



Barit Tozu Modifiyeli Kendiliğinden Yerleşen Harçların Mekanik Özellikleri

Selim CEMALGİL*

Munzur Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli

scemalgil@munzur.edu.tr ORCID: 0000-0001-6475-3632, Tel: (428) 213 17 94 (2434)

Geliş: 10.07.2019, Revizyon: 03.10.2019, Kabul Tarihi: 27.01.2020

Öz

Bu çalışmada, barit tozu ile üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Harçların (KYH), kendinden yerleşebilme ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Barit tozu, mineral katkı maddesi olarak ağırlıkça beyaz çimento ile ikame edilmiştir. Toplam çimento ağırlığının %5'i, %10'u, %20'si ve %30'u oranında barit tozundan oluşan karışım ile kontrol karışımı içeren toplamda beş seri KYH tasarımı yapılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0.49 oranında sabit tutulmuş olup, karışımdaki beyaz çimento oranı barit tozunun ikame oranına göre 350kg/cm^3 ile 500kg/cm^3 arasında değişiklik göstermiştir. Karışımların KYH standartlarına ve reolojik özelliklere uygunluğunu değerlendirmek için taze harç üzerinde mini V-hunisi, akış zamanı ve mini çökme/yayılma testleri yapılmıştır. Test gününe kadar 7, 28 ve 56 gün boyunca kür havuzunda bekletilen sertleşmiş numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımlarının belirlenmesi için toplam 45 adet $40\times 40\times 160$ mm numune üretilmiş ve teste tabi tutulmuştur. Kendinden yerleşebilme özellikleri ikame oranı artışıyla her ne kadar düşmüşse bile, EFNARC standardının belirlediği sınırlar arasında kalmıştır. En iyi dayanım sonuçları, kontrol numunelerine kıyasla %10 oranında barit tozu ile beyaz çimentonun ikame edildiği numunelerden elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendinden yerleşen harç; beyaz çimento, barit tozu, mekanik özellikler;

* Yazışmaların yapılacağı yazar:

Giriş

Doğal ve yapay malzemelerin beton ve harçlarda kullanımı birçok araştırmacı tarafından araştırılmış ve mermerden, bazalta, camdan, katı atıklara kadar birçok doğal, yapay veya atık malzeme farklı özellikleri açısından bilimsel araştırmalara konu olmuştur (Cemalgil ve Onat 2016). Beton ve türevlerinin sektör açısından gelişimini sağlamak için yapılan çalışmalar genellikle rezerv ve bulunabilirlik açısından değerlendirilerek en uygun malzeme üzerinden yapılmaktadır. Beton ve türevleri malzemeleri geliştirmek için rezerv açısından bol malzemelerden biri de Barittir (Gönen ve diğ. 2012). Barit, baryum elementinin en yaygın minerali olan baryum sülfattır ($BaSO_4$). Barit, metalik olmayan minerallerin en ağır olanıdır. Baritin yüksek bir yoğunluğa (4.45gr/cm^3), düşük aşınma özelliğine (Moh's 3-3.5), yüksek sıcaklık ve basınç altında kimyasal dayanıma, su ve asitlerde düşük çözünürlüğe, manyetik özelliklerin eksikliği ve makul maliyetlere sahip olduğu belirtilmektedir. Dünyadaki barit üretiminin %85-90'ı petrol sondajında, sondaj çamuru ağırlığı üretiminde, artık baryum kimyasallarının üretiminde ve dolgu maddelerinde kullanılmaktadır. Barit; boya, kâğıt, plastik, kauçuk, cam, seramik ve sürtünme malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Hem maliyet düşürücü hem de endüstride fonksiyonel dolgu maddesi olarak kullanılır. Türkiye'de çok sayıda barit cevheri yatağı bulunmaktadır ve önemli rezervlere sahip cevher yatakları 9 bölgede toplanmaktadır. Bu bölgeler sırasıyla Alanya-Gazipaşa bölgesi, Konya Isparta bölgesi, Çanakkale Gökçeada, Kocaeli, Osmaniye-Kahramanmaraş, Giresun, Muş, Eskişehir. Barit yatakları Şekil 1'de görülebilir.



