

Pomza ve Genleştirilmiş Perlit Madenlerinin Köpük Betonda Agregata Olarak Kullanılması

Ali Kılıçer

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van
alilikicer@gmail.com

Öz: Bu çalışmada pomza ve genleştirilmiş perlit madenlerinin köpük ajanı kullanılarak köpük betonda agregata olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. Çalışmada pomza ve genleştirilmiş perlit kullanılarak köpük beton üretilmiştir. Elde edilen köpük betonların yapı sektöründe kullanılabilirliğini tespit etmek için köpük beton örnekleri üzerinde tek eksenli basınç dayanım deneyi, donma-çözülme ve ısı iletkenliği deneyleri yapılmıştır. Ayrıca çimento yerine belli miktarlarda pomza kullanılarak bu şekilde elde edilen köpük betonların basınç dayanım ve donma-çözülme sonrası direnç kaybı belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda 90 mikrondan küçük pomzanın % 30'a kadar çimento ile yer değiştirmesiyle nispeten daha iyi basınç dayanımına sahip olduğu ve donma-çözülme karşı daha dirençli olduğu tespit edilmiştir. Pomza ve genleştirilmiş perlitin köpük beton içinde agregata olarak kullanılmasıyla birlikte en yüksek değer olarak 728 kg/m³'de 3.1 MPa değerine ulaşılmıştır. Genleştirilmiş perlit agregalı köpük betonlarında ise 273 kg/m³'de 0.078 W/mK ısı yalıtım değerine ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ekonomik jeoloji, Köpük beton, Genleştirilmiş perlit, Pomza.

Usage As Aggregate of Pumice and Expanded Perlite Mines in Foam Concrete

Abstract: In this study, the usability of pumice and expanded perlite mines as foam aggregates have been investigated by using foam agent. In this study, foam concrete have been produced by using pumice and expanded perlite. Uniaxial pressure test, freeze-thaw and thermal conductivity tests have been performed on the foam concrete samples in order to determine the usability of the obtained foam concretes in the building sector. In addition, using certain amounts pumice instead of cement, in this way, the compressive strength and reactions to freeze-thaw of obtained foam concrete have been determined. In experimental studies, it has been found that pumice which are smaller than 90 microns had relatively better compressive strength by displacement with up to 30% cement and was more resistant to freezing dissolution. With the use of pumice and expanded perlite as aggregate in foam concrete, the highest value of 3.1 MPa have reached at 728 kg / m³. Foam concretes with expanded perlite aggregates have reached a heating insulation value of 0.078 W / mK in 273 kg / m³.

Key words: Economic geology, Expanded perlite, Foam concrete, Pumice.

Giriş

Kalkınma kuramının en önemli ayaklarından biri hiç kuşkusuz ekonomidir. Bu sebeple günümüz dünyasında yapılan çalışmaların çoğu ekonomik temellidir. Ekonomik temelli yoğun çalışmaların yapıldığı en önemli alanlardan birisi inşaat sektörüdür. İnşaat sektörüne yönelik çalışmalar incelendiğinde, yapılan çalışmaların çoğunluğunun, zaman-maliyet ve güvenlik döngüsünün en iyi biçimde işletilebileceği sistem ve mekanizmalar üzerinde durulduğu görülmektedir. Zaman

kavramının geçmiş dönemden daha hızlı bir şekilde tüketildiği ve rekabetinde buna bağlı olarak geliştiği günümüzde bu üç temel kavram ve döngüsü bölgelerin ve ülkelerin kalkınmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu gaye ile inşaat sektöründe kullanılacak malzemelerin daha seri daha düşük maliyetli ve daha güvenli olması beklenilmektedir.

Son zamanlarda inşaat sektöründeki yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları incelendiğinde bu eksende çalışmaların olduğu

görülmektedir. Beton ile alakalı çalışmalarda düşük maliyetli, yüksek dayanımlı ve daha hafif betonlar elde edilmeye çalışılırken, diğer yapı malzemeleri içinde düşük maliyetli, binanın yükünü azaltacak ve iyi ısı yalıtımına sahip ürünler elde edilmeye çalışılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ile bu ürünün en önemli türü köpük beton olarak karşımıza çıkmaktadır.

Köpük beton hafif betonun bir çeşididir. Çimento, su ve agreganın karışımından oluşan harca köpük ajanı ile oluşturulan köpüğün karıştırılması ile elde edilir. Bünyesinde hacminin %75 - %80'i oranında birbirinden bağımsız kapalı gözenekler içerir. Köpük beton, tüm binaların iç ve dış duvarları ile zeminlerinde kullanılan yapı elemanlarının yerine kullanılabilir, bileşiminde doğal agrega ve çimento dışında malzeme bulundurmeyen, insan sağlığına zararı olmayan, hafif, ısı ve darbe sesi yalıtımı sağlayan, çevreci bir yapı ve yalıtım malzemesidir (Ekinci, 2013).

Köpük betonun özellikleri; boşluk oluşum sekline, dağılımına ve düzenliliğine bağlıdır. Isı iletim katsayısı (λ), esas olarak yoğunluğa bağlıdır. Bağlayıcının tipi, sertleşme koşulları ve diğer faktörler üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahiptir. Yoğunluğu 400-1800 kg/m³ arasında değişir. En önemli özelliği, ısı ve ses izolasyonu sağlayan hava boşluklu yapının kapalı hücrecikli olması nedeniyle aynı zamanda su izolasyonu da sağlamasıdır. Su emme değerleri son derece düşüktür. Köpük beton yangın dayanımı son derece yüksek bir urundur. Köpük betonun ömrü, normal betonla aynıdır (Bekaroğlu, 2012).

Bu çalışma kapsamında, Van Gölü Havzasında yüksek rezervde bulunan pomza ve perlit madenlerinin daha verimli kullanılabilmesi ve katma değeri daha yüksek ürün olarak üretilmesi için Bitlis İli Adabağ Bölgesinden alınan pomza ile Kütahya Bölgesinden alınan geliştirilmiş perlit köpük betonda agrega olarak

kullanılmıştır. Geliştirilmiş perlitin Kütahya bölgesinden alınmasının sebebi bu bölgedeki perlitin Van Gölü Havzasındaki perlit ile aynı özellikleri taşımasıdır. Bölgede geliştirilmiş perlit üreticisi bulunmadığından söz konusu bölgeden geliştirilmiş perlit temin edilmiş böylece Van Gölü Havzasındaki perlitin geliştirilmesiyle elde edilebilecek en yakın geliştirilmiş perlit köpük betonda agrega olarak kullanılmıştır.

