

Araştırma Makalesi - Research Article

Kütahya Bölgesi Kırmızı Topraklarından Hızlı Sinterleme Yöntemi İle Hafif Agregata Üretilmesi

Light Weight Aggregate Production of Kütahya Region Red Soils by Rapid Sintering Method

Mehmet Uğur Toprak^{1*}, Canan Mercan²

Geliş / Received: 20/12/2020

Revize / Revised: 19/02/2021

Kabul / Accepted: 20/02/2021

ÖZ

Bu çalışmada Çöğürler/Kütahya'dan alınan kırmızı toprak; i) gözenek oluşturmak amacıyla evsel atık arıtma çamuru, ii) sinterleme özelliklerini iyileştirmek için sodyum karbonat ve uçucu kül eklenerek hızlı sinterleme yöntemi ile hafif agregata üretilmiştir. Küçük silindirler şeklinde üretilen hafif agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerine; kırmızı toprağın ağırlıkça %'si olarak uçucu kül miktarı (%12 ve %17), presleme kuvveti (1, 3 ve 5 kN) ve sinterleme sıcaklığının (1050 ve 1100°C) etkisi araştırılmıştır. Uçucu kül miktarı arttıkça basınç dayanımında artış gözlemlenmiştir. En yüksek hafif agregata özgül dayanımı (14,80 MPa / 0,98 ton/m³ = 15,10 kN.m/kg) dikkate alınarak en uygun üretim %17 oranında uçucu kül kullanımı, 1 kN ile presleme ve 1050°C'de hızlı sinterleme ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Kırmızı Toprak, Uçucu Kül, Hızlı Sinterleme, Hafif Agregata, Basınç Dayanımı*

ABSTRACT

Light weight aggregate was produced by rapid sintering of red soil with some admixtures; i) sewage sludge for void formation, ii) sodium carbonate and fly ash for better sintering. Little cylinders were prepared with red soil to investigate the effect of a number of variables, including the fly ash ratio by weight of red soil (12% and 17%), pressing force (1, 3 and 5 KN), and rapid sintering temperature (1050 and 1100°C) on the physical and mechanical properties of light weight aggregate. Compressive strength increased with the increase in fly ash ratio. Considering the highest light weight aggregate specific strength (14,80 MPa / 0,98 ton/m³ = 15,10 kN.m/kg) the optimum production obtained with 17 % of fly ash, pressing with 1 kN and sintering at 1050°C.

Keywords- *Red Soil, Fly Ash, Rapid Sintering, Light Weight Aggregate, Compressive Strength*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: mugur.toprak@dpu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5483-2871>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

²İletişim: cnanmercan@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8366-3576>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

I. GİRİŞ

Beton taşıdığı yüke oranla ağır bir taşıyıcı malzemedir. Yapısal hafif betonun, yapı ölü yüklerini ve dolayısıyla deprem etkilerini azaltması, daha yüksek yangın direnci, ısı ve ses yalıtımı, işçilik ve zamandan tasarruf sağlaması nedenleriyle, özellikle çok katlı ve büyük açıklıklı yapılarda kullanımı önem kazanmaktadır [1,2]. Akdeniz bölgesi kırmızı toprakları (Terra Rossalar) temelini oluşturan dirençsiz kalker kayalarının yüksek iç drenaj ve nötr pH koşulları sunan akdeniz ikliminde aşınması sonucu oluşurlar [3]. Akdeniz bölgesi kırmızı toprakları hematit vb. demir oksitler, kaolin, mika, vermükülit, quartz ve az miktarda feldispatlardan oluşmaktadır [4]. Quartz sinterlenen cisimlerin deformasyon ve büzülmesini dengelerken, sodyumca zengin feldispatlar sinterlenen cismin sağlamlaşmasını sağlayan ve porozitesini belirleyen yarı sıvı fazı oluştururlar [5-7].

