



Makale / Research Paper

**Pomza Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların
Donma Çözülme Direncine Mineral Katkıların Etkisi**

Tahir GÖNEN^{1a*}, Salih YAZICIOĞLU^{2b}

¹Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 64200 Uşak/TÜRKİYE

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06560 Ankara/TÜRKİYE
tahir.gonen@usak.edu.tr

Received/Geliş: 07.08.2020

Accepted/Kabul: 02.11.2020

Öz: Bu çalışmada, mineral katkı olarak uçucu kül, silis dumanı, toz perlit ve pomza tozu olmak üzere 4 farklı mineral katkının kullanıldığı 13 farklı pomza agregalı kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) üretilmiştir. KYHB karışımlarında uçucu kül ve silis dumanının tekli kullanımından farklı olarak ikili ve üçlü kombinasyonlar da denenmiştir. Üretilen bu karışımların kendiliğinden yerleşe birlikleri ile donma-çözülme dirençleri incelenmiş ve bu özellikler, viskozite artırıcı kimyasal katkı ile üretilen KYHB ile kıyaslanmıştır. Deney öncesi ve sonrasında numunelerin ultra ses hızları ölçülerek dinamik elastisite modülleri hesaplanmış ve aynı numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan karışımların taze beton birim hacim ağırlıkları 1900-2000 g/dm³ arasında değişmiştir. Tüm seriler kendiliğinden yerleşe birlik kriterlerini sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar KYB özellikleri açısından yeterli olsa da UK'nin yanında bir başka mineral katkının daha kullanılması ayrışma direnci daha iyi karışımların elde edilmesini sağlamıştır. Mineral katkıların bir miktar basınç dayanımını artırmakla birlikte donma-çözülme çevrimler sonrasında daha fazla dayanım kaybına uğramıştır.

Anahtar Kelimeler: Pomza; mineral katkı, kendiliğinden yerleşen beton, donma-çözülme.

The Effect of Mineral Admixtures on Freeze-Thaw Resistance of Self-Compacting Lightweight Concrete with Pumice Aggregate

Abstract: In this study, 13 different self-compacting lightweight concrete specimens with pumice aggregate was produced with fly ash, silica fume, perlite powder and pumice powder as mineral admixtures. Mineral admixtures such that silica fume, fly ash, pumice powder and pumice powder were tried single, double and triple combinations. Control specimens was prepared with viscosity modifiers chemical additive. Compacting ability and freezing-thawing performance of all mixtures were investigated. Fresh unit weight of prepared mixture was 1900-2000 g/dm³. All of the series have been self-compatibility properties. The results showed that workability of hybrid mineral admixture was better than single using or without mineral admixtures. The compressive strength of self-compacting lightweight concretes with mineral admixtures was decreased after that freezing and thawing cycles.

Keywords: Pumice, mineral admixture; self compacting concrete; freeze-thaw.

1. Giriş

Hafif beton kullanılan yapılarda yapı elemanlarının zemine aktardığı yük yani yapının zati ağırlığı azalır. Bir yapının zati ağırlığının fazla olması durumunda, deprem sırasında daha fazla salınım yapmasına neden olur. Taşıyıcı sistemi hafif agrega ile yapılmış binalarda toplam yapının ağırlığı azalmakta, dolayısıyla da bina temeline daha az yük iletilmektedir. Bina yükünün azalmasıyla

Bu makaleye atıf yapmak için

Gönen, T., ve Yazicioğlu, S., "Pomza Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Donma Çözülme Direncine Mineral Katkıların Etkisi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8 (1); 94-101.

How to cite this article

Gönen, T., ve Yazicioğlu, S., "The Effect of Mineral Admixtures on Freeze-Thaw Resistance of Self-Compacting Lightweight Concrete with Pumice Aggregate" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8 (1); 94-101.

