



## Seramik atık ilaveli hafifletilmiş beton

Click Here, Type the Title of Your Paper, Capitalize First Letter

Nazım Kunduracı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, 67980 Zonguldak, TÜRKİYE

**Başvuru/Received:** 25/05/2022

**Kabul / Accepted:** 02/06/2023

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 30/06/2023

**Son Versiyon/Final Version:** 30/06/2023

### Öz

Konutlarda ve yapılarda dayanım, ısı iletkenlik, enerjiden tasarruf için beton kullanılır. Beton kullanım alanına göre belirli özelliklere sahiptir. Yapılarda kullanılan betonun yoğunluklarının hafif olması buna bağlı olarak dayanımlarının belirli standartlarda olması ve ısı ve ses iletkenliklerinin düşük olması istenir. Köpük beton: içerisinde su, çimento ve ayrıcalıklı dolgu yapıların (uçucu kül, ponza, perlit, bims, bazalt vb.) bulunduğu karışımlardan oluşan ve bünyesinde hacimce yüksek oranlarda birbirinden ayrı hava koridorlarının olduğu gözenekli betona köpük beton denir. Gözenekli bir yapıda bulunmasından dolayı hem hafif hem de ısı iletim katsayısı düşük malzemelerdir. Köpük beton kullanım alanları; blok tuğla, duvar panel üretimi, şap üretimi, tünel ve kuyularda dolgu amaçlı hafif beton, ısı yalıtımlı hafif kiremit ve seramik üretimi vb. alanlarda kullanılır. Köpük beton literatürde portland çimento ve su karışımına köpükleştirici ilave edilerek üretimi sağlanır. Üretilen köpük beton uygulama alanına göre kalıplara dökülerek şekillendirilir ve prizlenme süresi tamamlanınca üretim tamamlanır. Bu çalışmada köpük beton reçetesine geri dönüştürülmüş seramik atık malzemeleri girilerek üretim sağlanmıştır. Seramik atıklar geri dönüşümü zor malzemelerdir. Çeşitli kırma-öğütme işlemlerine tabi tutulan atıklar 200mikron elenmiştir. Reçeteye belirli oranlarda portland çimentosu yerine seramik atık katılarak üretim sağlanmıştır. Üretilen seramik atıklı köpük beton ile çevre dostu, %10 daha ekonomik, dayanımı yüksek, ses ve ısı iletkenliği yüksek, % 10 daha hafif köpük beton geliştirilmiştir. Ürettiğimiz köpük beton; blok tuğla, duvar-panel üretiminde, şap üretiminde vb. alanlarda kullanılabilir.

### Anahtar Kelimeler

*Seramik atık, köpük beton, çevre dostu, yapı, geri dönüşüm.*

### Abstract

Concrete is used in buildings for strength, thermal conductivity and energy saving. It is desired that the density of the concrete used in the buildings be lightweight, have high strength and have good thermal and sound conductivity. Foam concrete is consisting of mixtures containing water, cement and special aggregates and having air gaps that independent each other at 75-80% of its volume. They are both low weight and have low thermal conductivity due to their porous structure. Foam concrete is using a lot of area such as production of block bricks, wall panels, production of screeds, lightweight concrete for wadding in tunnels and wells, production of thermally insulated lightweight tiles and ceramics. Foam concrete is produced by adding foaming agent to portland cement and water mixture. The foam produced is poured into molds according to the application area so the production is completed when the freezing time is completed. In this project, ceramic waste materials were adding into the foam concrete and trials were conducted. Ceramic wastes are difficult to recycle. Wastes are subjected to various grinding processes and they were reduced to below 300 microns. Experiments were made by adding ceramic waste in certain ratios to foam concrete resin instead of portland cement. As a result of this process the produced foam is environmentally friendly, 10% more economical, high strength and 10% lightweight. Our produce is appropriate for using such areas; block brick, wall-panel production, screed etc.

