

## **Köpük Beton Hakkında İnceleme**

### **Review of Foam Concrete**

Muhammed YILMAZ, Hamza Berat GÖKHANOĞLU, Gürkan ALPARSLAN,  
Muhammed Yusuf ÖZĞAN

\*1 Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırşehir

Doi: 10.51764 -smutgd.914929

Geliş Tarihi : 12.04.2021  
Kabul Tarihi : 28.05.2021

#### **ÖZET**

Köpük beton; sürfaktan, su, çimento ve ihtiyaç durumuna göre ince agrega ya da kum eklenerek, ısı işleme gerek duyulmadan hazırlanabilen bir hafif beton türüdür. Sertleşme sonrasında düşük yoğunluğa sahip ve taze halde akıcılığı yüksektir. Köpük betonun harcının geleneksel harçtan farklı olmasının nedeni akış özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Akış özelliği gösterir çünkü akma dayanımı oldukça düşüktür. Akış özelliklerini belirleyen birden çok etken vardır. Temel olarak; çimento tipi, köpük yoğunluğu, köpük ajanının tipi, taze harcın yoğunluğu, su-çimento oranı, filler malzeme miktarı ve tipi, su-ince malzeme oranı vb. gibi faktörler akış özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle köpük betonun ve nihai betonun akışkanlığı, deformasyon ilişkisi açısından benzerdirler. Köpük betonun reolojik özellikleri harcın kararsızlığı, pompalanabilirliği ve işlenebilirliği ve kararsızlığı hakkında bilgilendirir. Bu çalışmada beton çeşitlerinden olan köpük betonun derinlemesine incelemesi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, Köpük beton, Çimento

#### **ABSTRACT**

Foam concrete; It is a lightweight concrete type that can be prepared without the need for heat treatment by adding surfactant, water, cement and fine aggregate or sand depending on the need. It has low density after hardening and has high fluidity in fresh state. The reason that the mortar of foam concrete differs from conventional mortar is due to its flow properties. It shows flow properties because its yield strength is very low. There are multiple factors that determine flow properties. On the basis of; cement type, foam density, foam agent type, density of fresh mortar, water-cement ratio, filler material amount and type, water-fine material ratio, etc. Therefore, they are close in terms of the flowability and deformation relationship of foam concrete and final concrete. Rheological properties of foam concrete inform about the instability, pumpability, workability and instability of the mortar. In this study, foam concrete, which is one of the concrete types, has been investigated in depth.

**Keywords:** Concrete, Foam concrete, Cement

## GİRİŞ

Günümüzde beton en çok kullanılan yapı malzemelerinden birisidir. Bu nedenle beton teknolojisi oldukça gelişmiştir (Ören, 2017). Beton; su, agrega, çimento ve genellikle da katkı maddelerinin birleşmesiyle meydana gelen kompozit bir yapı malzemesidir. Çimentonun su ile bir araya gelmesi sonucu meydana gelen çimento hamuru agregaların yüzeylerini sararak ve tanelerin ara boşluklarını kapatarak bağlayıcı karakter kazandırır. Agregalar beton iskelet yapısını meydana getiren kum, çakıl, kırma taş gibi taneli mineral bir malzemedir (Konuk, 2003). Agregalar özellikle taşıyıcı betonların en vazgeçilmez, en önemli bileşenidir. Agregaya kaynağında yaşanacak kıtlık beton üretimini daha maliyetli ve zor hale getirecektir (Oğuz, 2019).

Kaynak ve enerji verimliliğine duyulan ihtiyaç, yapı malzemelerinin ve üretim teknolojilerinin devamlı olarak geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bu nedenle hem üretim, hem de kullanım aşamaları için daha az kaynak ile daha yüksek enerji verimine sahip ısı yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi ve üretilmesi, özellikle soğuk iklim koşulları için son derece önemlidir (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021). Farklı amaçlar için özel betonlar geliştirilmiştir. Onlardan bir tanesi de köpük betondur.