ORCID ID : ^a0000-0003-1688-8916; ^b0000-0002-6767-2026

birlikte hafif malzemelerle yapılan binalarda deprem sırasında oluşan eylemsizlik kuvvetleri de azalır. Böylece sarsıntıların bina üzerindeki yıkıcı etkileri azalır [1,2]. Yapılarda hafif beton kullanımının, bina zati ağırlığını azaltmasının ve ısı yalıtımı sağladığı gibi bunun yanı sıra işlenebilirlik gücü ve basınç dayanımının nispeten az olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Beton teknolojisinde son yılların önemli gelişmelerden biri kendiliğinden yerleşen betondur (KYB). KYB ile yerleştirmeden kaynaklanan işçilik hataları en aza indirgenebilmektedir. Kendiliğinden yerleşen beton teknolojisi ilk kez 1990'lı yıllarda Japonya'da geliştirilmiştir. Bu betonlar; sıkılaşmaya gerek kalmadan beton taze haldeyken kendi ağırlığınca kalıbına yerleşebilen ve sıkışabilme özelliğine sahiptir. Malzeme maliyetinin yüksekliği, su geçirimsiz olmalarından dolayı iç bölgelerde küre problemi, hedeflenen dayanımdan yüksek çıkması ve daha gevrek olması bu beton türünün başlıca problemleri arasında yer alır. Hafif betona kendiliğinden yerleşebilme özelliği kazandırılması ya da kendiliğinden yerleşen betonda hafif agregası kullanılması ile hem kendiliğinden yerleşen betonun hem de hafif betonun zayıf yönlerinin ortadan kalkabileceği öngörülmektedir [3, 4].

Hafif beton üretiminde en yaygın yollardan birisi hafif agregası kullanımıdır [5]. Hafif agregası olarak çok çeşitli doğal ya da yapay agregası kaynakların kullanılması üzerine çalışmalar bulunmaktadır [6]. Literatürde; kendiliğinden yerleşen betonda hafif agregası kullanımı üzerine çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Mevcut çalışmalar genellikle, tasarım, işlenebilirlik, mekanik ya da reolojik özellikler üzerine yoğunlaşmıştır. Durabilite problemleri üzerine çok fazla çalışmaya rastlanılmamıştır [7-10].

Donma-çözülme çimentolu sistemlerde bozulmaya sebep olan temel faktörlerden birisidir. Beton içerisinde bulunan su donma sırasında %8-9 civarında bir genişlemeye neden olur. Bu olay betonda çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olur. Ortaya çıkan gerilmelerin betonun çekme direncini aşması durumunda betonda çatlaklar ve çatlakların ilerlemesiyle parçalanmalar gözlenir. Sertleşmiş betonun donma sonunda çatlamasına neden olan en baskın etken bünyesindeki suyun miktarıdır. Su miktarı fazlaştıkça betonun donma-çözülme süreci sonunda bozulup dağılma riski artar. Buna karşılık boşluklarında su bulunmayan betonlarda donma-çözülme olgusu zararlı etki yaratmaz. Tamamen boşluksuz bir beton üretmek imkânsızdır. Boşlukların suya doygun olması en büyük risktir. Boşluklar tamamen suyla dolu olmasa beton zarar görmeyebilir. Suyla dolu olmayan boşluklar bir çeşit yastık vazifesi görecektir. Nitekim donan suyla gelen hacim artışı bu boşluklara doğru büyüyecek ve gerilme meydana gelmeyecektir.

Hafif agregası olarak kullanılan pomza madeninin Türkiye'de fazla miktarda bulunması ve KYB ile HB'nin birleşmesi ile daha iyi bir beton türü olacağı düşüncesi ile bu çalışmada kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) üretilmiştir. Üretilen KYHB'lerin performansını arttırmak için farklı mineral katkıları ilave edilerek, işlenebilirlik, donma-çözülme direnci ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Kullanılan Malzemeler

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde bazaltik pomza agregası kullanılmıştır. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Çalışmada mineral katkı malzemesi olarak ise C tipi uçucu kül (UK), silis dumanı (SD), toz perlit (TP) ve pomza tozu (PT) kullanılmıştır. Pomza öğütülüp 125 mikronluk elekten elendikten sonra kullanılmıştır. Toz perlit de yine 125 mikronluk elekten elendikten sonra kullanılmıştır.