### Key Words

*Ceramic waste, foam concrete, environment friendly.*

## 1. GİRİŞ

Yaşam ve gelişen teknoloji için en önemli gereksinimlerden biri şüphesiz enerjidir. Enerji; kömür, petrol, hidrolik, doğalgaz, nükleer, jeotermal, rüzgar, güneş vb. kaynaklardan edinilmektedir. Dünya üzerinde birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmeye başlamasıyla, tüm ülkeler enerji ihtiyaçlarını denetleme ve enerjiyi daha etkin kullanmaya yönelik yeni yöntemler geliştirmektedirler. Bu yöntemler fosil tabanlı enerji kaynaklarına bağımlılığı azaltmaya, enerji ihtiyacını alternatif kaynaklarla sağlamaya ve enerjinin korunumuna yöneliktir. Çok büyük harcamalarla elde edilebilen enerjinin bilinçli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Ülkemizin enerji açığı da her geçen gün artmakta ve bu açığın büyümesinde alternatif enerji kaynaklarının çok verimli kullanılmaması, mevcut kaynakların tasarruflu kullanılmaması ve yapıların yalıtımına gerekli özenin gösterilmemesi de etken olmaktadır (GÜNDÜZ, 2007:1-5). Son yıllarda sanayileşme adımları, nüfus yükselmeleri ve kırsal kesimden şehirlere olan göçün neden olduğu aşırı yapılaşma, beraberinde kentlerde ısınma ihtiyacına olan talebi artırmıştır. Ülkemizde tüketilen yıllık enerjinin yaklaşık %41'i konut ve yapıların ısıtılmasında, %33'ü sanayi, %20'si ulaşım, %5'i tarım, ve %1'i diğer alanlarda kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen enerjinin yaklaşık olarak %47'sinin dış alımlarla karşılandığını göz önüne bulundurursak ve dünyada enerji fiyatlarının hızla arttığını düşünürsek enerjinin verimli bir şekilde kullanılması daha iyi anlaşılabilir. En pahalı enerjilerden birisi de ısınma enerjisidir. Bu nedenle, binaların yaşama hacimlerinde insan sağlığına uygun ısı konforu sağlayacak uygun yapı teknikleri ile enerjiden tasarruf yöntemlerinin geliştirilmesi son derece önemlidir. Konutlarda ve yapılarda ısı iletkenlik, enerjiden tasarruf için beton kullanılıyor. Beton, günümüzde birçok yapıda kullanılan en yaygın yapı malzemesidir. Betonun en yaygın yapı malzemesi olmasının nedeni diğer yapı malzemelerine göre üstünlüğünden kaynaklanmaktadır (GÜNDÜZ, 2007:1-5). Beton türevi malzemelerin binalara verdiği yükler ve binalardaki yalıtım eksikliği önemli sorunlara neden olabilmektedir. Betonun ısı iletimi, içindeki çimentonun artmasıyla yükseltilebilmekte ve düşük ısı iletkenliğine sahip agrega kullanılması ile azaltılabilmektedir. Aynı amaç için kullanılan birçok malzemeye göre gaz ve köpük betonun düşük birim yoğunluğa sahip olması yapının toplam ağırlığının düşürülmesine katkı sağlar ve böylece yapının toplam kütlesini düşürerek deprem sırasındaki riskleri azaltmaktadır. Deprem tasarım kuvvetinin global olarak azalması donatıda da azalmayı sağlar, böylece gaz ve köpük betonlar daha ekonomik çözüm elde edilir. Endüstriyel yapılarda gaz beton panellerin kullanılmasıyla sismik yükler altında yapının düğüm noktaları daha az zorlanır ve depreme karşı uygun çözüm sağlanır (TAŞDEMİR, 2002).

Bu çalışmada köpük beton bünyesine seramik atık malzemeleri katılarak dayanım arttırma, yoğunluğu düşürme, ısı yalıtımını arttırma ve ekonomik bir ürün üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla üretilen seramik atıklı hafif betonun fiziksel ve mekanik performanslarını ölçmek amacı ile basınç dayanımı, birim ağırlık tayini, su emme miktarı, ısı iletkenlik katsayısı elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