Sonuç olarak, pomza ve geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örnekleri üzerinde tek eksenli basınç dayanımı, donma-çözülme ve ısı iletkenliği deneyleri yapılmıştır. Böylece çeşitli özelliklerde, düşük birim ağırlığına sahip, ekonomik ve yeterli güvenlik standartları sağlayan köpük beton ve ısı yalıtım malzemesi üretilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarının bölgenin inşaat sektörüne katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada pomza ve geliştirilmiş perlit olmak üzere 2 farklı agrega kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçları karşılaştırmak için kireçtaşı agregası referans olarak kullanılmıştır. Pomza agregası için, Bitlis İli Tatvan İlçesi Adabağ Civarından alınan örnekler, geliştirilmiş perlit agregası için Genper Geliştirilmiş Perlit San. ve Tic. Ltd. Şti'den alınan geliştirilmiş perlit örnekleri ve Kireçtaşı agregası için Van İli Tuşba İlçesinde bulunan Kalecik taşocağından alınan örnekler kullanılmıştır. Kullanılan agreganın özellikleri Çizelge 1, Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'de verilmiştir. Ayrıca köpük beton yapımında kullanılmak için; su, beyaz portland

CEM – I 52.5 R çimento ve genfil köpük ajanı kullanılmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 1. Çalışmada referans örnek olarak kullanılan kireçtaşı agregasının fiziksel, mekanik ve termal özellikleri

Çalışmada Kullanılan Kireçtaşının Fiziksel Özellikleri	
Basınç dayanımı	1650 kg/cm ²
Kırılma dayanımı	185 kg/cm ²
Çekme dayanımı	52 kg/cm ²
Elastisite modülü	2700 kg/mm ²
Young modülü	2.5-8x10 ⁵ kg/cm ²
Poisson katsayısı	0.15
Genleşme katsayısı	0.000025 (100 °C, için)
Isı kapasitesi	1 j/gr (50 °C)
Özgül Isısı	114.65 Kcal/kg (40 °C)
Reaksiyon ısısı	422 Kcal/gr. Mol. (25 °C)
Elektrik iletkenliği	10-5 mho/cm

Çizelge 2. Çalışmada agrega olarak kullanılan pomzanın fiziksel özellikleri ve termal özellikleri

Çalışmada Kullanılan Pomzanın Fiziksel Özellikleri	
Renk	Açık griden, kirli beyaza
Kristal Şekli	Amorf
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (MOHS)	5.5 – 6.0
K.B Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	0.32 – 0.97
Gerçek Özgül Ağırlığı (g/cm ³)	2.15 – 2.65
Porozite (%)	45 – 90
Rötre (mm/m)	< 1
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.08 – 0.20
Isınma Isısı (cal /g.°C)	0.24 – 0.28
Ses Yalıtımı (dB)	40 – 55
Su Emme (Ağırlıkça %)	30 – 70
Buhar Diffüzyon Katsayısı	5 – 10

Çizelge 3. Çalışmada agrega olarak kullanılan GenPer P-05 genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri.

GenPer P-05 Fiziksel Özellikleri	
Kayaç Yapısı	Klasik Genleştirilmiş perlit
Renk	Beyaz
Kütle Yoğunluğu	40-50 kg/m ³
Nem Oranı	maks. %1
Ph	6-8.5

Çizelge 4. Çalışmada agrega olarak kullanılan GenPer P-12 genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri.

GenPer P-12 Fiziksel Özellikleri	
Kayaç Yapısı	Klasik Genleştirilmiş perlit
Renk	Beyaz
Kütle Yoğunluğu	50-60 kg/m ³
Nem Oranı	maks. %1
pH	6-8.5

Çizelge 5. Köpük beton da kullanılan köpük ajanının özellikleri

Özellik	Genfil Köpük Ajansı
İçerik	Bitkisel Reçine Esaslı
Renk	Siyah-Koyu Kahverengi
Yoğunluk	1.05 kg/cm ³ sıvı
Kullanım Önerisi	Temiz Suyu % 2- 2.5 oranı

Metodoloji

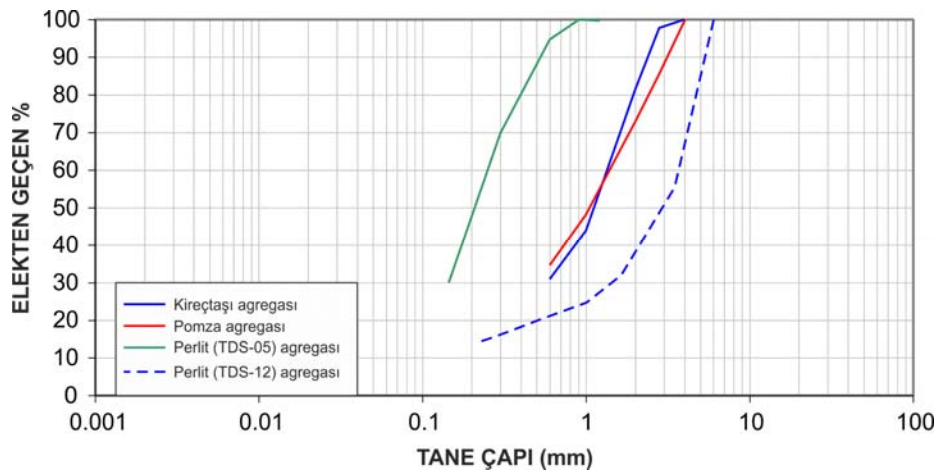
Pomza, genleştirilmiş perlit ve kireçtaşı köpük beton içinde agrega olarak kullanabilmek için öncelikli olarak, tüm örnekler Yüzüncü Yıl Üniversitesi (YYÜ) İnşaat

Mühendisliği laboratuvarında etüvde kurutulmuştur. Özellikle pomza ve geliştirilmiş perlitin laboratuvar ortamında nemi bünyesine çabuk çekmesinden dolayı deneylere başlamadan önce tüm pomza ve geliştirilmiş perlit örnekleri 96 saat süreyle etüve bırakılmıştır. Araziden alınan ve herhangi bir işlem uygulanmadan etüvde kurutulan pomza örneklerinin boyları görsel gözlemler doğrultusunda ortalama olarak 0-12 cm arasında olduğu tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılacak pomza örneklerinin agrega olarak kullanılabilmesi için YYÜ Jeoloji Mühendisliği laboratuvarında tüm pomza örnekleri çeneli kırıcıdan geçirilerek boyutlarının küçültülmüştür. Referans örnekleri olarak kullanılacak Kireçtaşı örneklerinin boyutu 0-5 cm, geliştirilmiş perlit örneklerinin boyutu 0-3 mm olduğundan hem kireçtaşı hemde geliştirilmiş perlit örnekleri çeneli kırıcıda öğütülmemiştir. Etüvde kurutulmuş ve çeneli kırıcıda öğütülmüş pomzalar deneye başlamadan önce belirlenmiş 0-2.8 mm arası tane boyutlarına ayrılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere YYÜ Maden Mühendisliği laboratuvarında elek cihazında

2.8 mm, 2mm, 1 mm ve 600 µm elekler kullanılarak pomza, geliştirilmiş perlit ve kireçtaşı örnekleri 20 dakika elenerek elek analizleri yapılmıştır. Elek analizi sonucunda pomza, geliştirilmiş perlit ve kireçtaşı agregaları elde edilmiştir. Sonrasında agregaların hem tane boyu sınıflaması yapılmış hem de elek üstünde kalan pomza, geliştirilmiş perlit ve kireçtaşı agregaları tartılarak, agregaların hangi tane boyu ve miktarda numune içinde yer aldığına dair ölçümler yapılmıştır.

Genleştirilmiş perlit agregalarının, pomza ve kireçtaşı agregaları ile uyumlu olması nedeniyle deneylerde tane boyutları 0-3 mm olan TD-Perlisol 12 ve tane boyutları 0-1mm olan TD-Perlisol 05 nolu geliştirilmiş perlit tercih edilmiştir.

Tartılan ve istenen tane boyutlarına göre ayrılan tüm agregaların tane boyu dağılım eğrileri (Granülometri eğrileri) çizilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Agrega karışım tane boyu dağılım eğrileri (Granülometri).

Köpük beton yapımında kullanılacak agregalar hazır hale getirildikten sonra çeşitli karışım oranları kullanılarak farklı

özellikte köpük beton örnekleri hazırlanmıştır (Çizelge 6-7-8).

