	49,3	74,2	85,2
SP10	43,5	68,0	82,9
SP15	34,4	44,8	72,9
SP20	30,1	38,0	66,2



Şekil 5. Tek tip mineral katkı içeren KYH'ların basınç dayanımları (Compressive strength of PBFs containing a single type of mineral admixture)

Tablo 9. İki tip mineral katkı içeren KYH'ların basınç dayanım sonuçları (Compressive strength results of PBFs containing two types of mineral additives)

Numuneler	3 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
Kontrol	54,4	71,1	84,4
GAÇ5+SP5	53,0	72,8	86,9
GAÇ5+SP10	50,5	69,4	85,6
GAÇ10+SP5	57,2	73,9	87,0
GAÇ10+SP10	55,4	71,3	85,9
GAÇ15+SP5	60,1	74,4	88,3
GAÇ15+SP10	57,4	72,1	87,4
GAÇ20+SP5	58,2	73,4	81,4
GAÇ20+SP10	55,0	70,8	80,2



Şekil 6. İki tip mineral katkı içeren KYH'ların basınç dayanımları (Compressive strength of PBFs containing two types of mineral additives)

SP5 ve SP10 numuneleri kontrol numunesine yakın dayanım değerleri verirken SP15 ve SP20'nin 28 günlük basınç dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Daha önceki çalışmalarda Sepiyolit takviyeli çimento kompozitlerin yapısal özellikleri ve optimum karışım oranları araştırılmıştır. %10 oranında sepiyolit (doğal kil minerali) liflerinin eklenmesinin harcın mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirdiği gösterilmiştir. Portland çimento karışımına göre 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %3,5, %6,2 ve %7,7 ve eğilme dayanımı değerlerinde %12,7, %5,7 ve %6,3'lük iyileşmeler elde edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu resimlerine dayanarak, bu gelişme, çimento matrisi içinde bir ağ

yapısı oluşturan sepiyolit lifleri yoluyla harcın reolojisinin modifikasyonuna dayandırılır [11].

Basınç dayanımındaki azalma oranının en yüksek SP20 karışımında olması mineral katkı oranının belli bir orandan fazla olmasının yanı sıra bir kil minerali olan SP kullananı suyu bünyesinde absorbe edip akışkanlığa engel olduğu için mekanik özelliklerini önemli bir şekilde düşürdüğünü göstermektedir. SP5 ve SP10 ile yüksek dayanım elde edildiği için GAÇ ile beraber ikili karışımlar hazırlanmıştır. GAÇ5SP5, GAÇ5SP10, GAÇ10SP5, GAÇ10SP10, GAÇ15SP5, GAÇ15SP10, GAÇ20SP5 ve GAÇ20SP10 karışımları hazırlanarak dayanımları 28 günlük kür sonucunda incelenmiştir. Daha küçük boyutlu granit atık çamuru parçacıklarının çimento ve kum parçacıkları arasındaki boşlukları etkili bir şekilde doldurduğundan dolayı kontrol numunesine göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Sonuçlar önceki araştırmacıların sonuçlarıyla uyusmaktadır [28],[21],[29]. 28 günlük basınç dayanımları incelendiği zaman GAÇ5SP5, GAÇ5SP10, GAÇ10SP5, GAÇ10SP10, GAÇ15SP5 ve GAÇ15SP10'da sırasıyla %2,96, %1,42, %3,08, %1,78, %4,62 ve %3,55 artış gözlenirken GAÇ20SP5 ve GAÇ20SP10'da ise sırasıyla %3,55 ve %4,98 azalma gözlemlenmiştir. SP ve GAÇ de yüksek dayanım verdiği oranlarda elde edilen KYH numunelerde de yüksek dayanımlar elde edilerek çimento yerine yaklaşık %25 azaltılarak ikame yöntemiyle GAÇ15SP10 koyulduğu zaman basınç dayanımında artış gözlemlenmiştir.