Avrupa'da aktüel deniz dibi killeri ile acı su killeri, rüzgar erozyonuna bağlı Lös killeri, Jura killeri, Devonien yaşlı killişistler ve şifertonlar teknik bakımdan değerlendirilebilecek ölçüde genişleme özelliğine sahip hammaddeler olarak tespit edilmiştir. Bunların SiO₂ oranı %48-69, Al₂O₃ oranı %15-22, Fe₂O₃ oranı %5-10, CaO+MgO oranı %3-7, alkali oranı 3-6 ve ateş yayıtı %5-15 arasında değişmektedir [8]. Lee [9] %60 kırmızı kil, %40 kum tozu karışımına gözenek oluşturmak amacı ile kütlece %2-6 arasında değişen amorf karbon veya gazyağı ekleyerek hızlı sinterleme yöntemi ile hafif agrega üretmiştir. Üretilen hafif agregaların; agrega yüzey alanı/hacim oranı küçüldükçe (numune boyutları büyüdükçe bu oran küçülmektedir) genişleme miktarlarının önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Koçkal ve Özturan [10] 1100°C' de 1 saat pişirdikleri hafif uçucu küllü agreganın basınç dayanımını 5,1 MPa, birim hacim ağırlığını 1,51 g/cm³ ve ağırlıkça su emme oranını %18,4 olarak bulmuşlardır. T.Y. Lo ve ark. [11] sinterlenmiş yüksek karbonlu uçucu kül-kil karışımı kullanarak ürettiği hafif betonlarda sırasıyla 56 MPa, 2,9 MPa, 19,7 GPa ve 1,74 t/m³ 28 günlük basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve birim hacim ağırlık değerleri elde etmişlerdir.

Avrupa'da 2007 yılında evsel atık arıtma çamuru (EAAÇ) miktarı 10 milyon ton olarak hesaplanmıştır [12,13]. Çevre problemlerine neden olan EAAÇ hiçbir işlem yapmadan tuğla üretiminde kullanılabilir [14]. Hafif agregaların yapı malzemeleri ve betonda kullanımı; bina ağırlığını ve dolayısıyla depremde binayı etkileyecek kuvvetleri azaltmakta, ısı ve ses yalıtımını artırmaktadır. Yüksek lisans tez çalışmasından [15] elde edilen teknik bulgular kapsamında yürütülen bu çalışmada Çöğürler/Kütahya'dan alınan kırmızı topraktan (KT), boşluk oluşturmak ve sinterleme özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli katkıları eklenerek hızlı sinterleme yöntemi ile hafif agrega üretilmiştir. Üretilen hafif agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerine uçucu kül (UK) miktarı, presleme kuvvetinin ve sinterleme sıcaklığının etkisi araştırılmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

Çöğürler/Kütahya'dan alınan kırmızı toprak (KT) halkalı değirmende 2 dk öğütülmüştür. Özgül yüzey (Blaine) değeri 2700 cm²/gr ölçülmüştür. 3270 cm²/gr blaine değerindeki UK Seyitömer Termik Santrali Kütahya'dan alınmıştır. KT [15] ve UK'nın [16] kimyasal ve özellikleri Tablo 1, kullanılan malzemelerin görselleri Şekil 1'de verilmiştir. Tablo 1'den KT'nin oksit içeriğinin genişleyen killerin oksit içeriklerine yakın olduğu, CaO+MgO içeriğinin UK kullanılarak artırılabilirliği görülmektedir. Detsan Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti./Eskişehir'den temin edilen sodyum karbonat (SK) % 99 saflıktadır. Eskişehir, İstanbul, Bilecik, Bursa, Ankara gibi yakın illerin Belediye Evsel Atık Su Arıtma Tesislerinden Söğüt Toprak Madencilik Sanayi A.Ş./Bilecik tarafından temin edilen ve çalışmamızda hafif agrega üretiminde gözenek oluşturmak için kullandığımız 190805 kodlu EAAÇ % 79 su ile %21 organik maddeden oluşmaktadır.

