



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Köpük beton üretiminde inşaat yıkıntı atığı ince agregası kullanımı ve optimum su/çimento oranının belirlenmesi

Use of fine aggregate from construction debris in foam concrete production and determination of optimum water/cement ratio

Yazar(lar) (Author(s)): Yusuf ÖZÇELİK¹, Osman ŞİMŞEK²

ORCID¹: 0000-0001-8400-6159

ORCID²: 0000-0002-3842-5541

To cite to this article: Özçelik Y. ve Şimşek O., “Köpük beton üretiminde inşaat yıkıntı atığı ince agregası kullanımı ve optimum su/çimento oranının belirlenmesi”, *Journal of Polytechnic*, 27(1): 263-271, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Özçelik Y. ve Şimşek O., “Köpük beton üretiminde inşaat yıkıntı atığı ince agregası kullanımı ve optimum su/çimento oranının belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 27(1): 263-271, (2024).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1122611

Köpük Beton Üretiminde İnşaat Yıkıntı Atığı İnce Agregası Kullanımı ve Optimum Su/Çimento Oranının Belirlenmesi

Use of Fine Aggregate From Construction Debris In Foam Concrete Production And Determination of Optimum Water/Cement Ratio

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Köpük beton üretiminde inşaat yıkıntı atığı ince agregasının kullanılması/ The use of fine aggregate from construction debris in the production of foam concrete
- ❖ Köpük betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi/ Determination of physical and mechanical properties of foam concrete
- ❖ Bu köpük beton tasarımında en uygun S/Ç oranı 0,45 dir/The optimal W/C ratio in this foam concrete design is 0.45.
- ❖ İnşaat yıkıntı atığı ince agregası ile köpük beton üretilmesi ve bu betonun teknik özellikleri incelenmesi. Production of foam concrete with fine aggregate of construction debris and examining the technical properties of this concrete

Çizelge A Üretilen köpük beton teknik özellikleri /Table A Technical specifications of the foamed concrete produced

S/Ç / W/C ration	BHA/UVW (Kg/m ³)	BD/ CS (MPa)		(BD) / (BHA) Oranı/UVW*	Su Emme / Water Absorption (%)	Isı iletkenlik/ Thermal conductivity (W/mK)
		7. day	28. day			
0.39	718	1,05	1,45	0,0020	31,9	0,37
0.42	668	1,02	1,4	0,0021	41,8	0,33
0.45	545,5	1	1,2	0,0022	64,3	0,25
0.48	531,5	0,87	1	0,0019	67,5	0,24
0.51	503,5	0,69	0,8	0,0016	68,9	0,19

* (BD) / (BHA) Oranı: (Basınç Dayanımı) / (Birim Hacim Ağırlık) Oranı / (CS) / (UVW) Ratio: (Compressive Strength) / (Unit Volume Weight) Ratio Amaç

Amaç (Aim)

Köpük beton üretiminde inşaat yıkıntı atığı ince agregası kullanılması ve optimum S/Ç oranı ile üretilen köpük betonun teknik özelliklerinin belirlenmesi/ Using fine aggregate of construction debris in foam concrete production and determining the technical properties of foam concrete produced with optimum W/C ratio

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Köpük betonun teknik özelliklerinin belirlenmesinde TS önerilen deney metodları kullanılmıştır/ TS recommended test methods were used to determine the technical properties of foam concrete

Özgünlük (Originality)

İnşaat yıkıntı atıklarından 4 mm elek altına geçen malzemeler ile köpük beton üretimini tasarlanarak ve üretilen köpük betonun bloklarının inşaat sektöründe kullanılması/ By designing the production of foam concrete with materials that pass under a 4 mm sieve from construction debris wastes and using the foam concrete blocks produced in the construction industry

Bulgular (Findings)

S/Ç oranı arttıkça birim hacim ağırlığı (BHA), ısı iletim katsayısı, basınç dayanımı (BD) artarken su emme azalmıştır. Optimum S/Ç oranı 0,45 olarak değerlendirilmiştir/ As the W/C ratio increased, unit volume weight (UVW), heat transfer coefficient, compressive strength (CS) increased, while water absorption decreased. The optimum S/C ratio was evaluated as 0.45

Sonuç (Conclusion)

İnşaat yıkıntı atığı ince agregasıyla üretilen köpük betonun ısı yalıtımı ve düşük birim ağırlığı nedeniyle yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir/ Foam concrete produced with fine aggregate from construction debris can be used as an insulation material due to its thermal insulation and low unit weight.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Köpük Beton Üretiminde İnşaat Yıkıntı Atığı İnce Agregası Kullanımı ve Optimum Su/Çimento Oranının Belirlenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Yusuf ÖZÇELİK*, Osman ŞİMŞEK,

Teknoloji Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 28.05.2022 ; Kabul/Accepted : 29.06.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 24.08.2022)

ÖZ

İnşaat sektöründe hammadde temini doğal kaynaklarımızın hızlı azalmasına veya tahrip edilmesine neden olmaktadır. Doğal kaynakların azalmasını veya tahrip edilmesini azaltmak için inşaat yıkıntı atıklarının geri kazanılması, hammaddeye ihtiyacı ve aynı zamanda çevresel kirliliğini de azaltılacaktır. Bu çalışmada inşaat yıkıntı atığı ince (kum) agrega ile köpük beton üretilir ve bilirliliği araştırılmıştır. Karışımlarda agrega olarak 4 mm elekten geçen inşaat yıkıntı atığı kullanılarak 5 farklı su/çimento oranı ile köpük beton üretilmiştir. Üretilen köpük beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları, basınç dayanımları, su emme oranı, ultra ses geçiş hızı ve ısı iletkenlik katsayıları gibi özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerden en uygun olanlar S/Ç oranı 0,45 olan karışım tasarımı vermiştir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat yıkıntı atığı, köpük beton, ısı iletkenlik.

Use of Fine Aggregate From Construction Debris in Foam Concrete Production and Determination of Optimum Water/Cement Ratio

ABSTRACT

The supply of raw materials in the construction sector causes the rapid decrease or destruction of our natural resources. Recycling of construction demolition waste in order to reduce the reduction or destruction of natural resources will reduce the need for raw materials as well as environmental pollution. In this study, the feasibility of producing foam concrete with fine (sand) aggregate from construction debris was investigated. Foam concrete was produced with 5 different water/cement ratios by using construction debris that passed through a 4 mm sieve as aggregate in the mixtures. The properties such as unit volume weight, compressive strength, water absorption ratio, ultra sound transmission rate and thermal conductivity coefficients of the produced foam concrete samples were investigated. The most suitable of these properties gave a mixture design with a W/C ratio of 0.45.

