

ÇANAKKALE AYVACIK VOLKANİK TÜFÜNÜN HAFİF YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE AGREGA OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Seyide KILIÇALTAN^{1*}, Uğur DEMİR²

¹ Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA, ORCID No :

<http://orcid.org/0000-0001-7878-0068>

² Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA, ORCID No :

<http://orcid.org/0000-0001-8828-4711>

Anahtar Kelimeler	Öz
Volkanik Tüf, Hafif Yapı Malzemesi, Hafif harç,	Ülkemizin deprem kuşağında bulunması ve enerji maliyetlerinin sürekli olarak artması, inşaat teknolojilerinin gelişmesinde itici bir güç olmuştur. Bu gelişmelerin başında hafif yapı malzemelerinin üretilmesi ve çeşitli teknik özelliklerinin sürekli olarak iyileştirilmesi gelmektedir. Bina ölü yükünün azaltılması, ısı ve ses yalıtımı gibi özellikleri nedeniyle doğal hafif agregalar son çeyrek yüzyılda oldukça fazla kullanılmaya başlanmış, günümüzde de kullanım oranı giderek artmaktadır. Bu çalışmada ufalanıp belirli boyutlarda sınıflandırılan Çanakkale-Ayvacık yöresi volkanik tüf agregası olarak kullanılıp hafif harç üretilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla farklı reçeteler kullanılarak üretilen hafif harç numunelerinin 7, 14 ve 28 günlük birim hacim ağırlık (BHA), basınç dayanımı (BD) ve kapiler su emme (KSE) gibi teknik özelliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları (BHA: 1328 kg/m ³ , BD: 12,87 MPa, SE: 0,64 kg/(m ² .dak ^{0.5})) standartlarda olması gereken değerler ile karşılaştırılmış, Çanakkale-Ayvacık yöresi volkanik tüf agregalarının hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF THE USABILITY AS AN AGGRAGATE IN THE PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT BUILDING MATERIAL OF ÇANAKKALE-AYVACIK VOLCANIC TUFF

Keywords	Abstract
Volcanic tuff, Lightweight building materials, Lightweight mortar,	The fact that our country is located in an earthquake zone and the energy costs constantly increase has been a driving force in the development of construction technologies. At the beginning of these developments is the production of lightweight building materials and the continuous improvement of their various technical properties. Due to its features such as reducing the dead load of the building, heat and sound insulation, natural lightweight aggregates have been used quite a lot in the last quarter century, and today the usage rate is increasing gradually. In this study, light mortar was tried to be produced by using volcanic tuff aggregate from Çanakkale-Ayvacık region, which was crushed and classified into certain sizes. For this purpose, changes in technical properties such as unit volume weight (BHA), compressive strength (BD) and capillary water absorption (KSE) of light mortar samples produced using different recipes were investigated during the curing periods of 7, 14 and 28 days. The analysis results (BHA: 1328 kg/m ³ , BD: 12,87 MPa, SE: 0,64 kg/(m ² .dak ^{0.5})) obtained were compared with the values that should be in the standards, and it was determined that the volcanic tuff aggregates from Çanakkale-Ayvacık region could be used as lightweight building material.

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 27.11.2021	Submission Date : 27.11.2021
Kabul Tarihi : 02.02.2022	Accepted Date : 02.02.2022

* Sorumlu yazar; e-posta : seyide_990@hotmail.com



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Deprem yükünü azaltması, hem ses hem de ısı yalıtımında üstün özelliklerinin bulunması, yangına karşı dayanımı, estetik özellikleri, enerji maliyetlerindeki artış ve yasal düzenlemelerin yalıtımı zorunlu hale getirmesi hafif yapı malzemelerinin inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmasının sebepleri olarak sıralayabiliriz (Çelik, Kılıç ve Akkurt, 2014; Ünal ve Uygunoğlu 2007). Hafif yapı malzemeleri, binanın ölü yükünü azaltmasından dolayı, bina hafifletmekte (daha güvenli hale getirmekte), binanın taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinde meydana gelen küçülme ise maliyetlerin önemli oranda azalmasına neden olmaktadır (Akyüncü 2019; Beycioğlu, Başyigit ve Kılıçarslan, 2010; Geçten ve Gül 2019; Kılıçarslan, Davraz ve Akça, 2018; Kozak ve Ünal 2010; Subaşı 2009). Yüksek ısı performansına ve mekanik dayanıma sahip olan hafif yapı malzemeleri hem enerji verimliliğini sağlarken hem de çevrenin daha az kirlenmesine neden olmaktadır (Fidan, Oktay ve Polat, 2020). Hafif yapı malzemesi üretiminde pomza (Akyüncü 2019; Beycioğlu ve diğ. 2010; Bilgin 2017; Ceylan ve Saraç 2006; Davraz ve Başpınar 2011; Fidan ve diğ. 2020; Geçten ve Gül 2019; Kılıçarslan ve diğ. 2018; Kozak ve Ünal 2010; Sarıışık ve Sarıışık 2010; Serin, Çankıran, Başyigit, Taş ve Fenkli, 2007; Tatlıdil ve Sancak 2013), diatomit (Serin ve diğ. 2007; Ünal ve Uygunoğlu 2007), vermikulit, volkanik tüf (Kozak ve Ünal 2010), volkanik cüruf (Biçer 2020; Davraz ve Başpınar 2011), ignimbirit (Bilgin 2017; Şapçı, Gündüz ve Yağmurlu 2014), perlit ve genleştirilmiş perlit (Çelik ve diğ. 2014; Gökçe, Şimşek, Durmuş ve Demir, 2014; Fidan ve diğ. 2020), genleştirilmiş kil (Davraz ve Başpınar 2011; Subaşı 2009) gibi doğal ve EPS gibi sentetik (Çelik ve diğ. 2014; Fidan ve diğ. 2020; Şahin ve Karaman 2012) malzemeler de kullanılmaktadır. Hafif yapı malzemelerinin birim hacim ağırlıklarının 2000 kg/m³'den küçük olması gerekmektedir (Kılıçarslan ve diğ. 2018; Serin ve diğ. 2007). Kaliteli hafif agregalarda su emme oranının %15'in altında olması ve basınç dayanımının ise en az 17,2 MPa olması gerekmektedir (Yolcu ve Girgin 2017).