## 3. MATERYAL ve YÖNTEM

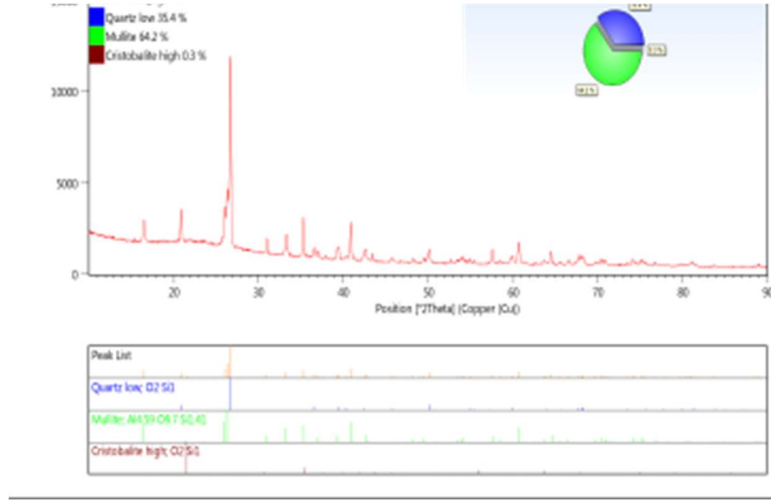
Bu çalışmada çimento, seramik kırığı, şebeke suyu, süper köpük ajanı ile 300-1400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk aralığında köpük betonların üretimi, bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Laboratuvar ortamında üretilen köpük beton numunelerinin kuru yoğunluk, basınç dayanımı, su emme testi, porozite miktarları, ve ısı iletkenlik özellikleri deneysel olarak araştırılmış, elde edilen bulgulardan kuru yoğunluğa bağlı basınç dayanımı, çekme dayanımı ve ısı iletkenlik katsayılarının tahminine yönelik bağlantılar önerilmiştir. Köpük beton numunelerinin yoğunluğu, sürfaktan+su+hava karışımından elde edilen köpük miktarı ve yoğunluğu ile kontrol edilmiştir.

### 3.1 MATERYAL

Yapılan çalışmalarda, Bartın Çimento Fabrikasında üretilen TS EN 1971:2012 standartlarına uygun çimento kullanılmıştır. (TS 197-1, 2012) Karışım suyu olarak, Zonguldak ili şebeke suyu kullanılmıştır. Analiz verileri yapılmış suyun köpük beton bünyesinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Köpük solüsyonu elde etmek için hazırlanan deneme karışımlarında köpük ajanı ile suyun kütlece %0,5 oranında karıştırılıp köpürtülmesi ile elde edilir. Köpük ajan, organik yapıda olup, siyah renkte ve 1,05kg/lt yoğunluktadır, Agrega yerine Seramik Sağlık Gereçleri atıkları kullanılmıştır. Kullanılan atık seramiklerin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de yer verilmiştir. Grafik 1'de ise, seramik sağlık gereçleri ürünlerine yapılan XRD analizi ve Faz miktarları sonuçları verilmektedir. XRD analiz sonuçlarına göre tespit edilen fazların, müllit, camı ve kuvars fazları olduğu görülmektedir. Yine Tablo 2'de de seramik kırıklarının elek analiz sonuçları gösterilmektedir. Elek analizi sonuçlarına göre 75 mikron altı tane boyutunda % 33 yığılma ile birlikte genel dağılımın 100-180 mikron aralığında olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.** Seramik atıkların kimyasal analizi

Bileşik	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	ZnO	ZrO <sub>2</sub>	BaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	A.Z.
%	69,107	22,202	3,398	0,342	1,057	1,031	0,631	0,110	0,317	0,191	0,009	0,234

**Grafik 1.** Seramik sağlık gereçleri kırıklarının XRD grafiği ve faz analizi sonuçları.**Tablo 2.** Tane boyutu küçültme işlemine tabii tutulan atık ürünlerin % dağılımı.