Keywords: Construction debris waste, foam concrete, thermal conductivity.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğal kaynaklarımızın bilinince tahribat edilerek kullanılmasında inşaat sektörü ilk sıralardan gelmektedir. İnşaat sektöründe kullanılan malzemeler elde edilmesi yanı sıra atıkları da çevre kirliliğine neden doğanın dengesi bozulmaktadır. İnşaat sektörde kullanılan beton ve beton bileşenleri, duvar malzemeleri (tuğla, taş, briket, gaz beton), çatı örtü malzemeleri gibi birçok malzeme sayılabilir. Genel olarak bir inşaat yıkıntı atığının malzeme cinsine göre yaklaşık olarak hacimce %70-80 beton, %15-25 duvar malzemesi %3-4 siva, %1-2 seramik atığından meydana geldiği kabul edilmiştir. Bu oranlar bölgesel olarak, yapıldığı yıllara ve yapının kullanım amacına göre farklılık gösterilir. İnşaat malzemelerin üretilmesi esnasında, küresel ısınma, çevre kirliliği, canlıların yaşamları ve aynı zamanda ülkelerin ekonomisine olumsuz etkisi nedeniyle sürdürülebilir malzeme arayışı artmıştır Genel olarak son yıllarda

yapılan çalışmalarda atık betonlardan geri dönüşüm agregası elde edilmesi ve bu agregalarla beton araştırmaları hızlı bir şekilde artmıştır [1-6]. Yapılan araştırmalarda genellikle atık betonlar agrega boyutuna getirilerek geri dönüşüm agregası (GDA) olarak beton üretiminde kullanılması hedeflenmiştir. Atık betonun kalitesi, geri dönüşüm agreganın kalitesinin doğrudan etkilediği, bu bağlamda su emme kapasitesinin ve aşınma kaybının daha yüksek, yoğunluğun ise daha düşük olduğu belirtilmiştir. Elde edilen betonun mukavemetinin alt beton sınıfını yerine kullanılabileceği belirtilmiştir [7-10]. GDA ile yapılan çalışmalarda kırma taş agrega (KTA) belirli oranda azaltılarak GDA ikame olarak kullanılmıştır. Ayrıca sadece iri agrega GDA olarak belirli oranlarda KTA ile ikame edilmiş bu gibi birçok çalışma yapılmıştır [9]. Bazı bilim insanları ise inşaat yıkıntı atığı (İYA) agregası ile beton üreterek, bu betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Beton üretiminde kullanılan İYA agrega tanesi arasında siva, boya, alçı vb. malzeme

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : simsek@gazi.edu.tr

atıklarının bulunduğu ve bu sertliği yeterli olmayan küçük boyutlu malzemeler betonun işlenebilme ve fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir. Bundan dolayı 4 mm tane boyutun altında ki İYA malzemeler beton araştırma çalışmalarda tercih edilmemektedir [3,10-12]. İYA agregası içinde bulunan 0-4 mm boyutundaki inşaat yıkıntı atığı malzeme normal beton dışında değerlendirmek amacıyla hafif beton grubunda yer alan köpük beton değerlendirilebileceği düşünülmüştür [13]

Köpük beton üretiminde, bağlayıcı olarak çimento, su, köpük ajanı ve ince agregası (kum) kullanarak özel karışımla üretilmiş betondur. Bu betonun bünyesinde %75±5 civarında birbirinden bağımsız kapalı hava boşluklarının bulunduğu gözenekli bir yapıya sahiptir. Türkiye’de köpük betonun üretimi ve kullanımı oldukça azdır. Son yıllarda enerji korunumu nedeniyle köpük beton gündeme gelmeye başlamıştır. Bu arada Dünyada köpük beton fiziksel, teknolojik, kimyasal, mekanik, akustik ve termal özellikleri nedeniyle bu yapı malzemesinin kullanım yeri artmıştır. Köpük beton kendiliğinden yerleşir, sıkıştırma ihtiyaç duyulmaz, gözenekli olması nedeniyle, yoğunluğu oldukça düşük bir betondur [14-16]. Son yıllardaki enerji korunumu ve küresel ısınma nedeniyle ısı yalıtımı ön plana çıkmıştır. Köpük beton, genellikle yapıların iç duvarlarda ve dış duvarlarda yalıtım amaçlı duvar malzemesi olarak, şap betonu gibi yerine kullanılır. Köpük betonun, hafif olmasından dolayı ısı yalıtımı avantaj sağladığı için maliyetleri düşürür ve çevreci bir yapı malzemesidir [16, 18]. Genellikle bir yapı malzemesinin atom yapısı yanında fiziksel özellikleri ısı iletkenlik özelliği üzerinde etkilidir. Standartlara göre malzemeleri $\lambda > 0,065$ W/mK ise “normal yapı malzemesi”, olarak tanımlanırken $\lambda < 0,065$ W/mK ise “ısı yalıtım malzemesi” olarak kategorisinde değerlendirilmektedir [19].

Köpük beton, ısı yalıtımı özelliği yanında birim hacim ağırlığı 250-1800 kg/m³ aralığında olması yapı elemanını kendi öz ağırlığını azaltılması nedeniyle statik yapısını üzerine etkili olduğu bilinmektedir. Köpük beton kullanılan binalarda mekanlarda ısıtma ve soğutma gereksinimini azalması nedeniyle ortalama olarak yıllık %40’ a varan enerji tasarrufu sağlana [17]. Genel olarak kuru birim birim ağırlığı 400-1600 kg/m³ arasında olanların basınç dayanımları yaklaşık 1-15 MPa arasında değişmektedir. Şeker ve ark (2022) çimento ve çimento + silis dumanı ile yaptıkları köpük beton çalışmasında, köpük betonun birim hacim ağırlığı 200-220 kg/ m³ arasına kadar düşürmüşlerdir. Bu betonların, basınç dayanımlarında ise 28 günlüklerde en düşük 0,21, en yüksek 0,32, MPa elde edilirken ısı iletim katsayısı değerleri en düşük 0,060 iken en yüksek 0,073 W/mK olarak bulmuşlardır [20,21].

Köpük beton üzerinde yapılan bilimsel çalışmalarda karışım tasarımında, basınç dayanımı, yoğunluğu gibi özellikler temel kıstas olarak alınmaktadır [14]. Demir ve ark. (2019) yapıları köpük beton çalışmasında 600- 660 kg/m³ arasında birim hacim ağırlığa sahip beton örneklerinin basınç dayanımı 1,72- 2,64 MPa arasında

değiştirdiği vurgulanmıştır [22, 23]. Köpük betonda birim hacim ağırlığı betonun basınç mukavemeti ile ters ilişkiindedir [24]. Uçucu kül katılarak tasarlan köpük betonların dayanımı 0,34 ile 20 MPa arasında değişir birim hacim ağırlıkları 500 ile 1500 kg/m³ arasında olduğu vurgulanmaktadır [21, 25-29].

