

Pamuk-Sentetik Bileşenli Lif Katkısı ve Genleştirme Ajanı Miktarlarının Otoklavsız Gazbetonun Teknik Özelliklerine Etkileri

Şeyma Pınar ÖZCAN ¹, Lütfullah GÜNDÜZ ²

¹ İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.

² İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.

Sorumlu yazar e-posta: seymapinarozcan@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1395-196X>

Yazar e-posta: lutfullah.gunduz@ikc.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2487-467X>

Geliş Tarihi: 06.05.2021

Kabul Tarihi: 28.12.2021

Öz

Gazbeton ürünlerde otoklavsız üretimin sağlanmasıyla otoklav sistemlerde kullanılan ısı ve basınç üretim enerjisinden kaçınılabilmektedir. Bu makalede, endüstriyel atık lif katkı materyalinin 5 ayrı kullanım oranıyla hazırlanan otoklavsız gazbeton örneklerde genleştirici ajanın ağırlıkça %0,08, %0,12 ve %0,15 oranlarında ihtiva durumunun matris yapı üzerindeki etkileri detaylı incelenmiştir. Genleştirilerek üretilen ön kürlenmiş otoklavsız gazbeton örneklerinde hava sürükleyici ajan olarak %99.9 saflık derecesine sahip, nano boyutta alüminyum tozu tercih edilmiştir. Endüstriyel atık lif niteliğinde değerlendirilen kot kumaş açma elyafı %70 pamuk, %30 sentetik içermektedir. Bu atık lif malzeme maksimum 2 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında, özellikle harç içerisinde kullanılan ağırlıkça Al ihtiva oranının lif katkılı ya da lif katkısız otoklavsız ön kürlenmiş gazbeton örneklerinde yarattığı etkiler incelenmektedir. Deney ve gözlemler ışığında lif kullanım durumu ve miktarlarına uygun olabilecek ağırlıkça Al ihtiva oranları mikroskobik yapısal analiz, birim hacim kütle, genleşme oranı, basınç dayanımı, kütlece su emme, görünür porozite, sismik hız, akustik empedans ve ısı iletkenlik özellikleri ile endüstriyel bakış açısıyla yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler

Alüminyum;
Genleştirme Ajanı;
Endüstriyel Atık Lif;
Otoklavsız Gazbeton;
Kâgir Blok; Genleşme

The Effects of Cotton-Synthetic Component Fiber Additive and Expansion Agent Amounts on the Technical Properties of Non-Autoclaved Aerated Concrete

Abstract

By ensuring non-autoclaved production in aerated concrete products, heat and pressure generation energy used in autoclave systems could be avoided. In this article, the effects of 0.08%, 0.12% and 0.15% by weight of the expansion agent on the matrix structure in non-autoclaved aerated concrete samples prepared with 5 different usage rates of industrial waste fiber additive material were examined in detail. Aluminum powder of nano size with 99.9% purity was preferred as air-entraining agent in pre-cured non-autoclaved aerated concrete samples produced by expanding. Denim fabric opening fiber, which is considered as industrial waste fiber, contains 70% cotton and 30% synthetic. This waste fiber material has been sized to a maximum of 2 mm. In this study, especially the effects of Al content by weight used in mortar on pre-cured aerated concrete samples with or without fiber added, are investigated. In the light of experiments and observations, Al content ratios that can be suitable for fiber usage conditions and quantities were interpreted from an industrial point of view with microscopic structural analysis, unit volume mass, expansion rate, compressive strength, water absorption by mass, apparent porosity, seismic velocity, acoustic impedance and thermal conductivity properties.

Keywords

Aluminum; Expansion Agent; Industrial Waste Fiber; Non-Autoclaved Aerated Concrete; Masonry Block; Expansion

1. Giriş

Hafif betonlar, normal betonlara kıyasla daha düşük birim ağırlığa ve dayanıma sahip, ısı ve ses yalıtım değerleri yüksek, kolay çivilenebilme ve kolay kesilebilme gibi işlenebilme özellikleri olan, ateşe karşı daha dayanıklı bir yapı malzemesidir (Spratt 1975). Hafif beton gözenekleri, harç bileşenleri harmanlandığında, karıştırıldığında ve döküldüğünde alüminyum (Al) ile kireç arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucu hidrojen gazı açığa çıkmasıyla meydana gelmektedir ve bu kabarcıklar beton içerisinde yayılım göstermektedir (Yuan *et al.* 2017, Wittman 1983). Hava sürüklenmesiyle elde edilen betonlar, köpürme ajanının harca karıştırılması ile oluşan keyfi hava boşlukları sayesinde 400-1800 kg/m³ aralığında değişen birim hacim kütle değerlerine sahip hafif beton çeşididir. Gazbeton kâgir bloklar, yüksek akış kabiliyeti, minimum çimento ve agrega kullanımı nedeniyle rağbet gören bir malzeme olup düşük ısı iletkenlik sağlamaktadır (Suriyaprakash and Hameed 2018). Gazbetonun matris yapısında oluşan gözenekler aynı zamanda sismik hızı ve akustik empedansı da etkilemektedir, bu da malzemeyi iyi bir ses yalıtkanı yapmaktadır (Laukaitis and Fiks, 2006). Laurent (1995)'in hafif betonlar üzerine yaptığı bir çalışmada malzemenin ısı iletkenlik değerinin malzemenin birim hacim kütlesine, içeriğine ve malzeme içeriğine bağlı değişkenlik gösterdiğini, gözeneklerin inceliğinin artışının ısı yalıtımını olumlu etkilediği tecrübe edilmiştir.

Hafif betonlar, kullanım amacına göre üç gruba ayrılmaktadır: i) Yapısal hafif beton, 28 gün kür süresi sonunda 17 MPa basınç dayanım değerine eşit veya daha fazla silindirik basınç dayanımına sahip ve yaklaşık yoğunluk değer aralığı 1400-1800 kg/m³ olan betondur. ii) Duvar bloğu (Yapısal / Yalıtım hafif beton), 7-14 MPa aralığında basınç dayanımına ve 500 ila 800 kg/m³ yoğunluk aralığına sahip hafif betondur. iii) İzolasyon betonu, 0,7-7 MPa basınç dayanımı aralığında ve 800 kg/m³'den daha düşük yoğunluğa ve düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olan beton türüdür (Neville and Brooks 2010, Slaby *et al.* 2008).

Hafif beton kâgir bloklar, gözenek oluşturma yöntemine göre üç sınıf altında incelenebilmektedir: i) Hava sürüklenme yöntemi (Gazbeton), ii) Köpürtme yöntemi (Köpüklü beton), iii) Kombine yöntem. Gazbetonların, otoklavlanmış ve otoklavlanmamış olarak iki kürlenme yöntemiyle üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Kürlenme yöntemi ve kür süresine bağlı olarak gazbetonların basınç dayanımı, su emme eğilimleri, kuruma esnasında oluşan büzülme davranışı vb. fiziksel ve mekanik özelliklerinde etkilenmeler meydana gelmektedir. Hazırlanan gazbeton harcı kalıplara dökülüp sert form kazandırıldıktan sonra kalıptan çıkartılır ve talep edilen boyutlarda bloklar veya levhalar hâlinde dilimlenir (Tanacan *et al.* 2009).

Alüminyum, gazbeton üretiminde dünya çapında hava sürükleyici ajan olarak tercih edilmektedir ve bunun için en iyi materyal olduğu kanıtlanmıştır. Alüminyum, harç karışımına genellikle kuru çimento ağırlığının yaklaşık %0,2-%0,5 oranında eklenmektedir (Boggelen 2011).

İnşaat sektörünün büyümesi, yüksek enerji tüketimini de beraberinde getirmiştir. Son zamanlarda, enerji ve hammadde sarfiyatının önüne geçmek amacıyla detaylı çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle yapıların taşıyıcı olmayan birimlerinde sıkça tercih edilen hafif beton blok türevi ürünler ile yalnızca üretim aşamasında değil, yerinde kullanım sürecinde de enerji tasarrufu ve verimliliği sağlanabilmektedir. Otoklavlanmamış gazbeton, birçok ülkede termal konforun artırılması amacıyla dış bina zarflarında sıkça tercih edilmektedir. Bina ısınmasında tüketilecek enerjiyi, uygun duvar kesit bileşenleri ve yeterli uygulama kalınlığı tercihleriyle minimize etmek mümkündür. Buna ilave olarak, gazbeton üretim aşamalarından birini oluşturan otoklav kürlenmesi işlemi ortadan kaldırıldığında yüksek sıcaklık ve basınç için harcanan enerji kullanılmamış olmaktadır. Otoklavlanmamış gazbeton imalatı otoklavlanmış gazbetona kıyasla yüksek basınca gereksinim olmadığı için daha kolay ve aynı zamanda üretim maliyeti de daha düşüktür (Xia *et al.* 2013). Bu bağlamda, enerji verimliliği açısından büyük önem taşıyan otoklavlanmamış gazbeton kâgir bloklar, yapılarının oldukça hafif olması ile de ön plana çıkmaktadır. Hafif yapı

elemanı kâgir bloklar, deprensellik açısından bina ölü yük dengesinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Günümüzde yüksek yapı inşaatlarının artması, ölü yük azaltma ihtiyacını doğurmaktadır (Chen *et al.* 2017). Birim hacim ağırlık değerleri düşük olan otoklavsız gazbetonlar, üretimde matris yapı bozunumlarının ve çatlaklarının engellenmesi amacıyla lif katkıları olarak elde edilebilmektedirler. Yeni nesil olarak nitelendirilebilecek bu kâgir bloklarda endüstriyel atığın katkı materyali görevi görmesi, blok elemanın fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmenin yanında atık malzeme geri dönüşümü ile çevre ekolojisine fayda sağlamaktadır (Sanytsky *et al.* 2010).

Çimento esaslı malzemelerin güçlendirilmesinde polipropilen liflerinin kullanımının son yıllarda oldukça önem kazandığı görülmektedir (Mobasher and Li 1996, Perez-Pena and Mobasher 1994, Qian and Stroeven 2000). Matris yapısında boşluk oluşturularak elde edilen kâgir blokların üretiminde harç içerisine elyaf takviyesi yapılmasıyla malzeme sisteminde sismik performans iyileştirmesi sağlanabilmektedir (Kaushik *et al.* 2007). Liflerin eklenmesiyle hafif blokların sünek davranışı artırılarak çekme, kesme ve basma yüklemeleri karşısında uygun direnç gösterebilmektedir (Siram 2012).