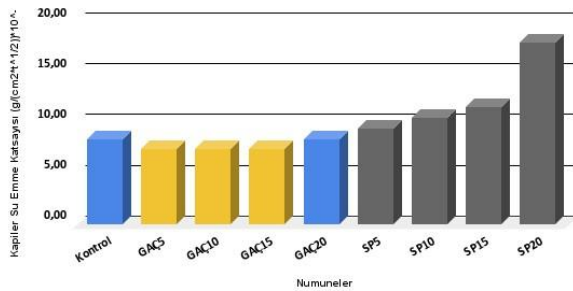
3.4. Kapiler Su Emme (Capillary Water Absorption)

Harçlar 50x50x50 mm'lik numuneler üzerinde 28 gün suda kür edilerek kapiler su emme katsayıları belirlenmiştir. Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar 105 °C ± 5'te hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Numunelerin yan yüzeyleri izole edilerek, saf suya 5 mm batacak şekilde bir düzeneğe yerleştirilmiştir (Şekil 7). Numuneler, 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360 ve 1440 dakikalık sürelerde suya maruz bırakılmıştır. Sürelerin sonunda, numunelerin yüzeylerindeki serbest su, nemli bir bezle silinmiş ve 0.01 gram hassasiyetli bir tartı ile kütle artışları ölçülmüştür. Başlangıçtaki ağırlıklarına göre ağırlık farkları hesaplanarak kapiler su emme değerleri belirlenmiştir. Kapiler su emme testi, TS 4045 standardına uygun olarak yapılmıştır [31].

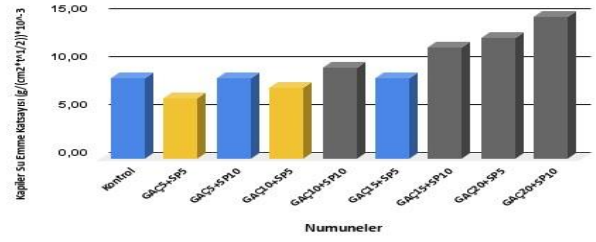


Şekil 7. Kapiler su emme deneyi (Capillary water absorption test)

28 günlük numuneler üzerinde yapılan kapiler su emme deneyi sonucunda Şekil 8 ve 9'daki grafikler elde edilmiştir. Buna göre GAÇ numunelerin geçirimsizliğini bir miktar azaltırken, SP numunelerin geçirimsizliğini arttırmıştır. GAÇ'nin %5, %10 ve %15 kullanımı geçirimsizliği azaltırken GAÇ'nin %20 kullanımı geçirimsizliğe önemli bir katkı sağladığı görülmemiştir. SP %5'ten itibaren geçirimsizliği arttırmıştır. GAÇ ve SP'nin birlikte kullanıldığı GAÇ5SP5 ve GAÇ10SP5 karışımlarda geçirimsizlik azalırken, diğer altı karışımda ise geçirimsizliği arttırmıştır. Yine de grafiklerin 10^{-3} mertebesinde çizildiği göz önünde bulundurulduğunda kapiler su emme kat sayısındaki bu artışın ihmal edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülür [31].



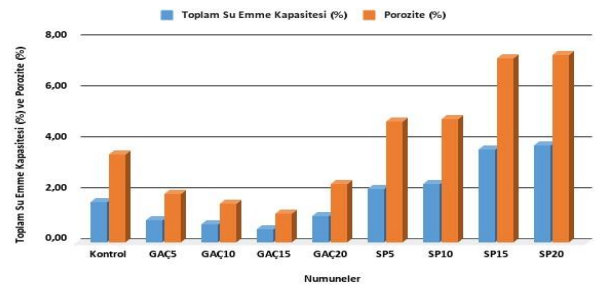
Şekil 8. Tek tip mineral katkı içeren numunelerin kapiler su emme katsayıları (Capillary water absorption coefficients of specimens containing a single type of mineral additive)



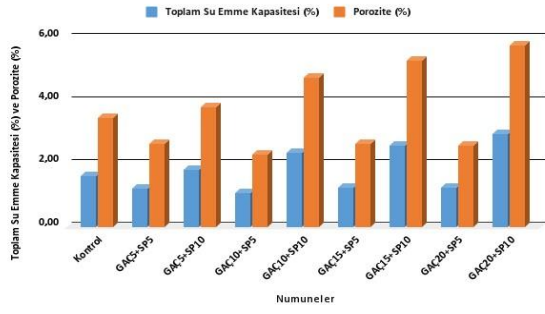
Şekil 9. İki tip mineral katkı içeren numunelerin kapiler su emme katsayıları (Capillary water absorption coefficients of specimens containing two types of mineral additives)