Song et all (2021), Nambiar ve Ramamurthy (2007) yaptıkları çalışmada köpük betonun kararlılığında; karışıma giren su ve ilave edilen köpük miktarı yanında katı bileşenlerinin etkili olduğunu ortaya koymuşlardır [30-31]. Yüksek miktarda ince malzemenin kullanılması ile büzülme değerlerinin artmasından meydana gelen iç gerilmeler, bünyesinin mukavemet değerlerini aşması halinde büzülme çatlakları meydana gelmektedir. Köpük beton tasarımında uçucu kül kullanımı, çimentoya göre %20-%30’u oranında kullanıldığında mukavemet değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Köpük betonda rötre çatlaklarını sınırlamak için çimento ağırlığının en fazla %1 oranı arasında yoğunluğu köpük betonla uyumlu olan polipropilen benzeri liflerin kullanımı yararlı vurgulanmaktadır [32].

Bu çalışmada İYA ince agregasının köpük beton üretiminde kullanılması ve optimum W/C oranını ile üretilen köpük betonun fiziksel, mekanik ve termik özelliğini belirlenmesi amaçlanmıştır.

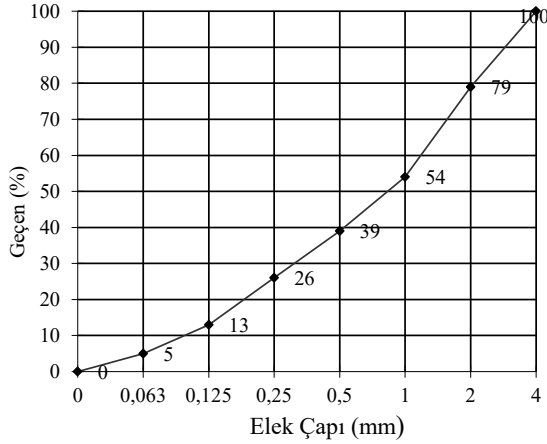
2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada inşaat yıkıntı atığından temin edilen 0-4 mm boyutundaki ince agregası, çimento, su ve köpük ajanı kullanarak köpük beton üretilmiştir. Köpük beton üretiminde optimum S/Ç saptamak amacıyla, 5 farklı S/Ç kullanılmıştır. Bu S/Ç oranıyla 100 x100 x 100 mm’ lik köpük beton numunelerinin birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, su emme oranı ve ultrases geçiş hızı özellikleri incelenmiştir. Ayrıca ısı iletkenlik özelliği için 50 x300x 300 mm plak numuneler hazırlanmıştır.

2.1.1 İnşaat yıkıntı atığı ince agregası (kumu) (Construction debris waste fine aggregate (sand))

Bu çalışmada ekonomik değeri olmayan inşaat yıkıntı atığının (molozlar) temin edilen 0-4mm ince agregası grubu kullanılmıştır. Literatür ve Elâzığ depremi enkaz gölgemelerine göre bir betonarme binada enkazını oluşturan malzemeler oranları farklılık göstermektedir [3, 6]. Araştırmada toplam ince agregası oranları yaklaşık olarak hacimce %75 beton, %20 tuğla, %3 sıva ve %2 seramik inşaat yıkıntı atığı oluşturduğu kabul edilmiştir. Köpük beton üretiminde kullanılan ince agregasının %46’sı 1 mm’den küçüktür (Şekil 1). Bu ince agreganın, yoğunluğu 2,05 kg/dm³, su emme oranı %12 ve çok ince malzeme miktarı (metilen mavisi) 0,75ml/gr olarak bulunmuştur.



Şekil 1. İnşaat yıkıntı atığı kumunun elek analizi (Sieve analysis of construction debris waste sand)

2.1.2 Köpük ajanı (Foaming agent)

Protein esaslı köpükler hayvansal ürünler elde edilmektedir. Sentetik esaslı köpükler ise âmin oksit, âmin, formaldehit, naftalin sülfonat gibi maddelerden oluşmaktadır. Protein esaslı olan köpük ajanları ile elde edilen köpükler sentetik olanlara kıyasla dayanımı yüksek ve daha güçlü yapıya sahiptir. Bununla birlikte, sentetikler olanlar daha çok genişlebildiğinden yoğunluğu azaltıcı yönünde etki göstermektedir. Ayrıca protein bazlı olanlar bünyesine daha çok havanın karışmasına müsaade ederler ve daha kararlı bir boşluk yapısı oluştururlar [28]. Genellikle köpük betonun kuru yoğunluğu 150 ile 1600 kg/m³ arasındadır. Üretilen köpük, çimento şerbeti ile birleştiğinde bağ yaparak hızla homojen bir karışım sağlamak ve karışım ile oluşan sürtünmelere karşı köpük taneleri bölünme yaparak yeni bir kabarcık katmanı oluşturarak betonda bağımsız şekilde kapalı hücreler oluşturur. Köpüğün içeriğinde yer alan aktif protein ve enzimlerin dayanıma katkı sağlar [34].

Köpük ajanı tanıtım kataloğundan alınan bilgilere göre, konsantr haldeki yoğunluk 1,05 kg/dm³, köpük yoğunluğu ise 0,080-0,085 kg/dm³ dir. Köpük yüzey suyunu bırakma süresi 5 saat, köpük betonda priz başlangıcı 2 saattir. Köpük ajanı suya %2 ile %2,5 oranında konsantr haldeki köpük ajanı ikame edilerek solüsyon oluşturulur.

2.1.3. Çimento ve su (Cement and water)

Köpük beton üretiminde CEM I 42,5 R Tipi Portland Çimentosu ve Ankara şebeke suyu kullanılmıştır. Çimentonun teknik özellikleri üretici firmadan alınmıştır (Çizelge 1) verilmiştir

Çizelge 1. CEM I 42,5 R çimentosu teknik özellikleri (Technical specifications of CEM I 42,5 R cement)

Kimyasal içerik	(%)	Fiziksel özellikler	Sınırlılıklar
SiO ₂	20,63	Hacimsel Genleşme (mm)	≤ 1
Al ₂ O ₃	4,71	İncelik (90mm, %)	0,1
Fe ₂ O ₃	3,41	İncelik (200mm, %)	1,10
Ca O	63,64	Özgül Yüzey Alanı (cm ² /g)	3340
Mg O	1,24	Priz Başlangıcı (dak)	185
SO ₃	2,2	Priz Sonu (dak)	120
Na ₂ O	0,23	Yoğunluk (g/cm ³)	3,12
K ₂ O	0,91	Çimento mekanik özellikleri	
Serbest CaO	1,26	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39,3
Kızdırma Kaybı	2,63	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51,0

2.1.4. Köpük üretimi (Foam production)

Köpük üretiminde, köpük pompası ve hava kompresörü kullanılmıştır (Şekil 2). Köpük pompası tankına belirli oranlarda su ve konsantr köpük ajanının ilave edilerek basınçlı hava ile köpük elde edilmiştir. Köpük pompasında regülâtör kontrollü 3-6 bar arası çalışma özelliğine sahip, depo hacmi 30 dm³ ve hava regülâtörü yeterli hava dolduktan sonra hava akışını otomatik kesme özelliğine sahiptir [34].