Gazbeton üretimlerinde harç karışımlarına farklı orijin ve farklı boyutlarda lif katkı malzemeleri matris yapıda donatı materyali göreviyle kullanılabilir. Lif malzemeler, doğal ve yapay orijinli olabilmektedir. Uzun zamandır süre gelmekte olan gazbeton içeriğinde lif kullanımı çalışmaları sonucunda malzemenin iyi yönde etkilendiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Mobasher and Li 1996, Perez-Pena and Mobasher 1994, Bonakdar *et al.* 2013, Rasheed and Prakash 2017, Vijayalakshmi and Ramanagopal 2020a, Vijayalakshmi and Ramanagopal 2020b, Rasheed and Prakash 2015, Sukmana *et al.* 2019). Doğal ve yapay orijinli lifler yapıları gereği otoklavlama işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve basınç etkisi altında bozdukları için otoklavlanmış gazbeton üretimlerinde lif kullanımı istenilen sonucu verememektedir. Liflerde meydana gelebilecek olası

zararı önlemek amacıyla otoklavlama işlemi lifli gazbeton üretiminden çıkarılmakta ve kürlenme oda sıcaklığında gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, lif takviyeli ve lif takviyesiz üretilen gazbeton kâgir bloklar farklı niteliklerde değerlendirilmektedir. Otoklavlama işleminin ortadan kaldırılması, otoklavlanmış gazbetona kıyasla daha düşük mukavemet değerlerine ve daha düşük homojen dağılıma sahip ürünler elde edilmesine neden olmaktadır. Kısa polipropilen liflerin harç karışımına ilave edilmesi ile plastik fazda ya da kururken elastik fazda büzülme çatlaklarında azalma görüldüğü ve mekanik özelliklerde büyük ölçüde iyileşme meydana geldiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Bakhshi and Mobasher 2011, Ronald and Carol 1998, Bonakdar *et al.* 2013). Bu nedenle, kısa liflerin ilave edildiği otoklavlanmamış gazbetonlarda, meydana gelebilecek çatlakların köprülenmesi iyileştirilmektedir.

Bu çalışmada, %70 pamuk ve %30 sentetik içeren endüstriyel atık lif kategorisinde değerlendirilebilecek kot kumaş açma elyafı beş ayrı oranda matris yapı donatı materyali olarak değerlendirilmiştir. Atık lifin otoklavsız ön kürlenmeli, hava sürüklenme yöntemiyle elde edilen gazbeton kâgir blok elemanların üretiminde değerlendirilmesi tartışılmış ve belirlenen lif oranlarında hazırlanan örneklerde Al ihtivasının üç ayrı oran bazında kullanım etkisi ve uygunluğu incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ışığında elde edilen bulgulara dayanılarak, otoklavsız gazbeton kâgir blok üretimlerinde endüstriyel atık lif ve alüminyum kullanım miktarlarının hazırlanan örneklerde meydana getirdiği teknik etkiler detaylı olarak analiz edilmektedir. Yeni nesil olarak değerlendirilen bu kâgir blok eleman örneklerinin birim hacim kütle, basınç dayanımı, genleşme oranları, kütlece su emme, görünür porozite, sismik hız, akustik empedans ve ısısal konfor özellikleri fiziksel ve mekanik açıdan endüstriyel yaklaşımlarıyla tartışılmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Malzemeler

Çalışma kapsamında hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numune örneklerinin

üretiminde kullanılan malzemeler aşağıda kısaca tanıtılmıştır:

2.1.1. Çimento

Harç karışımları hazırlanırken matris yapıda bağlayıcı işlevinin yerine getirilmesi için EN 197-1 CEM 1 42.5R (42.5 N/mm²) standardına uygun Portland çimentosu kullanılmıştır.

2.1.2. Kum

Harç içeriğinde ana agrega bileşeni olarak tercih edilen malzeme 500 µm elek altı boyutlandırılmış standart kumdur.

2.1.3. Sönmemiş Kireç (CaO)

Sönmemiş kireç, kireç taşının kalsinasyonu ile meydana gelmektedir. Hazırlanan tüm harç karışım kombinasyonlarında sönmemiş kireç 250 mikron boyut altına indirgenerek sabit miktarda kullanılmıştır. Bağlayıcı özellik gösterebilmesi için su ile birleştirilerek hidrate edilmesi gerekmektedir. Sönmemiş kirecin su ile buluşmasında ekzotermik reaksiyon meydana gelmesi ile açığa çıkardığı ısı sayesinde CaO, harçta kimyasal reaksiyonların oluşabilmesinde etkin rol oynamaktadır. Açığa çıkan ısı, özellikle genleştirici ajanı da aktive etmektedir. Genleştirici ajanla etkileşime girmesi sonucunda hidrojen çıkışı meydana gelmekte ve gaz boşlukları oluşmaktadır.

2.1.4. Hava Sürükleyici Ajan (Alüminyum Tozu)

Otoklavlanmamış gazbeton blok numunelerinin üretiminde genleştirici ajan mahiyetinde nano boyutta, %99.9 saflık derecesine sahip alüminyum tozu tercih edilmiştir. Harç matrisindeki ısı sayesinde alüminyum tozları reaksiyona girerek etkin hâle gelmektedir. Bu nedenle alüminyum tozları hidrojen gazı açığa çıkararak matris yapıya gözenekler kazandırmaktadır. Harç içerisinde üç farklı oranda kullanımıyla elde edilen nihai numuneler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2.1.5. Kimyasal Katkılar

Hazırlanan numune harçlarının priz süresini kısaltmak ve matris yapıda oluşturulan gözenekleri artırmak amacıyla harç kombinasyonlarında kalsiyum klorür (CaCl₂) kullanılmıştır. CaCl₂, kalsiyum ve klorun tuz formu olup, beyaz renkte bir

katıdır. Su ile temasında ısı açığa çıkararak bulunduğu yeri ısıtabilme özelliği vardır.

2.1.6. Lifler

Bu çalışma kapsamında kullanılan endüstriyel atık lif ticari piyasadan tedarik edilmiştir. Atık lif boyutlandırılarak kullanıma hazır hâle getirilmiştir. Kot kumaş açma işleminden geçirilerek elde edilen bu elyaf %70 oranında pamuk ihtiva ederken %30 kadar da sentetik içermektedir ve maksimum uzunluğu 2 mm'dir (Şekil 1). Kot kumaş açma işleminden geçirilerek geri dönüştürülen bu lif, doğal kumaş elyafları arasında değerlendirilebilecek niteliktedir. Geri dönüştürülmüş tekstil elyaflarından elde edildiği için çevre dostu malzeme olarak da tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında tercih edilen kot elyafı kompozit yapı malzeme üretimlerinde kullanılabilir. Lif, matris yapıda doğal donatı görevi görürken aynı zamanda harcın işlenebilirliğini artırmak ve harç priz alırken oluşabilecek muhtemel büzülme ve çatlamayı en aza indirmek amacıyla da kullanılmaktadır.



Şekil 1. Endüstriyel atık lif malzemenin genel görünümü.

2.1.7. Su

Test örneklerinin hazırlanma aşamasında kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesini sağlamak amacıyla karma suyu olarak çeşme suyu kullanılmıştır. Harç ısisını artırarak kimyasal reaksiyonların daha kısa sürede gerçekleşebilmesi için su 80°C'ye kadar ısıtılarak tüm karışımlarda sabit sıcaklık ve sabit miktarda ilave edilmiştir.

2.2. Karışım Tasarımı ve Testler

Deneysel incelemelerde, üç farklı alüminyum oranında (kuru malzeme ağırlığının %0,08, %0,12, %0,15'i olmak üzere üç oranda) üretilen

otoklavlanmamış gazbeton numuneleri üzerinde lif kullanım uygunluğu ve teknik özellikler bazında uygun kullanım miktarını yorumlayabilmek amacıyla çeşitli ağırlıkça yüzde karışım oranları tasarlanmıştır. Atık lifin yaratmış olacağı etkileri daha net görebilmek açısından belirlenen üç alüminyum kullanımı için de lif kullanılmaksızın kontrol numune karışımları tasarlanmıştır. Harç kombinasyonlarının tasarımı Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'den de görüleceği üzere MK1, MK2 ve MK3 kodlu karışımlar, otoklavlanmamış gazbeton örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin kıyaslanabilmesi amacıyla, endüstriyel atık lifler kullanılmaksızın formülize edilmiştir. Bu kontrol numuneleri arasındaki tasarım farkı alüminyum kullanım oranına bağlıdır. MK1 numuneleri %0,08 Al, MK2 numuneleri %0,12 Al ve MK3 numuneleri ise %0,15 Al ihtiva edecek şekilde tasarlanmıştır. Deney numunelerinin hazırlanmasında MA1, MA2 ve MA3

kodlu karışımlarda ağırlıkça %0,25 lif; MB1, MB2 ve MB3 kodlu numunelerde %0,75 lif; MC1, MC2 ve MC3 numunelerinde %1,25 lif ve MD1, MD2, MD3 karışımlarında %2 lif kullanılmıştır. MA1, MB1, MC1 ve MD1 karışımlarında alüminyum kullanım oranları ağırlıkça %0,08; MA2, MB2, MC2 ve MD2 numunelerinde yine ağırlıkça %0,12; MA3, MB3, MC3 ve MD3 %0,15 olarak uygulanmıştır. Bu nedenle her lif kullanım oranı için üç ayrı alüminyum kullanım oranı altında numunelerde meydana gelen teknik farklılıklar yorumlanabilmektedir. Karışım kombinasyonlarındaki lif ve alüminyum kullanım oranları, ana agrega bileşeni kum oranından yer değiştirmeli olarak tasarlanmıştır. Hazırlanan tüm otoklavsız gazbeton numunelerinde ağırlıkça çimento oranı %34, CaO oranı %9, CaCl₂ oranı da %1 olacak şekilde sabit tutularak harç karışımlarına dâhil edilmiştir. İdeal karışım kıvamı ve form çalışmaları ışığında tüm harç kombinasyonlarında Su/Katı oranı 0,65 olarak tercih edilmiştir.

Çizelge 1. Test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları (Ağırlıkça).

Numune	Çimento (%)	Lif (%)	Kum (%)	CaO (%)	AL (%)	CaCl ₂ (%)	Su/Katı
MK1	34	0	55,92	9	0,08	1	0,65
MK2	34	0	55,88	9	0,12	1	0,65
MK3	34	0	55,85	9	0,15	1	0,65
MA1	34	0,25	55,67	9	0,08	1	0,65
MA2	34	0,25	55,63	9	0,12	1	0,65
MA3	34	0,25	55,60	9	0,15	1	0,65
MB1	34	0,75	55,17	9	0,08	1	0,65
MB2	34	0,75	55,13	9	0,12	1	0,65
MB3	34	0,75	55,10	9	0,15	1	0,65
MC1	34	1,25	54,67	9	0,08	1	0,65
MC2	34	1,25	54,63	9	0,12	1	0,65
MC3	34	1,25	54,60	9	0,15	1	0,65
MD1	34	2	53,92	9	0,08	1	0,65
MD2	34	2	53,88	9	0,12	1	0,65
MD3	34	2	53,85	9	0,15	1	0,65

Numune harcı hazırlama işleminin ilk adımı olarak ana agrega bileşeni kum, çimento, lif ve sönmemiş kireç karıştırılmıştır. Sonrasında, 80°C sabit sıcaklıkta hazır bekletilen su, kimyasal katkı CaCl₂ ve genleştirici ajan Al ile eş zamanlı olarak harca eklenerek 3 dakika süreyle karma işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen yaş harç formu önceden yağlanan numune kalıplarına zaman kaybı olmaksızın yerleştirilmiş ve genleşme miktarını

saptayabilmek amacıyla kalıba yerleştirilen her bir harç yüksekliği ölçülerek kaydedilmiştir. Kalıplanan yaş harçlar, sıcaklığı önceden 60°C olarak ayarlanmış bir etüv ortamında minimum 6 saat süreyle ön kürlenme işlemine tabi tutulmuştur. Ön kürlenme işlemi tamamlayan numuneler etüvden çıkarılarak 24 saat süreyle minimum +18 °C sıcaklıkta kapalı bir ortamda kürlenme işlemine devam edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve basınç altında otoklav kürlenmesine maruz

kalmadan üretilen test örnekleri kalıplardan çıkartıldıktan sonra normal oda koşullarında nihai küremeye bırakılmıştır. Kalıplardan çıkarılan numunelerin dijital bir kumpas ile yükseklikleri ölçülmüştür. Bu nedenle genleşme yüzdeleri hesaplanarak elde edilmiştir. 1, 3, 7, 14, 21 ve 28. günlerde test örneklerindeki kuruma süreçleri, numune tartımlarından elde edilen birim ağırlıklardaki değişimler yardımıyla incelenmiştir. 28 gün kür süresi tamamlanan numunelerin birim hacim kütle, basınç dayanımı, gözeneklilik, su emme oranı ve ısı iletkenlik değerleri analiz edilmiştir. Test örneklerinin birim hacim ağırlık analizleri TS EN 1015-10 "Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini" standardına uygun olarak tespit edilmiştir. Geriye kalan tüm fiziksel ve mekanik analizler TS EN 771-4 "Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 4: Gazbeton kâgir birimler" standardı ve ilgili standartların öngördüğü prensiplere göre uyarlanarak incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında toplamda hazırlanan endüstriyel atık lif katkılı otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numuneleri, her bir karışım formülasyonu için 15'er adet 100x100x120 mm boyutlu dikdörtgen şekilli test örneklerinden ve yine her bir karışım kombinasyonu için 3'er adet levha şekilli örneklerden oluşmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında hazırlanan numunelerden elde edilen fiziksel ve mekanik deney verileri ortalama değerler olarak Çizelge 2'de gösterilmiştir.