Volkanik tüf, volkanik püskürme boyunca kraterden dışarı çıkan, konsolide olmuş volkankülü veya volkan tozundan oluşan kayalardır. Volkanik kül matriksi içinde volkanik kayaç ve mineral parçalarından oluşan volkanik bir kayaçtır. Volkanik tüf, bazı kül ve mineral parçalarının yanmış ve kavrulmuş halde havaya fırladığı ve yüzeye düşüp karışarak depolandığı zaman oluşmaktadır (Daloğlu 2008; Kozak ve Ünal, 2010). Volkanik tüfler genellikle çok düşük birim hacim ağırlığına, çok yüksek poroziteye ve çok fazla şekil değiştirme yeteneğine sahiptir. Tüf ortalama 1300 °C'de erimekte, 760 °C'nin altında herhangi bir değişime uğramamaktadır. Doğal nem oranı düşük, sertliği 5,5-6

arasında, basınç mukavemeti ise 95-130 kg/m² arasındadır (Kozak ve Ünal, 2010). Tüfler, genelde pembe ve beyaz olarak ayrılabilen, beyaz tüfler genellikle tüflü yapının içine gömülmüş küçük metamorfik kayaç parçaları olan fenokristaller iken pembe tüflerde ise çoğunlukla tüflü yapının içine gömülmüş büyük metamorfik parçalar olan fenokristallerden oluşurlar (Daloğlu 2008). Tüf agregalarının ana bileşeni SiO₂'dir, Si ile birlikte Al₂O₃ varlığındaki artış puzolanik aktiviteyi ve dolayısıyla basınç dayanımının artmasına neden olmaktadır (Kozak ve Ünal, 2010).

Bu çalışmada, üzerinde fazla çalışma yapılmamış olan Çanakkale Ayvacık Akçin yöresi doğal volkanik tüf agregasının hafif yapı malzemesi (hafif harç) olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı boyut gruplarındaki (0-2 mm ve 2-4 mm) agregalar farklı oranlarda kullanılmış, bununla beraber farklı çimento oranlarının (%18-33) birim hacim ağırlık (BHA), kapiler su emme ve basınç dayanımlarındaki etkileri incelenmiş, elde edilen ürünlerin standartları karşılayıp karşılamadığı irdelenmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Hafif yapı malzemesi üretilmesine yönelik çeşitli doğal ve sentetik agregaların kullanıldığı çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Kozak ve Ünal (2010) Afyonkarahisar tüfü ve Isparta pomzasını kullanarak 4 farklı kalıpta hafif beton üretilmesine yönelik çalışma yapmışlar, aynı zamanda farklı çimento miktarlarında elde edilen ürünlerin basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik özelliklerini standartlarda belirtilen testleri uygulayarak belirlemişlerdir. Davraz ve Başpınar (2011) Isparta-Karakaya, Isparta-Gelincik, Kayseri, Nevşehir pomzası ile Kula volkanik cürufu ve genleştirilmiş kil numuneleri kullanılarak hafif yapı malzemesi üretmeye çalışmışlar, elde edilen ürünlerin çeşitli teknik özelliklerini standartlarda belirtilen testler uygulanarak belirlemeye çalışmışlardır. En düşük birim hacim ağırlığın Kayseri pomzası ile en yüksek birim hacim ağırlığın Kula volkanik cürufu ile elde edildiği tespit edilmiştir. Biçer (2020) hafif beton üretmek amacıyla Elazığ-Yeniköy volkanik cürufunu tek başına ve kum ile belirli oranlarda karıştırarak kullanmış, elde edilen ürünün ısı iletkenlik ve basınç dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla standartlarda belirtilen testleri uygulamıştır. Test sonuçları elde edilen ürünlerin hafif yapı malzemesi olduğunu göstermiştir.

Ceylan ve Saraç (2006) farklı yörelerden elde edilen (Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas, İzmir-Menderes) pomza agregalarından hafif yapı malzemesi üretmeye

çalışmışlar, bu üç yöre malzemelerini farklı kombinasyonlarda karıştırarak elde ettikleri ürünlerin teknik özelliklerini incelemişlerdir. Ürünlerin teknik özelliklerinin oluşum şartları ile de ilişkili olduklarını belirlemişlerdir. Sarıışık ve Sarıışık (2010) hafif beton üretmek amacıyla doğal Nevşehir pomza agregası ile sentetik EPS kullanmışlar, elde ettikleri hafif betonun ısı iletkenlik, basınç dayanımı ve ses yutuculuk gibi teknik özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar pomza ve EPS kullanılarak hafif beton üretilebileceğini göstermiştir. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada, büyük kalıplar kullanarak elde ettikleri ürünleri, istedikleri ebatlarda daire testere ile kesebildiklerini belirtmişlerdir. Beycioğlu ve diğ. (2010) hafif beton üretmek amacıyla Isparta-Gölcük pomzası ile çimentoya farklı oranlarda silis dumanı ilave etmişler, elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızlarını standartlarda belirtilen testleri uygulayarak belirlemişlerdir. Artan silis dumanı miktarı teknik özelliklerde pozitif etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. Tatlıdil ve Sancak (2013) Isparta yöresi pomzası kullanarak hafif bölme panel duvar üretmeye çalışmışlar, bu amaçla farklı oranlarda çimento ve katkı maddesinin basınç dayanımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çimento ve katkı oranı arttıkça elde edilen ürünün basınç dayanımında belirgin artışlar elde edilirken, birim hacim ağırlıkta da belirgin artışların olduğu tespit edilmiştir. Kılınçarslan ve diğ. (2018) Isparta, Kayseri, Nevşehir ve Karaman yöresi pomza agregalarını hafif yapı malzemesi üretmek amacıyla kullanmışlar, elde edilen ürünlerin standartlarda belirtilen basınç dayanımı, ısı iletkenliği, ses yutuculuğu ve ses iletimi gibi özellikleri farklı ebatlarda üretilen beton numuneleri üzerinde test etmişlerdir. Teknik özelliklerin pomza oluşum şartlarından etkilendiği belirlenmiştir. Akyüncü (2019) Tekirdağ-Çorlu kumu ile Kayseri-Talas pomzasını farklı oranlarda karıştırarak hafif beton üretmiş, elde edilen ürünün yangın etkisi sonrasında çeşitli teknik özelliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Pomza miktarının artışı yangına karşı dayanımda belirgin artışlara neden olurken, beton yüzeyinde oluşan sıcaklıkta da belirgin azalışların olduğu belirtilmiştir. Geçten ve Gül (2019) Van-Erçiş-Kocapınar pomza agregası kullanarak hafif yapı malzemesi üretilmesine yönelik çalışmada, farklı kür uygulamalarının, elde edilen malzemelerde su emme ve ısı iletkenliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. 28 gün boyunca günde 3 kere yapılan sulama işlemi sonucunda elde edilen ürünlerin su emme oranında belirgin bir azalma meydana gelirken, ısı iletkenlikte az da olsa bir iyileşmenin olduğu tespit edilmiştir.