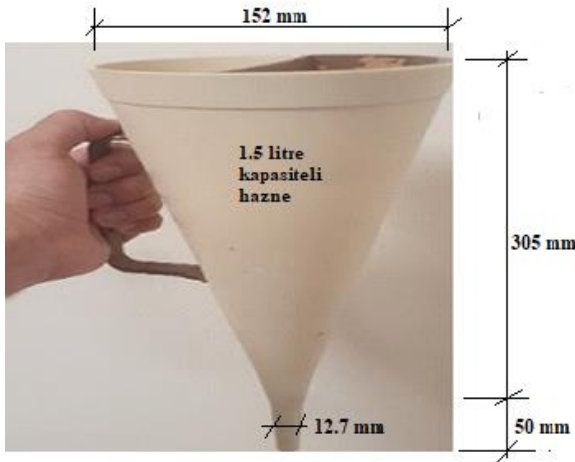
Köpük beton üretimi köpük püskürtme pompasına su ve bu suya %2 oranında konsantr halde bulunan köpük ajanı ikame edilmiştir. Köpük çözeltisinin basınç ile genişmesi ile 80-90 gr/l arasında köpük üretilmiştir. Üretilen köpük daha önceden katı malzemelerle hazırlanan harcın içine istenilen ölçülerde ilave edilerek düşük devirde harç mikseri ile karıştırılarak köpük beton harcı elde edilmiştir.



Şekil 2. Köpük Beton Üretim Ekipman (Foam Concrete Production Equipment)

2.1.5. Köpük betonun akış hızı (Flow rate of foam concrete)

Köpük betonun akmaya karşı dayanımının düşük olması sebebiyle kendiliğinden akış özelliği sergilemektedir. Bu akış hızı Marsh hunisi (Şekil 3) metoduyla belirlenmektedir. Köpük betonu kalıba yerleştirilmeden önce kıvamı gözlenmek ve bir anlamda elde edilen, taze köpük betonun akış hızını kontrolü sağlanmaktadır. Deney neticesinde elde edilen süre 1 dakikanın altında olması halinde deneye tabi tutulan harcın sabit ve düzenli bir akış sergilediği anlaşılmaktadır. Elde edilen sürenin 1 dakikanın üzerinde olması durumunda ise engelli veya zor akış meydana gelmektedir [22].



Şekil 3. Marsh Hunisi (Marsh funnel)

Çizelge 2. Marsh hunisi ile harcın sınıflandırılması (Grading the mortar with the Marsh funnel) [35]

Ana Sınıf	Tanımlama	Alt Sınıf	Açıklama
1	1 ℓ < 1 min	A	Sabit/düzenli akış
2	1 min < Akış < 2 min	B	Kesikli akış
3	0,5 ℓ < Akış < 1 ℓ	C	Hafifçe sıkıştırma ile akış tamamlanması

2.2. Metod (Method)

Köpük betonun; akış hızını belirlemede Marsh hunisi metodu kullanılmıştır. Sertleşmiş köpük betonun birim hacim ağırlıkları TS EN 12390-7[36], basınç dayanımı TS EN 12390-3'e göre [37], su emme oranı TS EN 480-11'e göre [38], ultrases geçiş hızları TS EN 12504-4[39]

esas alınarak (10x10x10 cm) boyutunda örnekler üzerinde yapılmıştır. Isıl iletkenlik değerleri için 5x30x30 cm boyutunda plaka numuneler TS ISO 8301'de [40] standartları göre köpük beton numuneleri 24 saat etüvde bekletilerek ısı iletim katsayıları tespit edilmiştir. Söz konusu ısı iletkenlik deneyleri TS EN 12664 (2009) standardı esas [41] alınarak yapılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Köpük Beton Tasarımı ve Akış Hızı (Foam Concrete Design and Flow Rate)

Köpük beton tasarımı kullanılan malzemelerden köpük, çimento, inşaat yıkıntı atığı sabit olarak alınmıştır. Değişken olarak su miktarı dolayısıyla S/Ç oranıyla ön deneme köpük beton üretimi yapılmıştır. Ön denemeler sonrasında tasarlanan köpük beton karışım oranları ve 1 litre hacim doldurma akış hızı Çizelge 3. verilmiştir. Köpük beton üretiminde 5 farklı S/Ç oranıyla beton tasarımı yapılmıştır.

Üretilen harç karışımı Marsh hunisinden geçirilmiş 0,45, 0,48 ve 0,51 S/Ç oranlı karışımlar huniden geçiş süresi 1 dakikadan daha az iken 0,39 ve 0,42 S/Ç oranlı harçların huniden geçiş süresi 1 dakikadan daha uzun süre almıştır. Köpük beton karışımlarında, karışım suyu oranı arttıkça huniden geçiş süresi azalmakta sürekli akış olurken, geçiş süresi azaldıkça köpük betonun homojenliği bozulduğu görülmüştür.

Taze köpük betonlarda en büyük sorunlardan birisi köpüklerin forumlarını yani karalılığı koruyamamasıdır. Kalıplanan taze köpük betonunun, köpük çapının ve dağılımının numunenin her noktasında eşit olması arzu edilir. Genellikle hazırlanan taze köpük beton harcının üst kısmından uygun şekilde alınarak kalıplara yerleştirilir (Şekil 4). Çünkü köpük toplama kabının alt kısmında su oranı daha fazladır. Köpük beton kalıba yerleştikten sonra üstü hafifçe mastarlanarak düzeltilir. Taze köpük beton prizini tam olarak alabilmesi için nem kaybını önleyecek şekilde kalıp içinde uygun süre bekletilir. Yeterli mukavemeti sağlayan numuneler kalıplardan çıkarılarak %75 nemli laboratuvar ortamında kür edilir. Köpük beton üretiminde su/çimento oranlarına göre mekanik ve fiziksel özellikler incelenmiş, yapılan incelemeler neticesinde optimum su/çimento oranı belirlenmiştir.