Tablo 1. Kırmızı toprak ve uçucu külün kimyasal kompozisyonu

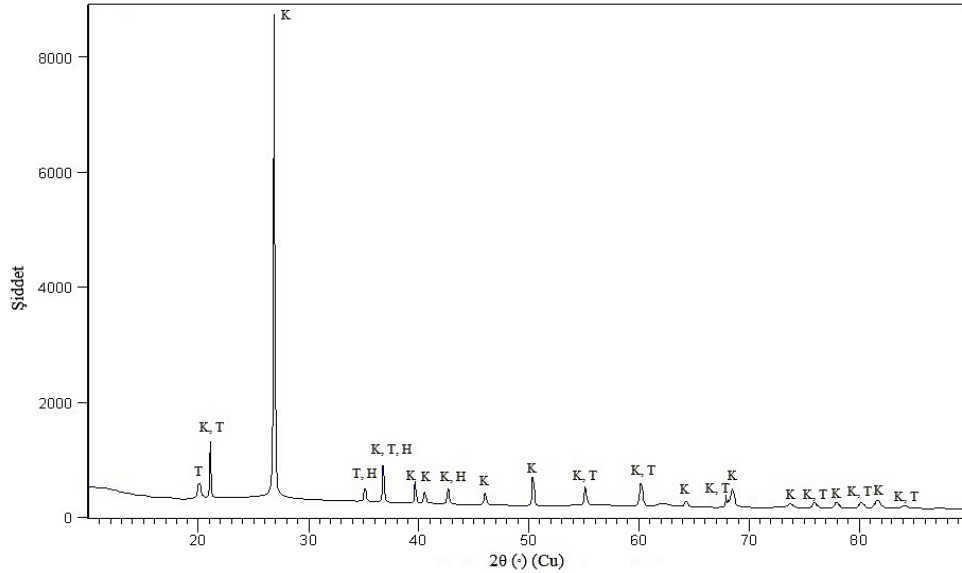
Oksit içeriği	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	Cl	SO ₃	*KK
Kütlece %												
KT	56,07	15,98	0,14	1,93	6,52	1,91	1,27	0,11	0,57	0,06	0,05	15,25
UK	54,49	20,58	0,65	2,01	9,27	4,26	4,48	-	-	0,0058	0,52	3,01

a*: Kızdırma kaybı.



Şekil 1. Kırmızı toprak, uçucu kül ve evsel atık arıtma çamuru

Şekil 2’de X-ışınları difraktogramı verilen KT’de hegzagonal formda kuvars (SiO_2), ortorombik formda tridimit (SiO_2) ve hegzagonal formda hematit (Fe_2O_3) bulunmaktadır. UK’da başta camı faz olmak üzere, kuvars, mullit, magnezyoferrit, hematit kristalleri ve minör olarak alkali feldispatlar bulunmaktadır [16].



Şekil 2. Kırmızı toprak mineralojik bileşimine ait X-ışınları difraktogramı (K: kuvars, T: tridimit, H: hematit)

KT, sinterleme özelliklerini iyileştirmek için UK ve SK, gözenek oluşturmak amacıyla EAAÇ (suda çözülerek eklenmiştir) ve su homojen bir şekilde karıştırılarak elde edilen hamur silindir kalıpta (Şekil 3) preslenerek yaklaşık 14 mm çap ve yüksekliğinde 12 seri, toplam 36 silindir numune üretilmiştir. Hızlı sinterleme aşamasında yüksek buhar basıncından dolayı çatlama, patlama vb olmaması için laboratuvar koşullarında (20 ± 2 °C, 50 ± 10 bağıl nem) 24 saat bekletilerek önkurutma uygulanan ve bu şekilde hem dayanımları bir miktar artırılan hem de su miktarları azaltılan numuneler kül fırınında (Şekil 4) 4 dakika sinterlendikten sonra havada soğutulmuştur. Üretilen hafif agregaların seri kodları, karışım oranları (KT’ın ağırlıkça %’si olarak), presleme kuvveti (PK) ve sinterleme sıcaklıkları (SS) Tablo 2’de gösterilmektedir.



Şekil 3. Halkalı değirmen, blaine cihazı, karışımların silindir kalıpta farklı kuvvetler ile preslenmesi

Tablo 2. Hafif agrega serilerinin karışım ve üretim değişkenleri

Seri kodu	*SK (%)	*EAAC (%)	*UK (%)	*SU (%)	PK (kN)	SS (°C)
UK12-1-BE					1	1050
UK12-1-BY					1	1100
UK12-3-BE	8	5	12	30	3	1050
UK12-3-BY					3	1100
UK12-5-BE					5	1050
UK12-5-BY					5	1100
UK17-1-BE					1	1050
UK17-1-BY					1	1100
UK17-3-BE	8	5	17	30	3	1050
UK17-3-BY					3	1100
UK17-5-BE					5	1050
UK17-5-BY					5	1100

* Değerler KT'nin ağırlıkça %'si olarak verilmektedir.