Ünal ve Uygunoğlu (2007) hafif beton üretmek amacıyla Afyonkarahisar diyatomit numuneleri kullanmışlar, farklı çimento oranlarının elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Çimento miktarındaki artışın basınç dayanımında olumlu yönde etki ettiği, birim hacim

ağırlıkta ise olumsuz yönde etki ettiğini belirlemişlerdir. Serin ve diğ. (2007) hafif ve yarı hafif beton üretmek amacıyla Isparta-Atabey agregası, Gölcük pomzası ve Keçiborlu diyatomitlerini belirli oranlara karıştırmışlar ve elde edilen ürünlerin teknik özelliklerinin standartlarda belirtilen sınır değerleri karşılayıp karşılamadıklarını tespit etmişlerdir. Topçu ve Toprak (2009) Termik santral taban küllerini alkaliler ile aktive ederek hafif harç üretilmesine yönelik yaptıkları çalışmada, elde edilen ürünlerin BHA, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımları gibi çeşitli özellikleri belirlemeye çalışmışlardır. Gündüz ve Kalkan (2016) Ankara-Kazan diyatomitlerinden hafif harç üretilmesine yönelik yaptıkları çalışmada, ince ve iri agreganın karışım oranlarına bağlı olarak birim hacim ağırlık, basınç dayanım, ısı iletkenlik, ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimleri incelemişlerdir.

Şapçı ve diğ. (2014) hafif yapı malzemesi üretmek için Aksaray ignimbiriti kullanmış, farklı tane boyutlarındaki agrega ile farklı çimento oranları kullanarak, elde edilen ürünlerin standartlarda belirtilen değerleri karşılayıp karşılamadıklarını tespit etmişlerdir. Bilgil (2017) Nevşehir pomzasını tek başına ve ignimbirit ile belirli oranlarda karıştırarak hafif yapı malzemesi üretmiş, elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık ve basınç dayanımlarında meydana gelen değişimi incelemiştir. Pomza agregasına ignimbirit ilavesi ile basınç dayanımında önemli oranda iyileşme meydana gelirken, birim hacim ağırlıkta belirgin bir artışın olduğu belirlenmiştir.

Gökçe ve diğ. (2010) hafif beton üretiminde hafif agrega olan perlit ve geliştirilmiş perlitli ayrı ayrı kullanmışlar ve elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık, su emme ve basınç dayanım özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Geliştirilmiş perlit kullanımı birim hacim ağırlıkta önemli oranda azalmaların olmasına neden olurken, hem su emme hem de basınç dayanımında negatif etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Çelik ve diğ. (2014) hafif yapı malzemesi üretmek amacıyla İzmir Etimaden tarafından üretilen geliştirilmiş perlit, sentetik CMC malzemesi ve kömür tozu kullanmışlar, elde edilen ürünlerin standartlara uygunlukları çeşitli testler uygulayarak belirlemişlerdir. Fidan ve diğ. (2020) hafif yapı malzemesi elde etmek için doğal agrega olan pomza ve geliştirilmiş perlit ile birlikte lastik parçaları kullanmış, elde edilen ürünlerin çeşitli teknik özelliklerini standartlarda belirtilen testleri kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Yazarlar aynı zamanda ürünlerin teknik özelliklerini yapay sınır ağırları tekniğini kullanarak tahmin edilebileceğini belirlenmişlerdir.

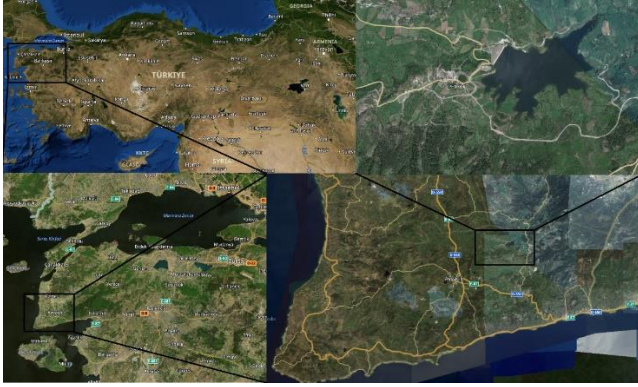
Subaşı (2009) hafif taşıyıcı yapı malzemesi üretmek amacıyla farklı çimento oranlarında Alman kökenli geliştirilmiş kil ve kumu belirli oranlarda karıştırarak kullanmış, elde edilen ürünün taşıyıcı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla standartlarda belirtilen testleri uygulamıştır. Elde edilen ürünlerin taşıyıcı özellikte

olduğu belirlenmiştir. Şahin ve Karaman (2012) hafif alçı blok üretmek amacıyla Sivas yöresi jibs numunesi, sentetik EPS malzemesi ve pomza agregasını farklı kombinasyonlarda karıştırarak kullanmışlar, elde edilen ürünlerin kuru yoğunluk, basınç dayanım, su emme ve ısıl iletkenli özelliklerini standart test yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir.

3. Malzeme ve Yöntem

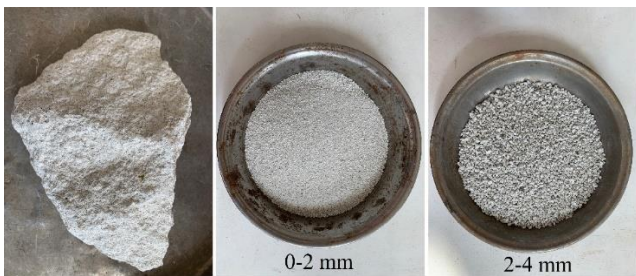
3.1 Malzeme

Çanakkale iline bağlı Ayvacık ilçesinin yaklaşık 13 km kuzey-doğusunda bulunan Akçin köyü yakınlarında aktif olarak çalışan özel bir firmaya ait ocaktan alınan volkanik tüf agregası deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Doğal agregaların alındığı sahanın yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yer Bulduru Haritası (googlemap)

Alınan temsili numunelerin parça, boyutu küçültüldükten ve boyut gruplarına ayrıldıktan (0-2 mm ve 2-4 mm) sonraki halleri Şekil 2'de verilmiştir. Ocaktan alınan numuneler Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiş, çeneli kırıcı yardımı ile ufalanan agreganın boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla elek analizine tabi tutulmuştur. Elek analiz sonuçları Şekil 3'de, kimyasal analiz sonuçları ile Tablo 1'de verilmiştir.