Elek Açıklığı (mikron)	Ağırlıkça Miktar (%)
300	29,7
180	9,73
106	23,37
75	4,09
75>	33,11

### 3.2.2 Köpük Betonun Üretimi

Yapılan çalışmada denemelerin yoğunlukları 500 - 800 kg/m<sup>3</sup> aralığında olacak şekilde 5 farklı karışım tasarımı hazırlanmıştır. Her bir karışım tasarımı için hedeflenen teorik yoğunluklara göre, karışıma girecek bileşen miktarları hacim yöntemi esas alınarak hesaplanmıştır. Hazırlanan karışımlarda çimento miktarı ve su/katı (s/k) oranı (0,30) sabit tutulmuş, kum/çimento (K/ç) oranı ise 0-0,55 arasında değişmiştir. Üretilen köpük betonlar TS EN 206-1 standardına göre hazırlanmıştır. (TS EN 206-1, 2002). Hazırlanan reçetelerin atık miktarları reçete kodları ile birlikte Tablo 3'te verilmektedir.

**Tablo 3.** Hazırlanan köpük beton reçetelerinin kodları ve atık yüzdeleri.

Reçete Kodları	1A	2A	3A	4A	5A
Atık Miktarı (%)	7	14	21	28	35

Numuneler 100\*100\*100mm'lik plastik kalıplarda kalıba alınmıştır. Numuneler 36-72 saat arasında kalıpta bekletildi. Kalıptan çıkarılan numuneler oda sıcaklığında doğal seleksiyon ile reaksiyonların tamamlanması için 28 gün boyunca kuruma işlemine tabii tutularak hazır hale getirilmiştir.

### 3.2.3. Deneysel Uygulamalar

#### 3.2.3.1. Birim Ağırlık Tayini

Küp numuneler kuru halde hassas terazide tartıldıktan sonra bulunan her bir ağırlık değeri numunenin hacmine oranlanarak 1 nolu denklem üzerinden numunelerin birim ağırlık değerlerine ulaşılmıştır. Ardından her bir serinin ortalama birim ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Birim ağırlık (g/cm}^3\text{)} = W / V \quad (3)$$

(W: Ağırlık, V: Hacim = 10×10×10 cm = 1000 cm<sup>3</sup>)'tür.

#### 3.2.3.2. Basınç Dayanımının Tayini

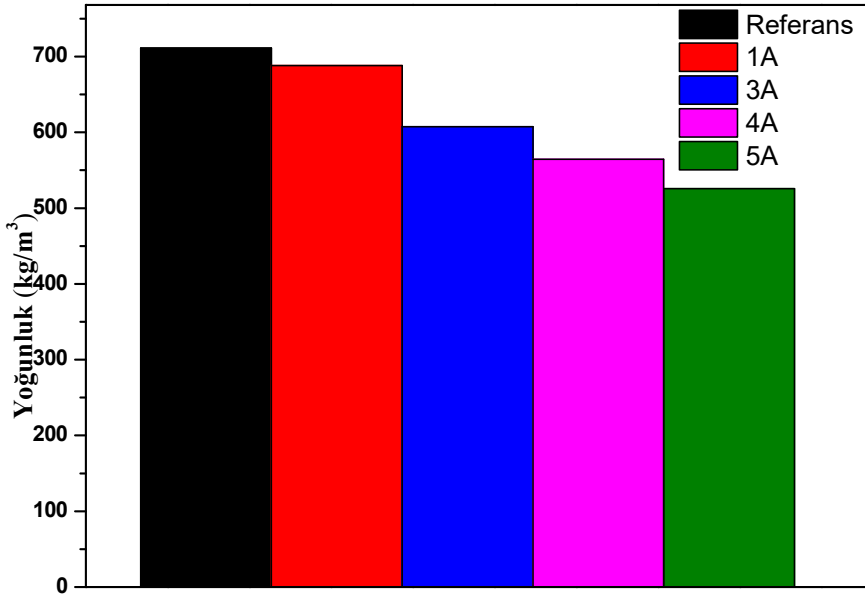
Küp numuneler basınç presine beton döküm yönüne dik olacak şekilde ve düzgün yüzeyler yüke maruz kalacak şekilde yerleştirildiler. Yükleme yüzeyinin düzgün olması önemlidir. Düzgün olmayan yüzeyler aşındırılmalı ya da başlık yapılmalıdır. Numune yüzeylerimiz düzgün olduğu için başlık yapılmaya gerek duyulmamıştır. Numuneler prese yerleştirilirken presi tam ortalayacak şekilde konumlandırılmasına dikkat edildi. Deney presine yerleştirilen numuneler darbe etkisi yapmayacak düzeyde 0,6 MPa/s (N/mm<sup>2</sup>.s) yükleme hızıyla yüklenerek deneyler yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyi TS 3114'e uygun şekilde tamamlanmıştır.