3.1. Mikroskopik Yapısal Analiz

Mikroskopik analiz, malzemelerin karakterizasyonu, mikro yapısı ve kalitesinin incelenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Hafif betonlarda mikroskopik yapısal analiz sayesinde karışım homojenlik ve gözeneklilik durumu, hava miktarı tayini, basınç dayanımı, ısı iletkenlik ve ses yalıtımı, donatı lif materyali dağılımının yorumlanması diğer test deneyleri gerçekleştirilmeden ön değerlendirme yoluyla yapılabilmektedir. Bu gibi avantajları sayesinde geliştirilmek istenen bir ürün, mikroskopik analizinden yapılacak çıkarımlarla daha kısa sürede reel sonuçlara yakınsak değerlerde

üretilebilmektedir. Bu AR-GE çalışması kapsamında 28 gün küreme süresini tamamlamış ve tamamen sertleşmiş tüm otoklavsız lifli gazbeton numunelerinin mikroskopik yapısal analizleri yapılmıştır. Görsellerde kıyaslama kolaylığı amacıyla 1 adet lifsiz %0,12 Al ihtiva eden kontrol numunesi ve 3 adet farklı Al oranlarında ağırlıkça %1,25 lif içeren numuneler sırasıyla Şekil 2-Şekil 6'da verilmiştir.



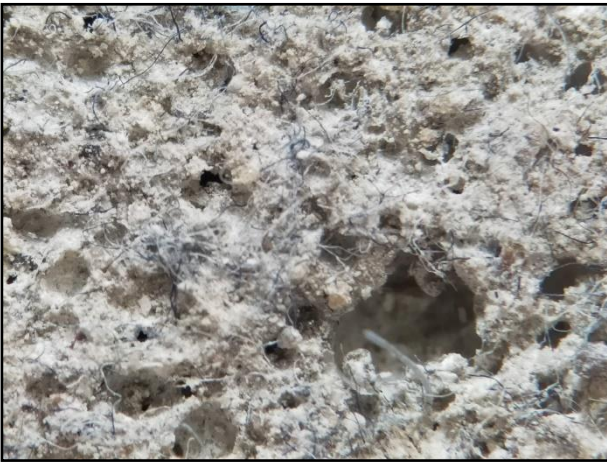
Şekil 2. MK2 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 3. MA2 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 4. MC1 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 5. MC2 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 6. MC3 örneğine ait genel yapısal görünümü.

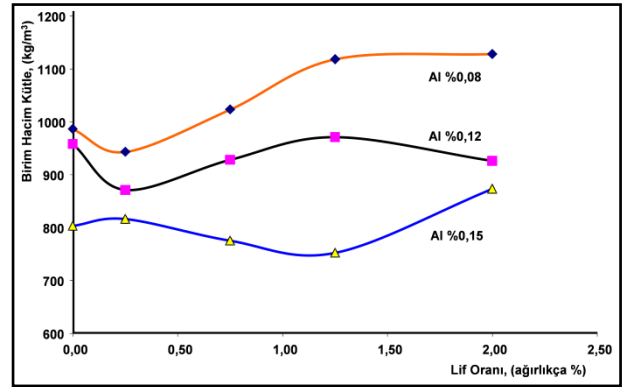
Şekil 2 – Şekil 6 görsellerinde görüleceği üzere, matris yapıda oluşan gözenek oranı, boyutları ve dağılımlarında Al kullanım yüzdesine bağlı olarak karışım kombinasyonlarında meydana gelen kimyasal reaksiyonların etkisinden sözü edilebilmektedir. Ayrıca atık lif katkısının matris yapıda lif miktarına bağlı olarak saçınım düzeni de görülebilmektedir. Özellikle, ağırlıkça % Al kullanım oranının artırılmasıyla test örneklerinin matris yapısında gözenek boyutlarının büyüdüğü gözlenmiştir. Bu durum neticesinde Al kullanım miktarıyla genişleme oranı arasında doğrusal bir ilişki kurulabileceğini sembolize etmektedir. Matris yapıda gözeneklilik artışının dayanımı olumsuz yönde etkilediği, daha zayıf dayanımlı matris yapılar oluşturduğu bilinmektedir. Böylelikle Al miktarındaki artışın, matris yapının dayanım ve diğer mekanik özellikleri ile ters orantılı olarak eğilim gösterdiği tecrübe edinilmektedir. Lif kullanım miktarının artırılmasına bağlı olarak matris yapıdaki lifler arasında topaklanma, ayrışmama, dağılımlarda da düzensizliklerin olabildiği gözlenmiştir.

Çizelge 2. Karışımlara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler.

Numune	Birim Hacim Kütle (kg/m ³)	Genleşme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kütlece Su Emme (%)	Görünür Gözeneklilik (%)	Sismik Hız (v, m/s)	Akustik Empedans (Z, g/cm ² s)	Isıl İletkenlik (λ, W/mK)
MK1	986	10,0	0,53	39,86	48,40	632	62230	0,238
MK2	958	31,7	0,75	44,51	47,80	627	60108	0,247
MK3	803	41,7	0,79	50,46	49,69	670	53886	0,213
MA1	943	7,9	0,94	39,49	45,54	467	43759	0,233
MA2	871	18,3	0,74	40,31	48,06	656	57315	0,218
MA3	816	33,3	0,80	51,32	51,38	610	49554	0,219
MB1	1023	3,3	1,38	42,98	53,09	530	54130	0,264
MB2	928	9,5	1,43	40,84	48,32	382	35450	0,241
MB3	775	39,7	0,79	49,33	50,59	827	64115	0,194
MC1	1118	0,1	2,84	39,83	53,01	854	95869	0,294
MC2	971	7,2	3,00	42,04	46,99	961	93342	0,240
MC3	752	30,2	1,32	41,50	45,84	932	70089	0,188
MD1	1128	0,1	1,67	40,08	48,34	575	65013	0,303
MD2	926	6,7	2,34	41,42	44,67	770	71382	0,226
MD3	873	20,6	1,60	46,51	53,83	995	86724	0,228

3.2. Kuru Birim Hacim Kütle

Normal betona kıyasla düşük değerlerde oluşması beklenen birim hacim kütle değeri, otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanlarının irdelenmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Birim hacim kütlede düşük değerlerde olması bina ölü yükünü doğrudan olumlu etkilemektedir. Yoğunluk değerinde etkin rol oynayan matris yapı içeriğindeki gözenekler dolayısıyla ısıl iletkenlik ve basınç dayanım performanslarında kayda değer biçimde bir düşüş ile karşılaşılabilmektedir. Bu sebepten hafif betonlar sıklıkla taşıyıcı olmayan, özellikle bölme duvar birimlerinde tercih edilmektedir. Bu ArGe çalışması kapsamında hazırlanan tüm test örneklerinin kuru birim hacim kütle değerlerindeki değişim grafiksel olarak Şekil 7’de verilmiştir.



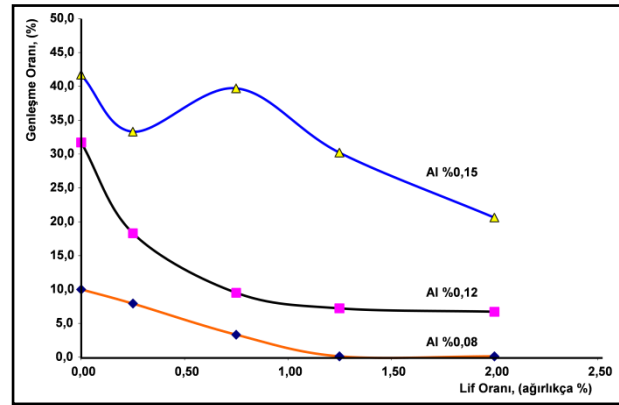
Şekil 7. Otoklavsız gazbeton numunelerinin birim hacim kütle değerleri değişimi.

Bu çalışma kapsamında ağırlıkça farklı kullanım oranlarında hazırlanan test örnekleri kıyaslandığında her ağırlıkça yüzde lif oranı için Al kullanımının %0,08 olduğu numunelerin en yüksek birim hacim kütleyle; Al kullanım oranının ağırlıkça %0,15 olarak tercih edildiği numunelerin ise en düşük birim hacim kütleyle sahip olduğu belirlenmiştir. Grafiksel gösterimden de anlaşılacağı üzere, ağırlıkça Al kullanım oranı artırıldıkça

yoğunluk düşüşü ile karşılaşılmaktadır. Bunun sebebinin, matris yapıda gerçekleşen kimyasal reaksiyonlara Al katkısı olduğu söylenebilmektedir. Kimyasal tepkimeler neticesinde test örneklerinin hidrojen gazı açığa çıkmasıyla daha gözenekli bir hâl alarak hacimce kütlesi düşmektedir. Lif kullanılmaksızın üretilen test numuneleri arasında %0,08 Al içeren örneklerin ortalama kuru birim hacim kütle değeri 986 kg/m^3 iken, %0,12 Al içeren numunelerde %0,04 Al miktarı artışıyla %2,84'lük bir hafifleme göstererek 958 kg/m^3 ; ilaveten %0,03'lük Al miktar artışıyla %16,2 daha hafifleyerek %0,15 Al kullanım oranı sonucunda 803 kg/m^3 olduğu görülmüştür. %0,25 lif ilavesi yapılan numuneler arasında Al oranı %0,08 olanların kuru birim hacim kütlesi 943 kg/m^3 'tür. Ağırlıkça Al kullanım oranının %0,12'ye çıkartılmasıyla %7,6'luk hafifleme görülürken, Al miktarının %0,15'e çıkartılmasıyla da %13,5'lük hafifleme olduğu saptanmıştır. Lif oranının %0,75 olmasıyla %0,08 Al ve %0,12 Al içerikli numunelerin birim hacim kütlelerinde artış gözlenmiştir. %0,08 Al içeren %0,75 lifli test örneklerinin birim hacim kütle değeri 1023 kg/m^3 bulunmuştur. Bu değer, Al %0,12'ye yükseltildiğinde %9,3 düşüş göstermiş; Al %0,15'e yükseltildiğinde ise %24,2 hafiflemiştir. Lif miktarı her Al değeri için artırılarak ağırlıkça %1,25 oranına getirildiğinde, karışımda %0,08 Al miktarı bulunduran otoklavsız gazbeton kâgir blok test örneklerinde yoğunluk artışı gözlenmiş olup 1118 kg/m^3 değerinde olduğu hesaplanmıştır. Al ihtiva oranının %0,04 artırılmasıyla %13,1 hafifleme, Al oranının %0,07 artırılmasıyla ise %32,7 kuru birim hacim ağırlık değeri düşüşü saptanmıştır. Ağırlıkça en fazla lif kullanım değeri %2 lif bulunduran test örneklerinde Al kullanım oranının %0,08 olmasıyla birim hacim kütle değeri 1128 kg/m^3 bulunmuştur. Kullanılan Al miktarının artmasıyla karışımdaki %0,12'lik Al ilavesi %17,9 hafiflemeye, %0,15'lik Al kullanımı ise %5,7'lik daha hafifleme sağlayarak toplamda %0,08 Al kullanılan örneklerden %22,6 düşük birim hacim kütleyle sahip olduğu hesaplanmıştır. Genel olarak %0,08 ve %0,12 Al ihtiva oranına sahip numunelerde lif kullanımlarında aynı etkiler gözlenirken %0,15 Al içeren karışım örneklerinde tam tersi etkilere rastlanmıştır.