Çizelge 6. Çalışmada kullanılan kireçtaşı agregalı köpük beton karışım oranları (1 m³ için)

Numune No.	Çimento (Kg)	Su (Kg)	Kireçtaşı (Kg)		Köpük (Kg)	Toplam Yaş Ağırlık (Kg)	Toplam Yaş Ağırlık (Kg)
			2.8-0.6	< 0.6			
			AK 02.04	270			
AK 02.05	270	150	135	135	11	701	626.67
AK 02.06	450	200	270	135	7	1062	804
AK 02.07	450	200	270		7.5	927.5	766
AK 02.08	270	150		270	10	700	587
AK 02.09	300	200	135	270	7.5	912.5	702
AK 02.10	300	200	135	202.5	8	845.5	627.33
AK 02.11	270	200	135	65	6.5	676.5	514

Çizelge 7. Çalışmada kullanılan pomza agregalı köpük beton karışım oranları (1 m³ için)

Numune No.	Çimento (Kg)	Su (Kg)	Pomza (Kg)		Köpük (Kg)	Toplam Yaş Ağırlık (Kg)	Toplam Kuru Ağırlık (Kg)
			2.8-0.6	< 0.6			
			AK 01	220			
AK 01.01	198	100	50	22	15	385	314
AK 01.02	176	100	50	44	15	385	335
AK 01.03	154	100	50	66	15	385	388
AK 01.04	270	150	50		10	480	423
AK 01.05	270	150	25	25	11	481	488
AK 01.06	450	200	50	25	7	732	723.33
AK 01.07	450	200	50		7.5	707.5	375
AK 01.08	270	150		50	10	480	369.67
AK 01.09	300	200	25	50	7.5	582.5	481.67
AK 01.10	300	200	25	37.5	8	570.5	467
AK 01.11	270	200	50	25	6.5	551.5	510.67

Çizelge 8. Çalışmada kullanılan genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton karışım oranları (1 m³ için)

Numune No.	Çimento (Kg)	Su (Kg)	Genleştirilmiş Perlit (Kg)		Köpük (Kg)	Toplam Yaş Ağırlık (Kg)	Toplam Yaş Ağırlık (Kg)
			2.8-0.6	< 0.6			
			AK 03.04	270			
AK 03.05	270	150	5	2	11	438	341.76
AK 03.06	450	200	10	5	7	672	471
AK 03.07	450	200	10		7.5	667.5	398
AK 03.08	270	150		10	10	440	344
AK 03.09	300	200	10	5	7.5	522.5	411.42
AK 03.10	300	200	10	7	8	525	401
AK 03.11	270	200	5	2	6.5	483.5	356.65

Çizelge 6, Çizelge 7 ve Çizelge 8'deki karışım oranları kullanılarak çeşitli özelliklerde hazırlanan köpük beton karışımları, 10 dm³ kapasiteli su emmeyen kaptan, düşey eksen doğrultusunda, mikser uçlu devirli matkapla topaklaşma kalmayınca kadar yaklaşık 3 dakika boyunca yaklaşık 50 devir/dakika hızında karıştırılarak hazırlanmıştır. Hazır hale gelen beton harcına katılmak üzere köpük ilave edilmiştir. Üretilen köpük çimento harcına eklenerek 1-2 dakika arasında yaklaşık 10-20 devir/dakika hızında yavaşça karıştırılarak istenen köpük beton harcı elde edilmiştir.

Köpük katılarak elde edilen beton harcı 10x10x10 cm ebatlarındaki beton numune kalıpları içine dökülmüştür. Örneklerin kalıplardan kırılmadan çıkması için köpük beton harcı dökülmeden önce numune kapları yağlanmıştır. Bölme halinde doldurulan kalıplarda her bir tabaka 10 defa çelik şiş ile şişlenmiş ve geriye kalan boşluklar yok oluncaya kadar kalıp dış kenarlarından tokmaklanmıştır. Kalıbın üzerinden taşan fazla karışım mala yardımı ile alınıp yüzeyi düzeltilmiştir.

Her bir numunenin önce yaş sonra 24 saat süreyle kurumaya bırakıldıktan sonra ki kuru ağırlıkları tartılarak kaybettiği su miktarları belirlenmiştir. Her bir örnek hava kompresörü yardımıyla kalıplardan çıkarılmış ve kalıplardan çıkarılan köpük beton örnekleri laboratuvar koşullarında normal hava şartlarında bekletilmiştir.

Laboratuvar koşullarında bekletilen 10x10x10 cm ölçülerindeki küp şeklindeki köpük beton örneklerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla YYÜ Jeoloji Mühendisliği Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvarında tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Öte yandan, TS EN 15304-2 standardı kullanılarak pomza, genişletilmiş perlit ve kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerine donma-çözülme deneyleri uygulanmıştır.

Köpük betonun gerçek nem içeriğinin ve su emme oranlarının belirlenmesi için TS

EN 15304-2 standardındaki metodoloji uygulamaları takip edilmiştir. 15 kez yapılan donma-çözülme döngüleri sonrasında, ana deney örnekleri (105 ± 5) °C'ta kurutulmuş ve tartılmıştır. Daha sonra elde edilen veriler ışığında köpük betonun EN 1353 ve EN 678 standartlarına uygun hesaplamalar ile tüm örneklerin nem içerikleri ve su emme oranları belirlenmiştir. TS EN 15304-2 standardına göre, bu hesaplama, ana deney örneklerinin etüv kurusundaki kütle kaybı baz alınarak yapılmıştır. Kütle kaybına ek olarak, etüv kurusu halinde tüm köpük beton örneklerine tek eksenli basınç dayanım deneyi uygulanarak her bir köpük beton örneğinin donma-çözülme sonrası basınç dayanım kaybı belirlenmiştir.

Köpük beton örneklerinin ısı iletkenliğini ölçmek için her bir numune 30x30x5 cm'lik ısı kalıplarına dökülmüştür. Daha sonra ısı iletkenliğinin ölçülmesi için numuneler Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma Uygulama Merkezine gönderilmiş ısı iletkenlikleri ölçülmüştür.

Bulgular

Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Pomzanın çimento yerine kullanılması amacıyla hazırlanan karışımlarda, çimento yerine %10, %20 ve %30 oranlarında boyutları 90 mikrondan küçük pomza kullanılmıştır. AK 01 kontrol örneği olup %100 çimento kullanılmıştır. Çimento yerine AK 01.01 örneğinde %10, AK 01.02 örneğinde %20 ve AK 01.03 örneğinde %30 oranlarında pomza kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çimento yerine pomza miktarı arttırıldığında tek eksenli

basınç dayanımlarında bir artış olduğu görülmüştür (Çizelge 9).

Çizelge 9. Çimento yerine farklı oranlarda pomza kullanılarak elde edilen köpük beton örneklerinin 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları

	7 Günlük Basınç Dayanımı MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı MPa
AK 01	0.154	0.256
AK 01.01	0.168	0.280
AK 01.02	0.179	0.299
AK 01.03	0.195	0.324

Pomzanın köpük betonda agregası olarak kullanılması amacıyla hazırlanan örneklerde, çimento oranı sabit tutulmamış farklı oranlarda çimento-su-köpük ve tane boyutları kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Elde edilen köpük beton örnekleri üzerinde 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır (Çizelge 10).