Üretilen hafif agregalar üzerinde hacimce genleşme (HG), TS EN 1097-6'ya [17] göre tane yoğunluğu (TY) ve ağırlıkça su emme (ASE) ve harç presinde basınç dayanımı (BD) (yükleme hızı: 0,6 MPa/sn) deneyleri yapılmıştır. Ayrıca UK12-3-BE ve UK17-3-BE serisi hafif agregaların optik mikroskop görüntüleri alınmıştır.



Şekil 4. Protherm Furnaces marka kül fırını, fırından çıkan hafif agrega, harç presi

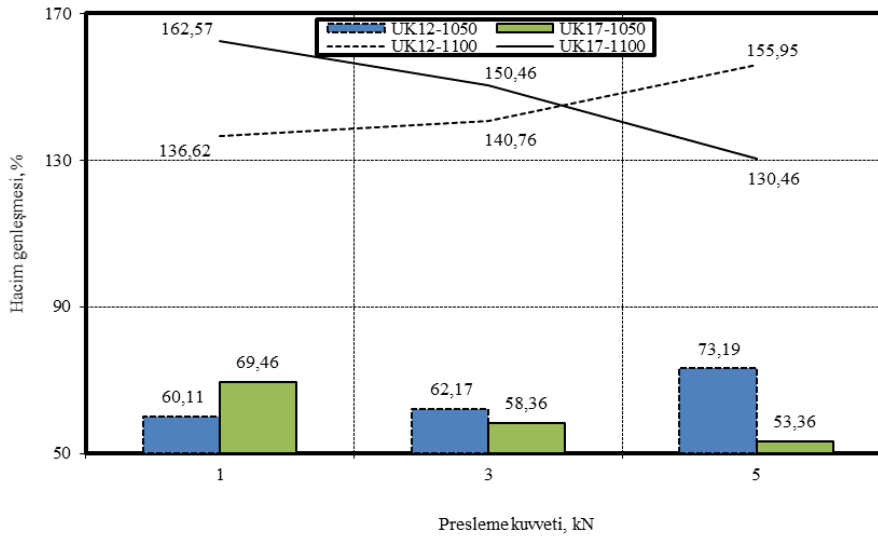
III. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Tablo 3'ten üretilen hafif agregaların ağırlıkça su emme (ASE) miktarlarının ilk 5 dakikada yaklaşık % 11'e kadar yükseldiği, 24 saatlik ASE değerlerinin %12-19 aralığında olduğu görülmektedir. Hızlı sinterleme sıcaklığı 1050 °C'den 1100° C'ye çıktığında ASE değerlerinin azalmasının, daha iyi sinterlenmeden dolayı kabuk yapısının daha boşluksuz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 3. Hafif agrega serilerinin su emme deney sonuçları

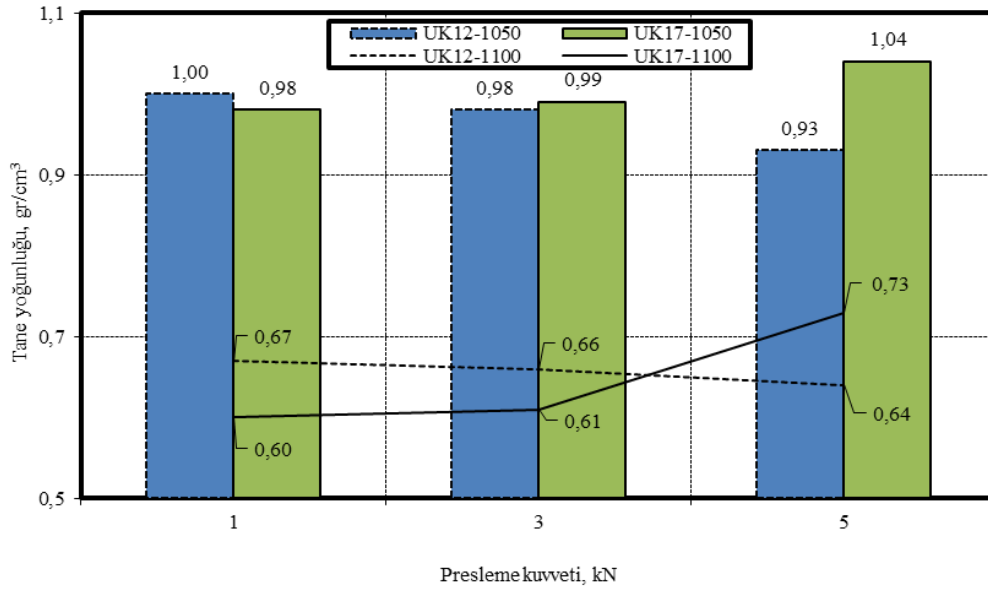
Seri kodu	PK (kN)	SS (°C)	ASE (%)				
			5 dk	10 dk	15 dk	30 dk	24 saat
UK12-1-BE	1	1050	8	9,71	10,28	11,14	15,42
UK12-1-BY	1	1100	5,35	5,91	6,76	7,88	13,52
UK12-3-BE	3	1050	10,25	11,39	12,25	14,24	19,08
UK12-3-BY	3	1100	5,71	7,14	7,42	8,85	13,86
UK12-5-BE	5	1050	7,42	8,57	9,71	11,42	16,57
UK12-5-BY	5	1100	10,63	11,78	12,35	13,21	18,96
UK17-1-BE	1	1050	9,85	11,54	11,83	12,11	17,46
UK17-1-BY	1	1100	8,52	8,8	9,65	10,79	14,48
UK17-3-BE	3	1050	9,11	10,22	11,32	11,87	16,02
UK17-3-BY	3	1100	6,01	9,56	9,83	10,38	14,35
UK17-5-BE	5	1050	8,68	8,96	9,8	10,64	15,12
UK17-5-BY	5	1100	5,29	6,34	7,14	7,93	12,16