Köpük beton, köpük ajanı ilavesi ile oluşturulan homojen ve gözenekli yapıya sahip dolgu harcı olarak bilinen hafif bir materyaldir. Hafif betonun çeşitlerinden biri de köpük betondur. Agregaya, su ve çimentonun birleşmesiyle elde edilen harca köpük karıştırılması ile elde edilir. Bünyesinde kapalı gözenekler içerir bu gözenekler hacminin %75- %80'i oluşturur (Ekinci, 2013). Taze halde düşük viskozite, sertleşmiş halde yoğunluğu ve ısı iletkenliği düşük değerleri olan köpük betonlar genelde 1- 43 MPa (28 gün) basınç mukavemetine ve 300-1600 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahiptir (Oğuz,2019). Jalal ve arkadaşları (2017), tarafından yapılan çalışmada; köpük beton için sadece ince agrega, çimento, su ve köpük içeren, büyük çoğunluğu hafif malzemelerden oluşan ve büyük agrega içermemesi sebebiyle homojen olduğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle köpük beton, yukarıda verilen bu özelliklere de sahip olmasının yanı sıra, uygun bir köpük ajanı kullanımı ve hava boşluklarının harç içinde homojen bir dağılım gösterecek şekilde tutulduğu, yüksek akışkanlık, düşük yoğunluk, minimum agrega tüketimi, kontrollü düşük dayanım ve çok iyi ısı yalıtım özelliklerini barındıran bir hafif beton cinsi olarak tanımlanmaktadır (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

Beton ile ilgili çalışmalarda maliyeti düşük, dayanımı yüksek ve daha hafif betonlar temin edilmeye çalışılırken, diğer yapı elemanları içinde maliyeti düşük, bina yükünü hafifletecek ve ısı yalıtımı iyi olan ürünler sağlanmaya çalışılmaktadır. Yapılan son çalışmalara göre köpük beton bu malzemeler arasında en önemli türü olarak değerlendirilmektedir (Kılıçer, 2018).

Köpük betonun ilk patenti 1923'de alınmış olmasına rağmen, kararlı köpük beton karışımı üretiminin kullanılan köpük ajanı özellikleri ve miktarına, köpük üretim yöntemine, hava boşluğu dağılımının homojenliğine, uygulanan karışım yöntemlerine ve diğer birçok etkene bağlı olması sabit bir oranda standart karışım hazırlama yöntemi bulunmamaktadır (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021). Son yıllarda taşıyıcı yahut yarı taşıyıcı olmayan inşaat uygulamalarında yayılmaya başlamıştır (Davraz & Kılınçarslan, 2015).

Köpük beton imalatının başlıca iki yöntemi bulunmaktadır. Birinci yöntemde hazırlanan köpük, harçla karıştırılır. İkinci yöntemde ise beton karışım sırasında köpük oluşturma yöntemidir. Kullanılan köpükler protein ya da sentetik esaslı olabilir ve tescilli kaynaklardan temin edilebilir (Oğuz, 2019). Günümüzde protein bazlı köpüklerin temelini hayvansal ürünler oluşturmaktadır. Sentetik köpükler ise formaldehit, naftalin sülfonat, aminoksitlerden ve amin vb'den oluşur. Bu ürünler incelendiğinde çevre için tehlike arz edebilecek bazı maddeleri içerebilir. Bu nedenle özellikle içeriğinde formaldehit kondensatları bulunuyorsa kullanılırken dikkat edilmelidir. Protein esaslı köpükleştirici maddeler dayanımlı, daha kapalı, daha güçlü yapıya sahipken sentetikler daha fazla genişleme ve daha düşük yoğunluk üretmeye sahiptirler. Buna ek olarak, protein esaslı köpükler, daha fazla miktarda havanın dahil olmasına izin verir ve aynı zamanda daha kararlı bir hava boşluğu ağı sağlar. Genellikle protein esaslı köpükler daha kısa raf ömrüne (6 aya kadar) sahiptir. Sentetik ajanların ise depolanma süresi bir yıla kadar ulaşabilir (Ören, 2017).