Çizelge 3. Köpük beton bileşenlerinin karışım miktarı (Mixing amount of foam concrete components)

S/Ç	İnşaat Yıkıntı Atığı (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Köpük (kg)	Toplam ağırlık (kg)	Kıvam ℓ /sn	Akış Gözlemleri
0,39	210 (10*)	394,4 (11,2*)	138 (13,8*)	55,25 (65*)	797,65(100*)	98	Kesintili akış
0,42	210 (10)	394,4 (11,2)	148 (14,8)	55,25 (65)	807,65 (101)	72	Kesintili akış
0,45	210 (10)	394,4 (11,2)	158 (15,8)	55,25 (65)	817,65 (102)	57	Sürekli akış
0,48	210 (10)	394,4 (11,2)	168(16,8)	55,25 (65)	827,65 (103)	50	Sürekli akış
0,51	210 (10)	394,4 (11,2)	179(17,9)	55,25 (65)	838,65 (104)	44	Sürekli akış

*Hacimce % oranlarıdır



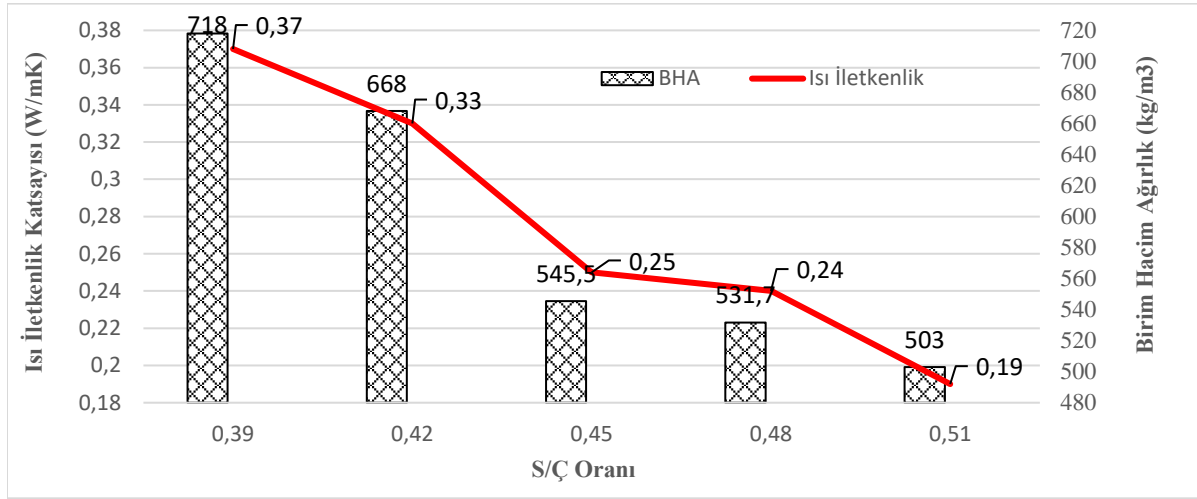
Şekil 4. Köpük harç üretimi ve kalıplanması (Foam mortar production and molding)

3.2. Sertleşmiş Köpük Betonun Birim Hacim Ağırlığı ve Isı İletim Katsayısı (Unit Weight and Heat Conduction Coefficient of Hardened Foam Concrete)

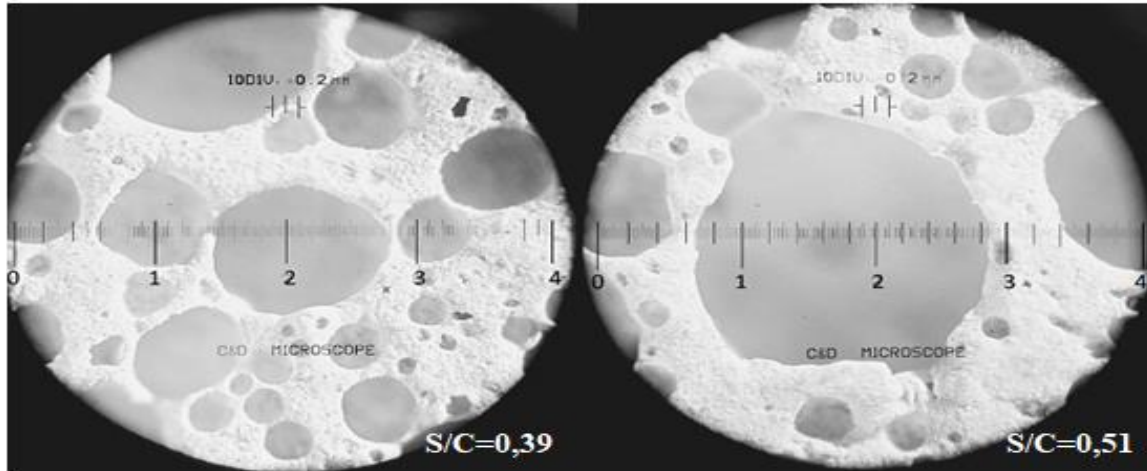
Köpük betonların birim hacim ağırlıkları ile ısı iletkenlik değeri birbiriyle ilişkili olduğu söylenebilir. Köpük yoğunluğuna, boşluk çapı ve hücre yapısına, katı malzemenin birim ağırlığına, karışım oranlarına, bağlayıcı cinsine, nem faktörü ve sıcaklık farkı gibi

birçok parametreye bağlıdır [19]. Genel olarak malzemelerin birim hacim ağırlıkla ısı iletkenlik kat sayısı birbiriyle ilişkilidir. Köpük betonların birim hacim ağırlığı 400-1600 kg/m³ arasında iken köpük betona benzer olan, gaz betonun kuru birim hacim ağırlığı 300–600 kg/m³ arasındadır. Araştırmada üretilen betonun birim hacim ağırlıkları 503-718 kg/m³ arasındadır. Bu birim hacim ağırlık sonuçları literatürde verilen köpük ve gaz beton değerleri ile örtüşmektedir.

Şekil 5’de S/Ç oranına bağlı olarak birim hacim ağırlığı ısı iletim katsayısı ilişkisi verilmiştir. Bu şekilde incelenip analiz edildiğinde su/çimento oranı arttıkça birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik azalmaktadır. Birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik ile S/Ç oranı arasında ters ilişki söz konusudur. S/Ç oranı (0,39) ve (0,51) olan numunelerde köpükler yüzey gerilmelerine yenik düşerek sönmüş ve neticesinde de çökmeler meydana gelmiştir.

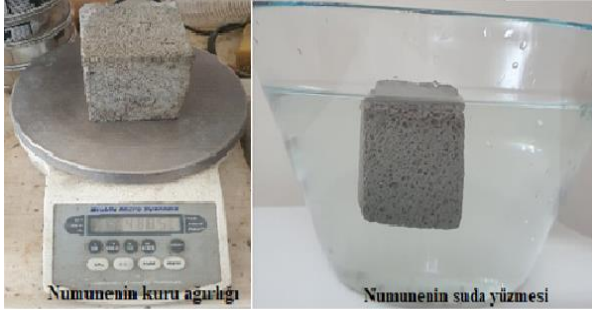


Şekil 5. Numunelerin birim hacim ağırlıkları ve ısı iletkenlik ilişkisi (The unit volume weights of the samples and the thermal conductivity relationship)



Şekil 6. Çatlak mikroskobu yardımıyla boşluk görüntüleri (Space images with the help of crack microscope)