3.3. Genleşme Oranı

Genleşme miktarı otoklavsız gazbeton test örneklerinin ön değerlendirmesi açısından önemli bir parametredir. Özellikle, numuneler arasında birim hacim kütle hakkında kıyaslama yapmakta kolaylık sağlamaktadır. Otoklavsız gazbeton kâgir bloklarda genleşme oranının kuru birim hacim kütle ile tersine bir ilişkisinden bahsedilebilmektedir. Bunun yanında, ısı ve ses yalıtım değerleri ile basınç dayanımında da etkili olduğu görülmektedir. Yüksek genleşme oranına sahip blok ürünlerde basınç dayanım değerlerinin düşük olmasından dolayı gazbeton kâgir blok elemanları taşıyıcı olmayan yapı birimlerinde kullanıma uygun görülmektedir. Bu çalışmada hazırlanan tüm test örneklerin genleşme oranlarındaki değişim grafiksel olarak Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Otoklavsız test örneklerinin genleşme oranı değişimi.

Bu analizden görüleceği üzere, test örnekleri her bir lif kullanım oranı içerisinde değerlendirildiğinde en düşük genleşme oranının %0,08 Al ihtiva oranına sahip numunelerde olduğu anlaşılmaktadır. En yüksek genleşme değerleri, karışımda %0,15 Al içeren örneklerde görülmüştür. Karışımlarda ağırlıkça Al oranı arttırıldığında genleşme oranlarında artış olduğu saptanmıştır. Karışım harcına lif ilavesi yapılmayan, %0,08 Al kullanılan MK1 numuneleri %10 genleşme gösterirken, yine lif içermeyen fakat Al kullanım oranı %0,12 olarak tercih edilen MK2 örneklerinde 3,17 kat artış göstererek %31,7 kadar genleşmiş ve lif içermeyen, %0,15 Al oranına sahip MK3 numunelerinde 4,15 kat ilave genleşmeyle nihai olarak %41,5 oranında

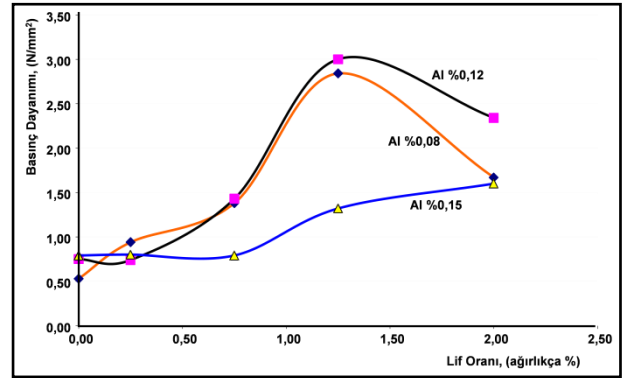
genleşme meydana geldiği belirlenmiştir. Harç karışımlarında %0,25 lif ve %0,08 Al içeren numuneler ortalama %7,9 genişirken Al miktarının artmasıyla bu genişleme değeri %0,12 Al kullanımında 2,32 kat artış; %0,15 Al kullanımında ise 4,22 kat artış göstermiştir. Lif kullanım miktarı %0,75 tercih edildiğinde Al kullanım oranına bağlı olmak koşuluyla genişleme oranlarında da artış görülmektedir. %0,75 lif içeren test örneklerinden Al kullanım oranı %0,08 olanların ortalama genişleme değeri %3,3'tür. Ağırlıkça Al kullanımı %0,12'ye çıkartıldığında genişleme miktarında 2,88 kat artış; Al kullanım oranı %0,15'e yükseltildiğinde ise 12,03 kat genişleme karakteristiğinde artış eğilimi olduğu belirlenmiştir. Buradaki yüksek artışın sebebi, genişleme sürecinde oluşan kimyasal reaksiyona bağlı toplam gözenekliliğin artışından kaynaklanmaktadır. Harç içeriğindeki lif miktarı %1,25'e getirildiğinde ise %0,08 Al oranına sahip MC1 numuneleri neredeyse genişememiş olup, genişleme pozisyonları sıfır mertebelerindedir. Bu durumun, lif malzemenin kullanım oranının artmasıyla matris yapıda çökmeye sebep olabileceği tecrübe edilmiştir. Bileşiminde %1,25 lif ve %0,12 Al bulunduran MC2 örneklerinde genişleme oranı %7,2 iken %0,15 Al içeren MC3 numunelerinde ise genişleme oranının %30,2 seviyelerine ulaştığı görülmüştür. Çalışma kapsamında lif oranı en yüksek değer olan ağırlıkça %2'lik lif içeriğine sahip numuneler incelendiğinde Al ihtiva oranı %0,08 olan numunelerin genişleme oranı %1,25 lif içeren numuneyle aynı düzeyde sıfır mertebelerinde olduğu gözlenmiştir. Bileşiminde %2 lif ve %0,12 Al bulunduran MD2 örneklerinde genişleme oranı %6,7 iken %0,15 Al içeren MD3 numunelerinde ise genişleme oranının %20,6 seviyelerine yükseldiği görülmüştür.

Çalışma kapsamında hazırlanan test örneklerinden %0,08 Al ve %0,12 Al içeren karışımlar ele alındığında lif kullanım oranının artırılmasının genişlemeyi olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılabilmektedir. Özellikle, %0,75 lif kullanımından itibaren lif ihtiva oranı artışları her iki Al kullanım oranı bazında da genişlemede değişim eğilimine yol açmadığı, genişleme oranlarının benzer değerlerde seyrettiği tecrübe edilmiştir. İçeriğinde %0,15 Al

bulunduran otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarında %0,25 lif kullanımıyla genişleme oranında düşüş gözlenirken, lif oranının %0,75'e çıkarılmasıyla genişleme miktarında da yükseliş saptanmıştır. Lif oranı artırılmaya devam ettiğinde numune genişleme oranları hakkında neredeyse lineer bir düşüşten bahsedilebilmektedir.

3.4. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı, yapı blok elemanları için oldukça önemli bir mekanik parametredir. Ürün basınç dayanımının saptanması yoluyla kâgir blok elemanın uygulama yerinde taşıyabileceği yük miktarı belirlenebilmektedir. Harç dayanımını artırmak amacıyla sıklıkla tercih edilen yöntem harca donatı bileşeni ilavesi yapılması olduğu söylenebilmektedir. Bu yüzden, mekanik dayanımın artırılması amacıyla harç içerisinde değerlendirilebilecek donatı materyallerinin içerik, boyut ve kullanım miktarları ürün geliştirme çalışmalarında üzerinde oldukça yoğunlaşılan bir husustur. Bu çalışma kapsamında 3 ayı Al ihtiva oranının, belirli oranlarda lif ilavesi yapılarak elde edilen otoklavsız gazbeton kâgir blok numunelerinin 28 gün kür sonrası ölçülen mekanik dayanım değerlerine etkileri incelenmiştir. İncelemeden elde edilen bulgular ışığında ortalama değerler Çizelge 2'de, grafiksel gösterimi ise Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Lif kullanım oranı - 28 gün kür sonrası basınç dayanım değerleri analizi.

Çalışma kapsamında hazırlanan numunelerden Al ihtiva oranı %0,08 olan numunelerin basınç dayanım değerleri 0,53 N/mm² – 1,67 N/mm² aralığında; %0,12 Al içeren test örneklerin değerleri 0,75 N/mm² – 2,34 N/mm² aralığında; %0,15 Al oranına

sahip numunelerin ise $0,79 \text{ N/mm}^2 - 1,6 \text{ N/mm}^2$ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Grafikselleştirilmeden de anlaşılacağı üzere, lif ilavesi yapılmaksızın hazırlanan kontrol örneklerinden Al oranı %0,08 olan MK1'in 28 gün kür süresi sonundaki basınç dayanım değeri $0,53 \text{ N/mm}^2$ iken, Al oranının %0,12'ye çıkartıldığı MK2 kodlu numunelerde ortalama basınç dayanım değerinin %41,5 artışla $0,75 \text{ N/mm}^2$; Al kullanım oranı ağırlıkça %0,15 olan MK3 kontrol numunelerinin ise %49,1 artış göstererek $0,79 \text{ N/mm}^2$ olduğu belirlenmiştir. Lif kullanılmaksızın üretilen otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerinde Al miktarının artışıyla basınç dayanımında yükselme meydana geldiği söylenebilmektedir. %0,25 lif ihtiva eden numuneler bazında basınç değerlendirilmesi yapıldığında %0,08 Al içeren MA1 numunelerinin ortalama değeri $0,94 \text{ N/mm}^2$ bulunmuşken Al miktarının %0,12'ye çıkarılmasıyla dayanımda %21,3 düşüş ve Al miktarının %0,15'e yükseltilmesiyle de %14,9'lük basınç dayanımı düşüşü olduğu belirlenmiştir. Harç içerisinde kullanılan ağırlıkça lif yüzdesi %0,75 olan MB kodlu numunelerden MB1'in basınç dayanım değeri $1,38 \text{ N/mm}^2$ olarak saptanmıştır. MB2 numunelerinde Al miktarındaki artışla %3,6 iyileşme görülmesine karşın Al'ün daha da artırıldığı MB3 numunelerinde basınç dayanımı değerinde %42,8 düşüş gözlenmiştir. Basınç dayanımlarında en yüksek değerler %1,25 lif oranına sahip MC kodlu numunelerden elde edilmiştir. En düşük Al ihtiva oranındaki MC1 kodlu örneklerde ortalama dayanım değeri $2,84 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Al miktarı artırılan MC2 kodlu örnek dayanımlarında %5,6'lık iyileşme, MC3 kodlu numune dayanımlarında aşırı genleşmeye bağlı olarak %53,5 zayıflama meydana gelmiştir. En yüksek lif ve %0,08 Al kullanım oranında hazırlanan MD1 örneklerinin ortalama basınç dayanım değeri $1,67 \text{ N/mm}^2$ belirlenmiştir. Otoklavsız gazbeton örneklerinde Al kullanım oranının %0,12'ye yükseltildiği MD2 kodlu numunelerde basınç dayanımının %40,1 artış gösterdiği, Al'ün %0,15'e çıkartılmasıyla da MD3 kodlu numunelerde %4,2 düşüş sergilediği görülmektedir.