Hacim genişmesi 1050 ve 1100°C' de sinterlenen hafif agregalarda sırasıyla % 53-73 ve % 130-163 aralığındadır (Şekil 5). Hacim genişmesi; UK12 serilerinde artan presleme kuvveti ile artarken, UK17 serilerinde azalmaktadır. UK miktarı arttıkça; düşük (1kN) presleme kuvveti için hacim genişmesi artarken, yüksek (5kN) presleme kuvveti için azalmaktadır. Bu durum UK'nın küresel şekilli olması ve KT'ye göre daha yüksek blaine değerine sahip olmasından dolayı, hammaddelerin sıkıştırılabilirliğini ve taneler arası boşluk yapısını etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



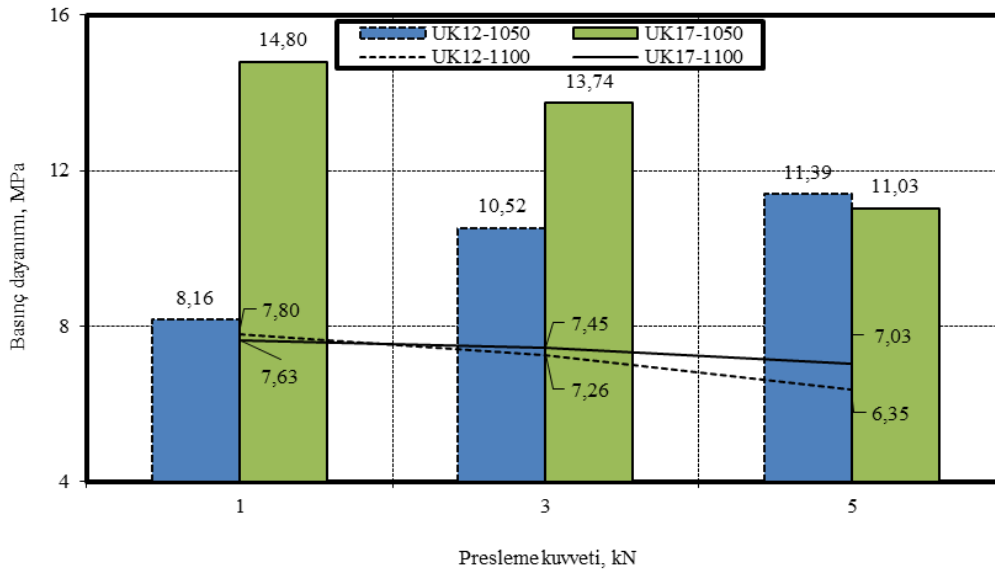
Şekil 5. Hafif agregaların hacim genişmeleri

Bütün hafif agregalar için hızlı sinterleme süresi 4 dakikadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda hafif agrega dış yüzeyindeki taneler daha hızlı birleşerek boşlukları kapatmakta ve böylece hafif agrega kabuğu daha kısa sürede oluşmaktadır. EAAÇ'nin yanmasıyla oluşan gaz dışarıya çıkamayıp henüz plastik kıvamdaki kabuğu daha uzun süre şişirerek hafif agregayı daha fazla genişletmektedir. Şekil 6'dan hacim genişlemelerinden ve yanma sonucu kütle kaybından dolayı birim hacim ağırlık değerlerinin önemli ölçüde düştüğü görülmektedir.