Köpük beton numunelerinin alt kısmı ile üst kısmındaki köpük çapı ve dağılımı farklılık gösterdi gözlenmiştir. Aynı zamanda köpük dağılımı S/Ç oranına göre homojen olmadığı Şekil 6 'de görülmektedir. Bu köpük dağılım ve çapındaki farklılık, birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik değerindeki değişkenlik yansıması Şekil 5'de görülmektedir. S/Ç oranı ile ısı iletkenlik katsayısı arasında bir ters bir ilişki olduğu görülmektedir. Birim hacim ağırlıkla ile ısı iletkenlik katsayısı arasında paralellik görülmektedir. S/Ç oranı 0,39 olan numunenin BHA 718 kg/m³ iken ısı iletkenlik katsayısı 0,37 W/mK, en yüksek iken, S/Ç oranı 0,51 olan numunenin BHA 503,5 kg/m³ iken ısı iletkenlik katsayısı 0,19 W/mK en düşüktür. Bu deney sonuçları TS EN 825'de[48] gaz beton değerinin en düşük ve en yüksek birim hacim ağırlığı; 400 kg/m³ $\lambda=0,20$ iken 800 kg/m³ $\lambda=0,29$ W/mK uyumlu iken literatürde köpük betonların birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak değişmesiyle beraber ısı iletim katsayıları; delikli tuğla $\lambda=0,40$ W/mK, iken köpük betonda en düşük $\lambda=0,060$ W/mK olduğu belirtilmektedir.



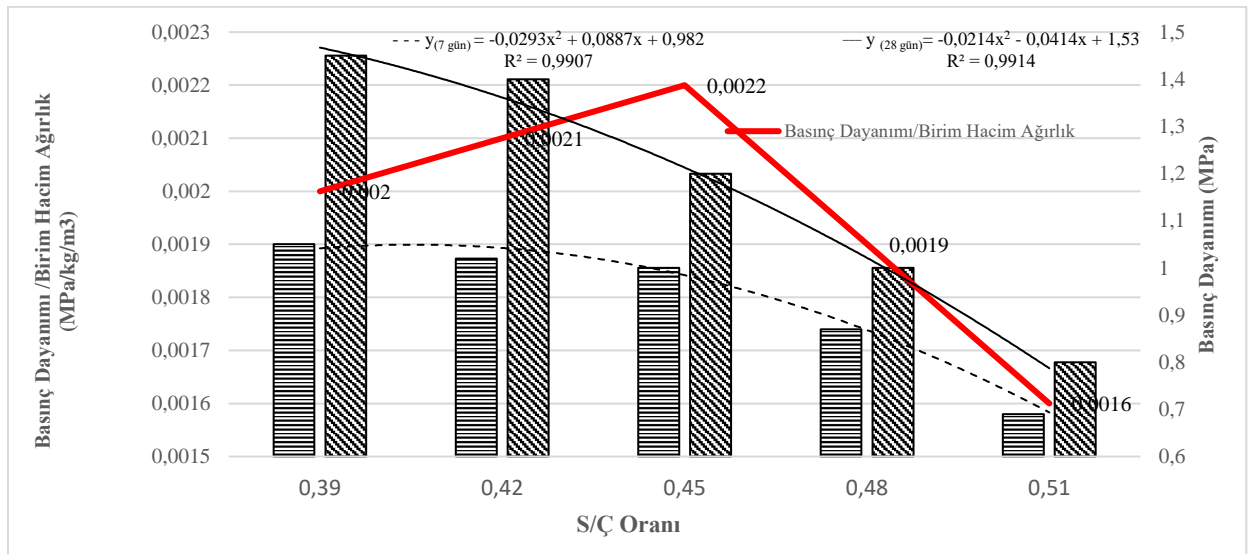
Şekil 7. Köpük beton ağırlığı ve numunenin sudaki konumu (Weight of foam concrete and position of sample in water)

Genel olarak köpük ve gaz betonların birim hacim ağırlığı çok küçük olduğu için suda batmadığı bilinmektedir. Çalışmada üretilen köpük beton suya batmadığı Şekil 7'de görülmektedir.

3.3. Basınç Dayanım Özellikleri (Compressive Strength Properties)

Köpük betonların mekanik özeliği olan 7 ve 28 günlük basınç dayanımları laboratuvar ortamında hava kurusu numuneler üzerinde yapılmıştır. Köpük betonun basınç dayanımı sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'incelenip analiz edildiğinde 7 ve 28 günlük basınç dayanımı birbirine paralellik gösterirken, S/Ç oranı arttıkça basınç dayanımı azalmakta. En yüksek basınç dayanımları 0,39 S/Ç oranı ile üretilen örneklerde verirken, en düşük basınç dayanımları 0,51 S/Ç oranlı ile üretilen örnekler vermiştir. Kâgir birimler- Özellikler- Köpük beton kâgir birimler (TS 13655/T1) [43] standardında dolgu duvarda kullanılacak köpük betonların olması gereken en az basınç dayanımı 1,5 MPa olması gerektiği belirtilmektedir. 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının S/Ç oranı ilişkisi istatistik olarak ilişkilendirildiğinde ikinci dereceden parabolik bir ilişki olduğu görülmekte ve $R^2=0,99$ olduğu hesaplanmıştır. S/Ç oranın 0,45'den küçük olan numunelerin basınç dayanımlarının birine yakın ve diğer oranlara göre daha yüksektir. S/Ç oranı 0,45 büyük oranlarla üretilen numunelerin basınç dayanımı birbirine yakın ve azalmaktadır.

Karışımlarla üretilen köpük betonda, temel amaç max. basınç dayanımı, min. birim hacim ağırlık hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda köpük beton numunelerin basınç dayanımı/birim hacim ağırlık (BHA) oranları ilişkisi (Şekil 8) irdelendiğinde S/Ç oranı 0,45 olan numunelerin basınç dayanımı/BHA oranı 0,0022 olarak en yüksek olarak bulunmuştur. Bu oran optimum S/Ç oranı olarak belirlenmiştir. Optimum S/Ç oranı 0,45 olan karışımla üretilen numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı sırasıyla 1,00 ve 1,20 MPa olarak saptanmıştır. Köpük beton bünyesinde bulunan hapsolmuş hava boşluk dağılımı ve çapı basınç dayanımı/BHA oranı üzerine etkili olduğu rahatlıkla söylenilebilir (Şekil 6). Şekil 6'deki boşluk görüntüleri yüksek çözünürlüklü



Şekil 8. S/Ç oranı- basınç dayanımı ve basınç dayanımı/BHA ilişkisi (W/C ratio- compressive strength and compressive strength/UVW relationship)

beton çatlak mikroskobundan faydalanılmıştır. Bu görüntü çatlak mikroskobu 40x optik yakınlaştırma yapılmak suretiyle 0,02 mm bölüntülü ve 4 mm ölçüm çapına sahiptir. Şekil 6'da boşluk dağılımı, çapı, boşlukların birbirine mesafesi çok değişkenlik göstermektedir. İki ayrı görüntüde bu belirgin olarak görülmektedir. İşte bu boşluk dağılımı köpük betonun mekanik, fiziksel ve termik özelliği üzerinde oldukça etkili olmaktadır.