Tablo 1. Agregaların fiziksel özellikleri (Physical properties of aggregate)

Özellik	Pomza	
	4-16 mm	0-4 mm
Su emme (%)	8,3	17,7
500 devir aşınma (%)	41	
Kuru özgül ağırlık faktörü (kg/dm ³)	1,9	2,1
Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)	793	837

Kullanılan çimento ve toz malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çimento ve toz malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	PÇ	UK	TP	PT	SD
Fe ₂ O ₃	3,24	5,11	-	11,42	0,24
Al ₂ O ₃	5,62	16,69	13,26	16,08	0,58
SiO ₂	21,12	38,34	72,48	47,65	91
MgO	2,73	1,60	-	4,02	0,33
CaO	62,94	27,62	0,2-0,5	10,2	0,71
Na ₂ O	-	-	3,40		0,38
SO ₃	2,30	4,44	-		1,06
Cl	-	-	-		0,80-1,00
K ₂ O	-	-	-		4,34
Kızdırma Kaybı	1,78	0,79	-	1,83	1,84
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3370	2343		1870	144000
Yoğunluk, (g/cm ³)	3,10	2,3	0,28	1,40	2,20

Deneylerde kimyasal katkı olarak hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Kullanılan katkının yoğunluğu 20 °C’de 1,04–1,06 kg/l ve pH değeri 3,0’dır. Mineral katkıları kıyaslamak için kontrol numunesinde viskozite arttırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır.

2.2. Karışım Oranları

Kendiliğinden yerleşen hafif betonun özelliklerine mineral katkıların etkisini belirlemek için UK, SD, TP ve PT kullanılarak 13 farklı mineral katkılı KYHB tasarlanmıştır.

Tablo 3. Karışım oranları

Rumuz	Açıklama	Toz (kg/m ³)	PÇ(%)	UK(%)	SD(%)	TP(%)	PT(%)	VAK*
M1	UK20	550	80	20	-	-	-	-
M2	UK30	550	70	30	-	-	-	-
M3	UK20PE10	550	70	20	-	10	-	-
M4	UK10PE5	550	80	10	-	10	-	-
M5	UK20PE5	550	80	15	-	5	-	-
M6	UK20PT5	550	75	20	-	-	5	-
M7	UK25PT5	550	70	25	-	-	5	-
M8	UK25PT5PE10	550	70	15	-	10	5	-
M9	SD10	550	90	-	10	-	-	-
M10	SD20	550	80	-	20	-	-	-
M11	UK20SD10	550	70	20	10	-	-	-
M12	UK20SD5	550	75	20	5	-	-	-
M13	UK10SD10	550	80	10	10	-	-	-
M14	Kontrol	550	100	-	-	-	-	0,5

*Viskozite arttırıcı kimyasal katkı bağlayıcının ağırlıkça %’si

Bu karışımları kıyaslamak için mineral katkının kullanılmadığı ve viskozitenin kimyasal katkı kullanarak sağlandığı 1 adet referans karışımı hazırlanmıştır. Bu karışımların özellikleri Tablo 3’de verilmiştir. Tüm karışımlarda toz malzeme dozajı 550 kg/m^3 olarak kullanılmıştır. Su/toz oranı hacimce 0,95 sabit alınmıştır. Kullanılan mineral katkı yüzdesine göre çimento miktarı o oranda eksiltiştir. Hazırlanan kendiliğinden yerleşen mineral katkılı beton numuneler standart kirece doymun suda kür edilmiştir.

2.3. Taze Beton Deneyleri

Kendiliğinden yerleşen mineral katkılı hafif betonların kendiliğinden yerleşebilme kriterlerini sağlayıp sağlamadığı slump hunisi, V hunisi ve L kutusu aparatları ile belirlenmiştir [11,12]. Buna göre 56 dm^3 kapasiteli pan tipi mikserde karışımlar hazırlanmıştır. Tablo 4’de yapılan deneylere ve ölçülen özellikleri dair özet bilgi verilmiştir. Karışımlar tek seferde tüm taze beton deneylerine yetecek miktarda hazırlanmış ve aynı mikserden çıkan harç ile sırasıyla slump yayılma, V hunisi, L kutusu, V hunisi 5 dk gecikmeli akış süresi ve son olarak elek ayırışma deneyleri yapılmıştır. Tablo 4’de verilen sınır değerler karşılanıncaya kadar karışım denemelerine devam edilmiştir.