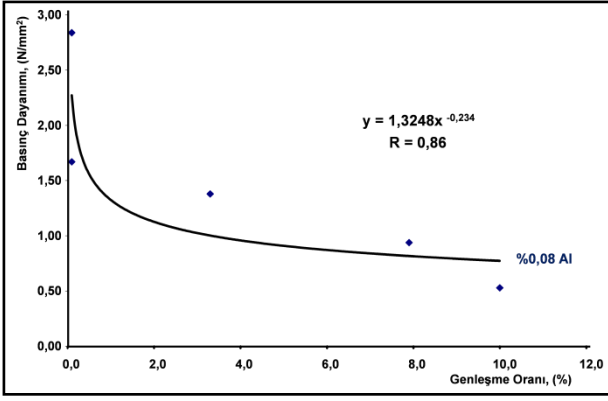
Çalışmada lif kullanımının basınç dayanımına belirgin olumlu etkileri olduğu görülmektedir. Bunun nedeni liflerin donatı materyali ve kompaktlık

özellikleri sayesinde oluşturduğu bağdan kaynaklıdır. Elde edilen bu bulgular bağlamında, Al oranının %0,15 kullanıldığı numunelerde ağırlıkça lif oranının artmasıyla matris yapı kuvvetlenmeye devam ederek basınç dayanım değerlerinde iyileşme göstermeye devam etmiştir. Ancak alüminyumun %0,08 ve %0,12 oranında ihtiva ettiği test örneklerinde basınç dayanımı %1,25 lif kullanımında görece yüksek sonuçlar verirken lif kullanımının artırılmasıyla dayanım değerlerinde düşüş eğilimi sergilediği görülmektedir. Deney sonuçlarından yola çıkarak, hazırlanan otoklavsız gazbeton kâgir bloklardan özellikle lif olmaksızın üretilen ve ağırlıkça %0,25 lif ihtiva oranına sahip numunelerin beklenen seviyelerde dayanım değerlerine cevap veremediği söylenebilmektedir. Karışımda ağırlıkça Al kullanım oranı %0,08 ve %0,12 numunelerin %0,75 ve üstü lif kullanımlarında elde edilen dayanım değerleri, ürünün taşıyıcı olmayan dolgu duvar ve yalıtım malzemesi olarak kullanımlarına imkân tanımaktadır. Bu durum %0,15 Al ihtiva oranına sahip örneklerde %1,25 ve üstü lif kullanımları için geçerli olabildiği görülmektedir.

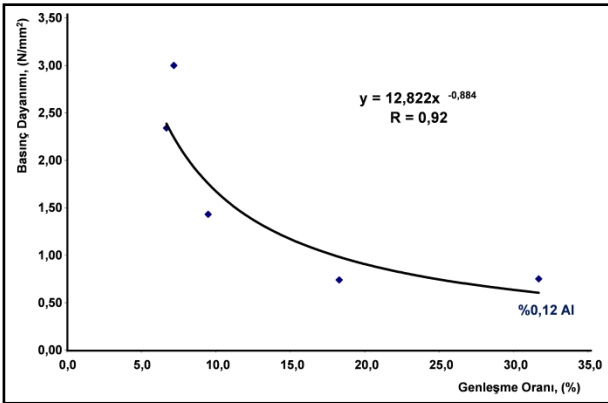
3.5. Genleşme – Basınç Değişimi

Gazbeton kâgir bloklarda genleşme oranı ile basınç dayanımı arasında tersine gelişen bir ilişkiden bahsedilebilmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan test örneklerinden elde edilen dayanım ve genleşme değerleri Şekil 10 – 12'de grafikselleştirilerek ele alınmıştır.

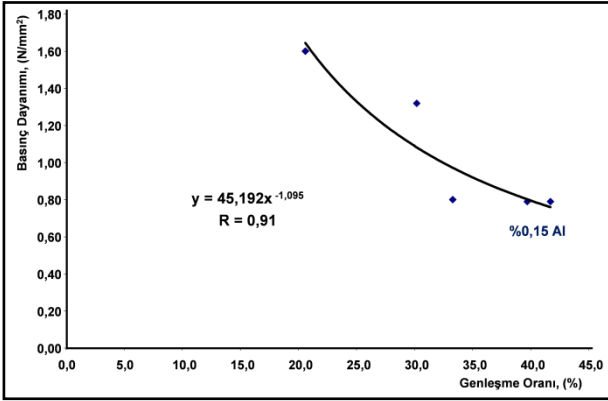
Otoklavsız gazbeton kâgir blok numunelerinin genleşme oranına bağlı basınç dayanım değerleri incelendiğinde tüm Al kullanım oranlarında genleşme oranının artmasıyla basınç dayanımında genel bir düşüş eğilimi gerçekleştiği elde edilen korelasyonlarca desteklenebilmektedir.



Şekil 10. %0,08 Al içeren test örneklerinde genişleme oranı – basınç dayanımı ilişkisi.



Şekil 11. %0,12 Al içeren test örneklerinde genişleme oranı – basınç dayanımı ilişkisi.

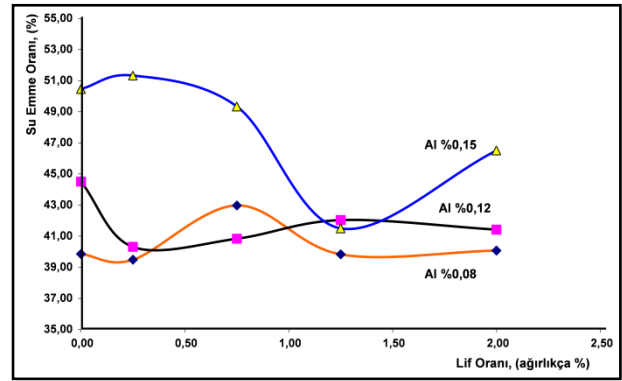


Şekil 12. %0,15 Al içeren test örneklerinde genişleme oranı – basınç dayanımı ilişkisi.

3.6. Kütlece Su Emme

Uygulama yerinde yüzeyleri sıva uygulanmaksızın kullanılması planlanan, suya maruz kalabilecek ortamlarda otoklavsız gazbeton kâgir bloklar ile örülmesi düşünülen duvarlar için malzemenin kütlece su emme değeri diğer mekanik

parametreleri de etkileyeceğinden dolayı oldukça önemlidir. Bünyesinde yüksek nem tutma özelliğine sahip yapı elemanlarının ısı performanslarında önemli ölçülerde düşüşler meydana geldiğinden bahsedilebilmektedir. Aynı zamanda nemin başka bir olumsuz etkisi olarak, malzemenin yük taşıma kapasitesinde de dirençsizliğe sebep olduğu bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında farklı Al ve lif kullanım oranlarının otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanların kütlece su emme değerleri üzerindeki etkilerinin grafiksel gösterimi Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13. Lif kullanım oranı ve kütlece su emme değerleri analizi.

Analiz verilerinden de görüleceği üzere, karışım harcında %0,08 oranında Al ihtiva eden lifsiz kontrol örneklerinin ortalama kütlece su emme değeri %39,86 iken, Al kullanımının artırıldığı MK2 kodlu örneklerde %44,51’e ve MK3 kodlu numunelerde %50,46’ya kadar yükselmiştir. Bu su emme değerindeki yükselme trendinin, lif etkisi olmaksızın sadece Al kullanım oranının artırılmasıyla oluşan gözenekli matris yapının nem tutmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan lif katkı, %0,08 Al ihtiva oranına sahip numunelerin kütlece su emme değerleri ortalama %39,49 - %42,98 aralığında küçük bir değişim göstermektedir. Lif katkısı yapılan, %0,12 Al içeren test örneklerinin su emme oranı ise %40,31 - %42,04 değerleri aralığında yine küçük bir değişim olarak görülebilmektedir. Ancak lif katkılı, bileşiminde %0,15 Al ihtiva eden otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerin kütlece su emme değerleri %41,5 - %51,32 aralığında diğerlerine nazaran daha büyük bir değişim sergilediği belirlenmiştir. Lif materyalin karışımda %0,25 ihtiva oranına sahip

olduğu MA kodlu numunelerden MA1'in su emme değeri kütlece %39,49 değerinde bulunmuştur. Al değerinin artırıldığı MA2 kodlu örneklerde %2,08 ve MA3 numunelerinde ise %29,96'lık bir kütlece su emme artış eğiliminden bahsedilebilmektedir. %0,75 lif içeren harç karışımlarından %0,08 Al kullanım oranına sahip MB1 kodlu numunelerin kütlece su emme değeri %42,98 saptanmıştır. Ağırlıkça %0,12 Al oranına sahip karışımlarda bu su emme değerinin %4,97 oranında düştüğü, %0,15 Al oranıyla hazırlanan örneklerde ise %14,79 oranında arttığı tespit edilmiştir. %1,25 lif kullanım oranına sahip MC kodlu numunelerde kütlece su emmelerin birbirlerine oldukça yakın değerlerde olduğu göze çarpmaktadır. %0,08 Al içeren MC1 kodlu numunelerin ortalama su emme değeri %39,83 belirlenmiştir. Harç içerisindeki Al kullanımının artırılması, MC2 örneklerinde %5,53 ve MC3 örneklerinde ise %4,18 oranında su tutma kapasitesi artışına neden olmuştur. %0,15 Al ihtiva eden, %0,75 lif katkılı numunelere lif ilavesi yapıldığında su emme değerlerinde önemli düzeyde bir düşüş eğilimi göze çarpmaktadır. Ancak %1,25 lif oranının üstüne lif ilavesi yapılmaya devam edildiğinde ise, bu takdirde su tutma eğiliminin yükseldiği belirlenmiştir. Ağırlıkça %2 lif katkısıyla hazırlanan otoklavsız gazbeton numunelerinden MD1 kodlu örneğin kütlece su emme değeri %40,08 olarak hesaplanmıştır. MD2 ve MD3 numunelerinde Al oranının artışıyla kütlece su emme kapasitelerinde sırasıyla %3,34 ve %16,02'lik büyüme söz konusu olmuştur.