3.4. Su Emme Oranı ve Ultrases Geçiş Hızı (Water Absorption Rate and Ultrasound Transmission Rate)

Fiziksel özelliklerden su emme oranı belirlenmesinde laboratuvar ortamında açık hava da bekletilerek numunelerin kuru ağırlıkları tartılmıştır. Sonrasında ise 24 saat su havuzuna bırakılarak suya doymun hale gelmeleri sağlanır. Akabinde numuneler tekrar tartılarak kuru ve suya doymun halleri arasındaki ağırlıkları bulunur.

Şekil 9. incelendiğinde su emme oranı ve S/Ç oranı 0,39'da %31,9 olur iken, S/Ç oranı 0,51 de %68,9 dur. Köpük betonun su emme % si 31,9 ile 68,9 arasında değişmektedir. Bu su emme % oranlarına ve S/Ç oranına bağlı olarak değişmektedir. Bunun nedeni boşlukların yapısı ve bir birle bağlantılı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu boşluk yapısı ultrases geçiş hızı değerleri ile ilişkili olduğu görülmektedir. Köpük beton

oranında en düşüktür. Yani basınç dayanımı ile su emme % si arasında ters ilişkili olduğu rahatlıkla söylene bilir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

İnşaat yıkıntı atığı ince agregası(kumu) ile köpük beton üretilebileceği bu araştırma sonuçları göstermiştir. Bu sonuçlara göre;

S/Ç oranı arttıkça köpük betonun birim hacim ağırlıkları ve aynı zamanda ısı iletkenliğe katsayısı azalmıştır.

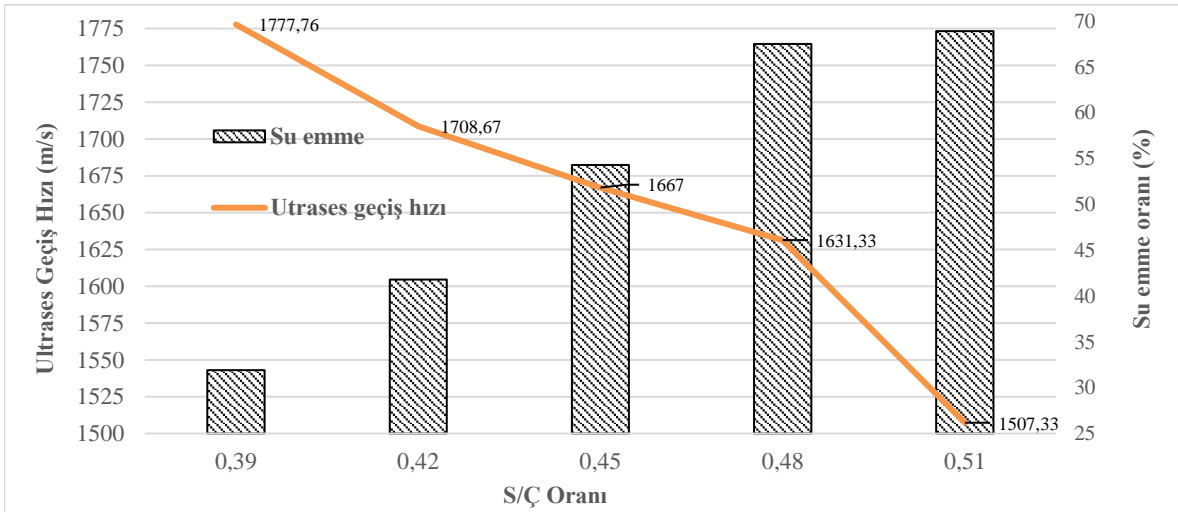
Köpük beton bünyesinde oluşan hava boşluklarının çap, birbiri arasındaki mesafeleri ve boyutları S/Ç oranına göre farklıdır.

Köpük betonların basınç dayanımları S/Ç artış oranına bağlı olarak azalmıştır. En yüksek basınç dayanımı 1,45 MPa ile 0,39 S/Ç oranıyla üretilen numunelerden sağlamıştır.

Optimum S/Ç oranını belirlemek için, basınç dayanımının/BHA oranlanmasıyla en yüksek 0,022 değeri veren 0,45 optimum S/Ç olarak belirlenmiştir.

Karışımındaki S/Ç oranı ile su emme arasında doğrusal ilişki olduğu ve Ultra ses geçiş süresi S/Ç oranı artışına bağlı olarak azalma saptanmıştır.

Köpük betonun birim hacim ağırlığı, ısı iletim katsayısı ve ultra ses geçiş hızı betonun boşluk yapısıyla ilgili olduğu için bu özellikler birbiriyle oldukça uyumlu ve paralellik gösterdiği saptanmıştır.



Şekil 9. S/Ç oranı- su emme oranları ve ultrases hızı ilişkisi (Relationship between W/C ratio-water absorption rates and ultrasound velocity)

bünyesinde boşluk az veya birbiriyle bağlantısı ne kadar az ise su emme %'si de o kadar az olacak, aynı zaman da doğal olarak ses geçiş hızı büyük olacaktır. Şekil 9 incelenip analiz edildiğinde bunun doğru olduğu görülmektedir. S/Ç oranı arttıkça ultrases geçiş hızı azalmaktadır ve su % 'si artmaktadır. Burada Numunelerin Su emme %'si ile ultrases geçiş hızı ve BHA arasında ters ilişki olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada Şekil 5, Şekil 8 ve Şekil 9 birbiriyle kıyaslandığında BHA en yüksek olduğu numunelerin su emme %'si en düşük, basınç dayanımı en yüksek ve S/Ç

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Yusuf Özçelik: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. / Performed the experiments and analyse the results.