Slump yayılma deneylerinde kendiliğinden yerleşen mineral katkılı hafif karışımlar serbestçe sıkıştırılmadan slump konisine doldurulmuş, yüzeyi mala ile düzeltilmiş ve koninin kaldırılması sonrasında taze betonun slump tablasında toplam yayılma çapı birbirine dik iki yönde ölçülerek ortalamaları alınmıştır. V hunisi karışımların viskozite özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır. V hunisi taze harç ile doldurulduğunda hemen alt tarafta bulunan kapağı açılarak boşalma süresi ölçülmüştür. Bu sürenin 8-25 saniye arasında olması gerektiği belirtilmektedir [11].

L kutusu aparatı ile karışımların geçiş yeteneğini belirlenmiştir. Harcın karılma işlemi bittikten sonra slump ve V hunisi deneylerinin arkasından L kutusu deneyi gerçekleştirilmiştir. L şeklinde dizayn edilen kutunun bir bölümüne taze beton yerleştirilmiş ve 3 çubuğun yerleştirildiği iki bölüm arasındaki kapak kaldırıldıktan sonra taze betonun hareketi duruncaya kadar gözlenmiş ve bu sürenin sonunda kot farkı ölçülerek yine tablo 4’de verilen sınır değerle ile kıyaslanmıştır.

Ayırışma direnci için hem V hunisi 5 dakika gecikmeli akış süresi hem de elek testi yapılmıştır. İki deneyin ayrı ayrı yapılmasının sebebi agreganın hafifliğinden kaynaklı 5 dakika gecikmeli testin tutturulamamasından dolayıdır. V hunisi deneyi yapıldıktan sonra aynı harç tekrar huniye yerleştirilmiş ve taze beton bu sefer 5 dakika bekletilmiştir. 5 dakika bekletme sonrasında boşalma süresi tekrar ölçülmüştür. Aynı taze betona ait iki farklı deney süresi arasındaki farkın en fazla 3 saniye olması gerektiği belirtilmektedir [12]. Ayırışma direncini belirlemek için V hunisi 5 dk gecikmeli akış süresini belirleme dışında ayrıca elek ayırışma deneyi yapılmıştır. Elek ayırışma deneyinde hazırlanan taze beton ilk önce bir kovada 15 dakika hareket ettirilmeden bekletilmiştir. Bu zaman diliminde kova yüzeyindeki taze betonda ayırışma veya kuma olup olmadığı gözlenmiştir. Bu beklemeyi müteakip kovadaki taze beton 5 mm kare göz açıklıklı eleğe yaklaşık 50 cm yükseklikten boşaltılmıştır. Deney sonucunda elek altında kalan malzemenin tüm malzemeye oranı kaydedilmiştir. Bu oranın %20’ye kadar olabileceği belirtilmiştir [10].

Tablo 4. Kendiliğinden yerleşen betonların kabul kriterleri

Deney metodu	Ölçülen özellik	Sınır Değerler [11,12]
Slump yayılma	Akışkanlık	550 - 850(mm)
V Hunisi akış süresi	Viskozite	$\geq 8 - \leq 25$ (sn)
V hunisi + 5 dk	Ayırışma direnci	0-3sn
L kutusu deneyi	Geçiş yeteneği	$\geq 0,8$ (mm/mm)
Elek testi (%)	Ayırışma direnci	≤ 20

2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Bu çalışmada pomza agregasından dolayı yüksek poroziteli numuneler elde edilmiştir. Ancak bu boşlukların büyük bir kısmı agrega fazının içerisinde. Donma-çözülme direncini arttırmak için ayrıca hava sürükleyici katkı kullanılmamıştır. Çalışma kapsamında tüm numuneler 100 sert çevrime (+20 ve -20 °C) tabi tutulmuştur. Her bir çevrim bir donma ve bir çözülmeden ibarettir. Bu çevrim sayısı Jansen [13]'in önerisine uygundur. Deneyler 10×10×10 cm ayrıtlı numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Ultra ses hızı betonun dayanımı ve diğer bazı özellikleri hakkında ön fikir verir. Ultra ses hızı ölçülerek betonun yaklaşık dayanımı ve dinamik elastisite modülü hesaplanabilmektedir. Betonların donma-çözülme direnci ile dinamik elastisite modülü arasında ilişki vardır. Beton numuneden geçen ses hızı hesaplanmasında ultra ses cihazı kullanılmıştır. Cihazın problemleri önce jel ile kaplanmış ve önceden temizlenmiş küp numunenin karşılıklı yüzeylerinden ölçüm alınmıştır. İki prob arasında sesin gidip gelme hızı okunarak (1) no'lu bağıntı ile dalga hızı hesaplanmıştır.