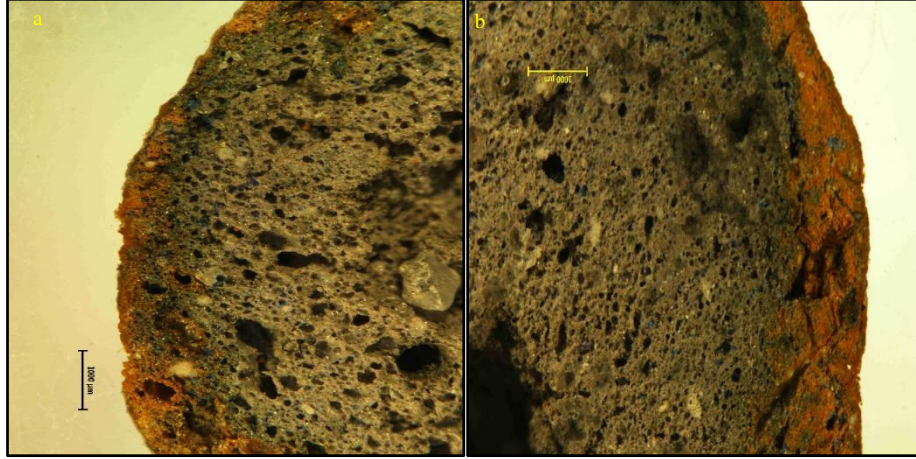
Şekil 6. Hafif agregaların tane yoğunlukları

Şekil 7'de UK12 ve UK17 serilerinde 1050°C'de pişirilen hafif agrega dayanımlarının 1100°C'de sinterlenenlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. UK17 serilerinde bu fark daha belirgindir. Sıcaklık artışı hafif agregaları dayanımı düşürmektedir. Presleme kuvvetinin artması UK12 serilerinde 1050°C'de üretilen hafif agregalarda basınç dayanımlarını artırırken 1100°C için düşürmüştür. UK17 serilerinde ise presleme kuvvetinin artması bütün sıcaklıklar için basınç dayanımlarını düşürmüştür. Sıvı faz oluşumunu destekleyerek hafif agregayı sağlamlaştırması nedeniyle uçucu kül miktarı arttığında hafif agregaların basınç dayanımlarında artış gözlemlenmektedir. Bu artış 1kN ile preslenen ve 1050°C'de üretilen hafif agregalarda çok daha belirgindir.



Şekil 7. Hafif agregaların basınç dayanımları

Şekil 8’de UK17-3-BE numunesinde UK12-3-BE numunesine göre daha kalın ve sağlam kabuk oluşumu meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca boşlukların daha küçük olduğu ve daha homojen dağıldığı gözlenmektedir. UK17-3-BE’nin basınç dayanımı yapılan gözlemlere paralel bir şekilde UK12-3-BE’den % 30 daha yüksektir.