Şekil 1. Barit yataklarının Türkiye geneli dağılımı (https1)

En fazla Barit yatağının olduğu Alanya-Gazipaşa bölgesindeki cevher yatakları mercek ve balon şeklinde dolomitik kalkerlerde yoğunlaşmıştır. Paleozoik yaşlı mineralleşmenin boyutları çok çeşitlidir. Gangue mineralleri kuvars, demir, bakır ve kurşun minerallerini içerir. Bu bölgedeki hidrotermal yataklardaki $BaSO_4$ miktarı %85-98 arasında değişmektedir. Konya-Isparta bölgesindeki barit yatakları, düşük dereceli metamorfizme maruz kalmış, Devoniyen kristal kireçtaşları arasında oluşur. Yataklar bayrak biçimindedir ve bazı yerlerde barit blokları içerir. Özellikle Paleozoik metamorfik seri uzantıları boyunca barit mineralleşmesi gözlenir. $BaSO_4$ miktarı bu cevher yataklarında %62-%99 arasında değişmekte ve SrO içeriği %0.5-%3.0 arasında değişmektedir. Cevher yataklarındaki $BaSO_4$ miktarı %90-%99'dur. Cevher yatağındaki $BaSO_4$ miktarı %72-99 arasında değişmektedir. Bu yataklar dışında Giresun, Kocaeli ve Kütahya illerinde önemli sayılabilecek barit oluşumları vardır (https1). Doğada bulunan Barit Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Doğada bulunan Barit (https1)

Türkiye'deki Barit rezervlerinin önemli miktarda olmasıyla birlikte, inşaat sektöründe Barit kullanımı ile ilgili çok az çalışma vardır. Bu kapsamda Topcu (2003), ağır betonda Barit kullanımını araştırmıştır. Optimum su/çimento oranı ve çimento dozu Topcu (2003) tarafından araştırılmış ve Barite ile üretilen ağır betonun optimum su/çimento oranının 0.4 olduğunu ve bu tip beton için en uygun dozajın 350 kg/m^3 olduğu belirtilmiştir. Kılınçarslan ve diğ. (2006), Baritin betonda kullanımı ile ilgili deneysel bir çalışma yapmış ve betonda Barit kullanımının, betonun sertleşmiş özellikleri üzerinde önemli bir katkısı

olmadığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, her üç karışım tasarımında da optimum su/çimento oranı 0.43 olarak belirlenmiştir. Barit ile ilgili Revuelta ve diğ. (2009), Saidani ve diğ. (2015) ile Jankovic ve diğ. (2016) yapmış olduğu çalışmalarda ise Revuelta ve diğ. (2009) Bariti agrega olarak betonda kullandıktan sonra akışkanlık özelliklerine bakmışlardır. Her ne kadar ağır malzeme kaynaklı bir standardı yakalayamama olsa da genel olarak Barit katkılı kendinden yerleşen betonun gerçek şartları sağladığı rapor edilmiştir. Saidani ve diğ. (2015), betonda agrega olarak Barit kullanımını araştırmıştır. Betonda Barit kullanımının, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi birçok parametre üzerinde azaltıcı etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Genel olarak betonda Barit kullanımı, 28 günlük basınç dayanımı %10 civarında ve bir yıl sonundaki elastik modülünü % 20 civarında azalttığı belirlenmiştir. Jankovic ve diğ. (2016), agrega olarak kullanılan Barite ile ultra yüksek performanslı beton üretmiştir. Çalışmalarında, barit tozu ile üretilmiş KYH mekanik özellikleri ve dayanımları incelenmiştir. Barit tozu, mineral katkı maddesi olarak ağırlıkça beyaz çimento ile ikame edilmiştir. Cemalgi ve diğ. (2018) çalışmalarında ince agrega yerine ikame edilmiş kauçuk ile üretilmiş KYH özelliklerini incelemiştir. Ayrıca farklı kür sürelerinin KYH özelliklerine etkisini incelemiştir. Kauçukların harcın tokluğunu arttırmakla birlikte KYH özelliklerini ciddi oranda değiştirdiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada ise, toplam çimento ağırlığının %5'i, %10'u, %20'si ve %30'u oranında barit tozuyla ikame edilmiş dört farklı karışım oranı ile bir adet kontrol karışımını kapsayan toplam beş KYH serisi hazırlanmıştır. Basınç ve eğilme dayanımlarının belirlenmesi için toplam 45 adet 40x40x160 mm numune üretilmiştir. Test gününe kadar 7, 28 ve 56 gün boyunca numuneler kür havuzunda bekletildikten sonra sertleşmiş testler yapılmıştır. Karışımların KYH standartlarına ve reolojik özelliklere uygunluğunu değerlendirmek için mini V-hunisi, akış süresi ve mini çökme testleri yapılmıştır.