3.5. Toplam Su Emme ve Porozite (Total water Absorption and Porosity)

GAÇ ve SP'nin ayrı ayrı ve birlikte kullanıldığı numuneler için yapılan toplam su emme ve porozite oranı tayinlerinin sonuçları Şekil 10 ve 11'de gösterilmektedir. Şekil 10 incelendiğinde, GAÇ ikamesinin toplam su emme ve porozite oranlarının kontrol numunesine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, SP'nin artan oranlarının numunelerin boşluk oranını kontrol numunesine kıyasla belirgin bir şekilde artırdığı gözlemlenmiştir (Şekil 10 ve 11). Numunelerin boşluk oranları (porozite) yükseldikçe, toplam su emme oranları da buna bağlı olarak artış göstermiştir. Çalışmada kullanılan SP, numunelerin geçirgenliğini arttırırken, GAÇ ikamesi %20 oranına kadar numuneleri daha geçirimsiz hale getirmiştir. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir [16],[11],[30]. GAÇ ve SP birlikte kullanıldıklarında SP oranının artması toplam su emme ve porozite oranını arttırdığı ve GAÇ'nin SP %5 ile kullanılarak poroziteyi arttırmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 10 ve 11).



Şekil 10. Tek tip mineral katkı içeren numunelerin toplam su emme kapasitesi ve porozite (Total water absorption capacity and porosity of specimens containing a single type of mineral additive)



Şekil 11. İki tip mineral katkı içeren numunelerin toplam su emme kapasitesi ve porozite (Total water absorption capacity and porosity of specimens containing two types of mineral additives)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Mineral katkı olarak granit atık çamurunun kullanıldığı KYH numunelerde GAÇ %10 ve %15'te en yüksek dayanım verdiği görülmüştür. Sepiyolit in %5 ikame edilmesi dayanımı artırırken %5 in üzerinde kullanılması nihai dayanımları olumsuz yönde etkilemiştir.
- Numunelerde sepiyolit miktarının artması ile boşluk miktarı artmış ve hem daha geçirimli hem de basınç ve eğilme dayanımı düşük harç numuneleri elde edilmiştir.
- GAÇ'nin %20'ye kadar kullanılması, harçların kapiler, toplam su emme ve porozitesini azaltan bir sonuç göstermiştir.
- Kırşehir Granitaş işletmesine ait GAÇ malzemesi, harçların taze ve sertleşmiş özellikleri bakımından değerlendirildiğinde %15 'e kadar ikame oranlarında harç içerisinde mineral bir katkı olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.
- Eskişehir Akmin Mineral ve Madencilik işletmesine ait SP, düşük ikame oranlarında (%5) harç içerisinde mineral bir katkı olarak kullanılmak üzere değerlendirilebilir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Aynur İRMAK ER: Literatür taramasını, deneylerin yapımını, sonuçların analiz edilmesini ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Literature review, conducting experiments, analyzing results, and paper composition.

Salih YAZICIOĞLU: Literatür taramasını, sonuçların analiz edilmesini ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Literature review, analyzing results, and paper composition.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ozawa, K. High performance concrete based on the durability design of concrete structures. in The Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction. 1989.
- [2] Felekoğlu, B. and B. Baradan. Kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri. (2004).
- [3] Açıkgöç, M., M. Karataş, Z.Ç. Ulucan. Elazığ yöresine ait atık tuğla ve kireç taşı tozunun kendiliğinden yerleşen harcın mühendislik özelliklerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 19(6), 249-255, (2013).
- [4] TS EN 12350-9. 2011. BetonTaze Beton Deneyleri-Bölüm 9: Kendiliğinden Yerleşen Beton Çökme-V Hunisi Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [5] EFNARC, F. Specification and guidelines for self-compacting concrete. European federation of specialist construction chemicals and concrete system. (2002).
- [6] EFNARC, 2005. "European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification and