Şekil 8. a) UK12-3-BE ve b) UK17-3-BE numunelerinin optik mikroskop görüntüleri

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ön çalışmalarda sadece kil, uçucu kül ve evsel atıkla oluşturulan numunelerde hızlı sinterlemenin başarılı olmadığı görülmüştür. Sinterlemede sıvı faz oluşumunu desteklemek amacıyla Na_2CO_3 kullanılmıştır. Hafif agregalarda 1100°C 'ye kadar hızlı sinterleme sürecinde sıvı fazda köpürme oluşmadığı gözlemlenmiştir. Hacim genişmesi 1050 ve 1100°C 'de sinterlenen agregalarda sırasıyla %53-%73 ve %130-%163 aralığındadır. Tane yoğunluğu 1050 ve 1100°C 'de sinterlenen agregalarda sırasıyla $0,93-1,04 \text{ gr/cm}^3$ ile $0,60-0,73 \text{ gr/cm}^3$ aralığındadır. Üretilen hafif agregalarda uçucu kül miktarı arttıkça basınç dayanımının arttığı, bu etkinin 1050°C 'de sinterlenen serilerde çok daha belirgin olduğu görülmüştür. En yüksek hafif agrega özgül dayanımı ($14,80 \text{ MPa} / 0,98 \text{ ton/m}^3 = 15,10 \text{ kN.m/kg}$) dikkate alınarak en uygun üretim %17 oranında uçucu kül kullanımı, 1 kN ile presleme ve 1050°C 'de hızlı sinterleme ile elde edilmiştir. Hafif agreganın genişleme miktarı, boşluk yapısı ve basınç dayanımını; sinterlenen malzemelerin mineralojik yapısı, tane boyutları, hızlı sinterleme süre ve sıcaklığı önemli oranda etkilemektedir. Bu etkilerin termal ve mineralojik analiz yöntemleri, elektron mikroskopu kullanarak daha kapsamlı araştırılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Söğüt Toprak Madencilik Sanayi A.Ş.'ye evsel atık arıtma çamuru temini ve hafif agrega üretiminde bilgi ve tecrübe paylaşımlarından dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- [1] Kalpana, M. & Tayu, A. (2020). Light weight steel fibre reinforced concrete: A review. *Materials Today: Proceedings*, 22 (3), 884-886.
- [2] Costa, H. Carmo, R. N. F. & Júlio E. (2018). Influence of normal stress and reinforcement ratio on the behavior of LWAC interfaces. *Construction and Building Materials*, 192, 317-329.
- [3] Vingiani, S. Di Iorio, E. Colombo, C. & Terribile, F. (2018). Integrated study of Red Mediterranean soils from Southern Italy. *Catena*, 168, 129-140.
- [4] Torrent, J. (2005). Mediterranean soils. In: Hillel, D. Ed., *Encyclopaedia of Soils in the Environment*, 2, Elsevier Academic Press, Oxford, 418-427.
- [5] Diella, V. Adamo, I. Pagliari, L. Pavese, A. & Francescon, F. (2015). Effects of particle size distribution and starting phase composition in Na-feldspar/kaolinite system at high temperature. *Journal of the European Ceramic Society*, 35 (4), 1327-1335.
- [6] Das, S. K. & Dana K. (2003). Differences in densification behaviour of K- and Na-feldspar-containing porcelain bodies. *Thermochim Acta*, 406, 199-206.

- [7] Alves, H. J. Melchiades, F. G. & Boschi, A. O. (2012). Effect of feldspar size on the porous microstructure and stain resistance of polished tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 32, 2095-2102.
- [8] Seyhan, İ. (2001). Genleşen Killer. DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Ponza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer) Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2617 - ÖİK: 628, 69-72.
- [9] Lee, K. G. (2016). Bloating Mechanism of Lightweight Aggregate with the Size. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 53-2, 241-245.
- [10] Koçkal, N. U. & Özturan, T. (2011). Durability of Lightweight Concretes with Lightweight Fly Ash Aggregates. *Construction and Building Materials*, 25(3), 1430-1438.
- [11] Lo, T. Y., Cui, H., Memon, S. A. & Noguchi, T. (2016). Manufacturing of sintered lightweight aggregate using high-carbon fly ash and its effect on the mechanical properties and microstructure of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112 (1), 753-762.
- [12] Mininni, G., Blanch, A.R., Lucena, F. & Berselli, S. (2015). EU policy on sewage sludge utilization and perspectives on new approaches of sludge management. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 7361-7374.
- [13] IPTS (Institute for Prospective Technological Studies). (2014) End-ofwaste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. Final report 2013, *European Commission, JRC scientific and policy reports*, ISBN 978-92-79-35062-7 (pdf), available at: <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC87124.pdf>.
- [14] Areias, I. O. R., Vieira, C. M. F., Colorado, H. A., Delaqua, G. C. G. & Azevedo, A. R. G. (2020). Could city sewage sludge be directly used into clay bricks for building construction? A comprehensive case study from Brazil. *Journal of Building Engineering*, 31, 101374.
- [15] Mercan, C. (2020). Alkaliler, Uçucu Kül ve Sinterlemenin Hafif Agregat Üretimine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [16] Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. & Yeğınobalı, A. (2009). Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği. Ar-Ge*, Y03.03, 109.
- [17] TS EN 1097-6. (2013). *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.