## BİLEŞENLERİ

Köpük betonun temel bileşenleri ve değişkenlik gösteren yardımcı bileşenlerine bakıldığında çimento, kum, su, köpük ajanıyla üretilen köpük ile agregaların oluşturduğu ve ek malzemeler olarak ise uçucu kül, akışkanlaştırıcı ile organik ve inorganik liflerden oluştuğu belirtilmiştir (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

## KIVAM VE REOLOJİ

Köpük beton taze harç karışımının akış özellikleri, işlenebilirliği ve kendiliğinden yerleşebilme yeteneğini belirleyen kıvam ve reoloji özellikleri üzerinde etkili en önemli faktörler bileşenlerin birbirleriyle uyumluluğu ve su içeriğidir. Bileşenler arasındaki adezyon kuvveti, köpük ajanı cinsi, hacmi, gözeneklilik, kullanılan agrega cinsinin tane boyutu, şekil ve yüzey alanı ile karışımın su/katı oranı kıvamı büyük ölçüde değiştirmektedir (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

## FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Köpük betonun fiziksel özellikleri bakımından yoğunluk, gözeneklilik ve kılcal su emme önem arz etmektedir.

## BİRİM HACİM AĞIRLIK

Köpük betonun taze birim hacim ağırlığı ile kuru birim hacim ağırlığı farkının 100-120 kg/m<sup>3</sup> miktarlarını aşmaması önerilirken Amran ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada kuru birim hacim ağırlığı için teorik ve gerçek birim hacim ağırlıkları farkı  $\pm 50$  kg/m<sup>3</sup> olması gerektiği belirtilmiştir. Köpük beton birim hacim ağırlığının azalması sertliğinin ve dayanımının azalmasına sebebiyet vermektedir (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

## GÖZENEKLİLİK VE KILCAL SU EMME

Köpük betonun temel fiziksel, mekanik ve fonksiyonel özellikleri üzerinde belirleyici bir role sahip olan gözenek yapısı ile ilgili olarak toplam gözenek miktarı, gözenek büyüklüğü, gözeneklerin dağılımı ve birbirleri ile olan bağları onun yük veya diğer etkenler karşısındaki davranış şeklini belirleyen en önemli faktörlerdir. Gözenekler geleneksel olarak jel gözenekleri, kılcal gözenekler ve makro gözenekler olarak sınıflandırılmaktadır. Kılcal gözenekler, betona su emme durumu yarattığından kürlenme süresinden sonra alınacak sonucu da değiştirebilmektedir. Bir köpük betonun gözenek yapısı, karışımı oluşturan bileşenlerin cinsleri, özellikleri ve oranlarının etkisi altında şekillense bile burada esas belirleyici olan köpük ajanının sahip olduğu gözenek yapısı olduğu da gözden kaçırılmamalıdır (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

## MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımları köpük betonların en sık incelenen mekanik özelliklerindedir.

## BASINÇ DAYANIMI

Köpük beton basınç dayanımını etkileyen başlıca faktörler arasında köpük ajanı cinsi ve oranı, çimento, kum ve diğer bileşenlerin oranı, s/ç oranı, yoğunluk ve kürlenme yöntemi bulunmaktadır. Ancak Bing ve arkadaşları (2012), tarafından yapılan çalışmada köpük beton dayanımının yoğunluktaki artışla birlikte üstel bir şekilde arttığı ve yine köpük hacmindeki azalmayla birlikte arttığı belirtilmiştir. Köpük hacminin %50 oranında olması durumunda basınç dayanımında büyük bir azalma olduğu belirtilmiştir ve %30 oranındaki köpük hacmi, basınç dayanımında değişime neden olmayan uygun oran olarak belirlenmiştir. Su miktarının, karışımın tutarlılığı ve kararlılığı üzerinde belirleyici bir role sahip olduğu ve genellikle tasarım karışımlarında kullanılan kumun tane boyutunun ve diğer malzemeler ile elyafın betonun dayanımını üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