$$V = (h / t) \times 10^6 \quad (1)$$

Bağıntıdaki; V = Sesüstü dalga hızı (m/sn), h = problemler arasındaki mesafe (m), t = Sesüstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden alındığı yüzeye kadar geçen zaman (μ sn) dir. Dinamik elastisite modülü, donma-çözülme deneylerinde hasar gören ve görmeyen numunelerde kıyaslama yapmak için hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ASTM C 215'de tarif edilen 2 no'lu denklem ile yapılmıştır. Burada; E_d dinamik elastisite modülü (MPa), V ultra ses hızı (km/sn), n betonun yoğunluğu (kg/m^3), μ Poisson oranı. Poisson oranı bu çalışmada 0.15 alınmıştır.

$$E_d = \frac{V^2 n(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} \quad (2)$$

Ultrasonik hız ölçümleri donma-çözülme deneylerinden önce ve sonrasında ölçülmüştür. Numunelerde iki farklı yönde okuma yapılmış ve bunların ortalamaları kaydedilmiştir. Ultrasonik deney yönteminde; ses üstü dalgaların betonun içerisinden geçme süresini ölçmek üzere tertiplenen bir cihaz kullanılmıştır. Donma-çözülme deneylerinde doymuş yüzey kuru (DYK) haldeyken ultra ses geçiş hızlarının okumaları yapılmıştır. Çalışmada donma-çözülme çevrimine başlamadan önce numunelerin ultra ses hızları ve buna bağlı hesaplanan dinamik elastisite modülü ile ağırlıklar kaydedilmiştir. Kaydedilen bu değerler donma-çözülme sonrası ile kıyaslanmıştır. Ayrıca çevrimler sonrası basınç dayanımları çevrime tabi tutulmayan kontrol numunelerinin basınç dayanımlarıyla kıyaslanmıştır.

3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı toz malzemeler ile üretilen kendiliğinden yerleşen taze hafif betonlara ait özellikler Tablo 5'de verilmiştir. UK miktarının artışı slump yayılma çapını, V hunisi 5 dk süresini ve elek ayrışma oranını arttırmıştır. Uçucu küllü karışımlarının silis dumanlı karışımlara göre daha iyi işlenebilirlik gösterdiği görülmüştür. SD'nin artışı ise karışımların viskozitesi biraz artmıştır. SD'li karışımlarda slump yayılma çapı ve elek ayrışma oranı azalmış V hunisi akış süreleri kısalmıştır. SD'nin blaine inceliğinin daha fazla olmasından dolayı daha fazla suya ihtiyaç duyması ve su miktarının karışımlarda sabit tutulması bu sonucun alınmasında etkili olmuştur. Daha viskoz olması sebebiyle de slump yayılma çapları düşük çıkmıştır. UK ve PT (pomza tozu) V hunisi sürelerini arttırmıştır. Elek ayrışma testlerinde UK'lerin tekli kullanılması ayrışma oranını bir miktar arttırmıştır. İki farklı tozun birlikte kullanımı ise ayrışma oranını azaltmıştır. Elde edilen sonuçlar KYB özellikleri

açısından yeterli olsa da UK'nin yanında bir başka tozun kullanılması ayrışma direnci daha iyi karışımların elde edilmesi açısından önemlidir.