Çizelge 10. Pomza agregalı köpük betonların tek eksenli basınç dayanım oranları

Numune	7 Günlük Basınç Dayanımı MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı MPa
AK 01.04	0.659	0.824
AK 01.05	0.733	0.978
AK 01.06	2.587	3.194
AK 01.07	0.321	0.495
AK 01.08	0.329	0.499
AK 01.09	0.563	0.827
AK 01.10	0.832	1.067
AK 01.11	1.158	1.565

Pomza agregalı köpük beton örneklerinin 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları incelendiğinde; pomza agregalı köpük betonların 7 günlük tek eksenli basınç değerlerinin ortalaması 0.90 MPa, 28 günlük tek eksenli basınç değerlerinin ortalaması ise 1.18 MPa'dır. Ortalama olarak pomza agregalı köpük

betonun 28 günlük örnekleri 7 günlük örneklerden % 31 oranında daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Pomza agregalı köpük beton örneklerinde en yüksek değer AK 01.06 numaralı örnekte 3.19 MPa ile elde edilmiştir. Bu değer ayrıca tüm çalışma sonucunda köpük beton örnekleri içinde elde edilmiş en yüksek basınç değeridir. En kötü sonuç ise 0.48 MPa ile AK 01.07 numaralı örnekte elde edilmiştir.

Pomza agregalı köpük beton örneklerinde, tane boyutu 0.6 mm'den küçük agregası miktarı arttıkça basınç dayanımının düştüğü, tane boyutu 2.8-0.6 mm tane boyutu aralığındaki agregası miktarı arttıkça basınç dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Örneğin; sadece 0.6 mm'den küçük tane boyutlu agregası kullanılan AK 01.08 numaralı örnek ile karışım içinde 0.6 mm'den küçük agregası miktarının, 2.8-0.6 mm arasındaki agregası miktarından daha fazla kullanıldığı AK 01.09 örneklerinin basınç dayanımlarının diğer örneklere göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Basınç dayanımı iyi olan AK 01.04, AK 01.05, AK 01.06, AK 01.10 ve AK 01.11 örnekleri incelendiğinde ise bu örneklerde 2.8-0.6 mm tane boyutu aralığında kullanılan agregası miktarının, 0.6 mm'den küçük tane boyutlu agregadan miktarca daha fazla kullanıldığı görülmektedir. Bu durum pomza agregalı köpük betonlarda pomza agregasının tane boyutu ve miktarının basınç dayanımına etki eden bir faktör olduğunu göstermektedir. Yine pomza agregalı köpük beton örneklerinde görüldüğü üzere sadece belirli boyutta kullanılan pomza agregasının basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür. Örneğin pomza agregalı köpük beton örnekleri içinde en düşük dayanıma sahip olan AK 01.07 ile AK 01.08 numaralı

örnekler incelendiğinde; AK 01.07 numaralı örnekte sadece 2.8-0.6 mm tane boyu aralığında agrega kullanılırken, AK 01.08 numaralı örnekte ise sadece 0,6 mm'den küçük agrega kullanılmıştır. Ayrıca pomza agregalı köpük beton örnekleri içinde en iyi basınç dayanımını gösteren AK 01.06 ile en kötü basınç dayanımını gösteren AK 01.07 numaralı örneklerde aynı oranda çimento, su, köpük ve 2.8-0.6 mm aralığında pomza agregası kullanılmıştır. Sadece AK 01.06 numaralı örneğe 0.6 mm'den küçük agrega eklenmiştir neredeyse aynı karışım oranına sahip iki örnek incelendiğinde AK 01.06 numaralı örneğin en iyi dayanım sonucunu, AK 01.07 numaralı örneğin ise pomza agregalı köpük beton örneklerinde en kötü sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Çimento-su oranı incelendiğinde pomza agregalı köpük beton örneklerinde çimento-su oranı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür.

Genleştirilmiş perlitin köpük betonda agrega olarak kullanılması amacıyla hazırlanan örneklerde, çimento-su-köpük ve tane boyutları farklı genleştirilmiş perlit kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Elde edilen genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örnekleri üzerinde 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır (Çizelge 11).

Çizelge 11. Genleştirilmiş perlit agregalı köpük betonların tek eksenli basınç dayanım oranları

Numune	7 Günlük Basınç Dayanımı MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı MPa
AK 03.04	0.285	0.407
AK 03.05	0.334	0.445
AK 03.06	0.944	1.179
AK 03.07	0.201	0.345
AK 03.08	0.255	0.345
AK 03.09	0.321	0.402
AK 03.10	0.460	0.575
AK 03.11	0.245	0.408

Genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları incelendiğinde; genleştirilmiş perlit agregalı köpük betonların 7 günlük tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin ortalaması 0.38 MPa, 28 günlük tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin ortalaması ise 0.51 MPa'dır. Ortalama olarak genleştirilmiş perlit agregalı köpük betonun 28 günlük örnekleri, 7 günlük örneklerden % 34 oranında daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinde en yüksek değer AK 03.06 numaralı örnekte 1.19 MPa ile elde edilmiştir. En kötü sonuç ise 0.34 ile AK 03.07 ve AK 03.08 numaralı örneklerde elde edilmiştir.

Genleştirilmiş perlit agregalı örneklerin basınç dayanımına etki eden en önemli faktör pomza örneklerindeki gibi agrega tane boyutu ve miktarı olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin AK 03.07 numaralı örnekte sadece P-12 genleştirilmiş perlit agregası, AK 03.08 numaralı örnekte ise sadece P-05 genleştirilmiş perlit agregası kullanılmış ve genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örnekleri içindeki en kötü iki basınç dayanımı elde edilmiştir. Genleştirilmiş perlit agregalı köpük betonlar da tane boyutu P-05'den büyük olan P-12 genleştirilmiş perlit agregası miktarı arttıkça genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin dayanımı artmıştır.

Çimento-su oranı incelendiğinde genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinde çimento-su oranı arttıkça basınç dayanımlarının da arttığı görülmüştür.

Kireçtaşının köpük betonda agrega olarak kullanılması amacıyla hazırlanan köpük beton örneklerinde, pomza ve genleştirilmiş perlitte olduğu gibi çimento-su-köpük ve tane

boyutları farklı kireçtaşı agregaları kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Elde edilen kireçtaşı agregalı köpük beton örnekleri üzerinde 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır (Çizelge 12).

Çizelge 12. Kireçtaşı agregalı köpük betonların 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları

Numune	7 Günlük Basınç Dayanımı MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı MPa
AK 02.04	0.254	0.378
AK 02.05	0.3	0.5
AK 02.06	1.165	1.665
AK 02.07	0.301	0.578
AK 02.08	0.378	0.412
AK 02.09	0.301	0.498
AK 02.10	0.586	0.781
AK 02.11	0.259	0.381

Kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinin 7 günlük ortalama tek eksenli basınç dayanım oranı 0.44 MPa, 28 günlük tek eksenli basınç dayanım oranı ise 0.64 MPa olarak elde edilmiştir. Ortalama olarak 28 günlük kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinin, 7 günlük örneklerden % 45 oranında daha iyi dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinden en iyi sonuç AK 02.06 numaralı örnekte 1.66 MPa en kötü sonuç ise AK 02.04 numaralı örnekte 0.37 MPa olarak elde edilmiştir.

Donma-Çözülme Deneyi

Donma-Çözülme olayı betonarme yapılarıdaki risk faktörlerinin başında gelmektedir. Beton içindeki su donmayla birlikte genişler ve beton içinde çatlaklar oluşmasına yol açar. Sürekli gelişen donma-çözülme döngüsünde beton içindeki

çatlaklar giderek büyür ve belli bir zaman sonra betonda parçalanmalara sebebiyet verir.