3.7. Görünür Gözeneklilik

Görünür gözenekliliğin, matris yapıda meydana gelen hava kabarcıkları ile gazbeton toplam hacmi arasındaki yüzde ilişkisi olduğundan söz edilebilmektedir. Bu parametre, kâgir blok elemanların birim hacim kütle, dayanım, ısı performans ve ses yalıtım gibi diğer önemli parametre değerlerini etkilemektedir. Yüksek gözenek yapısına sahip elemanların efektif ısı iletkenlik değeri de düşük olmaktadır. Bunun nedeni, matris yapıda bulunan havanın ısı performansının yüksek olması olarak açıklanabilmektedir. İlave olarak görünür porozite, gözenekli yapıya sahip ürünlerin bünyelerinde

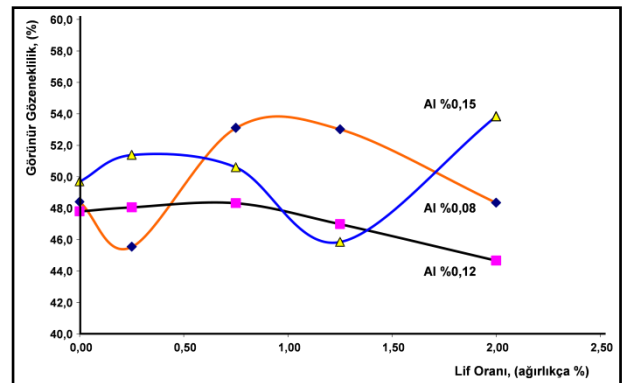
hapsolan durağan hava sayesinde birim hacim kütlelerde düşüş ve akustik empedans değerlerinde iyileşmeler sağlayabilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen görünür gözeneklilik yüzdesi, birim hacim kütle ve kütlece su emme değerinin bir fonksiyonu olarak belirlenmiş ve aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$P_1 = \frac{W_f \times \rho_t}{\rho_w} \quad (1)$$

Burada;

- P_1 : Görünür gözeneklilik (%),
 W_f : Kütlece su emme (%),
 ρ_t : Kuru birim hacim kütle (kg/m^3),
 ρ_w : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

Çalışma kapsamında 3 ayrı Al kullanım miktarı için lif kullanılmaksızın ve lif takviyeli üretilen otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerin 28 gün kür süresinin sona ermesinin ardından hesaplanan görünür gözeneklilik değerleri karşılaştırmalı irdelenmiştir. Hesapta kullanılan görünür gözeneklilik yaklaşımı ile elde edilen bulgular Çizelge 2'de verilmiştir. Grafikselsel karşılaştırmalı analizi de Şekil 14'te gösterilmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan numunelerden Al ihtiva oranı %0,08 olan numunelerin görünür porozite yüzdeleri %45,5 - %53,1 aralığında; %0,12 Al içeren test örneklerin değerleri %44,7 - %48,3 aralığında; %0,15 Al oranına sahip numunelerin ise %45,8 - %53,8 aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 14. Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası görünür gözeneklilik oran değerleri analizi.

Görünür gözeneklilik hesaplamalarından elde edilen verilerden yapılabilecek çıkarımlara göre, lif

takviyesi yapılmadan hazırlanan kontrol numunelerinden Al oranı %0,08 olan MK1 kodlu test örneklerin 28 gün kür süresi sonundaki görünür gözeneklilik yüzde değeri %48,4 iken, Al oranının %0,12'ye çıkartıldığı MK2 kodlu numunelerde ortalama porozite değerinin %1,25 düşüşle %47,8; Al kullanım oranı ağırlıkça %0,15 olan MK3 kontrol numunelerinin ise %2,67 artış göstererek %49,7 olduğu hesaplanmıştır. MK kodlu lif kullanılmaksızın üretilen otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerinde Al kullanım miktarının görünür gözeneklilik değerleri arasında önemli ölçüde farklılık göstermediği söylenebilmektedir. %0,25 lif ilavesi yapılan numuneler bazında porozite kıyaslaması yapıldığında Şekil 2 – Şekil 6 görsellerinde görüleceği üzere, matris yapıda oluşan gözenek oranı, boyutları ve dağılımlarında Al kullanım yüzdesine bağlı olarak karışım kombinasyonlarında meydana gelen kimyasal reaksiyonların etkisinden söz edilebilmektedir. Ayrıca atık lif katkısının matris yapıda lif miktarına bağlı olarak saçınım düzeni de görülebilmektedir. Özellikle, ağırlıkça % Al kullanım oranının artırılmasıyla test örneklerinin matris yapısında gözenek boyutlarının büyüdüğü gözlenmiştir. Bu durum neticesinde Al kullanım miktarıyla genleşme oranı arasında doğrusal bir ilişki kurulabileceğini sembolize etmektedir. Matris yapıda gözeneklilik artışının dayanımı olumsuz yönde etkilediği, daha zayıf dayanımlı matris yapılar oluşturduğu bilinmektedir. Böylelikle Al miktarındaki artışın, matris yapının dayanım ve diğer mekanik özellikleri ile ters orantılı olarak eğilim gösterdiği tecrübe edinilmektedir. Lif kullanım miktarının artırılmasına bağlı olarak matris yapıdaki lifler arasında topaklanma, ayrışmama, saçınımlarında da düzensizliklerin olabildiği gözlenmiştir.

%0,08 Al içeren MA1 numunelerinin ortalama değeri %45,5 iken, Al miktarının %0,12'ye yükseltilmesiyle görünür gözeneklilik yüzdesinde %5,54 artış ve Al kullanım miktarının %0,15'e çıkartılması ile de %12,83'lük bir artışın söz konusu olduğu anlaşılmıştır. Karışımlarda %0,25 lif ihtiva oranlı MA kodlu örneklerde Al kullanım oranının artmasına bağlı olarak görünür gözeneklilik yüzdesinin arttığı belirlenmiştir. Ağırlıkça lif yüzdesi

%0,75 olan MB kodlu numunelerden MB1'in görünür porozite değeri %53,1 olarak hesaplanmıştır. MB2 numunelerinde Al miktarındaki artışla %8,99 kadar gözenek yapısında azalma ve Al'ün daha da artırıldığı MB3 numunelerinde gözeneklilik yüzde değerinde %4,71'lik düşüş gözlenmiştir. Harç içeriğindeki lif miktarı %1,25'e getirilen, %0,08 Al oranına sahip MC1 numunelerinin ortalama görünür gözeneklilik değeri %53 olarak hesaplanmıştır. Al miktarı artırılmış MC2 kodlu örneklerin gözeneklilik değerlerinde %11,36 azalma, MC3 kodlu numune gözenekliliğinde %13,53 zayıflama meydana geldiği saptanmıştır. En yüksek lif ve en düşük Al kullanım oranında hazırlanan MD1 örneklerinin ortalama görünür gözeneklilik değeri %48,3 olarak belirlenmiştir. Otoklavsız gazbeton örneklerinde Al kullanım oranının %0,12'ye yükseltildiği MD2 kodlu numunelerde porozite yüzdesinin %7,59 düşüş sergilediği, Al'ün %0,15'e çıkartılmasıyla da MD3 kodlu numunelerde %11,36 artış gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek görünür gözeneklilik değeri %2 lif ve %0,15 Al ihtiva oranına sahip MD3 kodlu numunelerin veri ortalamasından elde edilmiştir. En düşük porozite değeri ise yine %2 lif içeren ancak Al ihtiva oranı %0,12 olan MD2 kodlu örneklerin hesaplanan ortalama gözeneklilik değerinden tespit edilmiştir.

3.8. Sismik Hız

Sismik hız, malzeme içerisinden geçen dalga hızı süresinin problar arası mesafeye oranı olarak tanımlanabilmektedir. Bilindiği üzere, ultrasonik enerji havayla bulunduğu alıcı ve verici problar arasındaki iletimde gecikme yaşanmaktadır. Bu ölçüm sayesinde malzeme yapısında bulunan boşluk oranı hakkında bilgi edinilebilmektedir. Böylelikle malzeme içerisinde oluşmuş boşluk, kırık, bozulma durumları tespit edilebilmektedir. Bunların yanında basınç dayanım değerleri hakkında ön fikir sahibi olma imkânı da sağlamaktadır. Genel olarak sismik hız değerlerinin basınç dayanımlarıyla doğrusal ilişkisi olduğu bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında tüm test numunelerinin sismik dalga geçiş süreleri doğrudan ölçüm tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Bu ölçümden elde edilen veriler aşağıdaki eşitlik

yardımla sismik hız değerleri hesaplanmış olup, bulguların grafiksel analizi ise Şekil 15’de verilmiştir.

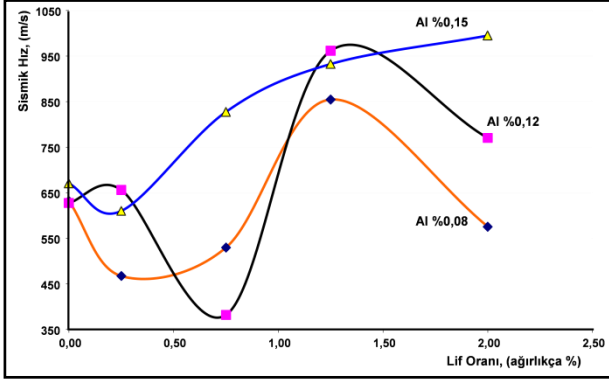
$$V = \frac{L}{t} \quad (2)$$

Burada;

V : Sismik hız (m/s),

L : Problar arası mesafe (m),

t : Sismik dalga geçiş süresi (s).



Şekil 15. Lif kullanım oranı ve sismik hız değerleri ilişkisi.

Analiz bulgularına göre, karışım harcı içeriğinde %0,08 oranında Al ihtiva eden lif ilavesiz kontrol örneklerin ortalama sismik hız değeri 632 m/s iken, Al kullanımının artırıldığı MK2 kodlu örneklerde 627 m/s’ye düşmüş ve MK3 kodlu numunelerde ise 670 m/s’ye yükselmiştir. Kontrol numunelerinin kendi aralarında yakın sismik hız değerlerine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Buradan Al kullanım oranındaki değişikliklerin lif kullanım miktarlarındaki değişikliklerden daha az etki oluşturduğu söylenebilmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan lif katkı, %0,08 Al kullanım oranına sahip numunelerin sismik hız değerleri ortalama 467 m/s – 854 m/s aralığında bir değişim göstermektedir. Lif katkısı yapılan, %0,12 Al içeren test örneklerinin sismik hızları ise 382 m/s – 961 m/s değerleri aralığında bir değişim göstermektedir. Lif ilavesi yapılmış, %0,15 Al içeriğine sahip otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerin sismik hız değerleri 610 m/s – 995 m/s aralığında bir değişim sergilediği belirlenmiştir. Lif malzemenin karışımda %0,25 kullanım oranına sahip olduğu MA kodlu numunelerden MA1’lerin ortalama sismik hız değeri 467 m/s olarak bulunmuştur. Al kullanım oranının artırıldığı MA2 kodlu örneklerde %40,39 ve

MA3 numunelerinde ise %30,52’lik bir sismik hız artış eğiliminden bahsedilebilmektedir. %0,75 lif içeren bu test örneklerinden Al kullanım oranı %0,08 olanların ortalama sismik hız değeri 530 m/s’dir. Ağırlıkça Al kullanımı %0,12’ye çıkartıldığında sismik hız değerlerinde %27,92 azalma; Al kullanım oranı %0,15’e yükseltildiğinde ise %56,19 artma eğilimi ile karşılaşmıştır. %1,25 lif kullanım oranına sahip MC kodlu numunelerde %0,08 Al içeren MC1 örneklerinin ortalama sismik hız değeri 854 m/s belirlenmiştir. Harç içerisindeki Al kullanımının artırılması, MC2 örneklerinde %12,52 ve MC3 örneklerinde ise %9,11 oranında sismik hızların artışına neden olmuştur. Basınç dayanım grafiğiyle birlikte mukayese edildiğinde sismik hızların %1,25 lif kullanımıyla elde etmiş olduğu değer yüksekliklerinin basınç dayanımlarına da olumlu yönde yansıdığı fark edilmektedir. Ağırlıkça %2 lif katkısıyla hazırlanan otoklavsız gazbeton numunelerinden MD1 kodlu örneğin sismik hız değeri 575 m/s olarak hesaplanmıştır. MD2 ve MD3 numunelerinde Al oranının artışıyla sismik hız değerlerinde sırasıyla %33,81 ve %72,83’lük artış söz konusu olmuştur.