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

### 4.1 Yoğunluk Sonuçları

Grafik 2'de referans ve hazırlanan reçetelerin yoğunluk değerleri verilmiştir. Yoğunluk değerleri açısından artan seramik atığı miktarına bağlı olarak yoğunlukların azaldığı görülmüştür.

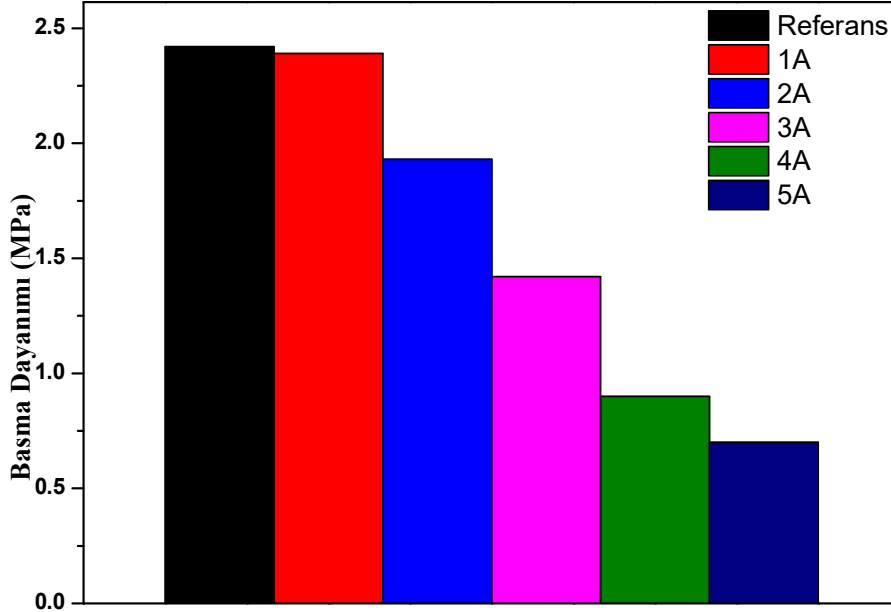
**Grafik 2.** Referans ve deneme köpük betonlara ait yoğunluk değerlerinin grafik gösterimi.



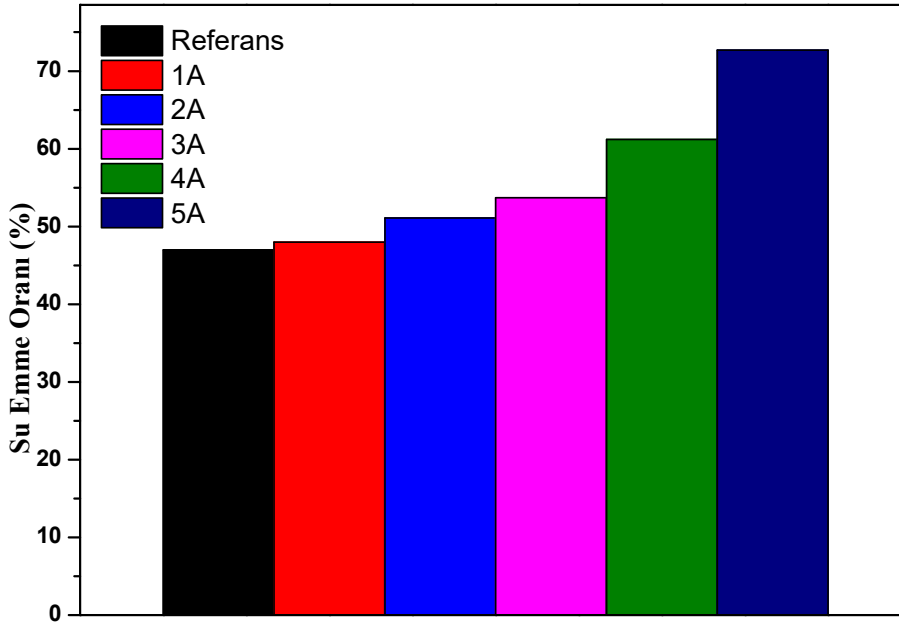
### 4.2 Basınç Dayanımı ve Su Emme Sonuçları