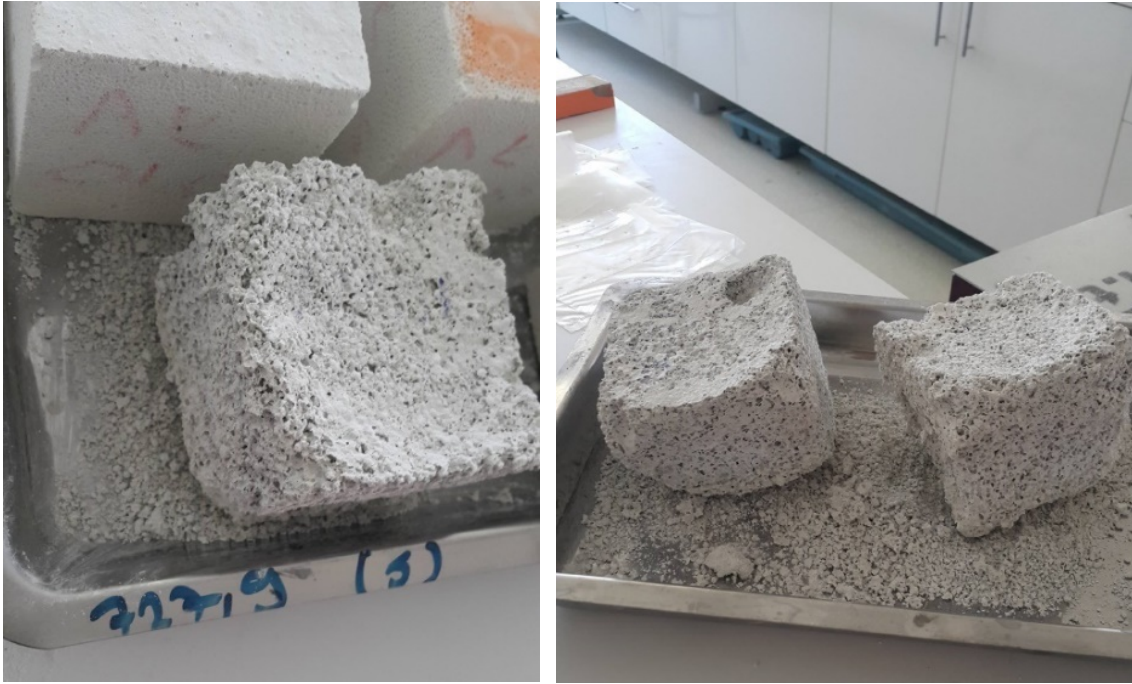
Temel olarak betonlardaki donma-çözülme etkisi beton içindeki suyun oranıyla doğru orantılıdır. Su miktarının artması betondaki çatlakları daha çok arttırdığından betonarme yapılar için donma-çözülme büyük bir risk faktörü olarak değerlendirilmelidir.

Çalışma kapsamında pomza ve genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örnekleri ile referans örneği olarak kullanılan kireçtaşı agregalı köpük beton örnekleri üzerinde donma-çözülme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucu görsel gözlemler ve deneysel sonuçlar olarak iki ayrı aşamada ele alınmıştır.

Görsel Gözlemler

TS EN 15304 standardı dahilinde yapılan donma-çözülme deneyinde günlük olarak tüm örneklerin fiziksel özellikleri incelenmiş ve not edilmiştir. Buna göre; 1. grup pomzalardan yani çimento yerine belirli oranlarda pomza kullanılan örneklerden AK 01 örneğinin donma çözülme deneyinin 5. gününden itibaren parçalanmaya başladığı ve 7. günde toplam hacminin yaklaşık %40'ının dağıldığı, AK 01.01 örneğinin 7. günden itibaren parçalanmaya başladığı ve 9. günde toplam hacminin yaklaşık %40'ının dağıldığı görülmüştür.

AK 01.02 ile AK 01.03 numaralı örnekler ise 11. Günden itibaren parçalanmaya başladığı ve 13.günde yaklaşık % 40 oranında dağıldığı görülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Donma-çözülme deneyi sürecinde dağılan örneklerden görüntü.

2. grup olarak adlandırılan yani pomzanın agrega olarak kullanıldığı örneklerde ise herhangi bir iri çatlak ya da parçalanma görülmemiştir. Yapılan gözlemlerde bazı örneklerde sadece kılcal çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.

Genleştirilmiş perlit agregalı örneklerde de herhangi bir deformasyon, iri çatlaklar ve parçalanma görülmemiş pomza agregalı örneklerde olduğu gibi yer yer kılcal çatlaklar tespit edilmiştir. Referans örneği olarak kullanılan kireçtaşı agregalı örneklerde de parçalanma ve dağılma

olmamış bu örneklerde de yer yer kılcal çatlaklar tespit edilmiştir.

Su Emme Oranları, Nem Miktarı ve Kütle Kaybı Sonuçları

Donma-çözülme deneyi sonrası TS EN 15304 standardı kullanılarak pomza, genleştirilmiş perlit ve kireçtaşı agregalı köpük betonların su emme oranları, nem miktarları ve kütle kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 13'de verilmiştir.

Çizelge 13. Donma-çözülme deneyi sonrası su emme nem miktarı ve kütle kaybı sonuçları

Numune	Donma- Çözülme Öncesi Kuru Ağırlık	48 Saat Suda Bekletildikten Sonraki Ağırlık	Su Emme (%)	Nem Miktarı (%)	Kütle Kaybı (%)
AK 01	235.1	650.2	176.6	126.9	-102.1
AK 01.01	255.2	615.2	141.1	103.3	-76.8
AK 01.02	283.4	576.8	103.5	85.3	-64.3
AK 01.03	314.6	523.3	66.3	76.5	-53.6
AK 01.04	390.8	561.6	43.7	29.5	-28.4
AK 01.05	442.4	609.1	37.7	24	-23.6
AK 01.06	656.7	823.3	25.4	14.9	-14.7
AK 01.07	355.9	569.8	60.1	46.9	-45.2
AK 01.08	319.6	550.2	72.2	56.1	-51.6
AK 01.09	447.2	718.5	60.7	47.4	-44.6
AK 01.10	411.4	612.8	49.0	36.2	-34.8
AK 01.11	430	703.8	63.7	43.5	-42
AK 02.04	501	643	28.3	25.8	24.4
AK 02.05	583.5	793.6	36.0	32.7	-31
AK 02.06	715	861	20.4	18.3	-17.7
AK 02.07	673	743	10.4	8.4	6.2
AK 02.08	512	608	18.8	16.2	14.3
AK 02.09	634	775	22.2	19.6	15.6
AK 02.10	594.8	827.1	39.1	34.6	-31.7
AK 02.11	469.5	637.7	35.8	33	-29.6
AK 03.04	300.8	483.1	60.6	54.3	-47.9
AK 03.05	309.8	516.6	66.8	57.3	-51.7
AK 03.06	406.1	552.8	36.1	29.8	-28.3
AK 03.07	312	488	56.4	48.4	47.5
AK 03.08	301	468	55.5	46.2	43.3
AK 03.09	366	559	52.7	46.6	40.1
AK 03.10	324	519	60.2	55.9	-45.7
AK 03.11	315.7	550.7	74.4	66.9	-58.5

Çizelge 13'den görüleceği üzere su emme oranı, nem miktarı ve kütle kaybı arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır.

Su emme oranı arttıkça, nem miktarının ve kütle kaybının arttığı tam tersi durumda ise azaldığı tespit edilmiştir. Tüm köpük beton örnekleri incelendiğinde en fazla kütle kaybının AK 01 ile AK 01.01 örneklerinde olduğu görülmüştür. Her iki örneğin en yüksek su emme oranı ve nem miktarına sahip olduğu görülmektedir. AK 01.06 örneği ise en az su emme ve buna

bağlı olarak en az kütle kaybına sahip örnek olduğu görülmektedir.