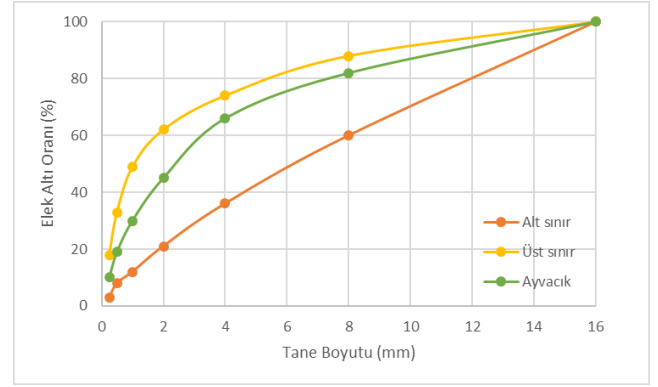


Şekil 2. Parça, 0-2 mm ve 2-4 mm Volkanik Tüf Görüntüleri

Tablo 1.

Deneysel Çalışmada Kullanılan Volkanik Tüf Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

İçerik	%
SiO ₂	65,22
Al ₂ O ₃	16,03
TiO ₂	0,22
Fe ₂ O ₃	1,75
CaO	1,8
MgO	2,7
Na ₂ O	1,97
K ₂ O	3,4
K.K	6,43



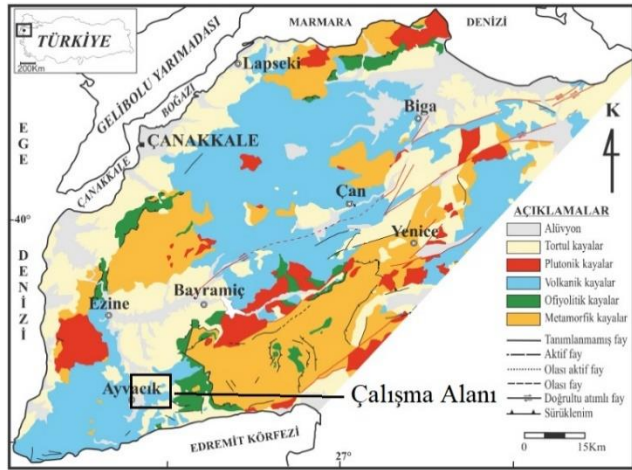
Şekil 3. Ufalama İşleminde Sonraki Boyut Dağılımı (TS EN 13055-1)

Hafif harç üretmek amacıyla doğal agreganın 0-2 ve 2-4 mm boyut gruplarına ayrılmıştır. Çizelge 2'de ufalama işleminden sonra elde edilen numunelerin 0-2 ve 2-4 mm boyut aralığındaki yoğunlukları verilmiştir.

Tablo 2.

0-2 ve 2-4 mm Boyut Aralığındaki Yoğunluklar

İçerik Tane boyutu	Yoğunluk
Tüf Agregası (0-2 mm)	756
Tüf Agregası (2-4 mm)	1197



Şekil 4. Biga Yarımadası'nda Gözlenen Ana Kaya Grupları ve Çalışma Alanı (Deniz vd. 2010)

Şekil 4'de Biga Yarımadası'nda gözlenen ana kaya grupları ve çalışma alanı görülmektedir. Biga yarımadası, KD-GB yönlü tektonik unsurları barındıran bir yapıya sahiptir. Yarımada'nın temelini Geç Karbonifer-Erken Triyas yaşlı Kazdağ Metamorfitleri oluşturmaktadır. Bu kayaların üzerinde tektonik olarak yerleşmiş arkozik kumtaşları, grovaklar, bazaltik kayalar, tüfler, aglomeralar ve kireçtaşlarından oluşan Geç Permiyen-Erken-Orta Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi ve metamorfizma geçirmiş epiklastik-piroklastik kökenli litolojilerden ve bunları kesen metagranodiyoritlerden oluşan Triyas yaşlı Kalabak Birimine ait kayalar bulunmaktadır. Geç Kretase'de ofiyolitik kayalardan oluşan bir melanj gelmiştir. Bölgede Tersiyer, Orta Eosen neritik kireçtaşları ve bunların üzerine uyumlu olarak gelen volkanik ara katlı Geç Eosen türbiditleriyle başlar. Oligosen sonunda Biga Yarımadasında önemli bir yükselme ve aşınma evresi olmuş ve yarımada'nın güneyindeki Orta Eosen-Oligosen istifi tümüyle aşınmıştır. Bölgede Erken-Orta Miyosen'de volkanik kayalarla eş yaşlı bitümlü şeyl, silttaşı, kumtaşı, tuf ve kömürden oluşan tortullar meydana gelmiştir. Oligosen-Miyosen döneminde kalkalkalen magmatizma bölgeyi etkilemiş, ayrıca andezit, dasit, riyolit ve asidik tüfler geniş alanlara yayılmıştır. Biga Yarımadasında volkanizmaya bağlı olarak Geç Oligasen-Erken Miyosen aralığında oluşmuş, genellikle granodiyoritik bileşimli sığ sokulumların varlığı bilinmektedir. Tersiyer'de gerilme tektoniğiyle şekillenen havzalarda genellikle karasal tortullar yoğun bir volkanizma eşliğinde oluşmuştur. Geç Miyosen volkanizması sonlanırken, flüviyal klastikler Biga Yarımadasının kuzeyinde çökelmiştir. Pliyo-Kuvaterner'de Biga Yarımadasında çakıltası, kumtaşı ve şeyl bileşimli flüviyal çökeller ile gölsel karbonatlar oluşmuş ve az miktarda alkali bazaltik volkanizma meydana gelmiştir (Deniz, Baba ve Tarcan, 2010).

Deneyisel çalışmalarda hafif harç üretiminde ÇimSa markalı Cem II 42,5 R beyaz çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi Tablo 3'de ve çeşitli özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3.

Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Çimentonun Kimyasal Bileşimi

Bileşenler	Değerler (%)
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0,5-6,0
MgO	0,1-0,4
Na ₂ O+K ₂ O	0,2-1,3
SO ₃	1,0-3,0
Kızdırma Kaybı	1,0-2,0
Çözünmeyen Kalıntı	1,0-2,0

Tablo 4.

Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Çimentonun Çeşitli Özellikleri TS EN 197-1 CEM II 42.5R

Özellikler	Portland çimentosu
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,00
Priz Başlangıcı(dak.)	150
Yüzey alanı (cm ² /g)	3450
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPA)	25
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPA)	48

Hafif harç üretilmesi sırasında agrega ve çimentonun istenilen etkileşimi göstermesi için Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi şebeke suyu kullanılmıştır. Çimento-su karışım oranı oldukça önemli bir durumdur, bu çalışmada su/çimento oranı 0,45 olarak belirlenmiştir, aynı oranda önemli olan bir diğer durum ise tane boyut dağılımıdır. Karışıma fazla su ilave edilmesi, numunelerin şekil almasında sorunlara neden olurken, çökme olarak tarif edilen durumun olmasına da neden olabilmektedir.

Elde edilen karışımların birim hacim ağırlık (BHA), basınç dayanımı ve kapiler su emme özelliklerinin standartlarda (TS EN 1015-10, TS EN 1015-11, TS EN 1015-18) belirtildiği şekilde test edilebilmesi için 5x5x5 cm ve 10x10x10 cm'lik kalıplar kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

Hafif harç elde etmek amacıyla 0-2 ve 2-4 mm boyutlarındaki agregalar %60 ve %40 oranlarında 2 farklı seri oluşturulacak şekilde karıştırılmıştır. 1 seride %40 0-2 mm agrega ile %60 2-4 mm agrega, 2 seride

%60 0-2 mm agrega ile %40 2-4 mm agrega karıştırılmıştır (Tablo 5 ve 6). Agregalar karışım hazırlanmadan önce ön ıslatma işleme tabi tutulmuştur. Karışımlara %18-33 oranında çimento ilave edilerek 6 farklı reçete hazırlanmıştır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Tablo 5.

Hafif Harç 1. Seri Karışım Oranları

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Bileşenler	Ağırlık (%)					
0-2mm %40	32,8	31,6	30,4	29,2	28	26,8
2-4mm %60	49,2	47,4	45,6	43,8	42	40,2
P. ÇİMENTO	18	21	24	27	30	33
Toplam	100	100	100	100	100	100

Tablo 6.

Hafif Harç 2. Seri Karışım Oranları

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
Bileşenler	Ağırlık (%)					
0-2mm %60	49,2	47,4	45,6	43,8	42	40,2
2-4mm %40	32,8	31,6	30,4	29,2	28	26,8
P. ÇİMENTO	18	21	24	27	30	33
Toplam	100	100	100	100	100	100

Hafif harç numunelerinde hesaplamalar sonucu su-çimento oranı (0,45) belirlenerek farklı karışımlar elde edilmiş, 5x5x5 cm ebatlarındaki kalıplara dökülmüş kalıp yüzeyleri mala ile düzeltilmiştir. Numunelerin yapışmaması için yağlanan kalıplarda 24 saat bekletilen numuneler, dikkatli bir şekilde çıkartılmıştır (Şekil 5). Kalıplardan çıkarılan numuneler 7, 14 ve 28 günlük kür süreleri için laboratuvar koşullarında oda sıcaklığında bekletilmiştir. Elde edilen hafif harçların birim hacim ağırlık (TS EN 1015-10), kapiler su emme (TS EN 1015-18) ve basınç dayanım testleri (TS EN 1015-11) ilgili standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir test için 4 adet numune kullanılmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır.



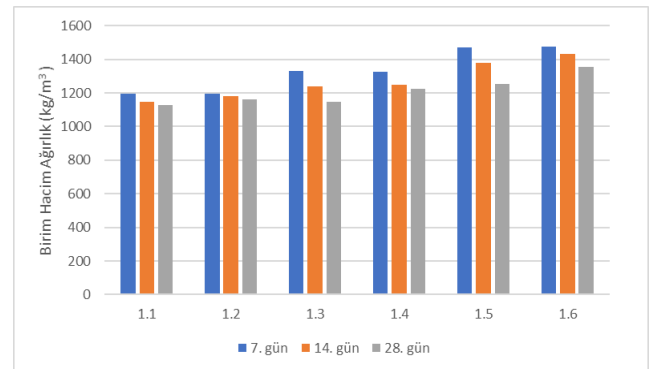
Şekil 5. Farklı Tane Boyutu Ve Çimento Miktarlarında Üretilen Hafif Harç Numuneleri

Hafif agregaların ön ıslatılması sırasında bünyesindeki boşluklara emdiği suyu daha sonraki aşamalarda yavaş yavaş bırakması ile elde edilen beton, dış ortandan su emmese bile hidrasyon ve dayanım artışı devam etmektedir. Devam eden hidrasyon agrega-matris ara yüzey aderansının çok güçlenmesine, ayrıca çatlak oluşumunda azalmayı beraberinde getirmektedir. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük su, gaz ve klor geçirgenliği sonucu azalan bakım onarım maliyetleri ile kullanım ömrü de uzamaktadır. Hafifliği nedeniyle artan yangın dayanımı ile çelik yapıların kompozit döşemelerinde önemli avantajlar sağlamaktadır (Yolcu ve Girgin 2017).

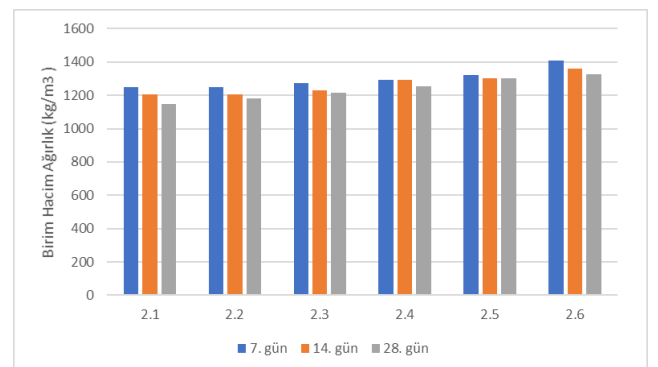
4. Bulgular

4.1 Birim Hacim Ağırlık

Yöntem kısmında belirtildiği gibi farklı tane boyutu ve çimento oranlarında karıştırılarak elde edilen hafif harç numunelerinin 1 ve 2 serileri için 7, 14 ve 28 günlük kür süresinden sonra belirlenen birim hacim ağırlık değerleri Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Hafif Harç 1. Seri Karışımlarından Elde Edilen Numunelerin Birim Hacim Ağırlık Değişimi