Üretimi yapılan numunelere 28 gün bekletildikten sonra basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Küp numune üzerinde TS EN 12390-3 standardına uygun olarak basınç dayanım testleri yapılmıştır. Grafik 3'de verilen basma sonuçlarına göre artan atık miktarı ile basınç değerlerinin azaldığı ancak 1A reçetesinin referansa çok yakın olduğu görülmektedir. Yine Grafik 4 incelendiğinde artan atık miktarı ile birlikte su emme değerlerinin arttığı görülmüştür. Hem basınç dayanımı hem de su emme sonuçlarına göre, çimento yerine girilen atık seramik kırığı ile birlikte boşlukların artış gösterdiği düşünülmüştür.

Grafik 3. Basma dayanımı sonuçlarının grafiksel gösterimi.



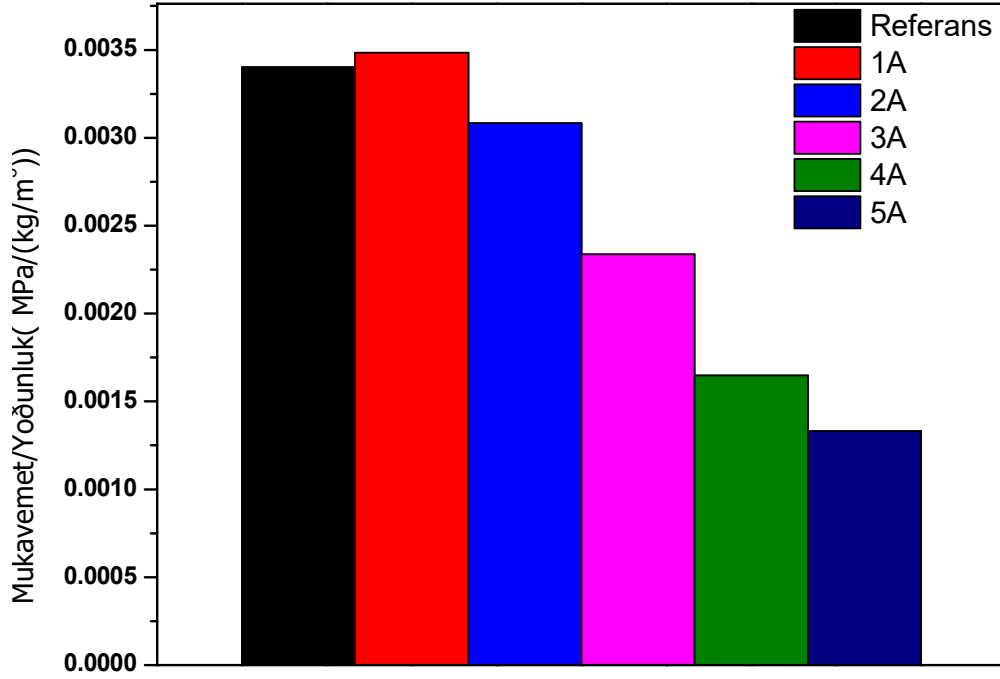
Grafik 4. Su emme değerlerinin grafiksel gösterimi.