Pomza, genleştirilmiş perlit ve referans kireçtaşı agregalı köpük beton örnekleri incelendiğinde pomza agregalı köpük beton örneklerinin (1. grup pomza örnekleri hariç) %25 ile %72 aralığında su emme, %24 ile %56 aralığında nem miktarına ve buna bağlı olarak %14 ile % 51 aralığında bir kütle kaybına sahip olduğu, genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin %36 ile %74

aralığında su emme, %29 ile % 66 aralığında nem miktarına ve %28 ile %58 aralığında bir kütle kaybına sahip olduğu, referans kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinin ise %20 ile %39 aralığında su emme, %18 ile %34 aralığında nem miktarına ve %17 ile %31 aralığında bir kütle kaybına sahip olduğu görülmektedir.

Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanım Kaybı

Donma-çözülme deneyleri sonucunda pomza, genişletilmiş perlit ve kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı değerleri ve dayanım farkı Çizelge 14’de görülmektedir.

Çizelge 14. Pomza, genişletilmiş perlit ve kireçtaşı örneklerinin basınç dayanım değerleri farkı

Numune	28 Günlük Basınç Dayanımı MPa	Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımı MPa	Donma-Çözülme Sonrası Dayanım Kaybı (%)
AK 01	0.256	0.000	100.00
AK 01.01	0.280	0.000	100.00
AK 01.02	0.299	0.000	100.00
AK 01.03	0.324	0.000	100.00
AK 01.04	0.824	0.626	-24.05
AK 01.05	0.978	1.091	11.54
AK 01.06	3.194	3.364	5.31
AK 01.07	0.495	0.412	-16.60
AK 01.08	0.499	0.419	-16.07
AK 01.09	0.827	0.818	-1.15
AK 01.10	1.067	1.017	-4.65
AK 01.11	1.565	0.718	-54.08
AK 02.04	0.465	0.392	-15.70
AK 02.05	0.500	0.421	-15.75
AK 02.06	1.665	1.404	15.68
AK 02.07	0.743	0.502	-32.44
AK 02.08	0.812	0.678	-16.50
AK 02.09	1.245	0.823	-33.90
AK 02.10	0.781	1.154	47.70
AK 02.11	0.381	0.357	-6.12
AK 03.04	0.407	0.358	-12.04
AK 03.05	0.445	0.333	-25.14
AK 03.06	1.179	0.727	-38.36
AK 03.07	0.428	0.367	-14.25
AK 03.08	0.449	0.405	-9.80
AK 03.09	0.603	0.457	-24.21
AK 03.10	0.575	0.388	-32.64
AK 03.11	0.408	0.271	-33.55

Çizelge 14, incelediğinde pomza agregalı köpük beton örneklerinin 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları ile donma-

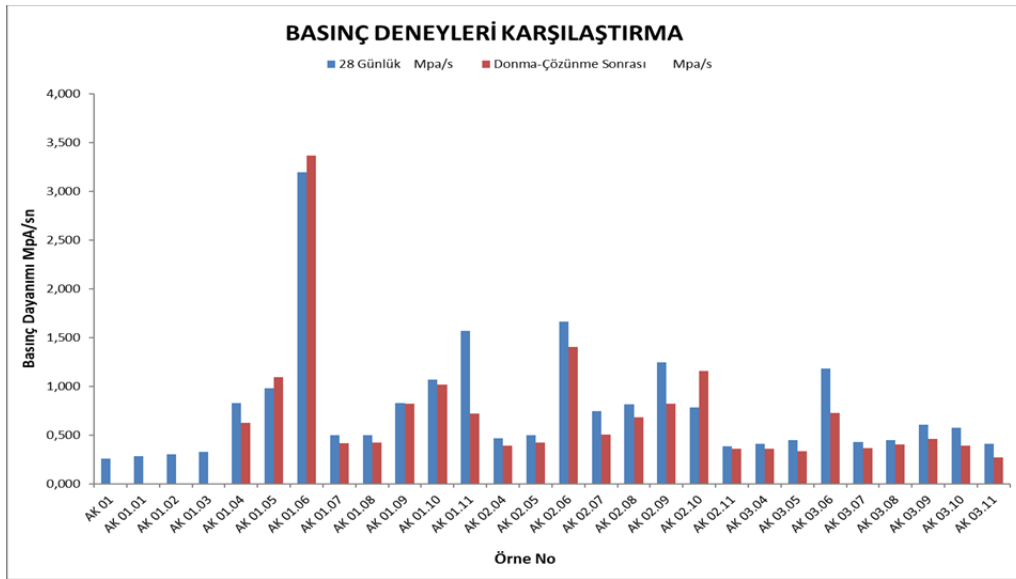
çözülme sonrası tek eksenli basınç dayanım değerlerinde AK 01.05 ve AK 01.06 örnekleri haricindeki diğer

örneklerde %1 ile %54 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Bu örneklerden en fazla basınç dayanımı kaybının olduğu %54 ile AK 01.11 numaralı örnek, en az basınç dayanım kaybının olduğu örnek ise AK 01.09 numaralı örnek olduğu belirlenmiştir. AK 01.05 ve AK 01.06 numaralı örnekler haricinde diğer pomza agregalı köpük beton örneklerinin basınç dayanım kaybı yaklaşık olarak %19'dur. AK 01.05 ve AK 01.06 numaralı örnekler incelendiğinde ise bu örneklerin basınç dayanımlarının donma-çözülme döngüsünden sonra arttığı gözlemlenmiştir.

Genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin basınç dayanımlarının donma-çözülme döngüsü sonrasında pomza agregalı köpük beton örneklerine kıyasla daha fazla düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton

örneklerinin donma-çözülme deneyi sonrası basınç dayanım kayıpları %6 ile %33 aralığında değişmektedir. Genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin ortalama basınç dayanım kayıpları ise % 27'dir.

Referans kireçtaşı agregalı köpük beton örnekleri incelendiğinde ise donma-çözülme sonrası ortalama basınç dayanım farkının % 19,4 civarında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca AK 02.05 numaralı örneğin donma-çözülme deneyi sonrası basınç dayanımının çok az miktarda arttığı, AK 02.10 numaralı örneğin ise donma-çözülme deneyi sonrası basınç dayanımının % 48 oranında arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Pomza, genleştirilmiş perlit ve kireçtaşı örneklerinin 28 günlük ve donma-çözülme deneyi sonrası tek eksenli basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması.

Isı İletkenlik Deney Sonuçları

Çizelge 15'de verildiği üzere çalışma kapsamında pomza, genleştirilmiş perlit ve referans kireçtaşı agregalı köpük beton

örnekleri üzerinde toplam 9 adet ısı iletkenlik analizi yapılmıştır.

Çizelge 15. Pomza, geliştirilmiş perlit ve kireçtaşı örneklerinin ısı iletkenlik deney sonuçları

N. No	M _{kuru} (g)	d (mm)	V (cm ³)	D (kg/m ³)	λ _{10-kuru} (W/mK)
AK0105	2057	51.61	4582	449	0.095
AK0106	2386	43.32	3798	628	0.120
AK0111	1920	50.74	4402	436	0.090
AK0205	3028	42.90	3783	800	0.174
AK0206	3672	52.56	4622	794	0.161
AK0210	3108	53.20	4683	664	0.158
AK0304	1215	52.00	4500	270	0.075
AK0305	1490	52.56	4652	320	0.087
AK0306	1947	51.92	4483	434	0.107

Sonuçlar değerlendirildiğinde en düşük ısı iletkenliği değerleri geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinde görülmüştür. Özellikle özgül ağırlığı 270 kg/m³ olarak tespit edilen AK 03.04 örneğinde 0.075 W/mK ile en iyi ısı iletkenlik değeri elde edilmiştir. Geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin ısı iletkenlik değerleri 0.075 W/mK ile 0.107 W/mK arasında değiştiği tespit edilmiştir. Pomza agregalı köpük beton örnekleri de geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerine yakın düşük ısı iletkenliği göstermiştir. Pomza agregalı köpük beton örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinin ise 0.090 W/mK ile 0.120 W/mK arasında değiştiği görülmüştür. Referans kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinin ise ısı iletkenlik değerleri 0.158 W/mK ile 0.174 W/mK arasında değişmiştir.