Şekil 7. Hafif Harç 2. Seri Karışımlarından Elde Edilen Numunelerin Birim Hacim Ağırlık Değişimi

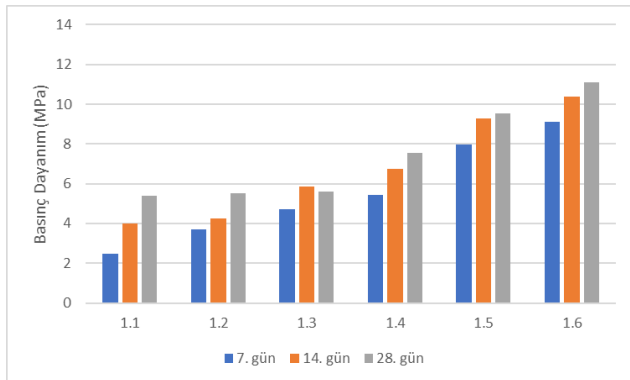
Numunelerin Birim Hacim Ağırlık Değişimi

1 serisi için hazırlanan hafif harç numunelerinde çimento miktarının artışına bağlı olarak BHA'larda kademeli olarak bir artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni olarak çimento miktarındaki artış, hem çimento hamurunun agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurma kapasitesinin fazla olması hem de çimentonun özgül ağırlığının daha yüksek olmasıdır (Kozak ve Ünal 2010). 7 günlük kür süresinde BHA'lar 1193-1474 kg/m³ aralığında iken 14 günlük kür süresinde 1146-1432 kg/m³, 28 günlük kür süresinde ise 1126-1355 kg/m³ değerlerine ulaşmıştır. Genel itibariyle kür süresi artışına bağlı olarak BHA'larda az da olsa sürekli olarak bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. Benzer durum 2 serisinde de gözlenmektedir. Bununla beraber 2 serisindeki 0-2 mm tane boyutundaki malzeme miktarı %60 seviyelerinde olduğu için, BHA'larda çimento miktarındaki artışa bağlı olarak az da olsa bir artışın olduğu belirlenmiştir. 7 günlük sür süresinde 1250-1407 kg/m³, 14 günlük kür süresinde 1206-1360 kg/m³ ve 28 günlük kür süresinde 1146-1328 kg/m³ arasında değerler elde edilmiştir.

Hafif harç numunelerinde her iki seri birlikte değerlendirildiğinde, artan kür süresi ile BHA'larda belirli oranlarda azalmaların olduğu gözlemlenirken, çimento miktarındaki artış, numunelerin BHA'larında belirli oranlarda artışların meydana gelmesine neden olmuştur. Daha fazla ince boyutlu malzeme olan 2 serinin BHA değerleri, ince agreganın çimento ile daha iyi bağlanması, boşluk miktarının az olması nedeniyle daha yüksek çıkmaktadır. Yine de elde edilen BHA'lar 2000 kg/m³ değerinden az (Kılınçarşlan ve diğ. 2018; Serin ve diğ. 2007) olduğu için bu malzemelerin hafif yapı malzemesi olmasını sağlamaktadır.

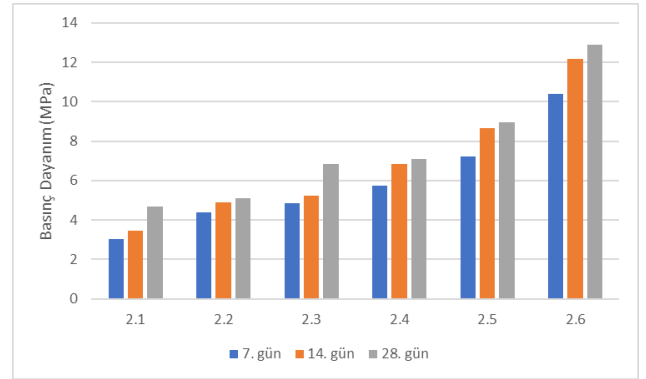
4.2 Basınç Dayanım

Farklı tane boyutu ve çimento oranlarında karıştırılarak elde edilen hafif harç numunelerinin 1 ve 2 seri için 7, 14 ve 28 günlük kür süresinden sonra oluşan basınç dayanım değerleri Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Hafif Harç 1. Seri Karışımlarından Elde Edilen

Numunelerin Basınç Dayanım Değişimi



Şekil 9. Hafif Harç 2. Seri Karışımlarından Elde Edilen Numunelerin Basınç Dayanım Değişimi

%40 0-2 mm ve %60 2-4 mm tane boyutundaki malzemelere artan miktarda ilave edilen çimento, tüm kür sürelerinde üretilen hafif harçların basınç dayanımlarını kademeli olarak arttırdığı gözlenmiştir. Bilindiği gibi çimento su ile bağlayıcı hamur oluşturmakta, agrega tanelerini birbirine bağlamakta ve olası boşlukları doldurarak karışımın basınç dayanımını olumlu yönde etkilemektedir (Kozak ve Ünal 2010). Çimento miktarı ile birlikte artan kür süresinde basınç dayanımlarının artmasına neden olmuştur. 1 serisinde 7 günlük kür süresinde 2,47-9,11 MPa olan basınç dayanım değerleri 14 günlük kür süresinde 4-10,38 MPa iken 28 günlük kür süresinde 5,4-11,10 MPa olduğu tespit edilmiştir. İnce taneli malzeme miktarının fazla olduğu 2 serisinde elde edilen basınç dayanım değerleri, 1 serisi ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu, bununda artan ince tanenin çimento ile çok daha sağlam bir yapı oluşturmasından kaynaklanmaktadır. 2 serisinin 7 günlük kür süresinde 3,04-10,38 MPa, 14 günlük kür süresinde 3,46-12,17 MPa ve 28 günlük kür süresinde 4,67-12,87 MPa arasında değerler elde edilmiştir. TS EN 998-1 standardında harç grupları 28 günlük basınç dayanımlarına göre 4 gruba ayrılmaktadır (0,4-2,5 MPa CS I, 1,5-5,0 MPa CS II, 3,5-7,5 MPa CS III ve ≥ 6 MPa CS IV). Volkanik tüf kullanılarak yapılan hafif harç numunelerinin büyük bir bölümü CS IV sınıfına girdiği görülmektedir.