Genel olarak kendiliğinden yerleşebilme özellikleri incelendiğinde ayrışma direnci iyi olan karışımların slump yayılma çaplarının azaldığı görülmektedir. Slump yayılma çapının artması ayrışma riskini ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 5. Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarının taze haldeki özellikleri

Rumuz	Açıklama	Slump (mm)	V hunisi İlk (sn)	V hunisi 5 dk (sn)	L kutusu (mm/mm)	Elek ayrışma (%)	Taze bir. ağır. (gr/dm ³)
M1	UK20	670	10	+3	0,87	7,9	1920
M2	UK30	710	14	+9	0,89	11,0	1910
M3	UK20PE10	650	11	+3	0,85	7,5	1910
M4	UK10PE5	630	11	+1	0,85	8,69	1940
M5	UK20PE5	690	11	+1	0,88	9,0	1920
M6	UK20PT5	670	13	+3	0,82	8,3	1910
M7	UK25PT5	630	12	+1	0,86	7,1	1970
M8	UK25PT5PE10	650	15	+3	0,84	7,8	1910
M9	SD10	650	6	+0	0,83	7,7	1940
M10	SD20	630	8	+1	0,82	7,4	1950
M11	UK20SD10	670	5	+2	0,85	11,9	1900
M12	UK20SD5	700	12	+1	0,88	9,2	1940
M13	UK10SD10	650	8	+0	0,83	6,1	1930
M14	Kontrol	680	12	+6	0,85	11,5	1975

Çalışmada donma-çözülme direncini arttırmak için ayrıca hava sürükleyici katkı kullanılmamıştır. Hale vd. [14] su/çimento oranı 0,36'dan küçük karışımlarda donma-çözülme dayanıklılığı için hava sürükleyici katkı kullanmaya gerek olmadığını belirtmişlerdir. Bundan dolayı hiçbir karışım hava sürükleyici katkı içermemektedir.

Farklı toz malzemeler ile üretilen KYHB'lerin donma-çözülme deney sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. UK ve SD'li KYHB karışımları incelendiğinde UK ve SD miktarındaki artış donma-çözülmede dayanım kaybını arttırmıştır. SD ve UK kıyaslamasında ise %20 SD'li ve %20 UK'li karışımın dayanım kaybı sırasıyla %22 ve 13'dür. Topçu ve Canbaz [15], mineral katkıların hidratasyon ürünlerinden olan Ca(OH)₂'yi bağlayarak CSH dönüştürmesinden dolayı daha yoğun ve güçlü bir yapı elde edilmesine karşın bu güçlü yapı donma-çözülme etkisinde daha büyük buz basıncına maruz kalmakta ve parça kopmasına neden olduğunu belirtmektedir. Kontrol dizaynının dayanım kaybının %8 gibi küçük bir rakamda kalması, betonun yapısında sonradan boşlukların tıkanmamasından ileri geldiği düşünülmektedir. Mineral katkı içeren tüm KYHB'lerin dayanım kaybı kontrol serisinin dayanım kaybından fazladır.

UK+SD'li KYHB'lerin donma-çözülme performansı M11, M12 ve M13 serileri ile incelenmiştir. Bu seriler içerisinde toplam %20 mineral katkılı olan M13 serisi %12 ile en az dayanım kaybına uğrayan seri olmuştur. Pomza tozunun (PT) mineral katkı olarak kullanımı durumunda da donma-çözülme sonrası dayanım kaybı azalmaktadır. UK+TP'li karışımların donma-çözülme etkisi M3, M4 ve M5 serileri ile incelenmiştir. Bu karışımlarda da mineral katkı artışı ile birlikte donma-çözülme direnci azalmıştır. Farklı toz malzemeler ile üretilen karışımlardan hiçbiri donma-çözülme direncini arttıramamıştır.

Tablo 6. Kendiliğinden yerleşen hafif betonların ultrases ve basınç dayanımı deney sonuçları

	Kontrol			100 Çevrim			Kalan dayanım %
	Ultra ses km/sn	ED GPa	Basınç Day. MPa	Ultra ses km/sn	ED GPa	Basınç Day. MPa	
M1	3,95	26,5	60,9	3,82	25,4	53,1	87
M2	4,08	26,3	61,9	3,93	25	52,4	85
M3	3,85	24,3	59,1	3,66	22,5	49,6	84
M4	3,86	23,5	61,4	3,74	22,4	55,5	90
M5	4,05	25,8	63,4	3,87	24	56,2	89
M6	3,77	21,6	52,5	3,6	19,9	46,1	88
M7	4	27,4	53,2	3,88	25,9	45,1	85
M8	3,76	23,4	56,2	3,71	20,4	47,7	85
M9	3,83	22,8	61,9	3,63	20,8	53,3	86
M10	3,94	24,2	61,2	3,88	23	53,6	88
M11	3,94	24,7	66,4	3,82	23	57,8	87
M12	4	26,1	65,9	3,9	25,4	56,1	85
M13	3,98	25,9	64,5	3,88	25,2	55,3	86
M14	4,02	25,7	57,6	3,94	22,7	52,6	91