Referans kireçtaşı agregalı köpük beton örnekleri ile karşılaştırıldığında hem pomza agregalı köpük beton örneklerinin hem de geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinin kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Veriler incelendiğinde ısı iletkenliği ile yoğunluk arasında bir doğru orantı olduğu görülmektedir. Yoğunluk arttıkça ısı iletkenliklerinin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek ısı iletkenliği değerleri referans numunesi olan kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinde görülmektedir. En düşük

ısı iletkenlik değerlerinin ise yoğunluğu en düşük olan geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tartışma ve Sonuç

Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

Pomzanın çimento yerine kullanılmasıyla elde edilen sonuçlara bakıldığında, pomzanın belli oranlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılabilmesi ve bu değişim oranında en fazla %30 olması gerektiği yapılan bu çalışma ve önceki çalışmalarda tespit edilmiştir.

Pomza, geliştirilmiş perlit ve kireçtaşının köpük beton içinde agrega olarak kullanılmasıyla elde edilen sonuçlara bakıldığında, aynı çimentosu ve köpük ile aynı tane boyutuna sahip pomza, geliştirilmiş perlit ve kireçtaşı agregaları ile elde edilen köpük beton örneklerinde en iyi basınç dayanımları pomza agregalı köpük betonlarda görülmektedir. Çizelge 16 ve Çizelge 17'de pomza ve geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları ile referans kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinin tek eksenli basınç dayanımları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 16. Pomza ve referans kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinin yüzde olarak tek eksenli basınç dayanım farkları

Numune	7 Günlük Basınç Dayanımı MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı MPa	Numune	7 Günlük Basınç Dayanımı MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı MPa	7 Günlük Basınç Dayanımı Farkı (%) MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı Farkı (%)
AK 01.04	0.66	0.82	AK 02.04	0.254	0.378	-159.56	-118.02
AK 01.05	0.73	0.98	AK 02.05	0.3	0.5	-144.6	-95.68
AK 01.06	2.59	3.19	AK 02.06	1.165	1.665	-122.02	-91.87
AK 01.07	0.32	0.50	AK 02.07	0.301	0.578	-6.79	14.45
AK 01.08	0.33	0.50	AK 02.08	0.378	0.412	12.86	-21.14
AK 01.09	0.56	0.83	AK 02.09	0.301	0.498	-86.77	-66.12
AK 01.10	0.83	1.07	AK 02.10	0.586	0.781	-41.99	-36.53
AK 01.11	1.16	1.57	AK 02.11	0.259	0.381	-347.45	-311.17

Çizelge 16 incelendiğinde aynı çimento-su-köpük, tane boyutu ve miktarına sahip pomza agregalı köpük beton örneklerinin 7 günlük tek eksenli basınç dayanımının referans kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinden %6 ile %347 oranları arasında, 28 günlük tek eksenli

basınç dayanımlarının ise %21 ile %311 oranları arasında daha fazla dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ise pomzanın amorf yapısı ve içindeki yüksek silisin çimento ile girdiği reaksiyonlar olarak yorumlanmıştır.

Çizelge 17. Genleştirilmiş perlit ve referans kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinin yüzde olarak tek eksenli basınç dayanım farkları

Numune	7 Günlük Basınç Dayanımı MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı MPa	Numune	7 Günlük Basınç Dayanımı MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı MPa	7 Günlük Basınç Dayanımı Farkı (%) MPa	28 Günlük Basınç Dayanımı Farkı (%)
AK 03.04	0.29	0.41	AK 02.04	0.254	0.378	-12.17	-7.67
AK 03.05	0.33	0.45	AK 02.05	0.3	0.5	-11.24	11.01
AK 03.06	0.94	1.18	AK 02.06	1.165	1.665	19.04	29.16
AK 03.07	0.20	0.35	AK 02.07	0.301	0.578	33.16	40.38
AK 03.08	0.26	0.35	AK 02.08	0.378	0.412	32.57	16.26
AK 03.09	0.32	0.40	AK 02.09	0.301	0.498	-6.64	19.3
AK 03.10	0.46	0.58	AK 02.10	0.586	0.781	21.46	26.37
AK 03.11	0.25	0.41	AK 02.11	0.259	0.381	5.32	-7.31

Genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin basınç dayanımının pomza agregalı köpük beton örneklerinden daha az olduğu, kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerine yakın ve bazı örneklerinden ise daha iyi olduğu gözlenmiştir. Referans kireçtaşı agregalı köpük beton örnekleri ile kıyaslandığında, genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton

örneklerinin 7 günlük tek eksenli basınç dayanımlarından, AK 03.04, AK 03.05 ve AK 03.09 numaralı örneklerin, AK 02.04, AK 02.05 ve AK 02.09 numaralı örneklerden % 6-12 aralığında daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu diğer örneklerin ise % 5-33 aralığında basınç dayanımlarının daha zayıf

olduğu tespit edilmiştir. 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları incelendiğinde ise AK 03.04 ile AK 03.11 numaralı örneklerin, AK 02.04 ve AK 02.11 numaralı örneklerden daha iyi dayanıma sahip olduğu diğer örneklerin ise kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerine göre % 11-40 aralığında basınç dayanımlarının daha zayıf olduğu tespit edilmiştir.

Çimento ve su oranlarına bakıldığında referans kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerine göre pomza ve geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinde çimento-su oranı arttıkça örneklerin basınç dayanımlarının göreceli olarak arttığı görülmektedir.

Elde edilen veriler incelendiğinde hem pomza hemde geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin 28 günlük tek eksenli basınç dayanım değerlerinin 7 günlük tek eksenli basınç dayanım değerlerinden daha iyi olduğu ve çimento-su miktarı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür. Bunun sebebi ise Pomza ve geliştirilmiş perlit madenlerinin puzolanik bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Bilindiği üzere Puzolanik malzemeler kendi başlarına bağlayıcı özelliği bulunmayan, ancak ince öğütülmüş halde ve nemli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler meydana getiren silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir (Anonim, 2018a).

Puzolanik malzemeler ortamdaki kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcı özelliği yüksek malzemeler haline dönüşmektedirler dolayısıyla pomza ve geliştirilmiş perlit miktarı arttıkça artan C-S-H bağları köpük betonun dayanımı arttırmaktadır (Anonim, 2018b).

Bu sebeple çalışmada elde edilen sonuçlarda 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları incelendiğinde pomza ve geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin 28 günlük tek eksenli basınç dayanımlarının 7 günlük tek eksenli basınç dayanımlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise zaman

geçtikçe puzolanların çimento hidratasyonu sonucu oluşan kalsiyum hidroksit ile reaksiyonun devam etmesiyle birlikte puzolanların bağlayıcılık özelliklerinin artmasıdır.