Osman ŞİMŞEK: Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Wrote the manuscript.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gürer, C., Akbulut, H., & Kürklü, G. "İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi". *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir- Türkiye, 28-36, (2004).
- [2] Korkut, M. K. & Şimşek, O. "İri agrega olarak inşaat yıkıntı atığı, ince agrega olarak doğal ve kırma kum kullanılan betonun bazı mühendislik özelliklerinin incelenmesi". *International Journal of Engineering Research and Development*, 13 (2) , 508-520, (2021).
- [3] Ölmez, E., & Yıldız, Ş. "İnşaat ve yıkıntı atıklarının yönetimi ve planlanan İstanbul modeli". *Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları*, 8, 02-06, (2008).
- [4] Wang, B., Yan, L., Fu, Q., & Kasal, B. "A comprehensive review on recycled aggregate and recycled aggregate concrete". *Resources, Conservation and Recycling*, 171, 105565, (2021).
- [5] Demir, İ. "İnşaat yıkıntı atıklarının beton üretiminde kullanımı ve beton özelliklerine etkisi". *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 105-114, (2009).
- [6] Özçelik Y. İnşaat yıkıntı atıklarının köpük beton üretiminde kullanılabiliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2022).
- [7] Demirel, C., & Şimşek, O. "Erken yaşdaki atık betonların geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabiliği ve sürdürülebilirlik açısından incelenmesi". *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 226-235, (2015).
- [8] Lan X. , Zhang X., Hao Z. And Wang Y. "Strength and shrinkage properties of cement stabilized macadam bases incorporating 0–2.36 millimetre recycled fine aggregate". Short Communication. *Case Studies in Construction Materials* 16 e00984, (2022).
- [9] Sonawane, T. R., & Pimplikar, S. S. "Use of recycled aggregate concrete". *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 52(59), (2013).
- [10] İnternet: İnşaat ve Yıkıntı Atıklarından İlk Endüstriyel Uygulama Tamamlanarak "Yeşil Tuğla" ve "Yeşil Çimento" Üretildi. Son Erişim Tarihi: 28.03.2022.
- [11] Kou S.C., Poon C.S. & Chan D.C. "Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete". *ASCE Journal of Material In Civil Engineering*, 19(9), 709-715, (2007).
- [12] Maçın, K. E., & Demir, İ. "Kentsel dönüşüm sürecinde İstanbul'da inşaat ve yıkıntı atıkları yönetimi". *Adyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9, 188-201, (2018).
- [13] Aydın, Ş. , Çelik, A. G. & Güneş, İ. "Geri dönüştürülmüş beton ve tuğla agregalarının beton üretiminde kullanılabiliğinin araştırılması". *MT Bilimsel*, (20), 11-22, (2021).
- [14] Ramamurthy, K., Nambiar, E. K., & Ranjani, G. I. S. "A classification of studies on properties of foam concrete". *Cement and concrete composites*, 31(6), 388-396, (2009).
- [15] Başpınar, M. S. & Kurtuluş, C. "Kompozisyon değişiminin geopolimer köpük beton temel özelliklerine etkisi". *Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi* ,1(1), 5-11, (2018).
- [16] Khawaja, S. A., Javed, U., Zafar, T., Riaz, M., Zafar, M. S., & Khan, M. K. "Eco-friendly incorporation of sugarcane bagasse ash as partial replacement of sand in foam concrete". *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100164. (2021).
- [17] Ekinci D. "Yapı Teknolojisi ve Malzeme. Türkiye'de köpük beton". *Mimarlık dergisi*, sayı 376 Mart-Nisan (2014).
- [18] Kuru M., "Köpük betonun yoğunluk ve sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik katsayısının ısı akış ölçer yöntemiyle belirlenmesi". *SDÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 614-622, (2017).
- [19] Kulaksızoğlu, Z. Isı Yalıtım Sektör Araştırması. *İstanbul Ticaret Odası* (2006).
- [20] Şeker B. Ş., Gökçe M., Toklu K. "Investigation of the effect of silica fume and synthetic foam additive on cell structure in ultra-low density foam concrete". *Case Studies in Construction Materials*. (2022).
- [21] He, Y., Gao, M., Xu, D., & Yu, X. "Influence of sub-zero temperatures on the dynamic behaviour of foam concrete with sand". *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(10), 3843-3851, (2021).
- [22] Demir, İ., Başpınar, M. S., & Kahraman, E. "Köpük beton üretiminde uygun akışkanlaştırıcı/priz hızlandırıcı katkı türünün araştırılması". *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 390-400. (2019),
- [23] Sahu, S. S., & Gandhi, I. S. R. "Studies on influence of characteristics of surfactant and foam

- on foam concrete behaviour”. *Journal of Building Engineering*, 40, 102333, (2021).
- [24] Kılınçarslan, Ş., Davraz, M. & Işıldar, N. “Genleştirilmiş polistrenin uçucu kül içeren köpük beton özellikleri üzerine etkileri”. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (2), 224-231, (2019).
- [25] Ören, O. H. Granüle yüksek fırın cürufunun köpük beton özelliklerine etkisi. *Yüksek Lisans*, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, (2017).
- [26] Oğuz, M. (2019). Geri dönüştürülmüş betonların köpük betonda kullanılabilirliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans*, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, (2019).
- [27] Amran, Y. M., Farzadnia, N., & Ali, A. A. Properties and applications of foamed concrete; a review. *Construction and Building Materials*, 101, 990-1005, (2015).
- [28] Bing, C., Zhen, W., & Ning, L. Experimental research on properties of high-strength foamed concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 24(1), 113-118, (2012).
- [29] Mydin, M. A. O., & Wang, Y. C. Mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 26(1), 638-654, (2012).
- [30] Song, Q., Bao, J., Xue, S., Zhang, P., & Mu, S. Collaborative disposal of multisource solid waste: Influence of an admixture on the properties, pore structure and durability of foam concrete. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 1778-1790, (2021).
- [31] Nambiar, E. K., & Ramamurthy, K. “Air-void characterisation of foam concrete”. *Cement and concrete research*, 37(2), 221-230, (2007).
- [32] Atabey, V. Mermer atıklarından köpük betonda blok üretimi. *Yüksek Lisans*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, (2018).
- [33] İnternet: Genfil Köpük Ajansı. URL: <https://sites.google.com/site/yuzeykoruyucu/>. Son Erişim Tarihi:01.03.(2022).
- [34] İnternet:Rotowash. URL:www.rotowash.com.tr/kopuk-puskurtme-pompaları-2/88645---30-It-kopuk-puskurtme-pompası-88645.html. Erişim Tarihi: 11.02.2022.
- [35] Jones, M., McCarthy, M., & McCarthy, A. “Moving Fly Ash Utilisation in Concrete Forward: A UK Perspective”. In T. Robl, & T. Adams (Eds.), 2003 *WOCA Proceedings Papers* (pp. 1-24). University Press of Kentucky.(2003).
- [36] TS EN 12390-7. “Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş betonun birim hacim kütlelerinin tayini” (2019).
- [37] TS EN 12390-3. “Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini” (2019).
- [38] TS EN 480-11. 8. “Kimyasal katkıları- Beton, harç ve şerbet için- Deney metodları- bölüm 11: Sertleşmiş betonda hava boşluğu özelliklerinin tayini” (2008).
- [39] TS EN 12504-4. “Yapılarda beton deneyleri- Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini” (2021).
- [40] TS ISO 8301/A1. “Isı yalıtımı- Kararlı halde ısı direncin ve ilgili özelliklerin tayini- Isı akış tayini için metodlar” (2015).
- [41] TS EN 12664. “Yapı malzemeleri ve mamulleri- Isıl direncin, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerinin kullanıldığı metodlarla tayini- Isıl direnci orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller” (2009).
- [42] TS EN 825. Isı yalıtım malzemeleri-Binalar için- Yüzey düzlüğünün tayini. (2013).
- [43] TS 13655/T1. “Kâgir birimler- Özellikler- Köpük beton kâgir birimler”(2022)