4.3 Kapiler Su Emme

Son olarak farklı tane boyutu ve çimento oranlarında karıştırılarak elde edilen hafif harç numunelerinin 1 ve 2 seri için kapiler su emme değerleri ilgili standartta belirtildiği gibi sadece 28 günlük kür süresinde bekletilmiş numunelere yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7 ve 8'de verilmiştir.

Tablo 7.

1 Serisi Hafif Harç Numunelerinin Kapiler Su Emme Test Sonuçları

Numune Kodu	Kapiler Su Emme kg/(m ² .dak ^{0.5})
1.1	8,66
1.2	7,07
1.3	2,64
1.4	2,52
1.5	1,29
1.6	0,64

Tablo 8. 2 serisi hafif harç numunelerinin kapiler su emme test sonuçları

Numune Kodu	Kapiler Su Emme kg/(m ² .dak ^{0.5})
2.1	3,44
2.2	3,13
2.3	3,04
2.4	2,16
2.5	1,45
2.6	0,72

Tablo 7 ve 8 incelendiğinde artan çimento miktarı kapiler su emme oranlarında sürekli olarak bir azalmanın meydana gelmesine neden olmuştur. Hafif harcı oluşturan ince tane boyutundaki malzemenin varlığı, karışım içerisindeki boşlukların da en düşük seviyelere inmesine neden olmuş, bunun için su emme oranlarında belirgin azalmaların meydana gelmesini sağlamıştır. TS EN 998-1 standardına göre harç grupları kapiler su emme değerlerine göre W0- W1 ve W2 olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Elde edilen değerler volkanik tüf ile üretilen hafif harçların W0 sınıfına girdiğini göstermektedir. Hafif harç içindeki iri taneli malzeme miktarındaki artış bünyedeki gözenekliliği arttırmakta, BHA değerlerinde de buna paralel olarak azalmanın olmasını sağlamaktadır, sonuç olarak da su emme miktarının artmasına neden olmaktadır.

5. Tartışma

Elde edilen sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde hafif harç üretiminde 2 serisi sonuçlarının 1 serisine göre daha iyi seviyelerde olduğu Tablo 9'da görülmektedir. Tablo 9'da 2 serisi hafif harç numunelerinin (%60 0-2 mm, %40 2-4 mm) 28 günlük kür süresinden sonra elde edilen BHA, basınç dayanım ve su emme değerleri görülmektedir. Literatüre uygun olarak ince tane boyutundaki malzeme miktarındaki artış elde edilen hafif harç numunelerinin BHA değerlerinde belirgin bir artışın (1146-1328 kg/m³) olmasına neden olurken, basınç dayanım değerlerinde de belirgin bir artışın (4,67-12,87 MPa) olmasına neden

olmuştur. İnce tane boyutundaki malzeme miktarındaki artışa bağlı olarak oluşan gözeneklilikte azalacağından numunelerin su emme oranlarında da belirgin azalmaların (3,64-0,72) olmasına neden olmuştur. Bu hali ile elde edilen hafif harç numuneleri hafif yapı malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir.

Tablo 9.

2 Serisi Hafif Harç Numunelerinin 28 Günlük Kür Süresindeki Test Sonuçları

Numune Kodu	28. Gün BHA (kg/m ³)	28. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	28. Gün Kapiler Su Emme kg/(m ² .dak ^{0.5})
2.1	1146,64	4,67	3,64
2.2	1181,7	5,09	3,13
2.3	1214,57	6,82	3,04
2.4	1256,19	7,09	2,16
2.5	1303,28	8,94	1,45
2.6	1328,08	12,87	0,72

Hafif harç numunelerinin hafif yapı malzemesi olabilmesi için gerekli olan 2000 kg/m³ birim hacim ağırlık değerinin çok altında değerler elde edilmiş, TS EN 13055 standardında belirtilen 1100 kg/m³ değerine çok yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Volkanik tüf numunelerinin sıkışma özelliğinin yüksek olması (Kozak ve Ünal 2010), bu sınır değerün üstüne çıkılma sebebi sayılabilir. Elde edilen ürünlerin basınç dayanım değerleri incelendiğinden hemen hemen tüm numunelerin TS EN 998-1 standardında belirtilen CS III ve CS IV sınıfında olduğu belirlenmiştir. Son olarak hafif yapı malzemelerinin kapiler su emme oranlarının TS EN 998-1 standardına göre W0 sınıfında olduğunu göstermektedir.

6. Sonuçlar

Hafif yapı malzemesi olarak doğal agregaların (Pomza, volkanik tüf, diatomit vs.) kullanıldığı ve olumlu sonuçların alındığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda genel olarak İç Anadolu bölgesi civarında bulunan (Nevşehir, Kayseri, Niğde, Afyonkarahisar, Isparta vs.) havzalarda üretilen doğal agregalar kullanılmıştır. Volkanik tüf doğal volkanizma faaliyetleri sonucu oluşan, oldukça gözenekli, hafif ve kolaylıklar şekil verilebilen bir malzemedir. Ayvacık bölgesinde bu malzemenin kesilerek kullanıldığı örnekler mevcuttur. Kesilemeyen kısımların atık olarak atılması yerine belirli boyut gruplarında sınıflandırılıp, belirli oranlarda çimento ve su ile karıştırılarak farklı amaçlarda kullanılabilmesi düşünüldükçe bu çalışma şekillenmiştir. Çanakkale Ayvacık yöresi volkanik tüf agregaları hafif yapı malzemeleri olarak kullanılan çalışma sayısı oldukça sınırlı sayıdadır, bu rezervlerin ülke

ekonomisine doğru bir kullanım ile kazandırılması oldukça önemlidir. Yapılan bu çalışma ve elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde (12,82 MPa basınç dayanımı, 1328 kg/m³ birim hacim ağırlık ve 0,72 kg/(m².dak^{0.5}) kapiler su emme) , bu bölgede bulunan volkanik tüf agregalarının hafif yapı malzemesi üretilmesinde kullanılabilir özellikte olduğu tespit edilmiş, farklı çalışmaların yapılabilmesine zemin hazırlaması açısından önem arz etmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Seyide KILIÇALTAN, çalışmanın tasarlanması, verilerin elde edilmesi; Uğur DEMİR, çalışmanın tasarlanması, verilerin değerlendirilmesi, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, makalenin sonuçlarının hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akyüncü V., (2019) *Pomza Agregalı Hafif Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin Ve Yangın Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi*. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 147-157, doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.516853>
- Beycioğlu A., Başığit C., ve Kılınçarslan Ş., (2010). *Pomza Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Silis Dumanının Etkisi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14-2,200-205, doi: [10.19113/sdufbed.22740](https://doi.org/10.19113/sdufbed.22740)
- Biçer A., (2020). *Make Use of Volcanic Slag as Aggregate in the Production of Concrete*. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 2(2), 337-347, doi: <https://doi.org/10.47898/ijeased.790991>
- Bilgil A., ve Özdel H., (2017). "Pomza Esaslı Ve İgnimbirit Katkılı Hafif Yapı Malzemesinin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, 475-482 doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.341291>
- Ceylan H., ve Saraç M. S., (2006). *Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10-3,413-421, Erişim adresi:

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/sdufbed/issue/20781/221842>

- Çelik A. G., Kılıç A. M., ve Akkurt F., (2014). *Yapı Malzemesi Üretiminde Genleştirilmiş Perlit Agregası Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 29, No 3, 451-458, doi: <https://doi.org/10.17341/gummfd.80231>

- Daloğlu G., (2008). *Eskişehir-Derbent Tüflerinin Doğal Yapı Taşı Olarak Değerlendirilebilirliği*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erişim adresi: http://openaccess.ogu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11684/1978/GULNAZ_DALOGLU_TEZ.pdf?sequence=1

- Davraz M., ve Başpınar E., (2011). *Agrega Porozitesinin Hafif Betonların Fiziko-Mekanik Özelliklerine Etkisi*. SDU International Technological Science, Vol. 3, No 3,pp 35-51, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/utbd/issue/25986/273727>

- Deniz O., Baba A., ve Tarcan G., (2010). *Çan Jeotermal Alanı'nın Hidrojeokimyasal ve Hidrojeolojik İncelenmesi*. Türkiye Jeoloji Bülteni Cilt 53, Sayı 2-3, Erişim adresi: https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/2b9702d71294c93_ek.pdf?dergi=T%DCRK%DDYE%20JEOLOJ%DD%20B%DCLTEN%DD

- Fidan Ş., Oktay H., ve Polat S., (2020). *Hafif Yapı Malzemelerinin Isıl İletkenlik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi*. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/buyasambid/issue/55551/643721>

- Geçten O., ve Gül R., (2019). *Hafif Ve Normal Agregalı Betonlarda Atmosferik Kürün Su Emme, Rötme Ve Isı İletkenliği Üzerine Etkileri*. TÜBAV Bilim 12 (3), 20-31, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/49746/604813>

- Gökçe H. S., Şimşek O., Durmuş G., ve Demir İ., (2010). *Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi*. Politeknik Dergisi, Cilt:13, Sayı: 2, s. 159-163, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33053/367873>

- Gündüz L., ve Kalkan O. Ş., (2016) *Diyatonit Agregaların Çimento Esaslı Hafif Harç Özelliklerine Etkisi*, 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, Kütahya, Sayfa 284-294, Erişim adresi: https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/489600fc2fec142_ek.pdf

- Kılınçarslan Ş., Davraz M., ve Akça M., (2018). *Pomza Agregalı Köpük Betonların Özelliklerinin*

- Araştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 6(1), 148-153, doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.358542>
- Kozak M., ve Ünal O., (2010). *Hafif Agregalı Blokların Özelliklerinin Araştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 6, No: 2, 17-30, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yted/issue/22211/238476>
- Özdemir A., (2002). *Bazı Yapı Malzemelerinin Kapiler Su Emme Potansiyelleri. Jeoloji Mühendisliği*, vol 26, no:1, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmd/issue/52395/686371>
- Sarıışık A., ve Sarıışık G., (2010). "Yeni Üretim Prosesi İle Pomza Agregalı Hafif Beton Ve Eps Köpüklü İzolasyon Blok Üretimi Standartlara Uygunluğu Diğer Duvar Yapı Elemanları İle Karşılaştırılması" *Madencilik*, Cilt 49, Sayı 2, Sayfa 27-39, Erişim adresi: <http://www.mining.org.tr/tr/pub/issue/32481/361110>
- Serin G., Çankıran O., Başyığıt C., Taş H. H., ve Fenkli M., (2007). *Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Blokların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1) 15 - 22 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yted/issue/22218/238528>
- Subaşı S., (2009). *Genleştirilmiş Kil Agregası İle Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 24, No 3, 559-567, Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6681/88309*
- Şahin S., ve Karaman S., (2012). *The Properties of Expanded Polystyrene - Pumice - Gypsum Blocks as a Building Material. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* , vol 9, (1), Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/178388>
- Şapçı N., Gündüz L., ve Yağmurlu F., (2014). *Aksaray İgnimbritlerinin Doğal Hafif Agregası Olarak Kullanılabilirliği Ve Hafif Formda Boşluklu Duvar Blok Elemanlarının Üretiminde Değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 20, Sayı 3, 2014, Sayfalar 63-69 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20487/218160?publisher=pamukkale>
- Tatlıdil H., ve Sancak E., (2013). *Pomza Agregalı Hafif Betonların Panel Duvar Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. SDU International Technologic Science*, Vol. 5, No 2, pp. 87-94, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/utbd/issue/26208/275926>
- Topçu İ. B., ve Toprak U., (2009) *Alkalilerle Aktive Edilmiş Taban Küllü Hafif Harç Üretimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt:XXII, Sayı:2, 2009 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ogummf/issue/30158/325452>
- TS EN 1015-10, (2001) *Kâgir harcı-Deney metotları-Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütesinin tayini*
- TS EN 1015-11, (2020) *Kagir harcı - Deney yöntemleri - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini*
- TS EN 1015-18, (2004) *Kâgir harcı - Deney yöntemleri - Bölüm 18: Sertleşmiş harcın kapiler etkiden kaynaklanan su emme katsayısının tayini*
- TS EN 13055-1 (2004) *Hafif agregalar - Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette kullanım için*
- TS EN 998-1 (2017) *Kâgir harcı — Özellikler — Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı*
- Ünal O., ve Uygunoğlu T., (2007). *Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması. İMO Teknik Dergi*, cilt:18 sayı:86, s: 4025 -4034 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tekderg/issue/12772/155290>
- Yolcu C., ve Girgin Z. C., (2017). *Dünyada Yapay Hafif Agregalı Yapısal Beton Uygulamaları Ve Doğal Pomza Agregasının Kullanılabilirliği. Aurum Mühendislik Sistemleri Ve Mimarlık Dergisi*, Cilt 1, Sayı 2, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ajesa/issue/36735/418489>