Donma-Çözülme Deneyi Sonuçları

Pomza agregalı köpük beton örneklerinin geliştirilmiş perlit agregalı köpük betonlara göre donma-çözülme karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür. 28 günlük tek eksenli basınç dayanımı ile donma-çözülme sonrası tek eksenli basınç dayanımı arasındaki basınç dayanım farkları incelendiğinde; pomza agregalı köpük beton örneklerinin %19'luk bir kayba uğradığı, geliştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin %27'lik, kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinin ise %19.4'lük bir basınç dayanım kaybına maruz kaldığı görülmüştür.

Sonuçlar karşılaştırıldığında sırasıyla pomza, kireçtaşı ve geliştirilmiş perlit agregalı köpük betonun donma-çözülme karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebini ise Gönen ve Yazıcıoğlu (2014), yaptıkları çalışmada şu şekilde açıklamaktadırlar. Betonda yeterince boşluk varsa ya da tamamen doygun değilse donma çözülmeden çok fazla etkilenmeyebilir. Donma çözülme sırasında yüksek boşluk oranı ve kılcal kanalların çokluğu donma çözülmede hasarı azaltabilir.

Bu doğrultuda, pomza agregasının kendi bünyesinde fazla su tutabilme özelliği, boşluklu yapısı ve kılcal kanallarının fazla olması nedeniyle kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerine göre pomza agregalı köpük beton örnekleri donma-çözülme karşı daha güçlü bir reaksiyon göstermiştir. Her ne kadar geliştirilmiş perlit, pomza gibi kendi

bünyesinde fazla su tutabilme özelliğine, boşluklu yapıya ve kılcal kanallara sahip olsa da genleştirilmiş perlitin yoğunluğu ve kütle birim ağırlığının pomza ve kireçtaşıdan daha az olması sebebiyle genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin, pomza ve kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerine göre normal şartlar altındaki tek eksenli basınç dayanımları daha düşük, donma-çözülme sonrası basınç dayanım kayıpları ise daha fazla olarak tespit edilmiştir.

Su Emme Oranı, Nem Miktarı ve Kütle Kayıpları Sonuçları

Donma-çözülme deneyleri sonucunda tüm örneklerin su emme oranı, nem miktarı ve kütle kayıpları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ortalama olarak en az su emme, nem ve kütle kaybına sahip örnekler kireçtaşı agregası kullanılan köpük beton örnekleridir. En fazla su emme, nem ve kütle kaybına sahip örneklerin ise genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örnekleri ile pomza agregalı köpük beton örnekleri olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise agregalar içindeki boşluklarla olduğu ilişkilendirilmektedir. Daha fazla boşluğa sahip agregaların su ve havayı daha fazla absorbe ettiği bilinmektedir buda su emme oranı, nem miktarını ve dolayısıyla kütle kaybını arttırmaktadır.

Su emme oranı, nem miktarı, kütle kaybı ve basınç dayanım kayıpları incelendiğinde pomza ve genleştirilmiş perlit agregalı köpük betonların su emme ve kütle kayıpları referans kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerine nazaran daha fazla olmasına rağmen, basınç dayanımlarının referans örneklere yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Su emme oranı ve kütle kaybı yüksek olan pomza ve genleştirilmiş perlit agregalı köpük betonların bu şekilde bir sonuç vermesindeki en önemli neden; her donma-çözülme sonrası oluşan nem pomza ve genleştirilmiş perlitin ana ve kılcal boşluklarındaki su miktarını arttırmaktadır. Boşluklarda artan su, beton içinde tam

olarak reaksiyona girmeyen çimento kalıntılarıyla yeniden tepkimeye girmekte ve yeni çimento-su bağları oluşturmaktadır. Bu şekilde her donma çözülme sonrası pomza ve genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton içinde yeni reaksiyonlar meydana gelmekte ve bu reaksiyon sonucu oluşan yeni bağlar ile basınç dayanım kaybının azalması asgari düzeye indirgenmektedir.

Isı İletkenliği Deneyi Sonuçları

Yapılan çalışmada, genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin pomza agregalı köpük beton örneklerinden daha düşük ısı iletkenliğine sahip olduğu görülmüştür. Hem genleştirilmiş perlit hemde pomza agregalı köpük beton örneklerinin ısı yalıtım değerlerinin referans kireçtaşı agregalı köpük beton örneklerinden daha düşük ısı iletkenlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Çalışma sonucunda elde edilen pomza ve genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örnekleri TS 825-2 Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değerleri ile karşılaştırıldığında hem ağırlık olarak hem de ısı iletkenlik değerleri olarak TSE 825-2'deki eş değer örneklerden daha iyi olduğu görülmüştür. Örneğin TSE 825-2'de genleştirilmiş perlit agregalı köpük betonların en düşük ağırlığı 300 kg/m^3 ve ısı iletkenlik değeri 0.1 W/mK iken ısı iletkenliği açısından çalışma kapsamında elde edilen en iyi örnek olan AK 03.04 numaralı genleştirilmiş perlit agregalı köpük beton örneğinin ağırlığı 270 kg/m^3 ve ısı iletkenlik değeri 0.075 W/mK olarak elde edilmiştir. Yine TSE 825'te Yalnız doğal bims kullanılarak yapılmış betonlar kısmında en iyi değer 400 kg/m^3 ağırlıkta 0.12 W/mK olarak elde edilmişken çalışma kapsamında elde

edilen pomza agregalı köpük beton örneklerinden AK 01.11 numaralı örneğin birim ağırlığı 436 kg/m³ ve ısı iletkenlik değeri 0,090 W/mK olarak elde edilmiştir. Hem pomza hem de genişletilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin ısı iletkenlik değerleri TSE 825'te verilen değerlerin altındadır.

TSE 825-2'te bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen ısı değerleri tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda pomza ve genişletilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinin tümü TSE 825-2'de tanımlanmış 4 bölgenin ısı iletkenlik değerlerinin çok altındadır. Bu da çalışma sonucunda elde edilmiş tüm pomza ve genişletilmiş perlit agregalı köpük beton örneklerinin Türkiye'deki tüm illerde ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Sonuç olarak pomza ve genişletilmiş perlit agregalı tüm köpük beton örneklerinin TS 825-2'e uygun olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

- Anonim, 2018a. <http://sozluk.insaatbolumu.com>.
- Anonim, 2018b. www.naturalpozzolan.com
- 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.
- Ekinci, D., 2013. *Türkiye'de köpük beton*, Dünya İnşaat Dergisi. http://www.dunyainsaat.com.tr/dergio_ku.php?haberid=4224
- Erciyas, Y., 1963. *Bims ve Bims Beton Üzerine Çalışmalar*, İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, No: 5-17, Ankara.
- Erik, O., 2012. *Van Gölü Kuzeyindeki Asidik Pomza ve Bazik Skoryanın Betonda Katkı Olarak Kullanılabilirliği* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Gönen T., ve Yazıcıoğlu S., 2014. Pomza Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Donma-Çözülme Direnci, 9. *Ulusal Beton Kongresi*, 16-18 Nisan 2015 Antalya. 191-202.
- Thakrele, M. H., 2008. Experimental Study on Foam Concrete, *International Journal of Civil, Structural Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development (ijcseierd)* Issn(p): 2249-6866; Issn(e): 2249-7978 Vol. 4, Issue 1, Feb 2014, 145-158.
- TS 825, 2013. Binalarda ısı yalıtım kuralları Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1353, 1998. Gazbeton-Nem Muhtevası tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 15304-2, 2010. Gazbetonun donma-çözülme direncinin belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 678, 1995. Gaz ve köpük beton-Kuru yoğunluk tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.