## YARMADA ÇEKME VE EĞİLME DAYANIMLARI

Köpük betonun çekme/basınç dayanımı oranı normal betona göre daha yüksektir. Karışım suyu miktarının beton yoğunluğunu değiştirmesi çekme ve eğilme dayanımının da farklılaşmasına neden olmaktadır. Köpük hacmi artışının yarmada çekme dayanımını azalttığı ve %10 oranındaki köpük hacminde yüksek olan söz konusu dayanımın %30 ve 50 oranlarındaki köpük hacimlerinde büyük bir azalma olduğu belirtilmiştir (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

## FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Köpük betonun fonksiyonel özellikleri arasında akustik yalıtım direnci, ısı iletkenlik ve yüksek sıcaklık direnci özellikleri ön plana çıkmaktadır.

### AKUSTİK YALITIM DİRENCİ

Köpük betonda kullanılan köpük hacmine bağı olarak gözeneklilik ve gözenek boyut dağılımının geleneksel betona göre farklılaşması nedeniyle köpük betonun ses yutma ve yansıtma özelliklerinin de gelişmesine sebep olmuştur (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

### ISIL İLETKENLİK

Köpük beton ısı iletkenlik değerleri karışım bileşenlerinin cinsi, miktarı ve harç/köpük oranı gibi faktörlere bağıdır. Konuyla ilgili bir çalışmada, karışımda bazı atık ek bileşenlere de yer verilerek jeopolimer köpük betonun (1300 kg/m<sup>3</sup>), ısı iletkenlik katsayısının (0.47 W/mK) geleneksel duvar malzemeleri olan briket ve tuğladan sırasıyla %22 ve 48 oranlarında daha düşük olduğu ve en yüksek yoğunluğa sahip olan köpük betonun (1700 kg/m<sup>3</sup>) ise sahip olduğu basınç dayanımı (30 MPa) ve ısı iletkenlik katsayısı (0.58 W/mK) ile kıyaslandığında 1. sınıf yapısal beton olarak sınıflandırıldığı bildirilmiştir. Jeopolimer köpük betonların aynı yoğunlukta ve/veya aynı dayanıma sahip PÇ içeren köpük betondan daha iyi ısı yalıtım özellikleri gösterdiği belirtilmiştir. Sentetik ve protein esaslı köpük ajanlarının hava kabarcıklarına etkileri ve ısı iletkenliğinin karışımların hava içeriği ile bağılantılı olan yoğunluk artışı ile birlikte azaldığı vurgulanmaktadır (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

### YÜKSEK SICAKLIK DİRENCİ

Köpük betonun karışım bileşenlerine ve oranlarına göre geleneksel betona kıyasla daha iyi yüksek sıcaklık direnci sağladığı bilinmektedir. Ultra hafif köpük beton yoğunluğunun artması ile yüksek sıcaklık direncinin artması, 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk için 150 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa göre 3 kat daha fazla olması ve yeterli yüksek sıcaklık direnci için 250 kg/m<sup>3</sup> 'ten daha yüksek bir yoğunlukta tasarımların yapılması gerektiği şeklinde ifade edilmektedir (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