#### 4.3 Mukavemet /Yoğunluk Oranları

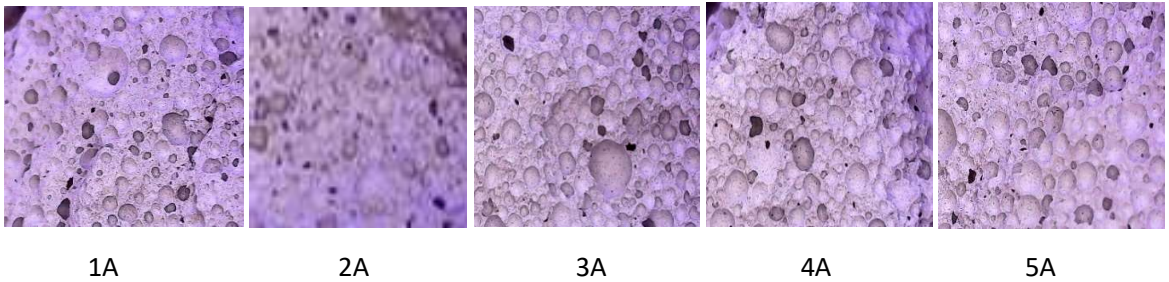
Üretilen köpük betonların yoğunluklarının hafif olması ve mukavemetlerinin yüksek olması istenir. Mukavemet/Yoğunluk köpük betonda önemli bir parametredir. Grafik 5 incelendiğinde, 1A kodlu denemenin sonuçlarının referans ve diğer denemelerden yüksek olduğu görülmüştür. Başlangıç da çimento yerine girilen seramik atık hem yoğunluğu azaltmakta hem de içerdığı müllit fazı ile dayanımı arttırmıştır. Ancak artan seramik atığı ile birlikte boşlukların artmasına bağlı olarak mukavemetin azalmaya başladığı öngörülmüştür.

Grafik 5. Mukavemet/Yoğunluk sonuçlarının grafiksel gösterimi.

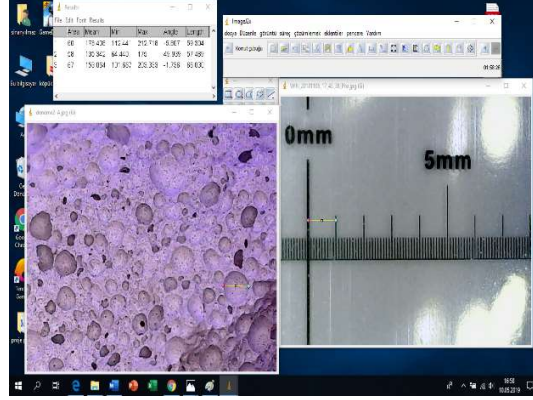


#### 4.4 Tane Morfolojisi ve Tane Boyutu Analizi

Üretilen köpük betonların optik mikroskop ile tane boyutu dağılımları incelenmiştir. Artan seramik atık içeriği ile birlikte yapı içerisindeki gözeneklerin de arttığı görülmüştür. Şekil 1’de verilen mikroskop sonuçlarına göre, başlangıçta çimento yerine ilave olunan seramik atığının boşlukları fazla arttırmadığı ancak artan seramik atık miktarı ile gözenekliliğinde arttığı görülmüştür. Bu durum 1A kodlu denemenin yoğunluklarının referansa yakın olmasına karşılık daha mukavemetli olmasını ve diğer seramik atık artışı yapılan denemelerde mukavemetin neden düştüğünü de açıklamıştır. Bu çalışmada 500- 800 kg/m<sup>3</sup> kuru yoğunluk aralığında 5 farklı döküm yapılmıştır. Üretilen köpük betonların içerisine artan miktarlarda atık ilaveleri ile fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Köpük betonda çimento yerine girilen atık ürün miktarı %7 ’e kadar referans numunesi ile aynı basınç standartları içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Daha fazla atık girilmesi durumunda dayanımda düşüşler meydana gelmiştir. Puzolonik malzemelerin betonun basınç dayanımına etkisinin incelendiği araştırmada beton içerisinde çimento miktarının azaltılması için, puzolonik malzemelerle mümkün olacağını ifade etmiştir. Puzolonik malzeme; kendi başına bağlayıcılık değeri çok az olan veya hiç olmayan, ancak ince öğütülmüş formda ve nemin mevcudiyetinde normal sıcaklıklarda kalsiyum hidroksit ile kimyasal olarak reaksiyona girerek bağlayıcı özelliklere sahip bileşikler oluşturan silisli veya silisli ve alüminli bir malzemedir. Çalışmada çimento yerine %10, %15, %20 ve % 25 oranlarında puzolonik malzeme ilaveleri ile betonların basınç testleri yapılmış ve basınç dayanım değerlerinde önemli bir düşüş olmadığı kaydedilmiştir. (ŞİMŞEK,2010). Bu çalışmada da köpük beton bünyesine atık seramik girilmesi ile bünye hafifleşmiştir ve % 7 oranında çimento yerine seramik atığı kullanıldığında referans ile benzer basınç dayanımlarını verdiği görülmüştür. Seramik atık malzemelerin de puzolanlar gibi ısıtılma sonucunda sertleştirilmiş ürünler olması sebebiyle ve sinterlenmiş seramik ürünlerde yüksek sıcaklıklarda kararlı faz olan müllit fazının varlığını basınç dayanımına katkı sağladığı düşünülmüştür. Yine ŞİMŞEK’in aynı çalışmasında artan puzolonik malzeme içeriği ile de hava miktarının ters orantılı olarak değiştiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada da artan seramik atığı içeriğine bağlı olarak yoğunlukların azaldığı ve köpük betonda hava kabarcıklarında artış olduğu görülmüştür. Atık ürün kullanılmasından dolayı üretilen köpük beton hem çevre dostu hem de ekonomik bir ürün haline gelmiştir.