3.9. Akustik Empedans

Ses empedansı ve akustik direnç de denilen akustik empedans, Z harfi ile sembolize edilebilmektedir. Malzemenin, gelen ultrasonik ses dalgalarına karşı koyduğu direnç olarak tanımlanabilmektedir. Akustik empedans hesaplamaları vasıtasıyla malzemelerin ses yutma katsayıları ifade edilebilmektedir. Malzemeye gönderilen akustik dalgalar, matris yapının özelliklerine göre davranış sergilemektedir. Z harfi ile ifade edilen akustik empedans, malzemenin sismik hız değeri ile yoğunluk değerleri çarpımıyla elde edilmektedir. Bu çalışmada akustik empedans değerleri belirlenirken aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır:

$$Z = V \times \rho_t \quad (3)$$

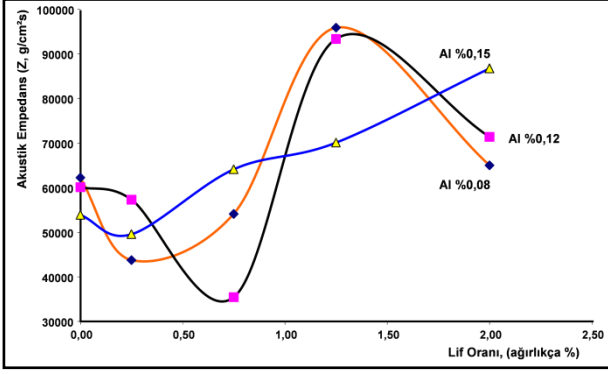
Burada;

Z : Akustik empedans (g/cm²s),

V : Malzemedeki ultrasonik dalga hızı, sismik hız (m/s),

ρ_t : Kuru birim hacim kütle (kg/m³).

Bu çalışma kapsamında farklı Al ve lif kullanım oranlarında hazırlanan otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanların akustik empedans değerlerinde matris yapılar içerisinde kullanılan malzeme ihtiva oranlarının ürün üzerindeki etkileri verisel olarak Çizelge 2’de, grafiksel gösterim olarak ise Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Lif kullanım oranı ve akustik empedans değerleri analizi.

Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar ışığında, lif kullanılmaksızın üretilen test örneklerin sismik hız değerlerinin birbirlerine yakın olması dikkat çeken bir husustur. Lif içermeyen numuneler arasında en düşük akustik dirence %0,15 Al ihtiva eden numuneler sahip iken, en yüksek akustik empedansa %0,08 Al içeren numunelerin sahip olduğu görülmektedir. En yüksek akustik empedans değerleri, karışımda %0,08 Al ve %1,25 oranında lif içeren MC1 örneklerinde görülmüştür. MC1’i, ihmal edilebilecek değer farkıyla MC2 kodlu numuneler takip etmektedir. Sismik hız ve birim hacim kütle ile doğrudan ilgili olan akustik empedans değerinin MB3 kodlu numunelerde en düşük değere sahip olması beklendik bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Karışım harcına lif ilavesi yapılmayan, %0,08 Al kullanılan MK1 numuneleri 62230 g/cm²s akustik direnç gösterirken, yine lif içermeyen fakat Al kullanım oranı %0,12 olarak tercih edilen MK2 örneklerinde %3,41 düşüş göstererek 60108 g/cm²s ve lif içermeyen, %0,15 Al oranına sahip MK3 numunelerinde %13,41 kadar azalma meydana gelerek 53886 g/cm²s akustik empedans meydana geldiği hesaplanmıştır. Harç karışımlarında %0,25 lif ve %0,08 Al içeren numuneler ortalama 43759 g/cm²s ses empedansına sahip olduğu belirlenirken Al miktarının artmasıyla bu empedans değeri %0,12

Al kullanımında %30,98; %0,15 Al kullanımında ise %13,24 artış göstermiştir. %0,75 lif içeriğine sahip numunelerden Al kullanım oranı %0,08 olanların ortalama akustik dirençleri 54130 g/cm²s bulunmuştur. Ağırlıkça Al kullanımı %0,12’ye yükseltildiğinde akustik empedans sonuçlarında %34,51 azalma; Al kullanım oranı %0,15’e çıkartıldığında ise %18,45 kadar ses empedansı değerlerinde artış eğilimi ile karşılaşılmıştır. Lif kullanım miktarı %1,25 tercih edildiğinde sismik hız ve kuru birim hacim kütleyle bağlı olarak üç Al kullanım oranında da akustik direnç iyileşmesi gözlenmiştir. Harç içeriğindeki lif miktarı %1,25 olan ve aynı zamanda %0,08 Al oranına sahip MC1 numunelerinin akustik empedans değeri 95869 g/cm²s hesaplanmıştır. Bileşiminde %1,25 lif ve %0,12 Al bulunduran MC2 örneklerinde MC1 test örneklerine nazaran %2,64; %0,15 Al içeren MC3 numunelerinde %26,89 akustik direnç düşüşü ile karşılaşılmıştır. En yüksek lif içeriği olarak belirlenen %2 lif oranına sahip numuneler incelendiğinde Al ihtiva oranı %0,08 olan MD1 numunelerin akustik empedans değeri 65103 g/cm²s bulunmuştur. %2 lif ve %0,12 Al bulunduran MD2 örnekleri MD1 numunelerindeki akustik dirence göre %9,80; %2 lif ve %0,15 Al içeren MD3 numuneleri ise MD1’lerin empedans değerlerine göre %33,39 yükseliş eğilimi gösterdiği sonucuna varılmıştır.

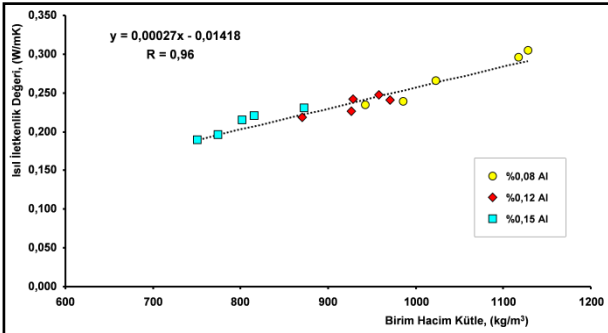
Çalışma kapsamında hazırlanan test örneklerinden %0,08 Al ve %0,12 Al içerenler ele alındığında, lif kullanım oranının akustik empedansta aynı davranışlara yol açtığı görülmektedir. Al ihtiva oranının %0,15 olduğu numunelerde %0,25 lif kullanımıyla az miktarda düşüşle karşılaşıldıktan sonra lif oranının artırılmasıyla akustik empedans değerlerinde düzenli bir artış meydana geldiği saptanmıştır.

3.10. Isıl İletkenlik Özelliği

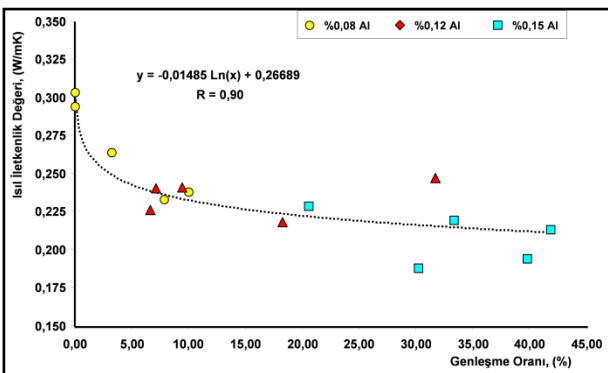
Gazbetonlar, en önemli özelliklerinden biri olan gözenekli yapısı sayesinde ısı performansını yüksek yapı malzemeleridir. Malzemelerin birim hacim kütleleri ve genleşme oranları, ısı iletkenlik (λ) değerlerini doğrudan etkilemektedir. Matris yapıda bulunan gözeneklerin, malzemenin birim hacim kütle değerini düşürürken ısısal konfor özelliğini

iyileştirdiği bilinmektedir. Otoklavsız gazbetonların birim hacim kütle ile genleşme oranlarının basınç dayanımına olumsuz etkileri olduğu bilinmekle birlikte, termal yalıtım değerlerinin muadili malzeme yapılarına göre daha rasyonel düzeylerde iyi değerler sergileyebildiği bilinmektedir. Bu bağlamda, yapı elemanlarında yüksek enerji verimliliğinin arzu edildiği uygulamalarda termal yalıtım performansı yüksek elemanlar olarak kullanımları söz konusu olabilmektedir. Basınç dayanım değerleri görece düşük ve dolayısıyla yük taşıyıcılıkları az olan bu türev malzemeler, taşıyıcı olmayan duvar birimlerinde dolgu elemanı olarak yalıtım amaçlı kâgir blok elemanları bağlamında kullanımları söz konusudur.

Çalışma kapsamında test edilen otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanların 28 gün kür süresi sonunda elde edilen ısı iletkenlik bulguları ortalama değerler olarak Çizelge 2’de verilmiştir. Elde edilen tüm bulgulardan birim hacim kütle ile genleşme oranları ve ısı iletkenlik değerleri arasındaki lineer birer ilişkinin varlığı analiz edilmiş olup, birim hacim kütle değerinin artmasına (genleşme oranının azalmasına) bağımlı olarak ısı iletkenlik değerlerin de regresyonel bir artış eğiliminin varlığı dikkat çekmektedir (Şekil 17 ve Şekil 18).



Şekil 17. Birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik değerleri ilişkisi.



Şekil 18. Genleşme oranı ve ısı iletkenlik değerleri ilişkisi.

Şekil 17 ve Şekil 18 incelendiğinde, çalışma kapsamında üretilen otoklavlanmamış gazbeton elemanların, beklenildiği şekilde birim hacim kütle değerleri ile ısı iletkenlik değerleri arasında söz konusu ilişkinin lineere yakın olduğu görülmektedir. Genleşme oranı yüksek, düşük birim hacim kütleyle sahip numunelerin ısı iletkenliklerinin düşük olduğu ve dolayısıyla ısısal konfor özelliği sayesinde yüksek enerji verimliliği sağladıkları söylenebilmektedir. Lif ilavesi yapılmaksızın elde edilen kontrol örneklerinden %0,08 Al içeriğine sahip MK1 kodlu numunelerin 28 gün kür sonrası ortalama ısı iletkenlik değeri 0,238 W/mK iken, lif ilave edilmeksizin %0,12 Al ihtiva oranına sahip MK2 kodlu örneklerin ortalama ısı iletkenlik değeri 0,247 W/mK, Al kullanım oranı %0,15 olan lif takviyesiz MK3 numunelerin ısı iletkenlik değeri ise 0,213 W/mK olarak belirlenmiştir.