### KULLANIM ALANLARI, AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Hafif beton çeşitlerinin bazı şap ve koyulaştırıcılar ile zemin, çatı, duvar ve diğer yapı elemanları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı çeliğinin yangın ve aşınmaya karşı korunması veya mimari amaçlara yönelik bir kaplama malzemesi olarak hafif beton kullanılmaktadır. Yine duvarların ve çatıların genel yalıtımı amacı ile de kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanları arasında yakıt depoları, kanalizasyon boru hatları ve menfezler gibi boşlukların doldurulması bulunmaktadır. Hafif beton kullanımının avantajları arasında ilk sırada birim hacim ağırlığın önemli ölçüde azaltılması ve takviyede tasarruf sağlamasıdır. Geliştirilmiş ısı iletkenlik ve yangın direnci özelliklerine sahiptir. Nispeten basit inşaat, prefabrik ünitelerin taşınması ve hızlı bir şekilde montajı, kullanılan kalıp miktarının azaltılması ve desteklenmesi konularında avantaj sağlamaktadır. Çoğunluğunun, ağır ve yüksek performanslı geleneksel betonlara göre daha iyi zımbalama ve kesme özelliklerine sahip olması ve ekonomik olması yanında daha az iş gücüne ihtiyaç duyulması diğer avantajlarıdır (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

Karışımlarda su miktarının oldukça önemli olduğu bazı karışımlarda agregaların çimento harcından ayrılarak yüzebileceği ve karıştırma süresinin uygun karışımı sağlamak için geleneksel betona göre daha uzun sürmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Bodur, Bayraktar & Kaplan, 2021).

Köpük beton, yapıların iç duvarlarında, dış duvarlarında ve zeminlerinde kullanılan mimari elemanların yerini alabilen çevre dostu bir yapı ve ısı yalıtım malzemesidir. İçeriğinde doğal agrega, çimento ve diğer malzemeler bulunmaz. İnsan sağlığına zarar verir, ışık, ısı ve darbe ses yalıtımı sağlar (Ekinci, 2013). Köpük beton, taze haldeyken yüksek akış kapasitesine, düşük ısı iletkenliğe, işlevle ilgili yeterli dayanıma ve düşük yoğunluğa sahiptir. Stabil köpüklü beton üretilmesi, malzeme seçimi, köpüğün hazırlama yöntemi, köpük ajan seçimi, tekdüze hava boşluğu dağılımına sahip katkıların seçimi, karışımın tasarım stratejisi, verim gibi birçok faktöre bağıdır. (Davraz & Kılınçarslan, 2015).

Köpük betonun performansı; dağılımına, düzenliliğine ve boşluk oluşumunun şekline göre değişkenlik gösterir. Isıl iletkenlik ( $\lambda$ ) yoğunluğa bağlıdır. Yapıştırıcı türünün kütleme koşulları ve diğer faktörler üzerinde ihmal edilebilir bir etkisi vardır. Yoğunluğu 400-1800 kg / m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. En önemli özelliği, kapalı hücre yapısı ve ısı ve ses yalıtımı sağlayan hava boşluğu sayesinde su yalıtımı da sağlayabilmesidir. Su emme oranı son derece azdır. Köpük beton, son derece yüksek yangın direncine sahip bir üründür. Normal bir betonla köpük betonun kullanım süresi aynıdır. (Bekaroğlu, 2012).

Köpük betonun harcının geleneksel harçtan farklı olmasının nedeni akış özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Akış özelliği gösterir çünkü akma dayanımı oldukça düşüktür. Akış özelliklerini belirleyen birden çok etken vardır. Temelinde; çimento tipi, köpük yoğunluğu, köpük ajanının tipi, taze harcın yoğunluğu, su-çimento oranı, filler malzeme miktarı ve tipi, su-ince malzeme oranı vs. (Demir& Başpınar, 2017). Kuru yoğunluğu genelde 400-1600 kg/m<sup>3</sup> ve 1-15 MPa basınç dayanımına sahiptir.

Köpük betonda hacim durağanlığı, karıştırma devri ve zamanı, köpük yoğunluğu, ortam koşulları, karışıma giren ürünlerin miktarı ve türü gibi faktörlere bağlıdır. Normal betondan farklı olarak, köpük betonda ve gerçek kuru betonda yoğunluk farkı daha yüksektir (Davraz & Kılınçarslan, 2015).