Şekil 1. Hazırlanan köpük beton numunelerin optik mikroskop görüntüleri.



Şekil 1. Image j2x tane boyut analizi sonuçları.

Şekil 2'de köpük betonların optik mikroskoptan alınan görüntüleri image j2x programı kullanılarak tane boyutu analizi yapılmıştır. Yapılan tane boyutu analizi sonucunda üretilen köpük betonların tane boyutu 50-150µm aralığında olduğu saptanmıştır. Referans numunesi üzerinde yapılan incelemeler sonucu tane boyutunun 100-150µm olduğu saptanmıştır.

## 5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada 500- 800 kg/m<sup>3</sup> kuru yoğunluk aralığında 5 farklı döküm yapılmıştır. Üretilen köpük betonların içerisine artan miktarlarda atık ilaveleri ile fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Köpük betonda çimento yerine girilen atık ürün miktarı %7 'e kadar referans numunesi ile aynı basınç standartları içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Daha fazla atık girilmesi durumunda dayanımda düşüşler meydana gelmiştir. Artan seramik atığı içeriğine bağlı olarak yoğunlukların azaldığı ve köpük betonda hava kabarcıklarında artış olduğu görülmüştür. Böylelikle %7'nin üzerinde atık ürün kullanılmasının mukavemeti olumsuz olarak etkilediği görülmüştür. Seramik atık ile üretilen köpük betonların hem çevre dostu hem de ekonomik bir ürün haline getirilebileceği ispat edilmiştir.

### Referanslar

- Alkaya, Ş. (2010). Hafif beton üretiminde organik atıkların kullanılabilme olanakları (1-3). Tekirdağ
- Gündüz, Ş. (2007 Şubat). Polistren agregalı hafif beton üzerine deneysel bir çalışma, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ankara.
- Gökçe,H.S., Şimşek,O.(2013).Ingrimbrite powder and some other puzzolanas additions to avoid concrete expansion caused by the alkali-silica reaction,Cement Wapno Beton, cilt 18, sayı 2, sayfa 100-105.
- İhtiyaroğlu, E. (1976). Tabii hafif agregalar ile imal edilen hafif beton blokların duvar elemanı olarak özelliklerinin tayini üzerine araştırma, İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları,5.
- Konuk, H. (2003, Ocak). Hafif agregalı betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı (1). İstanbul.
- Koru, M. (2017). Köpük betonun yoğunluk ve sıcaklığa bağlı ısıl iletkenlik katsayısının ısı akış ölçer yöntemiyle belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2),614-622.
- Newman, J.,Owens, P. (2003).Properties of lightweight concrete, Advanced Concrete Technology,(s.2/7). Great Britain:Butterworth-Heinemann Elsevier.
- Taşdemir, C. (2002) Gaz betonun fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine bir değerlendirme. TMMOB Mimarlar Odası 1.Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi ve Sergisi,2,s.425-437. İstanbul.
- Ramamurthy,K., Nambiar, E.K., Ranjani, G.S. (2009). Cement and Concrete Composites. Elsevier Ltd.