4. Sonuçlar

Kendiliğinden yerleşen betonda pomza agregası kullanılması ile edilen KYHB'nin taze haldeki birim ağırlığı $1900-2000 \text{ kg/m}^3$ olan beton numuneler elde edilmiştir. Karışımlarda viskozite artırıcı kimyasal katkı yerine mineral katkı kullanılması durumunda az miktarda da olsa birim ağırlıkları azaltmıştır. Tüm mineral katkılı karışımlar kendiliğinden yerleşebilme kriterlerini sağlamıştır. Genel olarak uçucu kül ve pomza tozunun birlikte kullanıldığı karışımlar en ideal işlenebilirlik özelliklerini sağlamışlardır. Ancak bununla birlikte donma-çözülme açısından mineral katkıları iyi bir performans sergilememiştir. Mineral katkı miktarı arttıkça hem uçucu küllü hem de silis dumanlı karışımlarda donma-çözülme çevrimlerinde daha fazla dayanım kaybı gerçekleşmiştir. Sonuç olarak çalışmada kullanılan mineral katkıların donma-çözülme direncinin incelenmesinde, bu çalışmada kullanılan UK, SD, PT ve TP'nin donma-çözülme dayanıklılığını azalttığı görülmüştür.

Kaynaklar

- [1]. Doğan H., Şener F., "Hafif yapı malzemeleri", Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, 2004, 1: 51-53.
- [2]. Borat M., "Türkiye diatomitlerinin özellikleri ve filtrasyon karakteristikleri", Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1992).
- [3]. Gonen T., "Kendiliğinden yerleşen betonların mekanik ve durabilite özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- [4]. Gonen T., Yazıcıoğlu S., "Kendiliğinden yerleşen hafif betonun mekanik özelliklerine kür ortamı ve agrega tipinin etkisi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2010, 25(3): 459-467.
- [5]. Turkmen I., Kantarcı A., "Effects of expanded perlite aggregate and different curing conditions on the drying shrinkage of self-compacting concretes". Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, 2006, 13: 253-258.

- [6]. Yıldırım K., Sümer M., Subaşı S. “Hafif beton üretiminde granüle edilmiş fındık kabuğunun kullanılabilirliğinin araştırılması”, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2018, 5(2): 501-511.
- [7]. Topçu İ.B. Uygunoğlu T., “Effect of aggregate type on properties of hardened self-consolidating lightweight concrete (SCLC)”, *Construction and Building Materials*, 2010, 24(7): 1286-1295.
- [8]. Choi Y.W., Kim Y.J., Shin H.C., Moon H.Y., “An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete”, *Cem Concr Res* 2006, 36(9): 1595–602.
- [9]. Lo T.Y., Tang P.W.C., Cui H.Z., Nadeem A., “Comparison of workability and mechanical properties of self-compacting lightweight concrete and normal self-compacting concrete”, *Materials Research Innovations*, 2007, 11(1): 45–50.
- [10]. Hwang C.L., Hung M.F., “Durability design and performance of self-consolidating lightweight concrete”, *Construction and Building Materials*, 2005, 19(8): 619–26.
- [11]. EFNARC 2005, “Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete”, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, UK, www.efnarc.org, (2005).
- [12]. EFNARC 2002, “Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete”, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, UK, www.efnarc.org, (2002).
- [13]. Jansen D., “Requirements for a test of frost resistance of concrete”, *Frost resistance of concrete*, 2nd International RILEM Workshop on Frost Resistance of Concrete RILEM Proceeding PRO24, edited by Setzer, Auberg and Keck, Germany, (2002).
- [14]. Hale W.M., Freyne S.F., Russell B.W., “Examining the frost resistance of high performance concrete”, *Construction and Building Materials*, 2009, 23: 878–888.
- [15]. Topçu İ.B., Canbaz M., “Silis dumanlı betonlarda donma çözülme etkisinin incelenmesi”, *Beton 2004 Kongresi, İstanbul, Türkiye* 367-375, 10-13, (2004).