Lif kullanım oranı %0,25 olan MA kodlu numuneler arasında %0,08 Al ihtiva oranına sahip MA1 numunelerin ortalama ısı iletkenlik değeri 0,233 W/mK belirlenmiştir. Al kullanım oranının artırılmasıyla ısı performansının arttığı görülmüştür. Al oranının %0,12’ye çıkartılmasıyla %3,64 ısı iletkenlik artışı, Al’un %0,15’a çıkartılması ile de ısı yalıtım performansında %10,5 iyileşme sağlanmıştır. Karışım harcında %0,75 ve %1,25 oranında lif kullanılan MB ve MC numunelerinde Al oranının artırıldığı her kademedede daha fazla ısısal konfor sağlanabildiği tecrübe edilmiştir. Lif kullanım oranı %0,75 olan, %0,08 Al oranına sahip MB1’lerde ortalama ısı iletkenlik değeri 0,264 W/mK belirlenmiş iken, bu harç kombinasyonunda Al oranının %0,12’ye çıkartılmasıyla %9,54; Al kullanım oranının %0,15’e çıkartılmasıyla da %26,52 ısı performans iyileşmesi tespit edilmiştir. Benzer bir durum %1,25 lif içeren MC kodlu numuneler için de geçerli olmuştur. %0,08 Al ihtiva oranına sahip MC1 kodlu test örneklerin ısı iletkenlik değeri 0,294 W/mK hesaplanmıştır. Al oranının %0,12’ye çıkartıldığı MC2 örneklerinde %18,37 kadar yalıtım özelliği kazanırken, %0,15 Al kullanım oranıyla elde edilen MC3 numunelerinde %36,05 gibi büyük bir oranda ısı performans iyileşmesi tespit edilmiştir. Lifin ağırlıkça %2 oranında kullanıldığı MD kodlu numunelerden %0,08 Al kullanım oranına sahip olan

MD1 örneklerin ısı iletkenlik değeri 0,303 W/mK belirlenmiştir. MD2 ve MD3 örneklerindeki Al kullanım oranında yapılan %0,04 ve %0,07 artışın etkisi neredeyse aynı olmuştur. Al kullanımının %0,12 olduğu test örneklerinde %25,41, Al ihtiva oranının %0,15'e çıkartıldığı MD3 numunelerinde %24,75 ısı iletkenlik düşüşü sergilediği gözlenmiştir. En düşük ısı iletkenlik değerine sahip MC3 kodlu numune bileşeninde %0,15 Al ve %1,25 lif bulunurken, bunu takip eden düşük ısı iletkenlik değerine sahip MB3 örneklerinde de Al kullanım oranının %0,15 olması Al'un etkisine dikkat çekmektedir. Bu verilerden yola çıkarak, otoklavsız gazbeton kâgir blok malzemelerin elde edilmesinde endüstriyel atık liflerin değerlendirilmesiyle Al kullanımının uygunluğu irdelendiğinde sırasıyla %0,15 Al, %0,12 Al ve %0,08 Al ihtiva oranının enerji verimliliğine olumlu etkilerinden bahsedilebilmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, taşıyıcı özellikte olmayan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanı üretimlerinde 5 ayrı oranda endüstriyel atık lif takviyeli ürünlerin 3 ayrı Al ihtiva oranlarındaki teknik davranışları detaylı incelenmiştir. Analizler sonucu elde edilen veriler ışığında, genel olarak %1,25 lif ve %0,12 Al kullanım oranına sahip MC2 numunelerinin diğer test örneklerine kıyasla ideal sayılabilecek sonuçlar verdiği görülmüştür. Al kullanım oranının artışı ve lif takviye edilmesiyle matris yapıda oluşturulan gözenek yapısının arttığı ve boyutlarda büyümeler meydana geldiği gözlenmiştir. Al kullanımının yükseltilmesi gazbeton örneklerinde genleşmeyi desteklerken birim hacim kütleinin düşmesinde de etkin rol oynamıştır. Lif kullanımının genel olarak basınç dayanımını artırdığından bahsedilebilmektedir. Bu tür hafif bloklarda yoğunluğun düşmesiyle basınç dayanımının da düşmesi eğilimi göstermesi beklenmektedir. Diğer bir deyişle, ürünlerin genleşme miktarları arttıkça basınca karşı dirençleri azalmaktadır. Malzemenin nem tutma kapasitesinin fazla olması ısı yalıtımını olumsuz etkileyeceğinden su emme değerleri bakımından karışımlarda %0,08 ve %0,12 Al kullanımı uygunluğunun yanı sıra %0,15 Al ile birlikte %1,25 lif içeren MC3 kodlu örneklerin

de uygunluğundan bahsedilebilmektedir. Lif kullanımının akustik direnci iyileştirici etkileri özellikle %1,25 oranında kullanıldığı MC kodlu numunelerde göze çarpmıştır. Al etkisinin akustik empedans değerlerinin değişiminde büyük ölçüde etkisinden bahsedilememektedir. Ancak Al kullanım oranının otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerin ısı iletkenlik değeri üzerindeki etkisi göz ardı edilemeyecek derecededir. Al kullanım değerinde meydana getirilen artışla doğru orantılı olarak matris yapıda gözenek sayısı çoğalmaktadır ve bu nedenle termal konfor ve enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, Geliş ve Yeşildal(2020)'ın yaptıkları araştırma bulgularındakine benzer şekilde otoklavsız gazbeton örneklerin ısı yalıtım performans değerlerinin örtüştüğü görülmüştür. Bu bağlamda tuğla, bims ve gazbeton duvar malzemelerinin ısı yalıtım ve enerji tasarrufu açısından bölgeler bazında incelemesi yapıldığında maksimum ısı tasarrufu ile minimum enerji tüketiminin gözenekli yapıya sahip olan gazbetonda elde edildiği görülmüştür. Araştırma bulguları detaylandırılıp tüm parametreler göz önünde bulundurulduğunda %0,10-0,12 Al ve %1-1,5 pamuk-sentetik karışımı endüstriyel atık lif katkılı otoklavlanmamış kâgir blok elemanların özellikle taşıyıcı olmayan yapı birimlerinde termal yalıtıma katkı sağlayan yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği görülmüştür. Çalışma kapsamında hazırlanan harç kombinasyonları içerisinde kullanılan materyallerin karışım oranlarında değişiklikler uygulanması, ilave katkı malzemeleri kullanımı ve/veya ilave lif donatı materyalleri takviye edilmesi ile yapılabilecek yeni çalışmalar sayesinde bu çalışmada elde edilen parametrelere kıyasla daha iyi teknik özelliklere sahip, daha da geliştirilmiş otoklavsız gazbeton blok elemanları elde edilebilir.

Teşekkür

Sağladığı laboratuvar imkanlarından dolayı İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Bakhshi, M., Mobasher, B., 2011. Experimental observations of early-age drying of Portland cement paste under low-pressure conditions. *Cement and Concrete Composites*, **33(4)**, 474-484.
- van Boggelen, D.R., 2011. Safe aluminium dosing in AAC plants. *Aircrete Europe BV, Oldenzaal, The Netherlands*, 45-50.
- Bonakdar, A., Babbitt, F., Mobasher, B., 2013. Physical and mechanical characterization of fiber-reinforced aerated concrete (FRAC). *Cement & Concrete Composites*, **38**, 82-91.
- Chen, Y-L., Chang, J-E., Lai, Y-C., Chou, M-I. M., 2017. A comprehensive study on the production of autoclaved aerated concrete: Effects of silica-lime-cement composition and autoclaving conditions. *Construction and Building Materials*, **153**, 622-629.
- Geliş, K., Yeşildal, F., 2020. Klasik ve modern yapı elemanları kullanılması durumunda ısı iletim katsayısının değişimi ile minimum yalıtım kalınlığının tayini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **10 (4)**, 869-877.
DOI: 10.17714/gumusfenbil.725909
- Kaushik, H.B., Rai, D.C., Jain, S.K., 2007. Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **19**, 728-739.
- Laukaitis, A., Fiks, B., 2006. Acoustical properties of aerated autoclaved concrete. *Applied Acoustics*, **67(3)**, 284-296.
- Laurent, J.P., Guerre-Chaley, C., 1995. Influence of water content and temperature on the thermal conductivity of autoclaved aerated concrete. *Materials and Structures*, **28(182)**, 464-472.
- Mobasher, B., Li, C.Y., 1996. Mechanical properties of hybrid cement-based composites. *Materials Journal*, **93(3)**, 284-292.
- Neville, A.M. and Brooks, J.J., 2010. Concrete technology, second edition, Prentice Hall, Pearson Education, 1-464.
- Perez-Pena, M., Mobasher, B., 1994. Mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete composites. *Cement and Concrete Research*, **24(6)**, 1121-1132.
- Qian, C.X., Stroeven, P., 2000. Development of hybrid polypropylene-steel fibre-reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, **30(1)**, 63-69.
- Rasheed, M.A., Prakash, S.S., 2015. Mechanical behavior of sustainable hybrid-synthetic fiber reinforced cellular light weight concrete for structural applications of masonry. *Construction and Building Materials*, **98**, 631-640.
- Rasheed, M.A., Prakash, S.S., 2017. Behavior of hybrid-synthetic fiber reinforced cellular lightweight concrete under uni-axial tension - experimental and analytical 20 studies. *Construction and Building Materials*, **162**, 857-870.
- Ronald, F., Carol, D.H., 1998. Engineering material properties of a fiber reinforced cellular concrete. *Materials Journal*, **95(5)**, 631-635.
- Sanytsky M.A., Sobol, H. S., Markiv, T. E., 2010. Modified composite cements: A tutorial/ M.A. Sanytsky, H.S. Sobol, T.E. Markiv. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 1-132.
- Siram, K.K.B., 2012. Cellular light-weight concrete blocks as a replacement of burnt clay bricks. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, **2(2)**, 149-151.
- Slaby, A.A., Aziz, K.I., Hadeed, A.F., 2008. Mechanical properties of porcelinite reinforced concrete beams. *Iraqi Journal of Civil Engineering*, **10**, 1-24.
- Spratt, B.H., 1975. An introduction to lightweight concrete, fifth edition, Cement and Concrete Association, 1-28.
- Sukmana, N.C., Khifdillah, M.I., Nurkholil, A.S., Anggarini, U., 2019. Optimization of non-autoclaved aerated concrete using phosphogypsum of industrial waste based on the taguchi method. *13th Joint Conference on Chemistry (13th JCC) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, **509**, 012095.
- Suriyaprakash, S., Hameed, M., 2018. Review study on foam concrete. *International Journal of Advanced Research in Basic Engineering Sciences and Technology*, **4(12)**, 1-6.
- Tanacan L., Ersoy H., Arpacıoğlu, U., 2009. Effect of high temperature and cooling conditions on aerated concrete properties. *Construction and Building Materials*, **23(3)**, 1240-1248.
- Vijayalakshmi, R., Ramanagopal, S., 2020a. Compression behaviour of polypropylene fibre reinforced cellular

- light weight concrete masonry prism. *Civil And Environmental Engineering Reports*, **30(1)**, 145-160.
- Vijayalakshmi, R., Ramanagopal, S., 2020b. Experimental investigation into banana fibre reinforced lightweight concrete masonry prism sandwiched with GFRP sheet. *Civil and Environmental Engineering Reports*, **30(2)**, 15-31.
- Wittmann, F.H., 1983. Autoclaved aerated concrete, moisture and properties, developments in civil engineering, vol. 6, Elsevier, Amsterdam, 1-380.
- Xia, Y., Yan, Y., Hu, Z., 2013. Utilization of circulating fluidized bed fly ash in preparing non-autoclaved aerated concrete production. *Construction and Building Materials*, **47**, 1461-1467.
- Yuan, B., Straub, C., Segers, S., Yu, Q.L., Brouwers, H.J. H., 2017. Sodium carbonate activated slag as cement replacement in autoclaved aerated concrete. *Ceramics International*, **43(8)**, 6039-6047.