Köpüklü beton kolaylıkla yerleştirilebilir ve pompalanabilir. Vibrasyon ve sıkıştırmaya ihtiyaç duyulmaz. Dona ve suya karşı direnci mükemmeldir. Köpük betonun taze hali geçici olsa da sertleşmiş betonun özellikleri üzerindeki etkisi çok önemlidir. Uçucu kül fil reolojik araştırmalarda malzeme olarak kullanıldığında, yayılımı kum kullanılan örneklere göre çok daha fazladır. Tutarlılık ve reoloji, agregaların partikül şekli ve partikül boyutu dağılımı ile yakından ilgilidir. Uçucu külün yerini kum kalitesi aldığıda, ince partikül oranı artacak ve akışkanlık azalacaktır. Böyle bir durumda istenilen yoğunluğu elde etmek için su / toz oranı arttırılmalıdır. Karışımdaki köpük miktarının arttırılması viskoziteyi azaltacaktır. Bunun nedeni ise:

- 1) Hava hacmi arttıkça yoğunluktaki azalmaya bağlı olarak kohezyon artar.
- 2) Harç içerisindeki hava kabarcıkları ile katı parçacıklar arasındaki yapışma, harcın kıvamını iyileştirir. Köpüklü beton karışımındaki kabarcıkların nispeten sert bir kıvamda olmasına neden olsa da, yüksek viskoziteli (çok fazla akışkan) karışımdaki baloncukları tutma kabiliyetini kaybederek ayrılmaya neden olabilir. Bu nedenle, stabiliteyi sağlamak için yoğunluk oranı (örneğin, taze betonun sertleşmiş betona yoğunluk oranı) 1: 1'e yakın olmalıdır. (Demir & Başpınar, 2017).

Köpüklü beton harcı, işletmede şekillendirilip blok haline getirilebileceği gibi şantiyede inşa edilen mobil ekipmanlarda ihtiyaç duyulduğunda pompalar ile rahatlıkla taşınabilir. Köpüklü beton, yoğunluğuna göre duvar karoları, boşluklu tuğlalar, paneller, yalıtım tesviye betonları ve prefabrik yapı bileşenlerinin üretiminde kullanılabilir. (Davraz & Kılınçarslan, 2015).

## **ÜLKEMİZDE KÖPÜK BETON**

Ülkemizde köpük beton kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Binalarda tesviye betonlarında, yapı duvar kısımları ve yalıtım şapları şeklinde üretimi bulunur. Yerli teknoloji köpük betonun üretim sanayisi için yeterli durumdadır. Ancak üretim sürecinde küçük hacimli işletmelerin karşısında standartsızlık engel olmaktadır. Standart olmadığı için TS 825'te açıklanamamaktadır, bundan dolayı yapıların projelerindeki, yer ve duvar kaplamalarında yapı elemanı olarak betimlenememektedir. Standartlar konusundaki yetersizliklerin ortadan kaldırılması ile birçok ülkede olduğu gibi, köpük beton gibi yapı elemanlarının ülkemizde kullanımının yaygınlaşması için köpük betonun TS 825' te açıklanmasından sonra bu coğrafyada da köpük betondan yalıtım ve yapı elemanlarının üretilmesi yaygınlaşacaktır. Bu sayede köpük beton tesisleri kurulması için bir sebep kalmayacaktır (Ekinci, 2014).

Bölgesel hammaddeler söz konusu olduğunda, ülkemiz köpüklü betonun hammadde ihtiyacını rahatlıkla karşılayabilmektedir. Ayrıca üretim için yerli teknolojinin kullanılabilmesi düşünülürken ülkemizde köpük beton maliyeti açısından avantajlı bir konumdadır. Köpük betonun ateşleme maliyeti olmadığı düşünülürken tuğla ve gaz betona tercih edilebilir. Ancak ülkemizde endüstriyel köpük beton endüstrisi kurmak için yukarıda belirtilen uyum standartlarından bazılarının önünü açmak gerekiyor. Aksi takdirde köpük betonun diğer hafif betonların sağlayamayacağı bazı avantajları teknik ve ekonomik olarak kullanılamaz. (Oğuz, 2019).