- Production and Use”, EFNARC, May 2005, Association House, UK, (www.efnarc.org), 68p, May 2005.
- [7] Mardani-Aghabaglou, A., G.I. Sezer, K. Ramyar. Comparison of fly ash, silica fume and metakaolin from mechanical properties and durability performance of mortar mixtures view point. *Construction and Building Materials*. 70 17-25, (2014).
- [8] Mohamed, O.A. and O.F. Najm. Compressive strength and stability of sustainable self-consolidating concrete containing fly ash, silica fume, and GGBS. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 11 406-411, (2017).
- [9] Li, L.G., et al. Effects of Micro-silica and Nano-silica on Fresh Properties of Mortar. *Materials science*. 23(4), 362-371, (2017).
- [10] Şahmaran, M., H.A. Christianto, İ.Ö. Yaman. The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement and concrete composites*. 28(5), 432-440, (2006).
- [11] Kavas, T., E. Sabah, M. Çelik. Structural properties of sepiolite-reinforced cement composite. *Cement and Concrete Research*. 34(11), 2135-2139, (2004).
- [12] Gomes, M.L.P., et al. Mechanical and physical investigation of an artificial stone produced with granite residue and epoxy resin. *Journal of Composite Materials*. 55(9), 1247-1254, (2021).
- [13] Menezes, R.R., et al. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of the European Ceramic Society*. 25(7), 1149-1158, (2005).
- [14] Uysal, M. The Use of Waste Maroon Marble Powder and Iron Oxide Pigment in the Production of Coloured Self-Compacting Concrete. *Advances in Civil Engineering*. 2018(1), 8093576, (2018).
- [15] Sharma, P. and T. Singh. A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 67 17-22, (2008).
- [16] Samad, H.A. and R. Abd Rashid. Influence of dolomite and granite waste content on the properties of artificial marble. in *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*. 2020. IOP Publishing.
- [17] Barani, K. and H. Esmaili. Production of artificial stone slabs using waste granite and marble stone sludge samples. (2016).
- [18] Boz, A.K., *Granit arenasının beton içerisinde filler malzeme olarak kullanılması ve performans analizi*. 2019, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] Domone, P. and J. JIN. Properties of mortar for self-compacting concrete. in *Self-compacting concrete (Stockholm, 13-14 September 1999)*. 1999.
- [20] Lozano-Lunar, A., et al. Performance of self-compacting mortars with granite sludge as aggregate. *Construction and Building Materials*. 251 118998, (2020).
- [21] Vijayalakshmi, M. and A. Sekar. Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste. *Construction and Building Materials*. 46 1-7, (2013).
- [22] Mármol, I., et al. Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. *Cement and Concrete Composites*. 32(8), 617-622, (2010).
- [23] Allam, M., E. Bakhoun, G. Garas. Re-use of granite sludge in producing green concrete. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 9(12), 2731-2737, (2014).
- [24] Jain, A., R. Gupta, S. Chaudhary. Sustainable development of self-compacting concrete by using granite waste and fly ash. *Construction and Building Materials*. 262 120516, (2020).
- [25] Chen, Z., J.S. Li, C.S. Poon. Combined use of sewage sludge ash and recycled glass cullet

for the production of concrete blocks. Journal of Cleaner Production. 171 1447-1459, (2018).

- [26] Khotbehsara, M., et al., *Durability Characteristics of Self-Compacting Concrete Incorporating Pumice and Metakaolin (Retraction of Vol 29, art no 04017218, 2017)*. 2021, ASCE-AMER SOC CIVIL ENGINEERS 1801 ALEXANDER BELL DR, RESTON, VA 20191-4400 USA.
- [27] ASTM C348, (2002) “Standard test method for flexural strength of hydraulic cement mortars”, Annual book of ASTM standards, USA.
- [28] Ghannam, S., H. Najm, R. Vasconez. Experimental study of concrete made with granite and iron powders as partial replacement of sand. Sustainable Materials and Technologies. 9 1-9, (2016).
- [29] Singh, S., et al. Experimental investigation of sustainable concrete made with granite industry by-product. Journal of Materials in Civil Engineering. 29(6), 04017017, (2017).
- [30] Angeline Jemina, J., et al. Durability Studies on Self-Compacting Concrete Containing Sepiolite Powder and Recycled Coarse Aggregates. in International Conference on Interdisciplinary Approaches in Civil Engineering for Sustainable Development. 2023. Springer.
- [31] TS 4045, 1984, Yapı malzemelerinde kapiler su emme tayini, TSE, Ankara