Deneysel Çalışma

Malzeme ve Karışım Oranları

Karışımında Portland Çimentosu (CEM-I 42.5R) kullanılmıştır. Karışım tasarımı doğal kırma agrega ve özellikleri gözetilerek yapılmıştır. Kullanılan kırma agreganın nem muhtevası ve emme kapasitesi sırasıyla % 0.38 ve % 2.42'dir. Barit tozu ve doğal kum Şekil-3'te gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 3. Karışımında kullanılan a) Barit tozu, b) Kırma taş

Kullanılan Barit tozu, çimento, kırma taş kumu ve katkı maddelerinin özgül ağırlıkları sırasıyla 4.2 kg/cm³, 3.06 kg/cm³, 2.67 kg/cm³ ve 1.04 kg/cm³'tür. Barit ile KYH üretmek için beş çeşit karışım tasarımı hazırlanmıştır. Karışım tasarımı Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Barit tozu katkı KYH karışım tablosu

Sıra	Karışım Kodu	Su/bağlayıcı	Çimento Ağırlığı (kg)	Su (kg)	Katkı (kg)	Aggrega (kg)	Barit Tozu (kg)	Barit Tozu İkame Oranı (%)
1	BRT0BC	0.49	500	245	9.5	1527.2	0	0
2	BRT5BC	0.49	475	245	9.25	1550.9	25	5
3	BRT10BC	0.49	450	245	9.25	1572.8	50	10
4	BRT20BC	0.49	400	245	8.5	1618.3	100	20
5	BRT30BC	0.49	350	245	8	1663.2	150	30

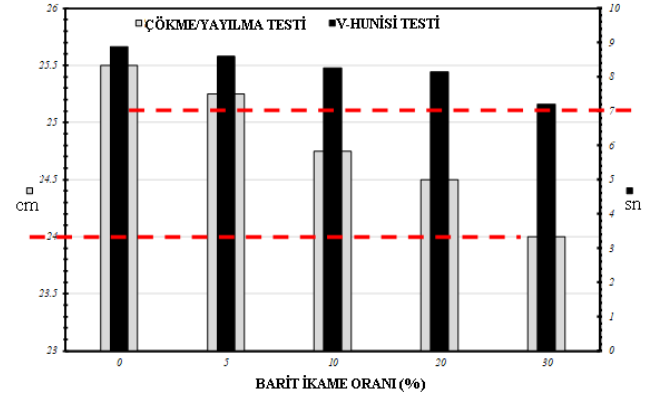
Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde taze ve sertleştirilmiş KYH özellikleri sunulmuştur. Bu iki test prosedürü ayrı alt bölümlerde açıklanmıştır. Taze harç özelliği testleri Çökme/Yayımla testi ve V-Hunisi testlerinden oluşmaktadır. Ayrıca, yapılan sertleşmiş harç özellikleri testleri, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı testi olarak ayrı bir alt bölüm olarak açıklanmıştır.

Taze Harç Özellikleri Testleri

Taze harç üzerinde yapılan testler EFNARC (2004) standardı baz alınarak yapılmıştır. Önce, taze harç numuneleri için tasarlanan beş farklı karışım üzerinde çökme akış testi yapıldı. Çökme /Yayımla testi sonuçlarına göre, her bir karışım setinden ölçülen tüm değerlerin EFNARC (2004) ile uyumlu olduğu ve standartta verilen değerler arasında olduğu belirlenmiştir. EFNARC sınırları, Çökme /Yayımla testi için 24 ile 26 cm arasındadır. Ayrıca, asgari ve azami V-hunisi süresi 7 s ve 11 s olarak belirtilmiştir. Taze harç özelliklerine ait deney sonuçları Şekil 4'de

gösterilmiştir.



Şekil 4. Taze harç özellikleri test sonuçları

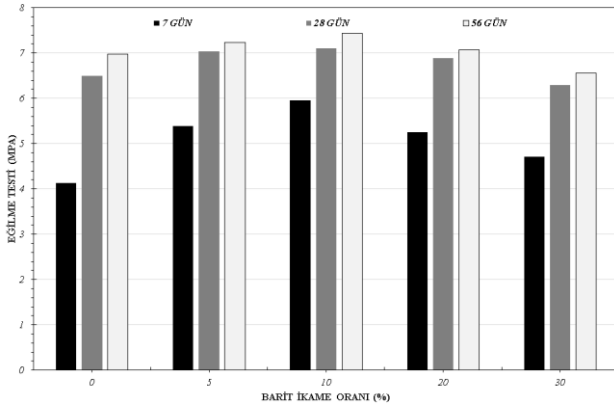
Şekil 4'ten de görüldüğü gibi minimum V-hunisi test sonucu %30 Barit ikameli karışımında elde edilmiştir. Barit oranı arttıkça V-hunisi test sonuçları EFNARC (2004)'ın belirlediği alt sınıra doğru yaklaşmıştır. V-hunisi test sonuçları kontrol karışımından itibaren azami Barit ikame oranına doğru sırasıyla 8.9sn, 8.6sn, 8.25sn, 8.15sn ve 7.2sn olarak ölçülmüştür. Ölçülen tüm değerlerin standartta belirlenen değerler arasında olduğu görülmüştür. Çökme/Yayımla test sonuçları ise kontrol karışımından azami ikameli Barit oranına doğru 26 cm, 25.5 cm, 25 cm, 24.5 cm ve 23 cm olarak ölçülmüştür. Standartta belirlenen asgari ve azami değerler ise 24 cm ile 26 cm arasında olduğu göz önüne alınırsa, referans değerler arasında olduğu görülmektedir.

Sertleşmiş Harç Özellikleri

Üç farklı test yaş durumuna göre numuneler üzerinde sertleşmiş harç testleri yapılmıştır. Numuneler hangi yaşta teste tabi tutulmuşlarsa, o yaşa kadar kür havuzlarında küre tabi tutulmuşlardır. Test yaşları 7 gün, 28 gün ve 56 gündür. Testler yapılırken önce 40mmx40mmx160mm ebatlarında numune üzerinde, ASTM C-348 (2008) standardına göre eğilme dayanımı testi yapılmıştır. Daha sonra, eğilme testinden elde edilen kırılmış olan iki parçadan biri üzerinde ASTM C-349 (2008) 'e göre basınç testi uygulanmıştır. Test uygulama prosedürü Şekil 5'te, test sonuçlarına ait grafikler ise Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Sertleşmiş harç deneyi: Eğilme testi

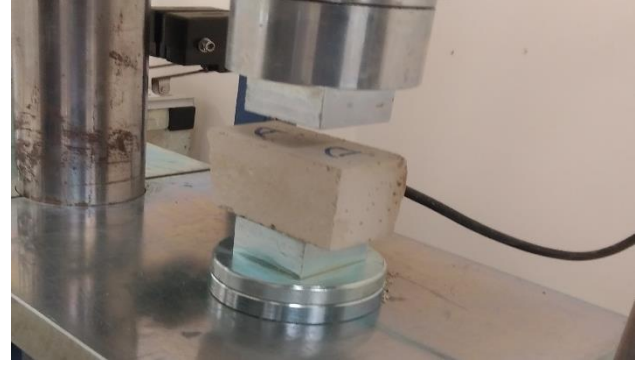


Şekil 6. Eğilme testi sonuçları

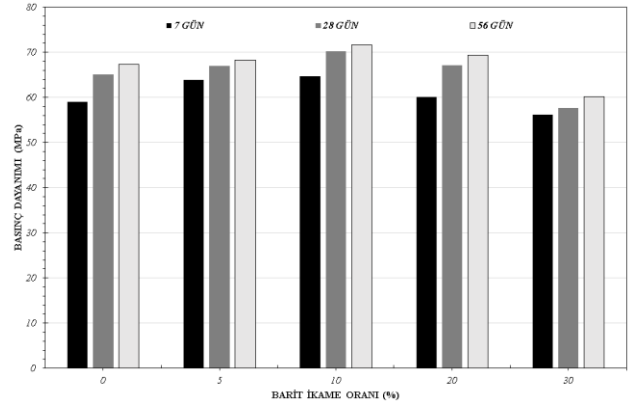
Eğilme test sonuçlarına göre 7 günlük değerler, kontrol harcı 4.13 MPa iken %10 beyaz çimento ikameli Barit karışımına ait eğilme deney sonucu 5.95 MPa'a kadar çıkmış ve daha sonra %30 beyaz çimento ikameli Barit oranında ise 4.71 MPa değerine düşmüştür. 28 günlük eğilme deney sonuçlarına göre ise kontrol karışımı değeri 6.5 MPa değerine ulaşmıştır. %10 ikameli Barit karışımında eğilme deney sonucu 7.11 MPa değerine ulaşmış ve daha sonra %30 ikameli Barit karışımında ise 6.3 MPa değerine düşmüştür. 56 günlük test sonuçlarına göre ise kontrol karışımının eğilme deneyi sonucu 6.97 MPa iken, eğilme deneyi sonucu %10 ikameli Barit karışımında 7.44 MPa değerine çıkmış ve daha sonra %30 Barit ikameli test sonucunda ise 6.56 MPa değerine düşmüştür. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere Barit ikamesi arttıkça erken yaşlarda her ne kadar eğilme deney sonuçları kontrol numunesinin sonuçlarının üzerinde ise de geç yaşlarda yani 28 günlük ve 56 günlük numunelerin deney sonuçlarında ise, kontrol

karışımı numunelerinin altında bir değere düşmüştür.

Eğilme deneyinin numuneleri üzerinde daha sonra basınç deneyleri yapılmıştır. Bu deneyin uygulama anından bir görüntü Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Sertleşmiş harç deneyi: Basınç testi



Şekil 8. Basınç testi sonuçları

Şekil 8'deki basınç testlerinden elde edilen sonuçlara göre 7 günlük kontrol karışımına ait numunelerin test sonucu ortalaması 59 MPa, %10 Barit ikameli basınç test sonucu 64.65 MPa olarak elde edilmiş. Bu değer beş karışım arasında en yükseği olmak üzere azami değerdir. %30 Barit ikameli karışıma ait deney sonucunda elde edilen değer ise daha düşük olarak 56.14 MPa bulunmuştur. 28 günlük test sonuçları kontrol karışımına ait numunelerin ortalaması 65.07 MPa olarak elde edilmiş, %30 Barit ikameli karışımın basınç dayanım ortalaması 70.21 MPa olarak maksimum bir değere ulaştıktan sonra %30 Barit ikameli numunelerin basınç dayanım ortalaması 57.65 MPa değerine düşmüştür. Elde edilen basınç dayanım değerleri değerlendirildiğinde Barit ikamesi arttıkça %10

ikame oranına kadar, değerlerde bir artış gözlenirken, ikame oranının artmaya devam etmesi durumunda değerler düşmüş ve %30 ikame oranına ait basınç değerleri kontrol numunesine ait değerlerin bile altına düştüğü görülmüştür.

Sonuçlar ve Tartışma

Bu deneysel çalışmada amaç, barit tozu modifiyeli KYH'ların kendinden yerleşen harç özelliklerini ve mekanik özelliklerini araştırmaktır. Barit tozu, mineral katkı maddesi olarak ağırlıkça beyaz çimento ile ikame edilmiştir. Kontrol karışımı ile birlikte, toplam çimento ağırlığının %5'i, % 10'u, % 20'si ve % 30'u oranlarında barit tozundan oluşan beş seri KYH olarak hazırlanmıştır. Test gününe kadar 7, 28 ve 56 gün boyunca kür havuzlarında tutulan numuneler üzerinde kendinden yerleşen, basınç ve eğilme dayanımlarının belirlenmesi için toplam 45 adet 40x40x160 mm numune üretilmiş ve teste tabi tutulmuştur. Üretilen KYH'nin taze hal özellikleri değerlendirildiğinde, Barit ikame oranının artması ile orantılı olarak doğrusal bir azalma oluşmuştur. Bununla birlikte, elde edilen asgari değerlerin bile EFNARC gereksinimini karşıladığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, çimento ile %10 oranında Barit tozu ikamesi, KYH'nin eğilme mukavemetini ve basınç dayanımını arttırdığı belirlenmiştir. Ortalama %10 ikame miktarı, Barit tozu ile üretilmiş KYH'nin sertleştirilmiş hal özelliklerini geliştirmek için en uygun değer olduğu bu çalışma ile belirlenmiştir. Barit tozunun KYH özelliklerini geliştirdiği bu çalışma ile belirlenmiş olup, Barit tozunun bağlayıcı madde olarak KYH'ta, ağırlıkça %10 oranından fazla miktarda kullanımı önerilmemektedir.

Kaynaklar

- ASTM C-348, (2008) American Standard of Testing Material, Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars.
- ASTM C-349, (2008) American Standard of Testing Material, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure).
- Cemalgil, S., Onat, O. (2016). Compressive strength and abrasion resistance of concrete with waste marble and demolition aggregate. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 2(1).
- Cemalgil, S., Etili, S., Onat, O. (2018). Curing effect on mortar properties produced with styrene-butadiene rubber. *Computers and Concrete*, 21(6), 705-715.
- EFNARC, (2004) The European guidelines for self-compacting concrete specification, production and use. The European Federation of specialist construction chemicals and concrete systems.
- Gönen, T., Onat, O., Cemalgil, S., Yılmaz, B., Altuncu, Y. T. (2012). A review on new waste materials for concrete technology. *Electronic Journal of Construction Technologies*, 8(1), 36-43.
- <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/barit>
- Janković, K., Stanković, S., Bojović, D., Stojanović, M., Antić, L. (2016) The influence of nano-silica and barite aggregate on properties of ultra-high-performance concrete. *Construction and Building Materials*, 126, 147-156.
- Kilincarslan, S., Akkurt, I., Basyigit, C. (2006) The effect of barite rate on some physical and mechanical properties of concrete. *Materials Science and Engineering: A*, 424(1-2), 83-86.
- Revuelta, D., Barona, A., Navarro, D. (2009). Measurement of properties and of the resistance to segregation in heavyweight, self-compacting barite concrete. *Materiales de construcción*, 59(295), 31-44.
- Saidani, K., Ajam, L., Ouezdou, M. B. (2015) Barite powder as sand substitution in concrete: Effect on some mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 95, 287-295.

Mechanical Properties of Self-Compacting Mortars Modified with Barite Powder

Extended abstract

The aim of this experimental study is to investigate the fresh state and hardened state properties of the self-compacting mortars (SCM) produced with barite powder. Barite is barium sulphate ($BaSO_4$), the most common mineral of the element barium. Barite is the heaviest of non-metallic minerals. Barite has a high density (4.45 gr / cm^3), low abrasiveness (Moh's 3-3.5), chemical stability under high temperature and pressure, low solubility in water and acids, lack of magnetic properties and reasonable costs. 85-90% of the world barite production is used in oil drilling, in the production of drilling mud weight, in the production of residual barium chemicals and in fillers. Barite paint, paper, plastic, rubber, glass, ceramics, and friction materials are used both as cost reducers and as functional fillers in the industry. Barite powder is replaced by weight with white cement as a mineral additive. Ordinary Portland cement (CEM I 42.5R) was used in Barite used mortar. Natural crushed aggregate was used in mix design. Moisture content and absorption capacity of used crushed aggregate are 0.38% and 2.42%, respectively. Specific gravities of used Barite dust, cement, crushed sand and additives are 4.2 kg/cm^3 , 3.06 kg/cm^3 , 2.67 kg/cm^3 and 1.04 kg/cm^3 . In this study, five series of SCM including control mixture was produced. Replacement level of Barite powder were determined 5%, 10%, 20% and 30% by total cement weight. A total of 45 specimens in dimensions of $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ were produced to determine the compressive and flexural strengths cured for 7, 28 and 56 days until the testing day. Mini V-funnel flow and mini-slump flow diameter tests were conducted to assess the conformity of the mixtures to the standards and rheological properties on the base of EFNARC. Minimum flexural strength test result was measured 4.13 MPa from control mix (BRT0WPC). In addition, maximum flexural strength test was 5.95 MPa measured from BRT10WPC at 7 days age. Minimum and maximum flexural strength values measured at 28 days age were 6.3 MPa BRT30WPC and 7.11 MPa BRT10WPC. 6.56 MPa and 7.44 MPa test results were obtained from BRT30WPC and BRT10WPC, respectively at 56 days age. Compressive strength test results were measured between 56.14 MPa and 64.66 MPa at 7 days age. Minimum and maximum values measured from set id BRT30WPC and set id

BRT10WPC. Minimum compressive strength test result was measured 57.65 MPa from set id BRT30WPC and maximum compressive strength test result was measured 70.21 MPa from set id BRT10WPC at 28 days age. Minimum and maximum compressive strength test results were obtained 60.2 MPa from set id BRT30WPC and 71.72 MPa from set id BRT10WPC. The maximum strength results were obtained from 10% barite dust replacement level compared to control samples. It is observed that fresh properties of SCM started to decrease with increasing of Barite replacement level. However, obtained minimum level of fresh state properties were above minimum requirement of EFNARC standard. All replacement level of Barite has not affected negatively the self-compacting properties. Maximum flexural strength test result was obtained from 10% replacement level of Barite at all ages. Replacing 30% Barite has not decreased flexural strength test result lower than control mix at 7 days age. However, replacing 30% Barite with binder decreased flexural strength lower than control mix at 28 days and 56 days age. Maximum compressive strength test result was obtained at 10% replacement level of Barite with binder. Increasing replacement level Barite with white cement resulted in lower compressive strength result than control mix. Consequently, 10% replacement level of Barite was developed hardened state properties of SCM.

Keywords: Self-compacting mortar, Barite powder, Fresh state properties, Hardened state properties