## SONUÇ

Sonuç olarak, termal, mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle köpüklü beton, günümüz inşaat endüstrisinde giderek daha ilginç hale gelmektedir. Ülkemiz köpüklü betonun hammadde ihtiyacını rahatlıkla karşılayabilmektedir bu nedenle bu alandaki teknolojik gelişme, köpük beton üretimini ve tanıtımını büyük ölçüde desteklemiştir. Köpük beton, diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomiktir ve rahat ve hızlı üretim gibi avantajlara sahiptir. Köpük beton, yüksek ısı ve ses yalıtım özelliklerine sahiptir ve düşük basınca dayanabilir. Hafif ve ısı yalıtımı özelliği nedeniyle deprem kuşağında bulunan ve hava kirliliğiyle mücadele edilen ülkemizde yaygın olarak tüm inşaatlarda kullanılması önemli faydalar sağlayacaktır. Günümüzde sürdürülebilir binalar inşa etmek ve çevreye duyarlı olmak başlıca hedeflerden biri haline geldi. Köpük beton üretiminde mineral atıkları kullanarak çevre dostu ve sürdürülebilir malzemeler üretebilir. (Kocakerimoğlu, 2019).

## KAYNAKÇA

- Amran, Y. H. M., Farzadnia, N., & Ali, A. A. A. (2015). Properties and applications of foamed concrete; A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 101, pp. 990–1005).
- Bekaroğlu, M., 2012. Kompozit Yapıda Pomza Agregası İçeren Köpük Betonun Özellikleri ve Teknik Parametrelerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Bing, C., Zhen, W., Ning, L., 2012. Experimental Research on Properties of HighStrength Foamed Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24 (1), 113-118.
- Bodur, B., Bayraktar, Ö. Ü. O. Y., & Kaplan, Ö. Ü. G., 2021. Kalsiyum Alüminat Çimentolarının Köpük Beton Üretiminde Kullanımının İncelenmesi.
- Ekinci, D. (2013) Türkiye’de köpük beton. *Dünya İnşaat Dergisi*. <http://www.dunyainsaat.com.tr/dergioku.php?haberid=4224>
- Ekinci, D. (2014). Türkiye’de Köpük Beton, Yapı Teknolojisi ve Malzeme, *Mimarlık Dergisi*, 376. Sayısı.
- Davraz, M., Kılınçarslan, Ş., & Kuru, M. (2015). Farklı Yoğunluktaki Köpük Betonların Dayanım ve Isıl İletkenlik Özellikleri. *Ulusal beton kongresi, Antalya*, 93-102.
- Demir, İ., Başpınar, M. S., & Kahraman, E. (2017). Köpük Betonun Reolojik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 38(1), 109-118.
- Jalal. (n.d.). *Modern South Asia: History, Culture, Political Economy* - Sugata Bose, Ayesha Jalal - Google Kitaplar. Retrieved March 28, 2021, from [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=T4U0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT12&dq=Jalal+vd.+2017&ots=7SEfhp07HB&sig=T44L8KKNi0jiveVG3C6YM\\_x1DoQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=T4U0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT12&dq=Jalal+vd.+2017&ots=7SEfhp07HB&sig=T44L8KKNi0jiveVG3C6YM_x1DoQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Kılıçer, A. Pomza ve Genleştirilmiş Perlit Madenlerinin Köpük Betonda Agregata Olarak Kullanılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(3), 268-285.
- Kocakerimoğlu, F. (2019). Köpük beton üretiminde farklı mineral katkıların fiziksel ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması (Master’s thesis).
- Konuk, H., 2003. Hafif Agregalı Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı.
- Oğuz, M. (2019). Geri dönüştürülmüş betonların köpük betonda kullanılabilirliğinin araştırılması (Master’s thesis, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ören, O.H. (2017). Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Köpük Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın.