Endüstriyel Atık Liflerinin Otoklavsız Gazbeton Blok Elemanlarının Üretiminde Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Şeyma Pınar ÖZCAN

ORCID 0000-0002-1395-196X

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

Temmuz 2022

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Şeyma Pınar ÖZCAN** tarafından hazırlanan **Endüstriyel Atık Liflerinin Otoklavsız Gazbeton Blok Elemanlarının Üretiminde Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

ONAYLAYANLAR:

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ**
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri:

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA
İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alper ÇANKAYA
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Savunma Tarihi: 04.07.2022

Yazarlık Beyanı

Ben, **Şeyma Pınar ÖZCAN**, başlığı **Endüstriyel Atık Liflerinin Otoklavsız Gazbeton Blok Elemanlarının Üretiminde Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta bulundum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

İmza:

Tarih: 04.07.2022

Endüstriyel Atık Liflerinin Otoklavsız Gazbeton Blok Elemanlarının Üretiminde Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi

Öz

Yalıtım amacıyla da sıkça tercih edilen hafif beton bloklar, özellikle son yaşanan doğal afetler dolayısıyla bina ölü yük dengesinin oluşturulmasında önemli bir unsur olarak kabul görmektedir. Hafif agrega türevlerinin kullanımıyla üretilebildiği gibi, çeşitli genleştirici ajanların kullanımıyla gözenek oluşturulması suretiyle de hafif beton blok üretimi sağlanabilmektedir. Genleştirici ajanın ısı ile etkileşimi sonucunda harcın şişerek gözenekli hâle gelmesi yoluyla oluşturulan yeni nesil yapı malzemelerinin bileşenlerine organik/inorganik lif takviyesi yapılabilmektedir. Ürün, lif takviyesinin yapılmasıyla son derece gözenekli, yalıtım değerleri önemsenecek düzeyde yüksek ve bina ölü yükünü oldukça düşürecek derecede olumlu birim hacim ağırlık verilerine sahip hâle gelebilmektedir. Gazbeton ve türevi yapı malzemesi üretimlerinde genel olarak genleştirme işleminin ardından çimento esaslı olan bu ürünün nihai prizini alması amacıyla otoklav sistemleri tercih edilmektedir. Bu da maliyeti arttırması ve üretim süresini uzatması açısından büyük bir dezavantaj doğurmaktadır. Söz konusu dezavantajların minimize edilmesi, aynı zamanda enerji tüketimini de azaltacağı için büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında esas bağlayıcı olarak çimento (CEM I 42,5 R) tercih edilirken, gözenekli yapıya sahip, silis oranı yüksek mikronize boyutlara indirgenmiş inorganik malzemeler agrega niteliğinde ve CaO ile Al tozunun düşük sıcaklık ortamında genleştirici kimyasal etkileşim materyali mahiyetinde kullanılmıştır. Harç kombinasyonlarında farklı boyutlarda tanzim edilmiş üç çeşit inorganik endüstriyel atık lif katkıları değişken oranlarda değerlendirilmiştir. Genleşmiş, gözenekli yapıya

sahip, yalıtım özellikli ve yoğunluğu düşük olmasına rağmen uygun basınç dayanımlı yeni nesil hafif yapı blok elemanı geliştirilmesi üzerine TS EN 771 serisi standartlarının öngördüğü prensiplere göre bir seri deneysel çalışma yapılmıştır. Harç içerisinde kullanılan lif çeşidinin ve lif ihtiva oranının dayanım, birim ağırlık, su emme, sismik hız, akustik empedans ve ısıl performans gibi teknik özelliklere etkisi detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Deneysel bulgulardan idealize edilebilecek yeni nesil bir hafif blok yapı elemanı için optimum karışım kombinasyonu ve bileşenlerinin belirlenmesi üzerine yorumlar yapılması amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yapı malzemeleri, kâgir blok, hafif beton, tekstil artığı lif takviye, genleşme, teknik özellikler

Evaluation of Usability for Industrial Waste Fibers in Production of Non-Autoclaved Aerated Concrete Lightweight Masonry Blocks

Abstract

Lightweight concrete blocks, which are also frequently preferred for insulation purposes, are accepted as an important element in establishing the dead load balance of the building, especially due to recent natural disasters. It can be produced by using light aggregate derivatives, as well as by creating pores by using various expanding agents, lightweight concrete block production can be achieved. Organic/inorganic fiber reinforcement can be added to the components of the new generation building materials, which are formed by swelling the mortar and becoming porous as a result of the interaction of the expansion agent with heat. With the fiber reinforcement, the product can become extremely porous, have negligibly high insulation values, and have positive unit volume weight data that will reduce the dead load of the building considerably. Autoclave systems are generally preferred in the production of aerated concrete and its derivative construction materials in order to get the final setting of this cement-based product after the expansion process. This creates a great disadvantage in terms of increasing the cost and prolonging the production time. Minimizing these disadvantages is of great importance as it will also reduce energy consumption.

Within the scope of this thesis, cement (CEM I 42.5 R) was preferred as the main binder, inorganic materials with a porous structure and high silica content reduced to micronized sizes were used as aggregates, and CaO and Al powder were used as an expanding chemical interaction material in a low temperature environment. Three types of inorganic industrial waste fiber additives arranged in different sizes in

mortar combinations were evaluated at variable rates. A series of experimental studies have been carried out according to the principles stipulated by the TS EN 771 series standards on the development of a new generation lightweight building block element with an expanded, porous structure, insulating property and low density, but with appropriate pressure resistance. The effect of the fiber type used in the mortar and the fiber content ratio on technical properties such as strength, unit weight, water absorption, seismic velocity, acoustic impedance and thermal performance were examined in detail. It is aimed to make comments on the determination of the optimum mixture combination and components for a new generation light block building element that can be idealized from the experimental findings.

Keywords: Building materials, masonry blocks, lightweight concrete, textile waste fiber reinforcement, expansion, technical properties

Aileme...

Teşekkür

Bu çalışmanın her aşamasında engin bilgi donanımıyla yoluma ışık tutan ve tökezlediğimde desteğini hiç esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ'e, maddi manevi her daim yanımda olup bana güvenen aileme ve bu süreçte beni motive eden yakınlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İçindekiler

Yazarlık Beyanı ii

Öz iii

Abstract v

Teşekkür viii

İçindekiler ix

Şekiller Listesi xii

Tablolar Listesi xiv

Kısaltmalar Listesi xv

Semboller Listesi xvi

1 Giriş 1

2 Literatür Araştırması 4

2.1 Genel Bilgi 4

2.2 Kâgir Duvarlar 5

2.3 Hafif Betonlar 5

2.3.1 Gazbeton 6

2.2.1.1 Gazbeton Üretim Yöntemleri 7

2.2.1.2 Otoklavsız Gazbeton 8

2.4 Binalarda Enerji Verimliliği 8

2.5 Lif Takviye Malzemelerinin Gazbetonda Değerlendirilmesi 10

3 Materyal ve Metot 12

3.1 Materyal 12

3.1.1 Çimento 12

3.1.2 Kum 13

3.1.3 Sönmemiş Kireç 13

3.1.4 Hava Sürükleyici Ajan(Alüminyum Tozu) 14

3.1.5 Kimyasal Katkılar 15

3.1.6 Lifler 17

3.1.7 Karma Suyu 19

3.2 Metot 20

3.2.1 Alternatif Lif Türlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi 21

3.2.2 Lif ve Alüminyum Kullanım Oranı Değişimlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi 25

4 Bulgular ve Tartışma 29

4.1 Alternatif Lif Türlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi 29

4.1.1 Mikroskobik Yapısal Analiz 29

4.1.2 Kuru Birim Hacim Kütle 33

4.1.3 Kütlece Su Emme 36

4.1.4 Basınç Dayanımı 38

4.1.5 Görünür Gözeneklilik 41

4.1.6 Isıl İletkenlik Özelliği 44

4.2 Lif ve Alüminyum Kullanım Oranı Değişimlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi 47

4.2.1 Mikroskobik Yapısal Analiz 48

4.2.2 Kuru Birim Hacim Kütle 53

4.2.3 Genleşme Oranı 55

4.2.4 Basınç Dayanımı 58

4.2.5 Genleşme – Basınç Dayanımı Değişimi 61

4.2.6 Kütlece Su Emme 63

4.2.7 Görünür Gözeneklilik 65

4.2.8 Sismik Hız 68

4.2.9 Akustik Empedans 70

4.2.10 Isıl İletkenlik Özelliği 73

5 Sonuçlar ve Öneriler 77

5.1 Alternatif Lif Türlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi 77

5.2 Lif ve Alüminyum Kullanım Oranı Değişimlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi 78

Kaynaklar 81

Ekler 86

Ek A Tezden Üretilmiş Yayınlar 87

Özgeçmiş 90

Şekiller Listesi

Şekil 3.1 Kullanılan çimentonun genel görünümü 13
Şekil 3.2 Kullanılan sönmemiş kirecin genel görünümü..... 14
Şekil 3.3 Kullanılan alüminyumun genel görünümü..... 15
Şekil 3.4 Kullanılan kalsiyum klorürün genel görünümü 16
Şekil 3.5 Kullanılan sodyum sülfatın genel görünümü 17
Şekil 3.6 Lif 1 malzemenin genel görünümü 18
Şekil 3.7 Lif 2 malzemenin genel görünümü 19
Şekil 3.8 Lif 3 malzemenin genel görünümü 19
Şekil 3.9 Alternatif lif türlerinin otoklavsız gazbeton teknik özelliklerine etkileri yaklaşım yöntemi için karıştırma ve imalat prosedürü 24
Şekil 3.10 Lif ve alüminyum kullanım oranı değişimlerinin otoklavsız gazbeton teknik özelliklerine etkileri yaklaşım yöntemi için karıştırma ve imalat prosedürü 28
Şekil 4.1 MK2 örneğine ait genel yapısal görünümü 30
Şekil 4.2 MU2 örneğine ait genel yapısal görünümü 31
Şekil 4.3 Mİ2 örneğine ait genel yapısal görünümü..... 31
Şekil 4.4 MB2 örneğine ait genel yapısal görünümü 32
Şekil 4.5 Otoklavsız test örneklerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri değişimi34
Şekil 4.6 Lif kullanım oranı ve kütlece su emme değerleri analizi 36
Şekil 4.7 Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası basınç dayanım değerleri analizi 39
Şekil 4.8 Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası görünür gözeneklilik oran değerleri analizi 42
Şekil 4.9 Birim hacim ağırlık ve ısıl iletkenlik değerleri ilişkisi..... 45
Şekil 4.10 Lif türleri – ısısal performans değişim analizi 47
Şekil 4.11 MK2 örneğine ait genel yapısal görünümü 48
Şekil 4.12 MA2 örneğine ait genel yapısal görünümü 49
Şekil 4.13 MC1 örneğine ait genel yapısal görünümü 49

Şekil 4.14 MC2 örneğine ait genel yapısal görünümü 50
Şekil 4.15 MC3 örneğine ait genel yapısal görünümü 50
Şekil 4.16 Otoklavsız gazbeton numunelerinin birim hacim kütle değerleri değişimi 54
Şekil 4.17 Otoklavsız test örneklerinin genleşme oranı değişimi 56
Şekil 4.18 Lif kullanım oranı - 28 gün kür sonrası basınç dayanım değerleri analizi 59
Şekil 4.19 %0,08 Al içeren test örneklerinde genleşme oranı – basınç dayanımı ilişkisi 61
Şekil 4.20 %0,12 Al içeren test örneklerinde genleşme oranı – basınç dayanımı ilişkisi 62
Şekil 4.21 %0,15 Al içeren test örneklerinde genleşme oranı – basınç dayanımı ilişkisi 62
Şekil 4.22 Lif kullanım oranı ve kütlece su emme değerleri analizi 63
Şekil 4.23 Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası görünür gözeneklilik oran değerleri analizi 66
Şekil 4.24 Lif kullanım oranı ve sismik hız değerleri ilişkisi..... 69
Şekil 4.25 Lif kullanım oranı ve akustik empedans değerleri analizi 71
Şekil 4.26 Birim hacim ağırlık ve ısıl iletkenlik değerleri ilişkisi..... 74
Şekil 4.27 Genleşme oranı ve ısıl iletkenlik değerleri ilişkisi 75

Tablolar Listesi

Tablo 3.1 Birinci yaklaşım yöntemi için test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları (Ağırlıkça)..... 22
Tablo 3.2 İkinci yaklaşım yöntemi için test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları (Ağırlıkça)..... 26
Tablo 4.1 Karışımlara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler..... 33
Tablo 4.2 Karışımlara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler..... 52

Kısaltmalar Listesi

Al	Alüminyum
$CaCl_2$	Kalsiyum klorür
CaO	Kalsiyum oksit – Sönmemiş kireç
g	Gram
K	Kelvin
kg	Kilogram
m	Metre
m^3	Metreküp
mm	Milimetre
mm^2	Milimetre kare
N	Newton
NaOH	Sodyum hidrokdit
Na_2SO_4	Sodyum sülfat
s	Saniye
TS	Türk Standardı
vb.	Ve benzeri
W	Watt

Semboller Listesi

ρ_t	Kuru birim hacim ağırlık [kg/m^3]
ρ_w	Suyun yoğunluğu [kg/m^3]
λ	Isıl iletkenlik değeri [W/mK]
P_1	Görünür gözeneklilik [%]
W_f	Kütlece su emme [%]
ν	Sismik hız – Ultrasonik dalga hızı [m/s]
L	Problar arası mesafe [m]
t	Sismik dalga geçiş süresi [s]
Z	Akustik empedans [g/cm²s]

Bölüm 1

Giriş

Günümüz inşaat endüstrisinin en önemli hususlarının başında binalarda enerji verimliliği ve ısısal konfor açısından yalıtım performansı gelmektedir. Bina projelendirmelerinde, yapının bulunacağı iklim bölgelerine göre binalarda ısısal konforun sağlanması amacıyla yapı malzemeleri ile ilgili uyulması gereken 'TS825 - Binalarda Isı Yalıtım Kuralları' söz konusudur. Günümüze değin yapılagelen incelemeler neticesinde, bir binanın yalıtım performansının dış bölme duvarları oluşturan yapı malzeme türevlerinin ve duvar kesit bileşenlerinin değerleri ile doğrudan etkin olduğu görülmüştür. Yalıtımın yanı sıra kentsel binaların artık daha yüksek inşa edilmesinden bina ölü yüklerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. [1]. Bu bağlamda, duvarlarda ısı yalıtımı amacıyla sıkça tercih sebebi olan hafif yapı elemanı kâgir bloklar özellikle, yaşanan doğal afetler dolayısıyla bina ölü yük dengesinin oluşturulmasında önemli bir unsur olarak kabul görmektedir.

Hafif beton, büyük ilgi uyandıran çok yönlü bir malzeme olarak kabul edilir. Hafif betonlar, normal betonlara kıyasla daha düşük yoğunluğa 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 [2].

Hafif yapısı, malzeme taşıma işlemini kolaylaştırırken daha büyük boyutlarda oluşturulmasıyla duvar örüm süresini de kısaltmaktadır. Bu kâgir bloklar hafif agrega türevlerinin kullanımıyla üretilebildiği gibi, çeşitli genleştirici ajanların kullanımıyla da gözenek oluşturulması suretiyle gazbeton blok üretimlerine olanak sağlamaktadır. Gözenek oluşturma yöntemine göre üç gruba ayrılır: hava sürükleme yöntemi (gazbeton), köpürtme yöntemi (köpüklü beton) ve kombine yöntem. Gazbeton, kürleme yöntemine göre otoklavlanmamış veya otoklavlanmış olabilir. Basınç

dayanımı, kuruma büzülmesi, su emme özellikleri vb. doğrudan kürleme yöntemine ve süresine bağlıdır. Yeterince sertleştikten sonra beton köpüğü kalıbından çıkarılır, gerekli boyutta bloklar veya levhalar halinde dilimlenir [3].

Enerji ve hammadde tüketimini azaltmayı, inşaatın kalitesi ve güvenilirliğini artırmayı amaçlayan çalışmalar son yıllarda giderek önem kazanmaktadır. Genleştirici ajan kullanımıyla üretimleri sürdürülmekte olan çoğu yapı elemanlarının nihai priz alma işlemini tamamlaması amacıyla yüksek sıcaklık ve yüksek basınç ile otoklav kürlemesi uygulanmakta olup, bu da üretimde yüksek enerji sarfiyatını gündeme getirmektedir. Otoklav kullanmaksızın minimum enerji tüketimi ile benzer teknik performansları sağlayabilen hafif kâgir blok yapı elemanlarının üretimi sayesinde ürün maliyeti düşürülürken ürün kalitesi iyileştirilebilmektedir. Otoklavsız gazbeton harcının genleşme sürecinde matris yapısının desteklenmesi amacıyla farklı uzunluk ve orijinlerde lif katkı malzemeleri donatı materyali olarak kullanılabilmektedir. Bu lifler, doğal orijinli olabildikleri gibi yapay orijinli malzemeler de olabilmektedir. Yeni nesil olarak da nitelendirilebilecek bu harç kombinasyonlarından elde edilen malzemelerde kullanılan lifler, endüstriyel atıkların geri kazanımı açısından büyük bir öneme sahiptir. Genel olarak yapı malzemeleri teknolojisi ve özellikle gazbeton teknolojisi için endüstriyel atığın kullanılması, temel malzeme özelliklerinin iyileştirilmesine, teknik ve ekonomik performansın artırılmasına olanak tanıdığından; aynı zamanda endüstriyel atıkların geri dönüşümü nedeniyle çevre ekolojisini de iyileştirmeye yardımcı olmaktadır [4].

Bu tez çalışması kapsamında, farklı boyutlarda tanzim edilmiş, endüstriyel atık lif kategorisinde değerlendirilebilen üç çeşit lifin matris yapıda donatı katkı materyali olarak kullanıldığı otoklavsız ön kürlemeli, genleştirilerek elde edilen kâgir blok elemanların üretimine yönelik deneysel bir ArGe çalışmasının bulguları teknik olarak tartışılmaktadır. Bu çalışmada, özellikle farklı kullanım oranlarında endüstriyel atık lifler ve yine farklı oranlarda ihtiva eden sodyum sülfat katkısıyla hazırlanan harç örneklerinde, genleştirici ajan etkinliğinin harcın genleşmeye olan etkileri ve üç farklı lifin kullanım uygunluğu ile ideal kullanım oranları incelenmekte olup, elde edilen bulgulara dayanılarak karışımlarda kullanılan malzeme tür, boyut ve miktarlarının otoklavsız gazbeton blok elemanı örneklerinin teknik özelliklerine olan etkileri detaylı analiz edilmektedir. Deneysel bulgulardan idealize edilebilecek yeni

nesil bir hafif blok yapı elemanı için optimum karışım bileşenleri ve kombinasyonların belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular ve oluşturulan grafikler ışığında, endüstriyel atık lif katkılarının hafif beton kâgir blok içeriğinde etkin şekilde ihtiva etme oranları tartışılmıştır. Optimum özellikteki yeni nesil hafif beton blok üretim formülü oluşturulurken teknik ve ekonomik uygunlukları bir bütün olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Bölüm 2

Literatür Araştırması

2.1 Genel Bilgi

İnşaat sektörünün büyümesi, yüksek enerji tüketimini de beraberinde getirmiştir. Son zamanlarda, enerji ve hammadde sarfiyatının önüne geçmek için yapılan çalışmalara önem verilmektedir. Özellikle yapıların taşıyıcı olmayan birimlerinde sıkça tercih edilen hafif beton blok yapı elemanları ile yalnızca üretim aşamasında değil, yerinde kullanım sürecinde de enerji tasarrufu ve verimliliği sağlanabilmektedir. Otoklavlanmamış gazbeton elemanların, birçok ülkede termal konforun artırılması ve ses izolasyonu sağlanması amacıyla bina dış duvar birimlerinde sıkça tercih edildiği bilinmektedir. Yapı içini ısıtmak amacıyla harcanacak olan enerjiyi, uygun duvar kesit bileşenleri ve yeterli uygulama kalınlığı tercihleriyle minimize etmek mümkündür. Gazbeton üretim aşamalarından biri otoklav kürlemesidir. Bu kürleme işleminde malzeme, büyük otoklavlarda yüksek sıcaklık ve basınca maruz bırakılmaktadır. Otoklav kürlemesi işlemi olmadan üretim gerçekleştirildiğinde yüksek sıcaklık ve basınç uygulamasında harcanan enerji kullanılmamış olmaktadır. Bu bağlamda, enerji verimliliği açısından büyük önem taşıyan otoklavlanmamış gazbeton kâgir bloklar elde edilmektedir. Aynı zamanda otoklavsız gazbetonlar, yapılarının oldukça hafif olması ile de ön plana çıkmaktadır. Bu hafifliği sayesinde, depremsellik açısından bina ölü yük dengesinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle, günümüz yüksek yapı inşaatlarında ölü yük miktarının azaltılmasına ihtiyaç duyulmaktadır [1].

2.2 Kâgir Duvarlar

Doğal ya da yapay taş ve blokların harç adı verilen bağlayıcı malzemelerle veya harçsız olarak örülmesiyle oluşturulan yapı elemanlarına "Kâgir Duvarlar" denilmektedir.

Kâgir duvarlar uygulandıkları yapı türüne göre, yığma ve yarım kâgir duvarlar olarak ikiye ayrılırlar. Yığma kâgir duvarlar ise taşıyıcı olan, taşıyıcı olmayan, donatılı, güçlendirilmiş gibi çeşitlerde karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında üzerine çalışılan otoklavsız gazbeton kâgir bloklar, taşıyıcı olmayan kâgir elemanlar içerisinde incelenmektedir. Bu duvarlar yalnızca kendi ağırlıklarını taşırlar. Ancak boyutları belirlenirken yük taşıyan elemanlara yükü güvenle iletebilecek sağlamlıkta boyutlandırılırlar.

Kâgir duvar türleri, yapıldıkları gereçlere göre yediye ayrılmaktadır. Bunlar; kerpiç duvarlar, taş duvarlar, tuğla duvarlar, hafif blok veya gazbeton duvarlar, panel duvarlar, beton ve betonarme duvarlar ile karma ya da kompoze duvarlardır.

2.3 Hafif Betonlar

Hafif betonun, büyük ilgi uyandıran çok yönlü bir malzeme olduğu söylenebilir. Geleneksel normal agregalı betondan daha hafiftir [5,6].

Hafif betonlar, normal betonlara kıyasla daha düşük kuru birim hacim kütleye ve dayanıma sahip olsa da ısı ve ses yalıtım değerleri yüksektir. Kolay çivilenebilme ve kolay kesilebilme gibi işlenebilme imkanı sunan hafif betonlar, aynı zamanda ateşe karşı oldukça dayanıklı bir yapı malzemesidir [2].

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 silindir basınç dayanımına sahip ve yaklaşık yoğunluk değer aralığı 1400-1800 kg/m^3 olan betondur. ii) Duvar bloğu (Yapısal / Yalıtım hafif beton), 7-14 MPa aralığında

basınç dayanımına ve 500 ila 800 kg/m^3 yoğunluk aralığına sahip hafif betondur. iii) İzolasyon hafif betonu, 0,7-7 MPa basınç dayanımı aralığında ve 800 kg/m^3'ten daha düşük yoğunluğa ve düşük ısıl iletkenlik katsayısına sahip olan beton türüdür [7,8].

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 [9,10].

2.3.1 Gazbeton

Hafif betonların, MÖ 3000 yıl öncesine dayanan bir kullanım geçmişinden söz edilmektedir. Daha sonrasında, Avrupa'da 2000 yıl öncesinde Romalılar tapınak ve heykellerini hafif beton kullanarak inşaa etmişlerdir [11].

Hafif beton çeşidi olan gazbetonun keşfi 1919-1920 yılında beton harcına genleştirici ajan olarak alüminyum tozu katılmasıyla basınçlı buhar kürünün betonun sertleştirmesinde olumlu etkilerinin tespiti ile başlamıştır [12].

İsveçli Mimarlık Bilimi öğretim görevlisi Johan Axel Eriksson tarafından 1923 yılında gözenekli betonlar üzerinde çalışmalar yaparken kür sürecini kısaltmada otoklavlama işlemi uygulaması sonucu gazbeton bulunmuştur. Isı geçirgenliğinin ve birim hacim ağırlığının normal betona kıyasla beşte bir seviyelerinde olması ile sağladığı üstünlükler sayesinde dünya yapı pazarında talep görmekte ve geniş kullanım alanı bulunmaktadır [13].

Türkiye'de gazbeton, ilk olarak 1950'li yıllarda kullanılmıştır. Türkiye'de gazbeton fabrikası ilk kez 1965 yılında İstanbul'da üretim faaliyetine geçmiştir. Günümüze değin, yapı sektöründe gazbeton kullanımı gelişim trendini korumuş, üretim kapasitesi ve kullanım potansiyeli gün geçtikçe yükselmiştir [14].

Çimento, kireç, silis kumu ve bazen puzolanik malzemeler ile hazırlanan harç matrisine hava boşluklarının hapsedildiği gazbeton, düşük yoğunluğu nedeniyle hafif beton sınıfına girmektedir [3].

Hava sürüklenmesiyle elde edilen gazbetonlar, köpürme ajanının harca karıştırılması ile oluşan keyfi hava boşlukları sayesinde 400-1800 kg/m^3 aralığında değişen kuru birim hacim kütle değerlerine sahip hafif beton çeşididir. Gazbeton bloklar, yüksek akış kabiliyeti, minimum çimento ve agrega kullanımı nedeniyle rağbet gören bir malzeme olup düşük ısıl iletkenlik sağlamaktadır [15].

Gazbetonun matris yapısında oluşan gözenekler aynı zamanda sismik hızı ve akustik empedansı da etkilemektedir. Bu da gazbetonu iyi bir ses yalıtkanı yapmaktadır [16].

Hafif betonlar üzerine yapılan bir çalışmada malzemenin ısıl iletkenlik değerinin malzemenin birim hacim kütlesine ve malzeme içeriğine bağlı değişkenlik gösterdiğini, gözeneklerin incelmesinin ısı yalıtımı olumlu yönde etkilediği tecrübe edilmiştir [17].

Gazbetonun en yaygın uygulama şekli binalarda dolgu duvarlar birimi olarak kullanımıdır. Fabrika gibi sanayi türü yapıların duvarlarında yatay ve düşey duvar panelleri olarak kullanılabilmektedirler [18].

2.3.1.1 Gazbeton Üretim Yöntemleri

Hafif beton kâgir bloklar, gözenek oluşturma yöntemine göre üç sınıf altında incelenebilmektedir: i) Hava sürükleme yöntemi (Gazbeton), ii) Köpürtme yöntemi (Köpüklü beton), iii) Kombine yöntem. Gazbetonun, otoklavlanmış ve otoklavlanmamış olmak üzere iki kürleme yöntemiyle üretimi gerçekleştirilebilmektedir [3].

Gazbetonların sınıflandırılması priz esnasında gördüğü muameleye göre yapılmaktadır. Üç farklı kürleme yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunlar; basınçlı buharda priz yapan gazbeton, yüksek ısıda ve buhar altında priz yapan gazbeton ve açık havada priz yapan gazbeton olarak söylenebilmektedir [19].

Kürleme 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 [3].

Alüminyum, gazbeton üretiminde dünya çapında hava sürükleyici ajan olarak kullanılmakta ve genleştirici ajan olarak en iyi materyal olduğu kabul görmektedir. Alüminyum, harç karışımına kuru çimento ağırlığının yaklaşık %0,2-%0,5'i kadar ilave edilmektedir [20].

2.3.1.2 Otoklavsız Gazbeton

Otoklavlanmamış gazbetonun imalatı otoklavlanmış gazbetona kıyasla yüksek basınca gereksinim olmadığı için üretim kolaylığı daha yüksek ve aynı zamanda üretim maliyeti de daha uygundur [21].

Otoklavlama işleminin ortadan kaldırılması, otoklavlanmış gazbetonla karşılaştırıldığında daha düşük mukavemet değerlerine ve daha düşük homojen dağılıma sahip ürünler elde edilmesine sebep olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için yapılan çalışmalarda, 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 geldiğini birçok araştırmacı rapor etmiştir [22-24].

2.4 Binalarda Enerji Verimliliği

Günümüzde yığma elemanların üretiminde önemi giderek artan bir konu, bu ürünlerin en düşük enerji tüketimi ile gerçekleştirilmesidir. İnşaat sektöründe enerji ve hammadde tüketimini azaltmayı ve bina kalitesini ve güvenilirliğini iyileştirmeyi amaçlayan bir dizi yeni düzenleyici faaliyet giderek daha önemli hâle geldi. Otoklav kürlemesi, hâlen genleştirici ajan kullanılarak üretilen çoğu yapı bileşeninin üretiminde kullanılmaktadır ve bu da üretimde yüksek enerji tüketimi getirmektedir. Bu fenomeni en aza indirmek için, otoklav kullanmadan ve en düşük enerji tüketimiyle benzer teknik performans sağlayabilen yapı malzemesi ürünlerinin

üretilebilirliğini geliştirmek günümüz ekonomisi için son derece önemlidir. Otoklavlanmamış gaz betonun yaygın kullanımı, birçok ülkede dış bina zarflarının termal performansını iyileştirme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Otoklavlanmış gaz beton alanında araştırma ve uygulamanın amacı, ürün maliyetini düşürürken ürün kalitesini artırmaktır. Bu üretimlerde alternatif elyaf malzemelerin kullanılması ve otoklavlanmamış gaz beton harçlarının genleştirilmesi sırasında matris yapıyı desteklemeye uygunluklarının belirlenmesi de ayrıca araştırılması gereken bir durumdur. Günümüzde, bu uygulamaların mevcutlarına göre yeni nesil olarak da nitelendirilebilecek yenilikçi versiyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda sürekli artan enerji maliyetleri, enerji verimli binalar kavramına yönelik eğilimleri artırmaktadır. Dış duvar ısı yalıtım uygulaması, binalarda enerji tasarrufu elde etmek için yaygın bir yaklaşımdır. Enerji verimliliğinin artırılması için konut ve kamu binaları çok büyük bir potansiyele sahiptir. Bina dış duvarının uygun tasarımı ve seçimi, alan ısıtma ve soğutma yüklerini azaltabilir. Bu hem ısıtma yükünün azaltılması hem de buna bağlı olarak iklim değişikliği (sera gazı) etkilerinin azaltılmasına yardımcı olur [25].

Ticarî olarak birçok yalıtım malzemesi geliştirilmesine rağmen bazı ürünler termal, mekanik, sağlığa olumsuz etki ve uygulama zorluğu gibi durumlarla karşı karşıyadır. Bu sebeple projelendirme yapılırken bütün kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Yalıtım çalışmalarının yapılacağı bir alan tasarlanırken duvar bileşenleri, duvar yapı bileşenleri ve yalıtım malzemelerinin değerlendirilmesi ve kalınlıklarının belirlenmesi gerekir. Isı yalıtımının amacı, ısı kaybını veya kazanımını azaltan enerji verimli malzemeler kullanarak enerjiyi verimli kullanmak ve sonuçta enerji maliyetlerini düşürmektir. Bu çalışmada ısı yalıtım pazarında kullanılan farklı ısı yalıtım malzemeleri detaylı olarak incelenmiş ve bu ısı yalıtım malzemelerinin ısıl iletkenlik aralığı belirlenmiştir. Piyasa arz ve uygulama kolaylığı koşulları göz önünde bulundurularak ve ısı transfer katsayısı parametre olarak kullanılarak dört farklı derece-gün bölgesinde 13,5 cm kalınlığında tuğla, 17,5 cm bims taşı ve gaz beton minimum ısı yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Yapılan hesaplar neticesinde 1. Derece gün bölgesinde minimum yalıtım kalınlığı ısı iletkenlik katsayısına ve yapı elemanına bağlı olarak 2-7 cm arasında değişirken, 2. Derece gün bölgesinde 2-8 cm arasında, 3. Derece gün bölgesinde 3-10 cm arasında, 4. Derece gün bölgesinde 4-13

cm arasında olduğu hesaplanmıştır. Minimum yalıtım kalınlığının en küçük değerleri gaz beton yapı malzemesi için elde edilmiştir [26].

2.5 Lif Takviye Malzemelerinin Gazbetonda Değerlendirilmesi

Genel olarak yapı malzemelerinin üretim teknolojisi ve özel olarak gazbeton teknolojisi için endüstriyel atıkların kullanılması nedeniyle, malzemelerin temel özelliklerini iyileştirmek ve ekonomik ve teknik verimliliği artırmak mümkündür. Yeni nesil olarak adlandırılabilecek olan bu yığma bloklarda endüstriyel atıkların katkı görevi görmesi blok elemanının fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmesinin yanı sıra atık geri dönüşümü ile çevreye de faydalı olmaktadır [4].

Farklı orijinli ve farklı ebatlardaki lif katkılar, gazbeton harç karışımlarında donatı materyali niteliğinde kullanılabilmektedir. Bu lifler doğal kaynaklı olabileceği gibi yapay orijinli malzemeler de olabilir. Gazbetonun teknik özelliklerini iyileştirmek için lif kullanmanın etkisi birçok araştırmacı tarafından uzun dönemlerdir rapor edilmektedir [27-32].

Çimento esaslı malzemelerin güçlendirilmesinde polipropilen liflerinin kullanımının son yıllarda oldukça önem kazandığı görülmektedir [33].

Lif ilavesi ile hafif blokların süneklik özellikleri arttırılabilir ve bu hafif bloklar çekme, kesme ve basınç yüklerine karşı uygun ölçüde direnç gösterebilmektedirler [34].

Liflerin menşei ve malzeme yapısı nedeniyle otoklav işleminde maruz kaldıkları yüksek sıcaklık ve basınçlarda bozunabilir ve katkı ipliklerinden beklenen teknik performansı sağlayamayabilirler. Özellikle sentetik liflerin yüksek sıcaklıklara dayanamaması ve doğal liflerin yüksek basınç ve yüksek sıcaklık ortamlarında hızlı deformasyona uğraması, otoklavlanmış gazbeton üretimi için uygun görülmemektedir. Bu kapsamda otoklav kullanımının lifli katkının yapısal özelliklerinin bozulması üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için

otoklavsız gazbeton üretiminde lifli katkı maddelerinin daha verimli kullanılmasına olanak sağlar. Örneğin, otoklavlanmamış gaz beton üretiminde polimerik lifler de kullanılabilir. Otoklavlanmamış gazbeton üretiminde polimerik liflerin kullanılmasında, otoklavlama ile ilişkili yüksek basınç ve sıcaklık fonksiyonunun ortadan kaldırılması, lif geometrisinin olası bozulmasını önleyebilir. Ayrıca otoklavlanmış gazbetona göre daha düşük dayanım değerleri ve daha yüksek üniformite üretmeyebilir. Bununla birlikte, kısa lifler, mekanik kuvvetler, kuruma büzülmesi veya ısıyla soğutma döngüleri nedeniyle plastik aşamada veya daha sonra meydana gelen çatlakların köprülenmesinde olumlu bir etkiye sahip olabilir.

Farklı araştırmacılar farklı zamanlarda yapmış oldukları çalışmalarda, geleneksel harç karışımlarına polipropilen kısa liflerin eklenmesinin mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirebileceğini, kısa liflerin eklenmesinin ise plastik fazda veya kurutma işlemi sırasında elastik fazdan sonra büzülme çatlamasını azalttığını bildirmiştir [22,23].

Matris yapısında boşluk oluşturularak elde edilen kâgir blokların üretiminde harç içerisine elyaf takviyesi yapılmasıyla malzeme sisteminde sismik performans iyileştirmesi sağlanabilmektedir [35].

Bölüm 3

Materyal ve Metot

3.1 Materyal

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan otoklavsız gazbeton kâgir blok numunelerde Na_2SO_4, Al ve endüstriyel atık lif malzemelerin etkisi incelenmiştir. Ana hidrolik bağlayıcı olarak gri Portland çimentosu (CEM I 42,5 R) kullanılmıştır. Standart kum ana agrega olarak tercih edilmiştir. Bağlayıcı özellikteki CaO, söndürüldüğünde harç içerisinde ekzotermik reaksiyon oluşturarak hava sürükleyici ajan olarak tercih edilen Al'u aktive etmesi amacıyla kullanılmıştır. Gözenek oluşumuna ve genleşmeye yardımcı olması amacıyla kimyasal katkı olarak $CaCl_2$ tüm örneklerde kullanılırken Na_2SO_4, etkisinin gözlemlenebilmesi için belirli numunelerde, belirli oranlarda kullanılmıştır. Bu deneysel araştırmanın asıl konusunu oluşturan üç farklı boyut ve orijindeki endüstriyel atık lif takviye materyallerinin belirli oranlarda kullanımı ile lif kullanılmaksızın üretilen gazbeton kâgir blok elemanlar fiziksel ve mekanik özellikler açısından detaylı-karşılaştırmalı analiz edilmiştir.

3.1.1. Çimento

Bu tez çalışmasında, harç karışımları hazırlanırken matris yapıda ana bağlayıcı materyal olarak TS EN 197-1 standardına uygun %95-100'ü klinkerden, %0-5'i de minör ilave bileşenlerden oluşan CEM I 42.5 R (42.5 N/mm^2) gri Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento malzemesi piyasadan temin edilerek kullanılmıştır. Harç karışımlarında kullanılan çimento genel görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.

Şekil 3.1 Kullanılan çimentonun genel görünümü

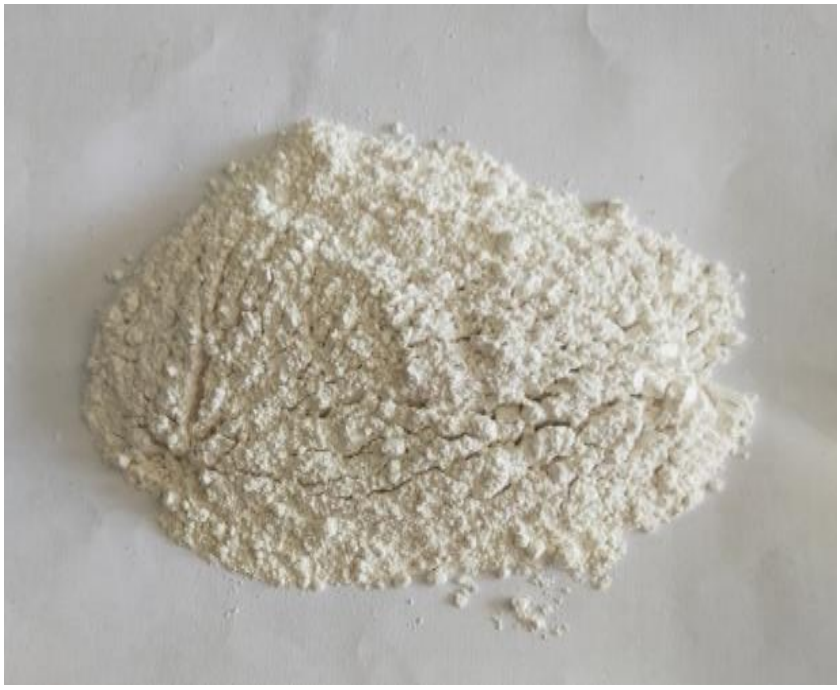
3.1.2. Kum

Tez kapsamında hazırlanan harç karışımlarında ana agrega bileşeni olarak 500 µm elek altı boyutlandırılmış standart kum kullanılmıştır. Kullanılan lif, Al, Na_2SO_4 ve NaOH oranlarınca kumdan yer değiştirmeli olarak hazırlanmıştır.

3.1.3. Sönmemiş Kireç (CaO)

Sönmemiş kireç (CaO), kireç taşının pişirilmesiyle kalsine olması sonucu ortaya çıkmaktadır. Sönmemiş kirecin bağlayıcı özelliğinden yararlanabilmek için su ile hidrate edilmesi gerekmektedir. Bu söndürme işleminde CaO, su ile tepkimeye girer ve ekzotermik reaksiyon meydana gelir. Ekzotermik reaksiyon sonucunda ısı açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan ısı sayesinde söndürülen kireç, kimyasal reaksiyonların aktivasyonuna etki etmektedir. Aynı zamanda, açığa çıkan ısı, harç bileşiminde hava sürükleyici ajan olarak kullanılan alüminyum ile reaksiyona girerek hidrojen açığa çıkmasında ve gözenek oluşumunda etkin rol oynamaktadır. Bu tez kapsamında,

deney ve gözlemler için hazırlanan matrislerde CaO boyutunun 250 µm elek altı olması uygun görülmüştür ve CaO miktarı her harç kombinasyonunda sabit tutulmuştur. Bu deneysel tez çalışmasında kullanılan sönmemiş kireç Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Kullanılan sönmemiş kirecin genel görünümü

3.1.4. Hava Sürükleyici Ajan (Alüminyum Tozu)

Alüminyum tozu, bulunduğu matris yapıdaki ısı ile reaksiyona girerek aktive olmaktadır. Bu tez çalışmasında, alüminyum tozu otoklavlanmamış gazbeton blok numunelerine gözenek kazandırılması için ana materyal olarak kullanılmıştır. Reaksiyonu hızlandırabilmek adına nano boyutta ve %99.9 saflık derecesinde kullanılan bu hava sürükleyici ajan, ısıyla tepkimeye girdiğinde hidrojen gazı açığa çıkararak taze harçta kabarcıklar oluşmasını sağlamaktadır ve bu kabarcıklar etüv işleminde kalıcı gözenekli bir form kazandırmaktadır. Numunelerde Al tozu miktarı etkisinin liflerle kombinasyonunda oluşabilecek performans farklılıklarını incelemek

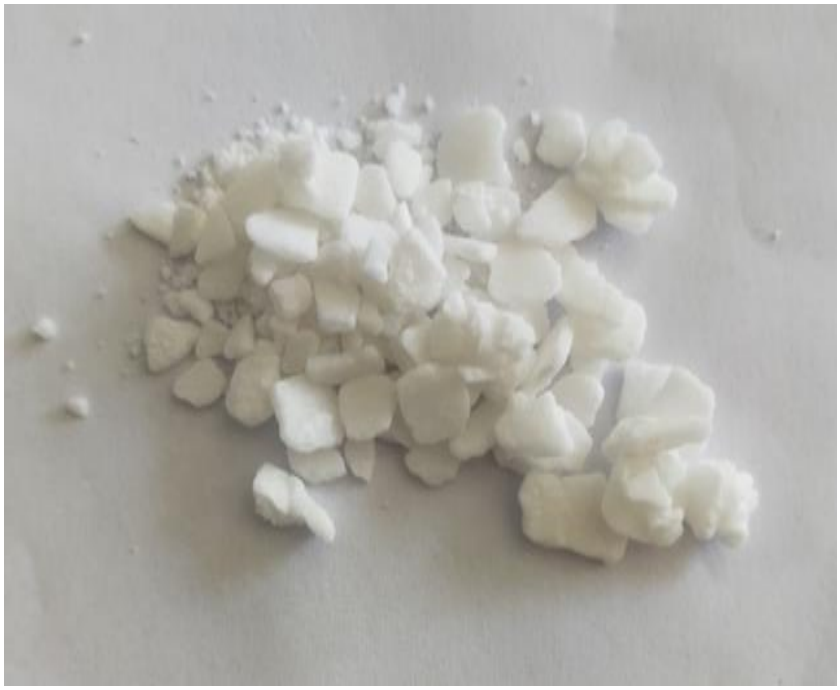
adına üç farklı oranda Al tozu kullanımına karar verilmiştir. Harç içeriğinde kullanılan Al görseli Şekil 3.3'te verilmiştir.

Şekil 3.3 Kullanılan alüminyumun genel görünümü

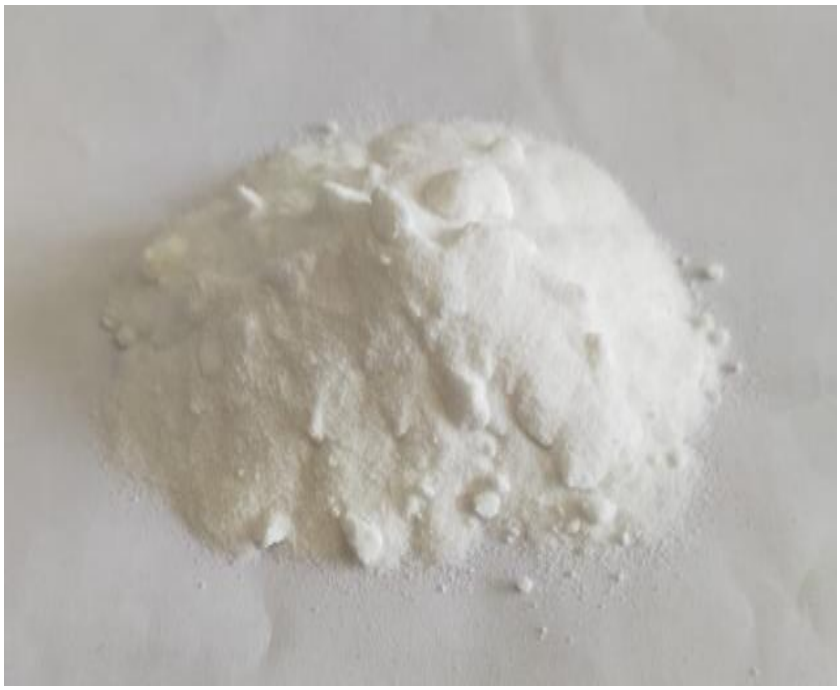
3.1.5. Kimyasal Katkılar

Bu tez çalışmasında, hazırlanan numunelerin içeriğinde sodyum sülfat (Na_2SO_4) ve kalsiyum klorür ($CaCl_2$) kimyasal katkıları kullanılmıştır. Bu iki kimyasal katkı sayesinde test numunelerinin priz süresinin kısaltılması ve gözenekli bir yapı elde etmek amaçlanmıştır. Doğal Na_2SO_4, nötr bir tuzdur. Na_2SO_4, sülfatın ihtiva ettiği arsenik, kurşun, krom ve çinko gibi ağır metaller ile toksik mineralleri içermemektedir. Na_2SO_4 kristal yapıda, sert ve beyaz renktedir. Su ile buluştuğu anda tepkime vermeye başlayarak hızlıca çözünmektedir. Deneyler karışımlarının hazırlanmasında Na_2SO_4, matris yapıya hızlı adapte olması ve karışım süresinin uzun tutulmaması amacıyla toz formuyla kullanılmıştır.

Kalsiyum klorür ($CaCl_2$), kalsiyum ve klorun katı toz formudur ve beyaz renge sahiptir. Su ile temasında çözünerek ısı açığa çıkarır ve bulunduğu ortamı ısıtabilme özelliği vardır. $CaCl_2$ de Na_2SO_4 gibi priz süresini kısaltmaya yardımcı olması amacıyla kullanılmıştır. Bunun yanında, matris yapıdaki gözenek oranını arttırmaya yardımcıdır. Bu tez çalışması kapsamında kimyasal katkı olarak kullanılan $CaCl_2$ de Na_2SO_4 görselleri Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Kullanılan kalsiyum klorürün genel görünümü



Şekil 3.5 Kullanılan sodyum sülfatın genel görünümü

3.1.6. Lifler

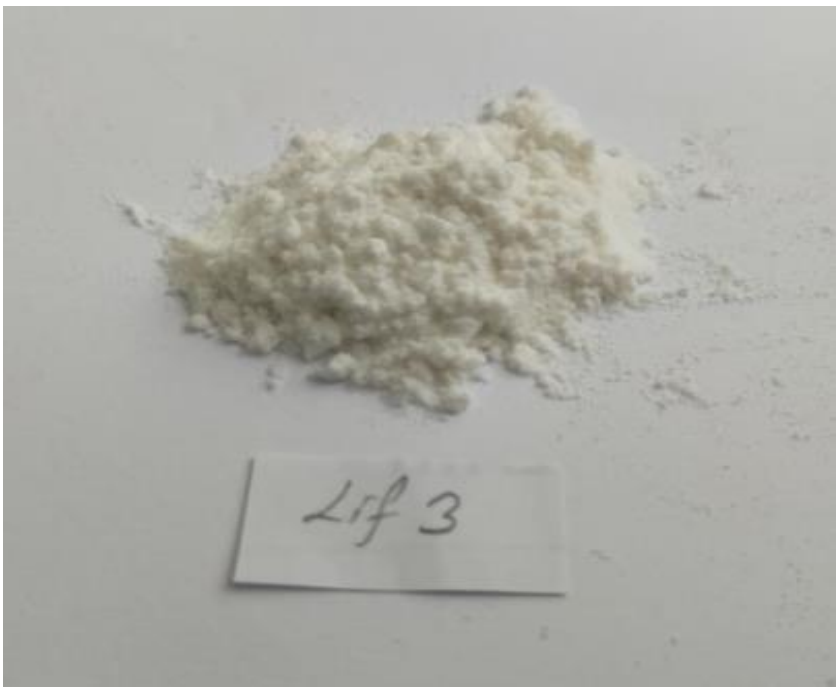
Çimento bileşenli beton türevi elemanlarda performansı olumlu yönde değiştirmek ve kaliteyi artırmak için en çok tercih edilen yöntemlerden biri karışım harcına farklı oranlarda bir ya da daha fazla lif malzemesinin karıştırılmasıdır. Lifler, doğal ve yapay olmak üzere iki sınıf altında incelenmektedir. Doğal lifler; bitkiler, hayvanlar ve mineraller gibi doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Yapay lifler; talep edilen ve üründen beklenen performansı karşılayacak şekilde çeşitli malzemelerden geliştirilen ve üretilen malzemelerdir. Lifler, oluşturulan kompozit yapı matrisinde doğal donatı görevi görürken bir yandan harcın işlenebilirliğini artırmak ve priz alma esnasında oluşabilecek muhtemel büzülme ve çatlamaların önüne geçmek amacıyla tercih edilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan harç karışımlarında üç farklı özelliğe sahip doğal içerikli endüstriyel atık lif türü kullanılmıştır. Lifler, ticari piyasadan temin edildikten sonra kullanıma hazır hâle getirmek için boyutlandırılmıştır. Numunelerde kullanılan üç çeşit lif türü de kompozit yapılı ürün yapımında kullanıma uygundur.

Liflerden ikisi kot kumaşın dönüştürülmesi işleminden elde edilen kot kumaş açma elyafıdır. Bu iki lif arasındaki fark pamuk/sentetik oranı ve lif boyudur. “Lif 1” olarak isimlendirilen kot kumaş elyafı 90/10 pamuk/sentetik oranına sahip olup, lif boyutu maksimum 3 mm’dir (Şekil 3.6). “Lif 2” olarak kodlanan kot kumaş elyafında “Lif 1” elyafına göre daha az pamuk ve daha fazla sentetik bulunmaktadır. Maksimum boyu 2 mm olarak boyutlandırılan “Lif 2” elyafının içeriğinde %70 oranında pamuk ihtiva ederken %30 sentetik bulunmaktadır (Şekil 3.7). “Lif 1” ve “Lif 2” olarak kodlanan bu her iki lif türü de doğal kumaş elyafları arasında değerlendirilebilecek nitelikler taşımaktadır. Tekstil atıklarının işlenmesinden elde edilen bu lif türleri çevre dostu malzeme olarak tanımlanabilir. Son lif çeşidi olarak, “Lif 3” olarak kodlanan endüstriyel kâğıt atıklarının geri dönüşümünden elde edilmiş lif, %100 doğaldır ve yüksek oranda saf selüloz içermektedir. Beyaz renge sahip olan “Lif 3”, yaklaşık 200 µm uzunluğa sahip olacak şekilde boyutlandırılmıştır (Şekil 3.8).

Şekil 3.6 Lif 1 malzemenin genel görünümü

Şekil 3.7 Lif 2 malzemenin genel görünümü



Şekil 3.8 Lif 3 malzemenin genel görünümü

3.1.7 Karma Suyu

Beton harcına karıştırılan su, iki önemli işleve sahiptir (Popovics, 1979; Uyan ve Kılınç, 2003). İlki, karışım suyunun çimento ve agrega tane yüzeyine temasıyla

karıştırma işlemini rahatlatmasıdır. Bu sayede, taze harcın yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasını kolaylaştırıp işlenebilirliğini iyileştirmektedir. Diğer önemli işlevi ise, çimento ile kimyasal tepkimeye girerek hidratasyonu başlatmasıdır (Tulga,2017). Çimentolu harçlarda karma suyu, mümkün olabildiği kadar temiz ve berrak olmalıdır. İçerisinde zararlı etki gösterebilen klorür, sülfat, asit, şeker, organik madde, endüstriyel atık, yağ, kil ve silt gibi maddeleri sınır değerlerin altında kalacak şekilde içermelidir. Çimento, hidratasyon gerçekleştirebilmek için ağırlığının % 25'i kadar suya ihtiyaç duymaktadır. Çimento ağırlığının %25'ini geçen su kullanımlarında amaç sadece işlenebilirliği artırmaya yöneliktir. Harç karışımındaki karma suyu miktarı ne denli arttırılırsa malzemede zamanla aynı oranda gözenek oluşumu beklenmektedir. Karma suyunun gereğinden fazla kullanımı dayanımda ciddi olumsuz dönütlere yok açmaktadır. Bu deneysel çalışma kapsamında hazırlanan kâgir blok harçlarda hidrasyonun sağlanması ve kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesini sağlamak amacıyla karma suyu olarak İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarından şebeke suyu kullanılmıştır. Kimyasal reaksiyonların gerçekleşme süresini kısaltmak için elektrikli ısıtıcı yardımıyla su 80°C'ye kadar ısıtılıp bu sıcaklık değeri sabit tutularak harç ısısının artırılması sağlanmıştır. Su miktarı tüm örneklere 0,65 su/katı oranında ilave edilmiştir.

3.2 Metot

Bu tez çalışması, iki farklı araştırma yöntemi üzerinden yürütülmüştür. Her iki yöntemde de kullanılan liflerin belirlenen kombinasyonlar ışığında uygunluğu tartışılmıştır.

3.2.1 Alternatif Lif Türlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi

Bu tez çalışması yönteminde, yapılan ön çalışmalar ışığında otoklavsız gazbeton harç bileşimindeki çimento, kum, CaO, Al, Na_2SO_4, $CaCl_2$'ün ağırlıkça yüzde oranları ve Su/Katı oranı belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler sabit tutularak ağırlıkça kum yüzdesi değerinden lif oranları düşürülerek harç kombinasyonları tasarlanmıştır. Kontrol numunesi olarak iki farklı lifsiz otoklavsız gazbeton bloklar hazırlanmıştır. Harç kombinasyonlarının tasarımı Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1'den de görüleceği gibi MK1 kodlu karışım, otoklavlanmamış gazbeton numunelerin Na_2SO_4 kullanımı karşısında göstermiş olduğu farklılıkların görülmesi amacıyla hazırlanmış bir kontrol numunesidir. MK2 kodlu karışımda ise Na_2SO_4, lifli örneklerdeki gibi ağırlıkça %2 olarak belirlenmiş ve lif kullanılmamıştır. Bu sayede MK2 kontrol numuneleri üzerinden lif çeşidi kıyaslaması yapılabilmektedir. Hazırlanan deney numunelerinden MU1 ve MU2 kodlu karışımlarda Lif 1 türü kullanılmıştır. Mİ1 ve Mİ2 numunelerinin karışım bileşenlerinde lif türü olarak Lif 2 kullanılmıştır. Son olarak, MB1 ve MB2 kodlu numune harç karışımlarında Lif 3 bulunmaktadır. MU1, Mİ1 ve MB1 örneklerinin harçlarında ağırlıkça %1,25 oranında lif kullanılırken; MU2, Mİ2 ve MB2 otoklavsız gazbeton numunelerin harç karışımlarında lif oranı %0,25 artırılarak %1,50 olacak şekilde belirlenmiştir. Bu sayede, performans bazında lif oranlarını incelenip karşılaştırılması imkânı elde edilmiştir. Lifli ve lifsiz numunelerin tümünün içeriğinde ağırlıkça çimento oranı %34, CaO'in ağırlıkça oranı %9, $CaCl_2$ oranı ağırlıkça %1 ve Al'un ağırlıkça oranı %0,1 olacak şekilde sabit tutulmuştur. Na_2SO_4 ve lifteki oran farklılıkları MK1 numunesindeki kum oranınından(%55,90) düşülerek hesaplanmaktadır. Otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerinde karışımların kıvamı ve matris yapının homojenliğinin ve harç yayılımının sağlıklı olabilmesi amacıyla su/katı oranı ön çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar ışığında su/katı oranının 0,65 olarak sabit tutulmasının uygunluğuna kanaat getirilmiştir.

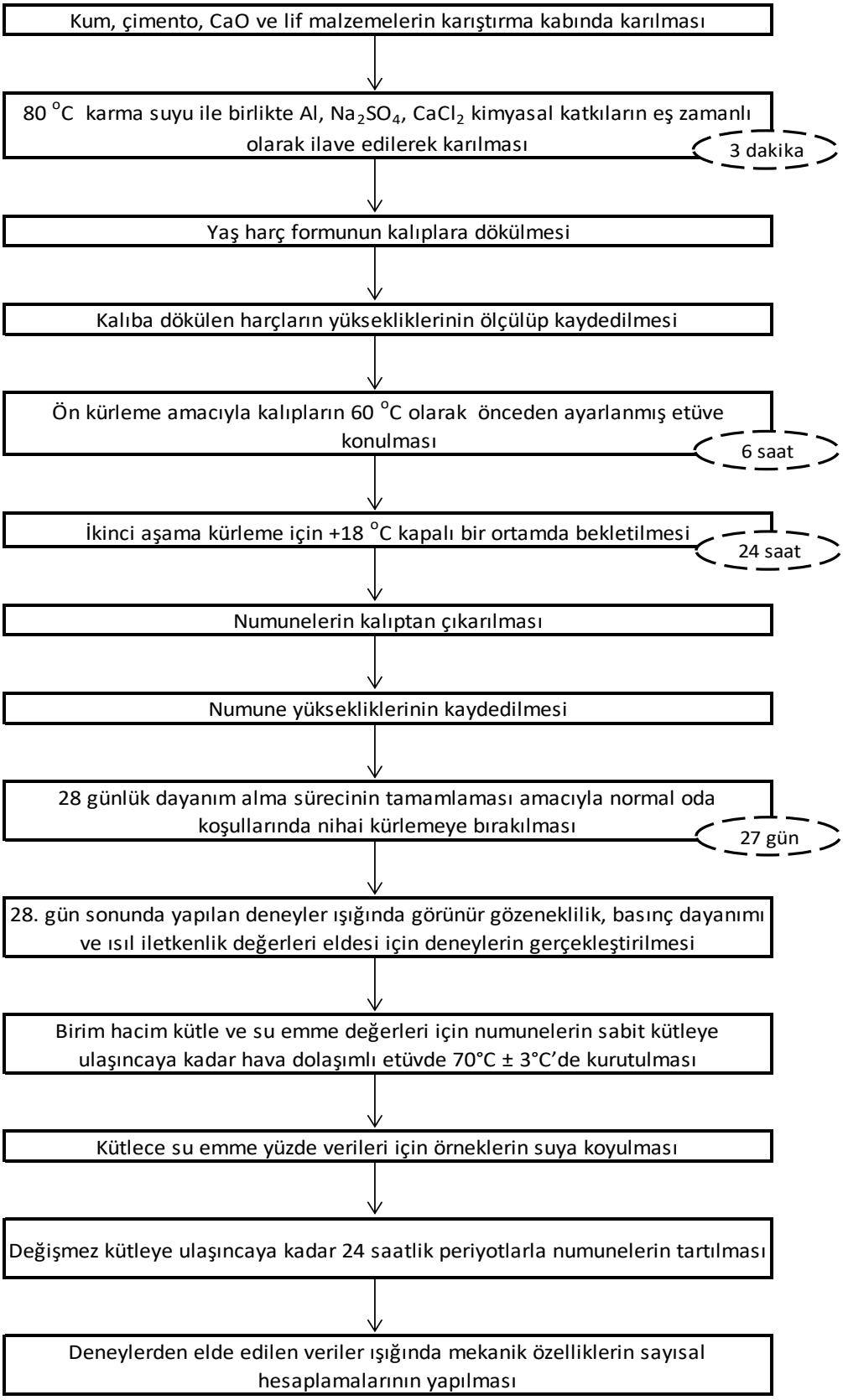
Tablo 3.1 Birinci yaklaşım yöntemi için test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları (Ağırlıkça)

Numune	Çimento (%)	Lif (%)	Kum (%)	CaO (%)	Al (%)	Na_2SO_4 (%)	$CaCl_2$ (%)	Su/Katı
MK1	34	0	55,90	9	0,10	0	1	0,65
MK2	34	0	53,90	9	0,10	2	1	0,65
MU1	34	1,25	52,65	9	0,10	2	1	0,65
MU2	34	1,50	52,40	9	0,10	2	1	0,65
Mİ1	34	1,25	52,65	9	0,10	2	1	0,65
Mİ2	34	1,50	52,40	9	0,10	2	1	0,65
MB1	34	1,25	52,65	9	0,10	2	1	0,65
MB2	34	1,50	52,40	9	0,10	2	1	0,65

Harç karışımları hazırlanırken karıştırma işleminde homojenliğin sağlanması amacı ile kum, çimento, CaO ve lif malzemeler öncelikli olarak bir araya getirilmiştir. Daha sonra, 80 ^{o}C olduğu ölçülen sıcak karma suyu ile birlikte Al, Na_2SO_4, $CaCl_2$ kimyasal katkıları eş zamanlı olarak ilave edilerek karılmıştır. Karma işlemi üç dakika sürmüştür. Karma işlemi sırasında sıcak suyun etkisiyle kimyasal tepkimelerden oluşan kabarcıkların zarar görmemesi için hazırlanan yaş harç formu, belirlenen kalıplara zaman kaybetmeksizin dökülmüştür ve yükseklikleri kaydedilmiştir. Kalıplara dökülüp etüve girmeye hazır hâle gelen numuneler önceden 60 ^{o}C olarak ayarlanmış etüv ortamına 6 saat süreyle ön kürleme işlemine bırakılmıştır. 6 saatlik etüv süresini tamamlayan numuneler ikinci bir kürleme olarak 24 saat boyunca sıcaklığı +18 ^{o}C olan kapalı bir ortamda bekletilmiştir. Kürünü alan otoklavsız gazbeton kâgir blok örnekleri kalıplardan çıkarılarak normal oda koşullarında nihai kürlemeye bırakılmıştır. Numune hazırlığının hiçbir aşamasında otoklavla kürleme gerçekleştirilmemiştir.

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örnekleri 100×100×120 mm boyutlarında dikdörtgen şeklinde hazırlanmıştır. İlave olarak üçer adet levha şekilli numune dökümleri yapılmıştır. Prizini aldıktan sonra kalıplardan çıkarılan test örneklerinin 1, 3, 7, 14, 21 ve 28. günlerinde ağırlık değişimleri düzenli olarak kaydedilmiştir. 28 günlük dayanım alma süresini

tamamlayan numunelerin birim hacim kütle, su emme, görünür gözeneklilik, basınç dayanımı ve ısıl iletkenlik değerleri analiz edilmiştir. Numunelerin birim hacim ağırlık analizleri TS EN 1015-10 standardına uygun olarak tespit edilmiş olup, diğer fiziksel ve mekanik analizler TS EN 771-4 standardı ve ilgili standartların öngördüğü prensiplere göre uyarlanarak analiz edilmiştir [36,37].



Şekil 3.9 Alternatif lif türlerinin otoklavsız gazbeton teknik özelliklerine etkileri yaklaşım yöntemi için karıştırma ve imalat prosedürü

3.2.2 Lif ve Alüminyum Kullanım Oranı Değişimlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi

Bu deneysel tez çalışmasında, otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerin ağırlıkça üç farklı alüminyum oranı kullanımı altında lif kullanım miktarının teknik özelliklerde meydana getirdiği değişikliklerin incelenebilmesi amacıyla çeşitli ağırlıkça yüzde karışım oranları tasarlanmıştır. Endüstriyel atık lif etkisini belirlenen her Al yüzde değerince inceleyebilmek adına lif kullanmaksızın hazırlanan kontrol numunesi karışımları oluşturulmuştur. Numune harçlarında lif türü olarak "Lif 2" kullanılmıştır. Otoklavsız gazbeton numuneleri için belirlenen harç kombinasyonları Tablo 3.2'de gösterilmektedir. MK1, MK2 ve MK3 kodlu otoklavlanmamış gazbeton örnekleri, lif kullanım miktarlarının kıyaslanabilmesi ve lif kullanımının uygunluğunun belirlenmesi açısından lif kullanılmaksızın formülize edilmiştir. MK1, MK2 ve MK3 kontrol numuneleri arasındaki farklılık, ağırlıkça Al ihtiva oranına ve dolayısıyla ağırlıkça kum oranına bağlıdır. MK1 kodlu numunelerde Al ağırlıkça yüzdesi 0,08; MK2 örneklerinde %0,12 ve MK3 numunelerinde %15 olacak şekilde tasarlanmıştır.

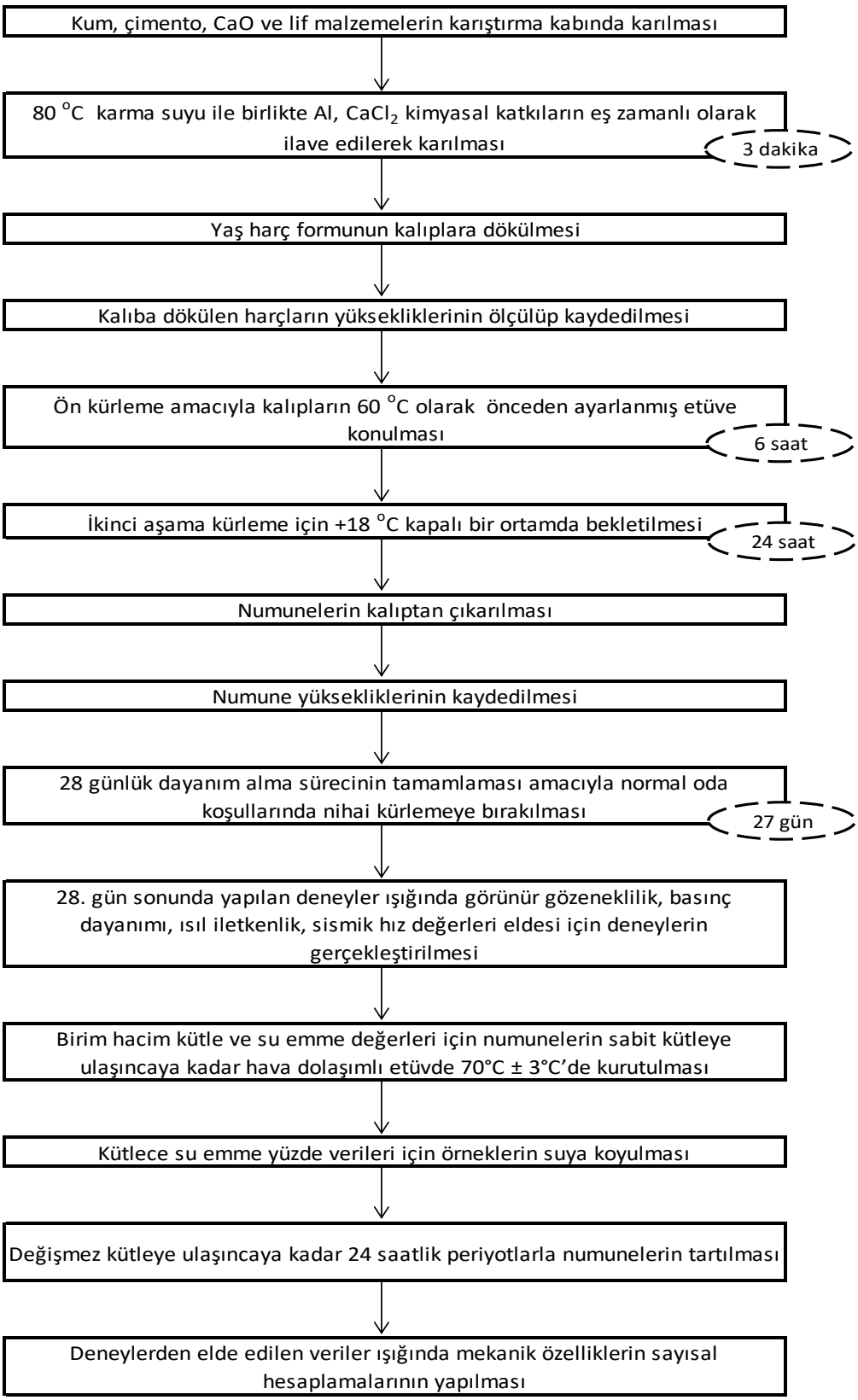
Tablo 3.2 İkinci yaklaşım yöntemi için test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları (Ağırlıkça)

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

Otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerinin her kombinasyon için hazırlanma aşamasında karıştırma kabı içerisine öncelikle çimento, CaO, lif ve ana agrega bileşeni olan kum konulmuş ve özellikle liflerin eşit dağılması için az miktarda karıştırılmıştır. Bir sonraki aşama olarak 80 ^{o}C'ye kadar ısıtılan karma suyu, CaCl2 ve genleştirici ajan olan Al ile eş zamanlı olarak kaba ilave edildikten sonra homojen bir matris yapı elde etmek amacıyla 3 dakika kadar karma işlemi uygulanmıştır. Elde edilen bu homojen harç karışımları, vakit kaybı olmaksızın önceden yağlanıp hazırda bekletilen kalıplara yerleştirilmiştir. Numunelerin genleşme oranlarının saptanabilmesi için harçların etüv öncesi yükseklikleri ölçülüp kaydedilmiştir. Kalıplara yerleştirilen otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örnekleri, 6 saat süreyle

60°C ayarlanan etüve koyulmuştur. Etüvde 6 saatlik ön kürleme işlemini tamamlayan örnekler 24 saat boyunca +18 ^{o}C sıcaklıktaki kapalı bir ortamda kürlemeye bırakılmıştır. Bu işlemler sırasında otoklava maruz bırakılmayan gazbeton kâgir blok örnekleri son olarak nihai kürleme için oda koşullarında beklemeye alınmıştır. Genleşme miktarlarının hesaplanabilmesi ve kıyaslanabilmesi için numune yükseklikleri kumpas yardımıyla ölçülüp not edilmiştir. 28 günlük kür süresini tamamlayan numunelerin birim hacim kütle, basınç dayanımı, gözeneklilik ve ısıl iletkenlik değerleri analiz edilmiştir. Su emme değeri için numuneler suya koyulmuştur ve üç gün boyunca her 24 saatte 1 tartılıp suya tekrar bırakılmıştır. Üçüncü günün sonunda 100 ^{o}C önceden ısıtılmış etüvde 24 boyunca suyunu tamamen kaybedene dek bekletilmiştir. Suyunu tamamen kaybeden test örnekleri tartılmış, bu sayede de su emme oran değerlerine ulaşılmıştır. Test örneklerinin birim hacim ağırlık analizleri TS EN 1015-10 ‘‘Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlesinin tayini’’ standardına uygun şekilde tespiti yapılmıştır. Basınç dayanımı, ısıl iletkenlik ve gözeneklilik analizleri TS EN 771-4 ‘‘Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 4: Gazbeton kâgir birimler’’ standardı ve ilgili standartların öngördüğü prensiplere ışığında incelenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, endüstriyel atık lif katkılı olarak hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton örnekleri, her bir karışım formülasyon çalışmasında 15’er adet 100×100×120 mm boyutlu dikdörtgen ve 3’er adet levha numunesi olacak şekilde planlanarak fiziksel ve mekanik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10 Lif ve alüminyum kullanım oranı değişimlerinin otoklavsız gazbeton teknik özelliklerine etkileri yaklaşım yöntemi için karıştırma ve imalat prosedürü

Bölüm 4

Bulgular ve Tartışma

4.1 Alternatif Lif Türlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan numuneler üzerinde yapılan iki farklı yaklaşım ile incelenen test ve değerlendirmelerden ilk yaklaşım yöntemi ile elde edilen fiziksel ve mekanik özelliklere ait verilerin ortalamaları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

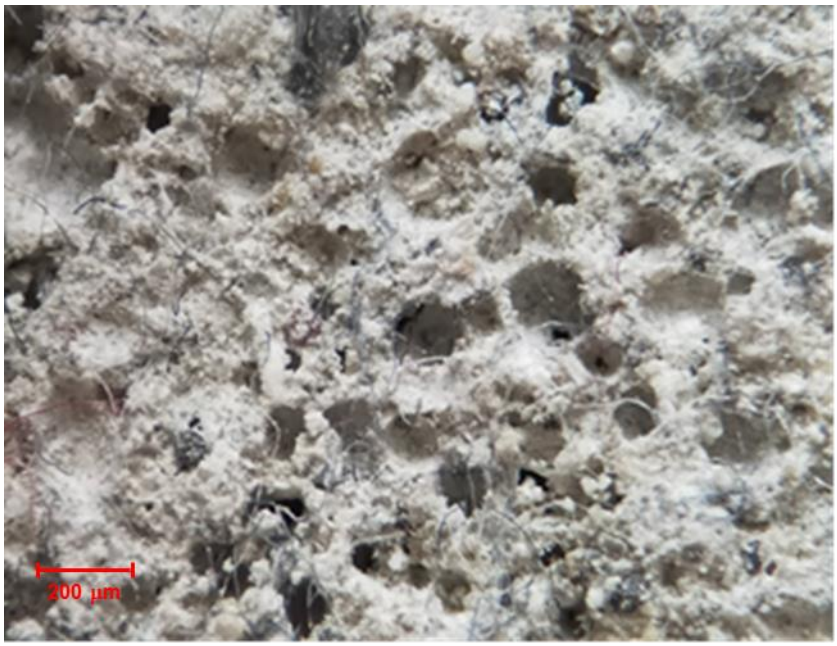
4.1.1 Mikroskobik Yapısal Analiz

Mikroskobik yapısal analiz, malzemelerin mikro yapısını anlamak ve görsel olarak irdeleyebilmek için mikroskop yardımıyla uygulanabilen bir yöntemdir. Bu yöntem ile kayıt altına alınan görseller, yapılan ürün incelemelerinde matris yapıdaki etkin görsel parametrelerin tanımlanması ve bu sayede ürün geliştirmeye ışık tutması için önemli bir veri aracıdır. Yapılan bir çalışmada, gazbetondaki yapay hava gözenek sisteminin geometrik yapısını incelenmiştir. Bağlantısız gözenekler küre olarak kabul edilmiş ve kütledeki gözenek yarıçapı dağılımı düzlemsel kesitlere ilişkin görüntülerin analizi ile elde edilmiştir. Analizlerde 0,35 ile 0,81 g/cm^3 aralığında yoğunluk değerlerine sahip dört farklı gazbeton bloğundan alınan kesitlerin incelemesi yapılmıştır. Gözeneklerin konuma göre dağılımı "cherry pit" (dıştan içeri doğru kısmen nüfuz edilebilirlik) modeli ile açıklanmaya çalışılmıştır [38]. Bu çalışmada, mikroskobik yapısal incelemenin amacı, otoklavlanmamış gazbeton kâgir

blok elemanların matris yapısının, gözeneklilik durumunun ve harç karışım bileşenlerinde yer alan agrega ve lif materyallerinin fiziksel şekilleri ile matris yapıdaki dağılımların, oluşturdukları formların incelenmesine olanak sağlamasıdır. Bu tez çalışması kapsamında, hidrate olmuş ve dayanım alma sürecini tamamlamış otoklavlanmamış gazbeton kagir blok örneklerinin mikroskobik yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bazı karışım kombinasyonları için görsel bulgular Şekil 4.1 – Şekil 4.4'de verilmiştir.

Şekil 4.1 MK2 örneğine ait genel yapısal görünümü

Şekil 4.2 MU2 örneğine ait genel yapısal görünümü



Şekil 4.3 Mİ2 örneğine ait genel yapısal görünümü

Şekil 4.4 MB2 örneğine ait genel yapısal görünümü

Bu tez çalışmasının ilk yaklaşım yöntemi kapsamında hazırlanan test numunelerinden alınan mikroskobik görsellerden de görüldüğü üzere, üç endüstriyel atık lif katkısının da matris yapıda saçınımlı olarak düzenli ve/veya düzensiz dağılım sergilediği gözlenmiştir. Matris yapı incelendiğinde, aynı karışım kombinasyonuna ait numunelerde benzer boşluk yapıları görülmekle birlikte, farklı kombinasyonlarca hazırlanmış otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örnekleri karşılaştırıldığında kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan gözeneklilik oranlarındaki farklılıklar dikkat çekmektedir. Lif 1 ve Lif 2 olarak kodlanan kot kumaş açma elyafından elde edilen pamuk ve sentetik bileşenli lif kullanılan numunelerin, Lif 3 olarak kodlanan endüstriyel kâğıt atıklarının geri dönüşümünden elde edilmiş yüksek oranda selüloz içeren doğal lif ihtiva eden numunelere oranla matris yapıda daha düzenli boşluklara sahip olduğu söylenebilmektedir. Matris yapıda oluşan düzensiz boşluklar, düzenli dağılımlı gözeneklere göre mekanik özellikler açısından malzemeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebepten, MU1-MU2 ve MI1-MI2 kodlu otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerinin MB1-MB2 kodlu numunelere oranla daha iyi mekanik davranış göstermesi beklenmektedir.

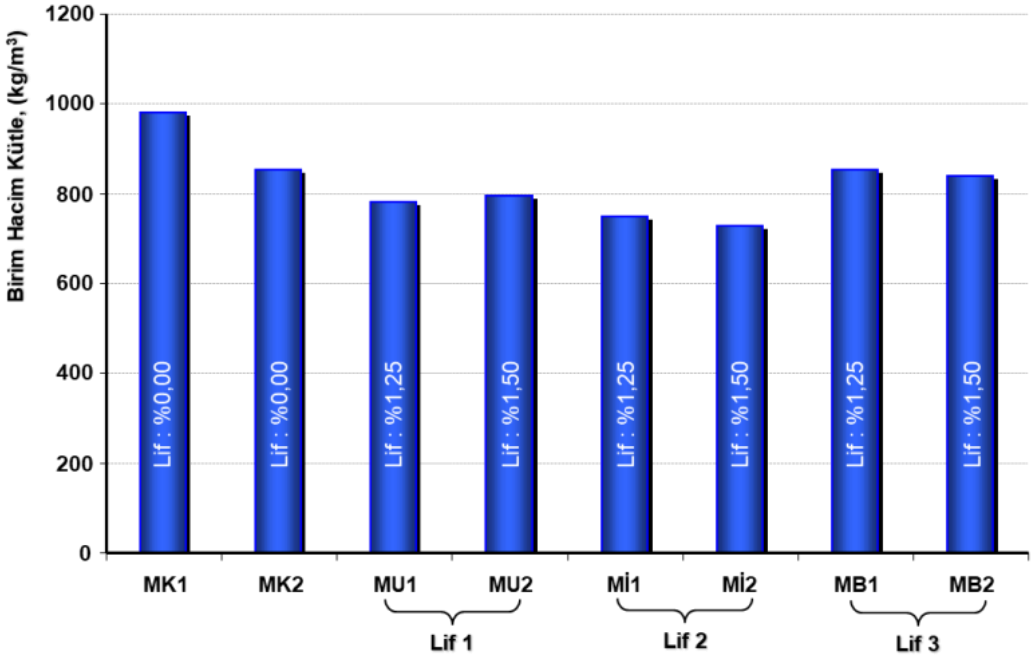
Tablo 4.1 Karışımlara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler

Numune	Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	Kütlece Su Emme (%)	Basınç Dayanımı (N/mm^2)	Görünür Gözeneklilik (%)	Isıl İletkenlik (W/mK)
MK1	979	41,90	1,46	49,12	0,288
MK2	854	44,55	0,76	45,94	0,241
MU1	781	47,82	1,70	46,61	0,205
MU2	793	49,85	1,88	50,51	0,218
Mİ1	749	45,80	1,28	44,60	0,214
Mİ2	725	48,87	1,12	46,86	0,196
MB1	852	44,85	1,44	47,97	0,234
MB2	839	45,97	1,18	47,33	0,235

4.1.2 Kuru Birim Hacim Kütle

Gazbeton kâgir blok elemanların irdelenmesinde en önemli parametrelerden biri birim hacim ağırlık değeridir. Numune kuru birim hacim kütlesi Eşitlik 2'de verilen bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.Birim hacim ağırlık değerinin basınç dayanımı ve ısıl iletkenlik değerlerine etki ettiği göz önünde bulundurulduğunda uygulama yeri açısından belirlenmesi gerekmektedir. Düşük birim hacim ağırlık değerine sahip gazbeton bloklar, yüksek birim hacim ağırlığa sahip gazbeton blok elemanlara kıyasla düşük basınç dayanım değerine sahip olabilmektedir. Bu sebeple düşük birim hacim ağırlığa sahip gazbeton kâgir elemanların, yapıların taşıyıcı özellik beklenmeyen kısımlarında kullanımının uygunluğundan bahsedilebilmektedir. Taşıyıcı olmayan yapı birimlerinde gazbeton kullanımı görülen binalarda, ağır blok elemanlar yerine gazbeton kullanımı sayesinde ölü yük değerlerinin düşük seviyelere çekilmesine yardımcı olduğu görülmektedir. Özellikle yapıların depremsellik açısından daha efektif duraylılığını da gündeme getirmektedir. Harç numunelerinin kuru birim hacim kütlesini belirlemek için, TS EN 1015-10 standardına uygun olarak, numuneler sabit kütleye ulaşıncaya kadar hava dolaşımlı etüvde 70°C ±

3°C'de kurutulmuştur. Sonrasında 0.01 g duyarlığa sahip elektronik terazi ile her bir numunenin kütlesi ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Daha sonra her bir numunenin eni (w), boyu (L) ve yüksekliği (h) 0.01 mm hassasiyetli elektronik kumpasla ölçülmüş ve hacmi hesaplanmıştır [36]. Bu tez çalışmasının kontrol numuneleri ve üç farklı lifin ağırlıkça iki kullanım oranıyla hazırlanan ilk yaklaşım yöntemini kapsayan birim hacim ağırlık ortalama değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırmasını görebilmek adına hazırlanan çubuk grafik gösterimi Şekil 4.5'de verilmiştir.



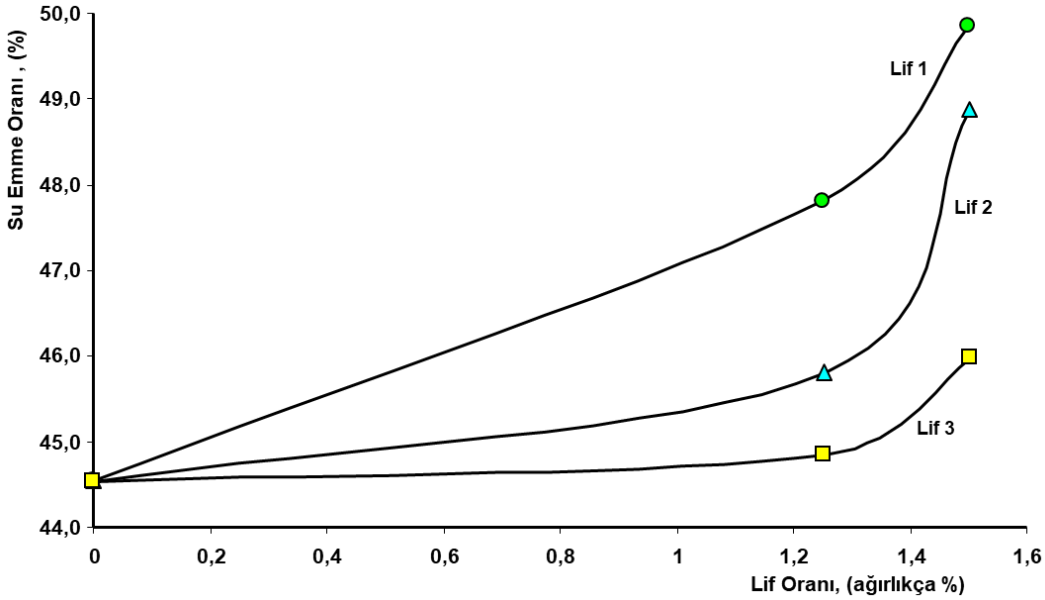
Şekil 4.5 Otoklavsız test örneklerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri değişimi

Bu deneysel tez çalışmasının ilk yaklaşımında, herhangi bir lif ve Na_2SO_4 katkısı kullanılmaksızın üretilen MK1 kodlu kontrol örneklerinin ortalama kuru birim hacim ağırlık değeri 979 kg/m^3 bulunmuştur. Yine lif kullanılmaksızın hazırlanan fakat MK1'den farklı olarak kumla yer değişmeli ağırlıkça %2 oranında Na_2SO_4 katkısı ihtiva eden MK2 kodlu örneklerin kuru birim hacim ağırlıkları ortalaması 854 kg/m^3 belirlenmiştir. %2'lik Na_2SO_4 kullanımının kuru birim hacim ağırlık üzerinde olumlu etki yarattığı söylenebilmektedir. Endüstriyel atık liflerin kullanıldığı

otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numunelerin kuru birim hacim ağırlık ortalama değerlerinin 725 kg/m^3 ile 852 kg/m^3 aralığında seyrettiği görülmüştür. Harç karışım kombinasyonlarında kullanılan ana agrega bileşenleri, bağlayıcı, kimyasal katkı ve su/katı oranlarının eşdeğer özellikte olması ve yalnızca ağırlıkça lif miktarı kullanım oranına bağlı olarak ağırlıkça kum oranındaki değişiklik göz önünde bulundurulduğunda lif türü ve miktarının sertleşmiş otoklavlanmamış gazbeton blokların birim hacim ağırlık değerlerindeki etkisi irdelenebilmektedir. %2 Na_2SO_4 kullanılarak elde edilen lifli numunelerin kuru birim hacim kütle verileri, lif kullanılmaksızın üretilen ağırlıkça %2 oranında Na_2SO_4 içeren MK2 kodlu blokların ortalama birim hacim kütle değeri ile kıyaslanmıştır. Lif 1 (90/10 pamuk/sentetik) türünün, MK2 kontrol numunesine göre birim hacim kütle bazında düşüş gösterdiği saptanmıştır. Ağırlıkça %1,25 oranında Lif 1 içeren MU1 numuneleri MK2 kontrol numunesine oranla %8,6, %1,5 oranında Lif 1 ihtiva eden MU2 örnekleri ise %7,1 hafiflemiştir. Lif 1 türünün kullanım oranının yükseltilmesinin birim hacim kütle değerinde %1,54'lük artışa sebep olduğu görülmüştür. Aynı şekilde, Lif 2 (70/30 pamuk/sentetik) türünün kullanıldığı numunelerden %1,25 lifli Mİ1 kodlu örneklerin ortalama birim hacim ağırlık değeri, MK2 kontrol bloklarına oranla %12,3 ve %1,5 lif oranına sahip Mİ2 isimli numunelerin birim hacim ağırlık değeri %15,1 düşmüştür. Kuru birim hacim kütle değerleri kıyaslandığında maksimum hafifleme Mİ kodlu numunelerde saptanmıştır. Mİ1 kodlu numunelere kıyasla Lif 2'nin %0,25 oranında artırılarak elde edildiği Mİ2 numunelerinde %3,31 kadar daha düşük birim hacim kütle değerleri elde edildiği görülmüştür. MU ve Mİ kodlu numunelerin birim hacim kütle değerlerine bakıldığında, pamuk/sentetik oranının etkisinden bahsedilebilmektedir. Pamuk oranının düşük, sentetik oranının yüksek olmasının, harcın daha fazla şişmesini sağlayarak malzeme yoğunluğunun düşmesine yardımcı olduğu söylenebilmektedir. Doğal selüloz orijinli Lif 3 türünün %1,25 oranında kullanıldığı MB1 blokların kontrol numunelerine kıyasla %0,3, %1,5 oranında lif ihtiva eden MB2 numuneleri ile MK2 numuneleri arasında %1,8 gibi yoğunluk düşüşü saptanmıştır. MB kodlu otoklavlanmamış gazbeton kâgir blokların birim hacim kütle değerlerine bakıldığında, lifsiz kullanılmaksızın hazırlanan MK2 kontrol numunelerine göre ihmal edilebilecek düzeyde lif etkisi olduğundan bahsedilebilmektedir.

4.1.3 Kütlece Su Emme

Yüksek oranda suya maruz kalacak ortamlarda kullanılması beklenen ya da sıvasız olarak uygulanıp kullanılması beklenen duvar örme için kullanılan kâgir blokların kütlece su emme değerleri, yapı elemanının nem barındırma ve buna bağlı olarak gelişebilecek bazı olumsuzlukların irdelenmesi açısından önem arz etmektedir. Kütlece su emme değeri yüksek malzemelerde, bünyesinde tuttuğu nem miktarına bağlı olarak ısıl performans ve yük taşıma kapasitesi gibi mühim özelliklerde olumsuz etkilenmeler söz konusu olabilmektedir. Bu deneysel tez çalışması kapsamında hazırlanan tüm harç kombinasyonlarından elde edilen otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numunelerin kütlece su emme değerleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Kombinasyon karşılaştırmaları grafiksel olarak Şekil 4.6 üzerinden yorumlanmıştır.



Şekil 4.6 Lif kullanım oranı ve kütlece su emme değerleri analizi

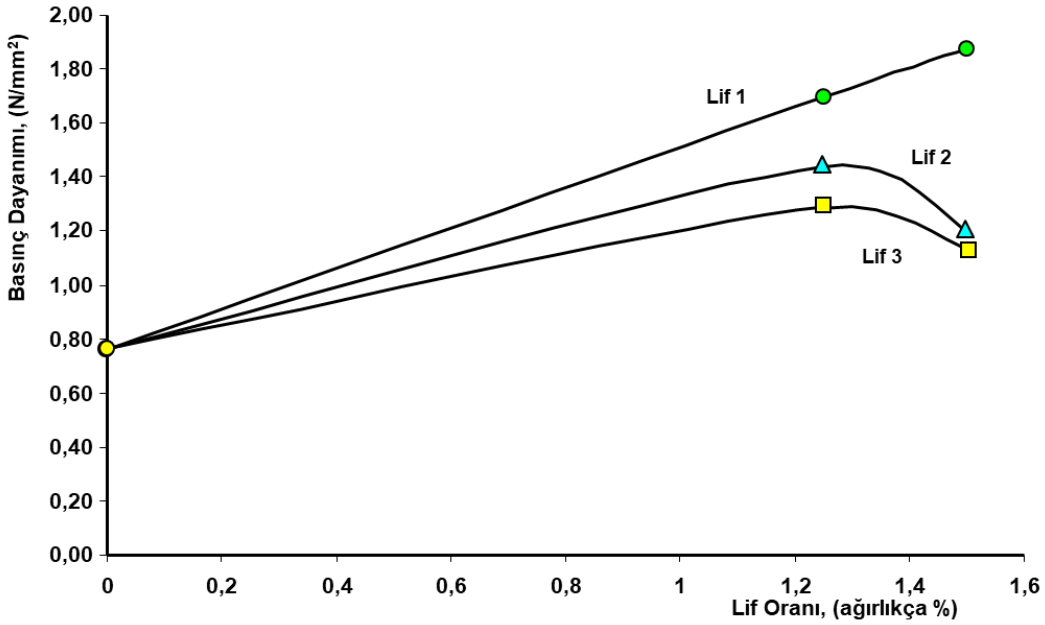
Herhangi bir lif katkısı ve sodyum sülfat kullanılmaksızın üretilen MK1 blok örneğinin kütlece su emme değeri %41,90 bulunmuştur. Sodyum sülfat ve lif kullanım analizinin yapılabilmesi amacıyla dökülen MK2 kontrol örneklerinin

ortalama su emme değeri ise %44,55 olduğu görülmüştür. Sodyum sülfat kullanımının, gözenek artışına bağlı olarak su emme değerinde %6,3 oranında bir artışa yol açtığı belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında hazırlanan lif katkılı otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numunelerinin kütlece su emme değerlerinin ortalama %44,85 ile %49,85 aralığında kaldığı görülmüştür. Lif 1 (90/10 pamuk/sentetik) türünün kullanıldığı MU kodlu numunelerde MK2 kontrol örneklerine göre daha fazla kütlece su emme değeri ile karşılaşılmıştır. %1,25 Lif 1 ihtiva durumunda MK2'ye göre %7,35 oranında ve ağırlıkça %1,5 kullanımında ise yine MK2 kontrol örneğine oranla %11,9'luk bir su emme değeri artışı olduğu tespit edilmiştir. 70/30 pamuk/sentetik içerikli Lif 2 türünün kullanıldığı Mİ numunelerinin MK2 ile kıyaslanmasından, ağırlıkça %1,25'lik lif kullanımında %2,8 ve ağırlıkça %1,5 lif kullanımından %9,7'lik su emme değer artışı söz konusudur. Lif 1 ve Lif 2 kullanımının mukayesesinden, lif içeriğinde pamuk oranının yüksek olmasının su emmeyi artırdığı sonucuna varılabilmektedir. Lifteki sentetik oranı arttıkça, lif ihtiva oranları da göz önünde bulundurulmak koşuluyla su emme değerinde düşüş görülmektedir. Kütlece su emme değerini etkileyen faktörlerden diğeri ise lifin ortalama uzunluğu olduğu tecrübe edilmiştir. Malzeme karakteristiği açısından su tutma eğilimi yüksek liflerin aynı zamanda daha uzun boylarda kullanımı, harç matrisinin daha yüksek su tutma kapasitesi oluşturmasına ve dolayısıyla su emme değerinin yükselmesine sebep olabilmektedir. Bu bağlamda, düşük su emme değerlerinde arzu edilen malzeme üretimlerinde, pamuk oranı düşük, sentetik oranı yüksek ve daha kısa boyutta lif kullanımın uygun olacağı görülmektedir. %100 doğal selülozdan oluşan Lif 3 türünün kullanıldığı %1,25 lif oranına sahip MB1 örneklerinin MK2 ile karşılaştırılmasında %0,7 oranında, ihmal edilebilecek değerde artış gösterdiği görülmüştür. %1,5 oranında Lif 3 içeren MB2 blok örneklerinin kontrol numuneleri ile kıyaslanması sonucunda ortalama su emme değerinde %3,2 oranında artış eğilimi tespit edilmiştir. Lif boyunun küçük olması ve pamuk-sentetik yerine doğal selüloz içermesi sayesinde Lif 3 ihtiva eden otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerinin, diğer lifli örneklere kıyasla daha düşük su emme değerine sahip olmasına olanak sağladığı görülmektedir. Genel bakış olarak otoklavlanmamış gazbeton blok üretimlerinde matris yapıda pamuk-sentetik bileşenli ve/veya doğal selüloz orijinli lif kullanımların su emme değerinde artışa yol açtığı ve lif boyunun su emme ile ters çalıştığı, artan lif boyunun su tutan birimler oluşturduğu tecrübe

edilmiştir. Yapılan deneysel bir çalışmada da benzer sonuca ulaşılmıştır. Araştırmada yapılan kıyaslamada, karbon elyafların boylarının artırılmasıyla matris yapı içerisinde birbirleriyle daha fazla temas imkanı sağlaması sebebiyle betonun hava muhtevasının ve su emme kapileritesinin arttığı tespit edilmiştir [39].

4.1.4 Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı, çoğu yapı malzemesinden beklendiği gibi hafif beton bloklar için de önemli bir parametredir. Ürünün zarar görmeden, uygulama yerinde taşıyabileceği yük kapasitesinin saptanmasını sağlamaktadır. Nihai ürünün dayanımını artırmak için sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri, harç içerisine donatı işlevi sağlamak amacıyla ilave edilen lif malzemelerdir. Bu tez çalışmasında, donatı materyali işlevi görebilecek nitelikte, boyutlandırılmış üç ayrı lif türünün iki farklı oranda kullanıldığı otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerinin 28 gün kür sonrası basınç dayanım verileri Tablo 4.1'de verilmiştir. Elde edilen veriler ışığında lif türlerinin ve kullanım oranlarının basınç dayanımı üzerindeki etkisi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası basınç dayanım değerleri analizi

Bu tez çalışmasının ilk yaklaşım yönteminden elde edilen basınç dayanım deneyi verilerinden de görüleceği üzere, herhangi bir lif ve sodyum sülfat kullanılmaksızın hazırlanan kontrol örneğinin 28 gün kür sonrası basınç dayanım değeri 1,46 N/mm^2 hesaplanmış iken, lif ilave edilmeden yalnızca ağırlıkça %2 sodyum sülfat ilave edilerek hazırlanan MK2 kontrol numunelerinin ortalama basınç dayanım değeri, MK1'e göre %47,8 düşüş göstererek 0,76 N/mm^2 bulunmuştur. Bu iki kontrol numunesi basınç dayanım değerleri arasındaki yüksek farklılığın sodyum sülfat kullanımından kaynaklı daha gözenekli bir matris yapı oluşması ve buna bağlı olarak bağ dokunun zayıflaması olduğu düşünülmektedir. Birinci yaklaşım yöntemi için hazırlanan lif katkılı numunelerin ortalama basınç dayanım değerleri 1,12 N/mm^2 - 1,88 N/mm^2 aralığında değişim göstermiştir. Lif 1 türünün kullanıldığı MU kodlu numunelerde, aynı karışım bileşenine sahip kontrol numunelerine göre ortalama basınç dayanım değeri ağırlıkça %1,25 lif kullanımında 2,23 kat ve ağırlıkça %1,5 lif ihtiva oranında ise 2,47 kat dayanım artışı tespit edilmiştir. Lif 1 türünün kullanıldığı test örneklerinde ağırlıkça %0,25'lik artış uygulanmanın sonucu basınç dayanımında %10,5 oranında bir iyileşme sağladığı görülmüştür. 90/10 pamuk/sentetik içeren, yüksek pamuk bileşenli ve 3 mm uzunluğundaki Lif 1 malzemesinin pamuk oranı yüksekliği ve boyutunun uzunluğu sayesinde MU blok numunelerin matris yapısında

daha yüksek bir lif olgusu ve daha kompakt form oluşturduğu gözlenmiştir. Bu durumun, dayanım değerlerinde rasyonel bir iyileşmeye neden olduğu tecrübe edinilmiş ve grafiksel gösterimle de desteklenmiştir. Lif 2 türünün kullanıldığı otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerinden ağırlıkça %1,25 lif ihtiva eden Mİ1 numunelerinin ortalama basınç dayanım değeri 1,28 N/mm^2 hesaplanmış olup, kontrol numunesinin sahip olduğu basınç dayanım değerinden 1,68 katı daha dirençli olduğu saptanmıştır. Lif 2 oranının yükseltildiği, ağırlıkça %1,5 lif ihtiva oranına sahip Mİ2 kodlu blok örneklerinde ise kontrol numunesinin dayanımına oranın 1,48 kata düştüğü, lif miktarının artırılmasıyla, hesaplanan basınç dayanım değerinin 1,12 N/mm^2'ye gerilediği görülmüştür. Ağırlıkça %0,25'lik Lif 2 artışıyla, Mİ2 numunelerinde dayanımın %12,3 oranında düşüşe geçtiği analiz edilmiştir. Lif 2 türünün kullanıldığı numuneler ile Lif 1 türünü içeren numuneler göz önüne alındığında, lif içeriğindeki pamuk oranının ve lif boyutunun öneminden bahsedilebilmektedir. Lif miktarına bağlı basınç dayanımındaki bu düşüşün, kısa boyutlu liflerin matris yapıda yeterli düzeyde donatı görevi oluşturamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda, Lif 2 türünün otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok üretimlerinde optimum kullanım oranının belirlenmesi gerekmektedir. İstatistiksel analizlerden yola çıkılarak tespit edilen optimum ağırlıkça Lif 2 kullanım oranının %1,33'lük bir ihtivaya denk geldiği ortaya konmuştur. Doğal orijinli selüloz atık lif olan Lif 3'ün harç karışım kombinasyonlarında kullanımıyla elde edilen blok numunelerin kontrol örneklerine göre basınç dayanım değerlerinde ağırlıkça %1,25 lif kullanımında 1,89 kat ve lifin %1,5 oranında ihtivası ile 1,55 kat iyileşme sağladığı tespit edilmiştir. Lif 3 türünün kullanıldığı otoklavsız gazbeton örneklerinde, aynı Lif 2'nin kullanımında görüldüğü gibi lif miktarı artışında basınç dayanım değerinde kötüleşmeye sebep olduğu görülmüştür. Lif 3 kullanımındaki ağırlıkça %0,25'lik artış, basınç dayanımında %17,8 oranında düşüş olarak yansımıştır. Nihai basınç dayanımın, lif kullanım oranında düşüşe uğramasının harç karışımlarında kullanılan lifin kısa boyutlu olmasından kaynaklandığı tecrübe edilmiştir. Genel bir olgu olarak, lif katkılı tüm otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok yapı elemanı örneklerinin dayanım değerlerinin eşdeğer karışımlı kontrol örneklerinin değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasının ilk yaklaşım yönteminde kullanılan her üç lif türünün, kontrol örneğinin basınç dayanım değerine göre beklenildiği gibi önemli

ölçütlerde iyileştirme olguları gösterdiği tespit edilmiş olup, lif bileşimi ve kullanım oranının harç matrisinde oluşturduğu donatı ve kompaktlık özelliği sayesinde tüm lif kullanımlarında dayanım artışlarına sebep olduğu görülmüştür. Tüm bu değerlendirmeler ışığında, genleşme yolu ile elde edilen otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarında, matris yapıda kısa boyutlu lif kullanımlarının uzun boyutlu lif kullanımlarına oranla beklenildiği seviyede basınç dayanım değerlerine ulaşamadığı gözlenmiştir. Karışım matrislerine ilave edilebilecek yeni katkılar ile malzemenin basınca direnci kuvvetlendirilebilir. Bu tez çalışması kapsamından elde edilen basınç dayanım test sonuçlarına göre, hazırlanan lif katkılı otoklavlanmamış hafif beton kâgir blokların, taşıyıcı özellikte olmayan dolgu ve/veya yalıtım amacıyla kullanılan birimler olarak üretilmesine imkân tanıyabilecek özellikler taşıdığı görülmektedir.

4.1.5 Görünür Gözeneklilik

Gözeneklilik, gözenek boşluğu hacminin numune toplam hacmine yüzde oranı olarak tanımlanabilir. Dayanımını gazbeton kâgir blok elemanların birim hacim ağırlık, ısıl iletkenlik ve basınç dayanımı değerlerinde görünür gözeneklilik yapısının ilişkisi önem arz eden parametreler arasında yer almaktadır. Gözenekler açık ve kapalı olarak iki çeşittir. Yüksek orasında kapalı gözenekliliğe sahip malzemelerde durağan bir hava mevcuttur. Özellikle, kapalı gözenekliliğin çok olduğu malzeme yapılarında birim hacim ağırlığın düşük olmasında olanak sağlamakla birlikte bu durum malzemenin yüksek ısıl performans değerlerine ulaşmasına yardımcı olmaktadır. Bu tez çalışmasında görünür gözeneklilik değerleri, birim hacim ağırlık ve su emme değerlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmış ve hesaplanmıştır. Görünür gözeneklilik yüzdesinin bulunmasında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir (4.1).

$$P_1 = \frac{W_f * \rho_t}{\rho_w} \tag{4.1}$$

Burada;

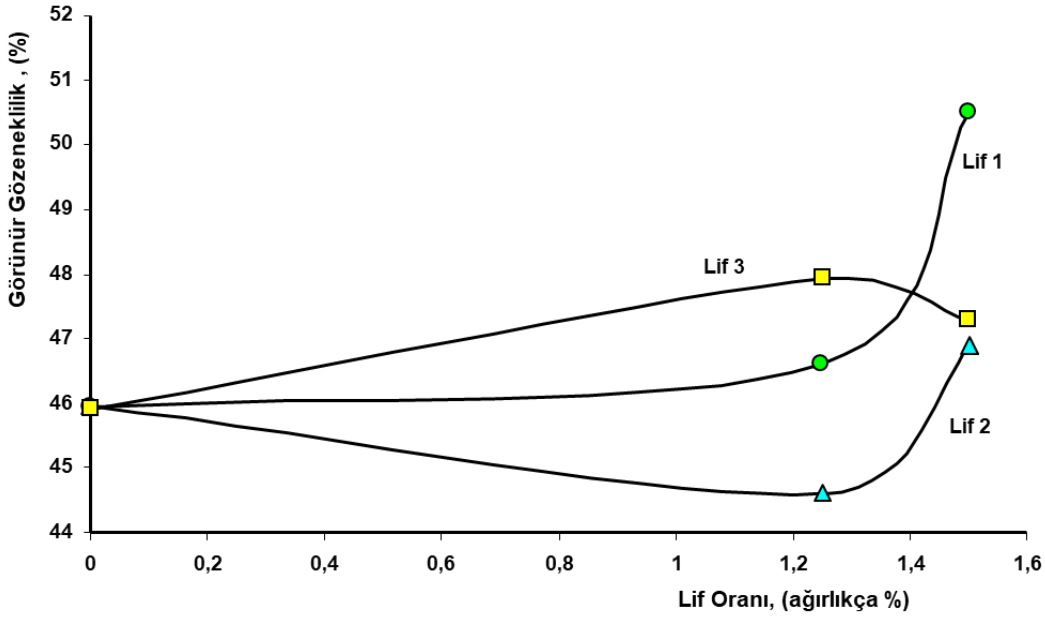
P_1 : Görünür gözeneklilik (%),

W_f : Kütlece Su Emme (%),

ρ_t : Kuru birim hacim ağırlık (kg/m^3),

ρ_w : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

Bu deneysel tez çalışmasının ilk yaklaşımı kapsamında, 3 yarı lif türünün iki farklı kullanım oranında uygulandığı numunelerin 28 günlük kür süresini tamamlamasının ardından yapılan deneylerden elde edilen veriler ışığında hesaplanan görünür gözeneklilik yüzde oranları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Kullanılan eşitlik ile hesaplanan görünür gözeneklilik verileri her kombinasyonun ortalama değeri olarak Tablo 4.1'de ve grafiksel gösterim olarak da Şekil 4.8'de verilmiştir.



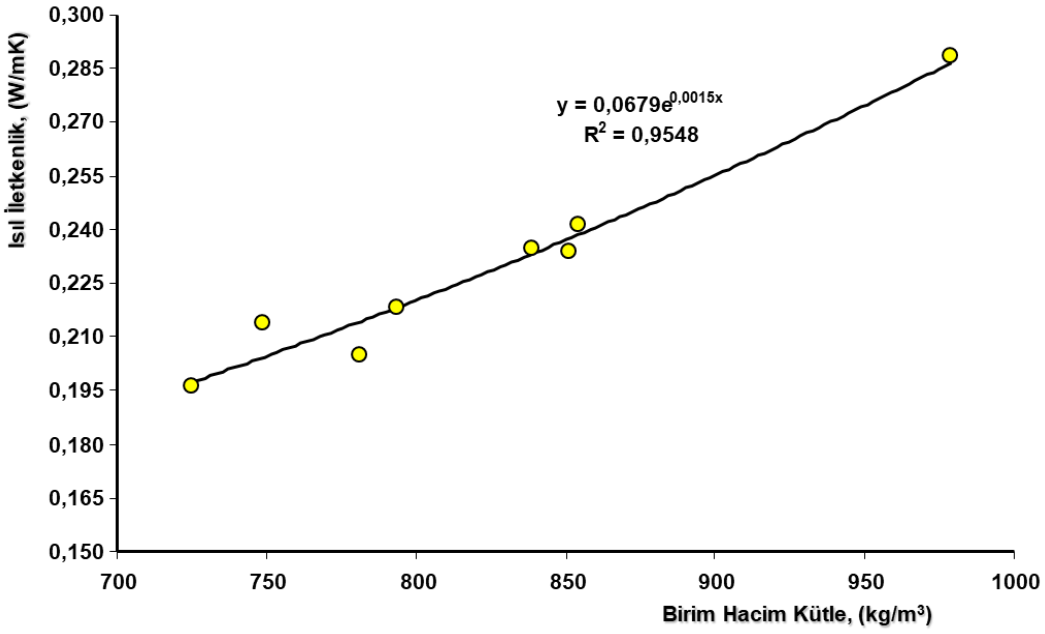
Şekil 4.8 Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası görünür gözeneklilik oran değerleri analizi

Lif ve sodyum sülfat katkısı kullanılmaksızın otoklav işlemi olmadan hazırlanan kontrol örneğinin 28 günlük kür süresi sonrasında ortalama görünür gözeneklilik

oranı değeri %49,12 bulunmuştur. Lif ilave edilmeden yalnızca %2 sodyum sülfat ilavesi yapılarak üretilen MK2 kontrol numunelerinin ortalama görünür gözeneklilik değeri ise MK1'e göre %6,5 düşüş göstererek %45,94 hesaplanmıştır. İki kontrol numunesindeki bu farkın, sodyum sülfat kullanımıyla matris yapıdaki gözenek yapısının artasına bağlı olarak kütlece su emme yüzdesi artarken kuru birim hacim değerinin daha yüksek oranda düşmesine bağlanabileceği düşünülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında, Lif 1 türünün kullanımında eşdeğer bileşime sahip kontrol örneğine göre ortalama görünür gözeneklilik değerinde ağırlıkça %1,25 lif oranında %1,46'lık ve ağırlıkça %1,5 lif oranında ise %9,96'lık bir artış saptanmıştır. Lif 1 kullanımı artırıldıkça sertleşmiş kâgir blokların matris yapısında yüksek gözeneneklilik oluşması sağlanmıştır. Yüksek pamuk oranına sahip olması ve lif boyunun görece uzun olması sebebiyle matris yapıda daha üniform bir saçınım ve daha boşluklu bir matris yapı elde edilebileceği tecrübe edilmiştir. Lif 2 türünün %1,25 oranında kullanıldığı kâgir blok örneklerinin MK2 kontrol numunelerine kıyasla ortalama görünür gözeneklilik değerinde %2,92'lik bir düşüş, %1,5 lif kullanımında ise %2,02'lik bir artış sergilediği görülmüştür. Lif 2 kullanım oranına bağlı görünür gözeneklilik değerleri arasındaki keskin geçişin birim hacim ağırlık değerleri arasındaki değişim oranı ile kütlece su emme değerleri arasındaki değişim oranının birbirine yakın olmamasından kaynaklandığı olarak yorumlanabilmektedir. Lif 1 ile benzer özelliklere sahip olan Lif 2 türünün bileşenindeki pamuk oranının düşük olması ve daha kısa boyutlandırılarak kullanılması sonucu pamuk oranını ve lif uzunluğunun etkisi hakkında yorum yapılabilmiştir. Diğer bir değişle, lif boyutlarının kısalması, matris yapıda karıştırma, kalıba yerleştirme ve özellikle de genleşme özelliği ile elde edilen gazbeton türü matris yapılarda düzensiz formda dağılımlara ve dolayısıyla daha farklı olgularda gözenek oluşumlarına neden olabilmektedir. Lif 2 ile benzer sebeplerden dolayı Lif 3 türünün kullanıldığı Mİ kodlu numunelerin farklı kullanım yüzdelerine bağlı ortalama görünür gözeneklilik değerleri arasında da dalgalanma mevcuttur. Ağırlıkça %1,25 Lif 3 içeren harç karışımlarının sertleşmiş kâgir blok örneklerinin ortalama görünür gözeneklilik değeri kontrol numunelerinden %4,44 oranında daha fazla hesaplanmışken, ağırlıkça %1,5 lif oranına çıkıldığında kontrol numuneleriyle yapılan karşılaştırma sonucu %3,04'lik bir artış oranına gerilediği tespit edilmiştir.

4.1.6 Isıl İletkenlik Özelliği

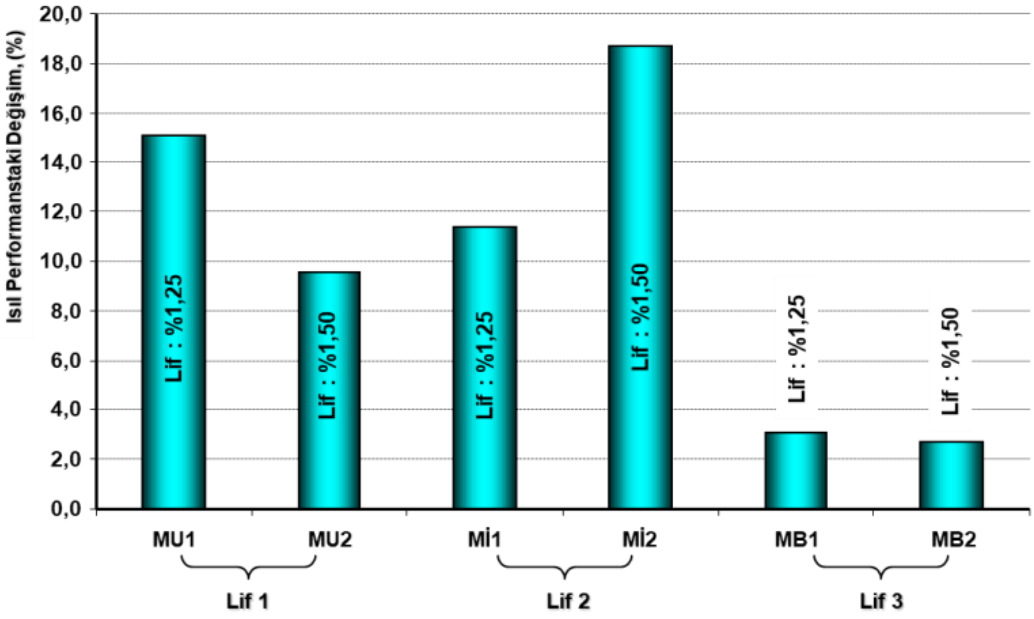
Gazbeton kâgir blok elemanlarında ısıl iletkenlik değerinin en çok etkilendiği parametre olarak gözenekliliğe bağlı düşük yoğunluk değerleri olduğu söylenebilir. Malzemelerin ısıl yalıtım özelliğinin belirlenmesinde ısıl iletkenlik değeri (λ) birim ağırlığın bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Malzemenin birim ağırlığının azalması neticesinde termal iletkenlik değerinin düşmesi, ısıl yalıtım performansının artması beklenmektedir. Birim ağırlığın artması, malzemenin ısıl performansında tam tersi bir eğilim göstermesine yol açar. Deneysel bir çalışmada, TS ISO 8301 Madde 3. 4. 2 "Isıl Özelliklerin Tayini İçin Mümkün Asgarî Kalınlığın Tayini" standardı kapsamında kalınlıkları 12,937 mm ile 48,209 mm arasında değişen 5 adet farklı kalınlıkta, 600 kg/m^3 kuru yoğunlukğa sahip deney parçalarıyla bir ısı akış sayacında ölçme tekniği ile ölçümler yapılmıştır. Gazbetonun poroziteli yapıya sahip olması sebebiyle düşük kalınlıklara indirgendiğinde ısıl köprü oluşumuna yol açabileceği görülmüştür. Bu nedenle düşük kalınlıklara, özellikle 20 mm ve altında gözeneklerin iki yüzey arası deliğe dönüşme, dolayısıyla "ısıl köprü" oluşturma olasılığının da takip edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu kapsamda, farklı yoğunluklarda gazbeton numunelerinin gözenek büyüklüklerinin ve bunların dağılımlarının da araştırılma konusu olabileceği görülmüştür [40]. Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan, 28 günlük kür süresini tamamlamış otoklavlanmamış kâgir blok elemanların ısıl iletkenlik değerleri belirlenmiş olup her harç kombinasyonu için elde edilen bulguların ortalama verileri Tablo 4.1'de verilmiştir. Numunelerin ısıl iletkenlik değerlerinin birim hacim ağırlıkları ile ilişkisinin incelenebilmesi amacıyla garfiksel olarak Şekil 4.9'de ilişkilendirilip analiz edilmiştir.



Şekil 4.9 Birim hacim ağırlık ve ısıl iletkenlik değerleri ilişkisi

Şekil 4.9 irdelendiğinde, hazırlanan lifli ve lifsiz otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerinin birim hacim kütle değerleri ile ısıl iletkenlik durumları arasında lineer kabul edilebilecek düzeyde istatistiksel bir ilişki kurulabilmektedir. Birim hacim ağırlık değerlerinin artması ile ısıl iletkenlik değerlerinin de arttığı görülmektedir. Dolayısıyla, birim hacim ağırlığın düşmesiyle daha enerji verimli form kazanımlarından bahsedilebilmektedir. Lif ve Na_2SO_4 katkısı kullanılmaksızın hazırlanan MK1 kontrol örneğinin 28 gün kür sonrası ortalama ısıl iletkenlik değeri 0,288 W/mK hesaplanmış iken, lif ilavesi olmadan yalnızca ağırlıkça %2 oranında Na_2SO_4 katkısı ile hazırlanan MK2 kontrol örneklerin ortalama ısıl iletkenlik değeri 0,241 W/mK belirlenmiştir. Lif 1 türünün kullanımında, aynı karışım bileşenine sahip kontrol numunesi MK2'ye göre ısıl iletkenlik değerinde, ağırlıkça %1,25 oranında lif ihtivasında %15'lik, harç bileşeninde ağırlıkça %1,5 lif bulunmasında %9,5'lik düşüş gözlenmiştir. Lif 1 türünün harç içerisindeki ağırlıkça ihtiva oranının artırılması durumunda ısıl performans değerinde zayıflamaya yol açtığı görülmüştür. Lif 2 türünde ise bu durum tersine işlemiştir. Aynı harç karışım bileşenine sahip MK2 kontrol örneğine göre, %1,25 Lif 2 içeren Mİ1 numunelerinin ısıl iletkenlik değeri %11,3 oranında düşerken, %1,5 Lif 2 ihtiva eden Mİ2 otoklavsız gazbeton örneklerinin ısıl iletkenlik değeri %18,7 gibi yüksek bir oranda düşüş sergilemiştir. Bu lif türünün otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarında kullanılırken lif

oranının artırılması ısıl performans değerlerinde önemli ölçüde iyileşmelere sebep olduğu görülmektedir. Blok numunelerinde ağırlıkça %1,25 Lif 3'ün kullanılmasıyla elde edilen MB1 örneklerinde, MK2 kontrol örneklerine kıyasla ortalama ısıl iletkenlik değerinde %3 düşüş tespit edilmiştir. Ağırlıkça Lif 3 kullanım oranının %1,5'a çıkartılmasıyla ısıl iletkenlik değeri %2,7 düşme oranı sergilemiştir. MB numunelerinde ağırlıkça Lif 3 oranının değiştirilmesi ısıl iletkenlik değeri bazında küçük değişiklikler yaratmıştır. TS 825'i kullanarak 3. Bölgede yer alan Elazığ'da gazbeton duvar uygulamalarının ısı geçirgenlik katsayısı değerlerinin incelendiği çalışmada, gazbeton duvar örme uygulamalarında Uort= 0,99 – 1,21 W/m2K, sandviç duvar uygulamalarında ise Uort=0,94 – 1,13 W/m2K aralığında sonuçlar elde edilmiştir. Gazbeton duvar uygulamaları kolon ve kirişlere yalıtım uygulanmaksızın ve yalnızca kirişlere yalıtım uygulanarak iki şekilde hazırlanarak karşılaştırılmıştır. Gazbeton ve sandviç duvar uygulamalarından tam anlamıyla verim alabilmek için, kirişlerin ve kolonların da dâhil edilmesiyle tüm cephenin kesintisiz olarak yalıtılması gerektiği sonucuna varılmıştır [41]. Bu tez çalışmasında otoklavsız üretim ile düşük ısıl iletkenlik değerleri elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçlar, duvar örme işleminde kullanılan harç kullanımı etkisiyle küçük bir değişime uğrayabilecektir. Tüm bu lifli otoklavlanmamış gazbeton kâgir elemanların ısıl performans yüzde değerleri grafiksel gösterimle Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Lif türleri – ısısal performans değişim analizi

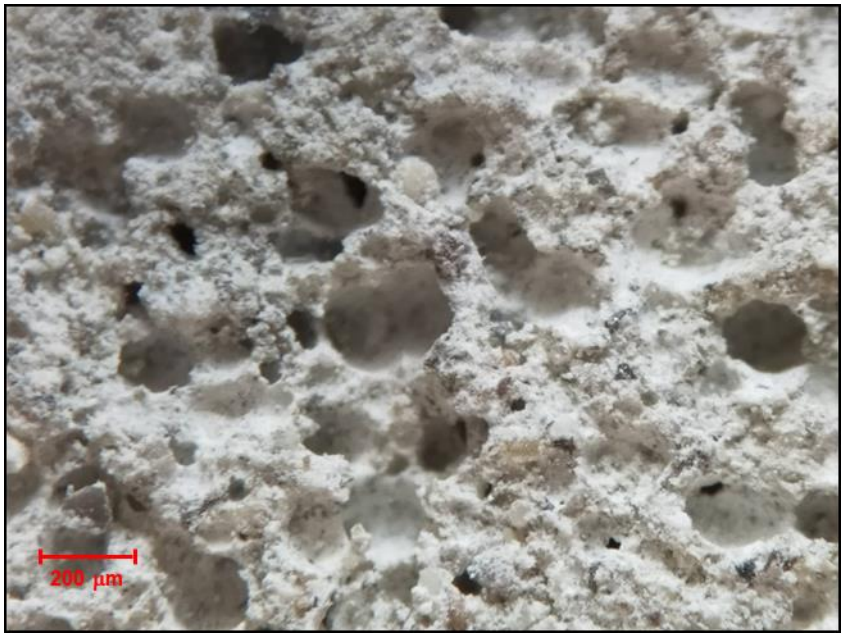
Şekil 4.10'daki grafiksel gösterim incelendiğinde, binalarda enerji verimliliğine katma değer sağlamak amacıyla otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanların içeriğinde endüstriyel atıkların liflerini kullanmanın etkili bir seçim olabileceği görülmektedir. Yapılarda enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için bu çalışmadan edinilen tecrübe ile sırasıyla Lif 2, Lif 1 ve Lif 3 türlerinin kullanımlarının irdelenebileceği görülmüştür.

4.2 Lif ve Alüminyum Kullanım Oranı Değişimlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi

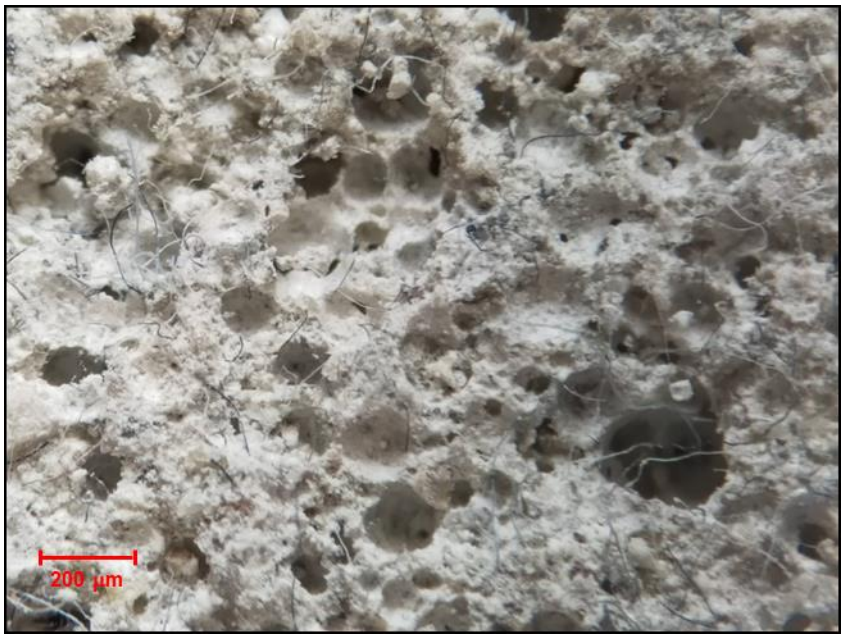
Bu tez çalışması kapsamında ikinci bir yaklaşım olarak Al kullanım oranlarına bağlı olarak ağırlıkça lif kullanım oranlarının etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Bu yaklaşım için hazırlanan numunelere uygulanan deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Tablo 4.2'de verilmiştir.

4.2.1 Mikroskobik Yapısal Analiz

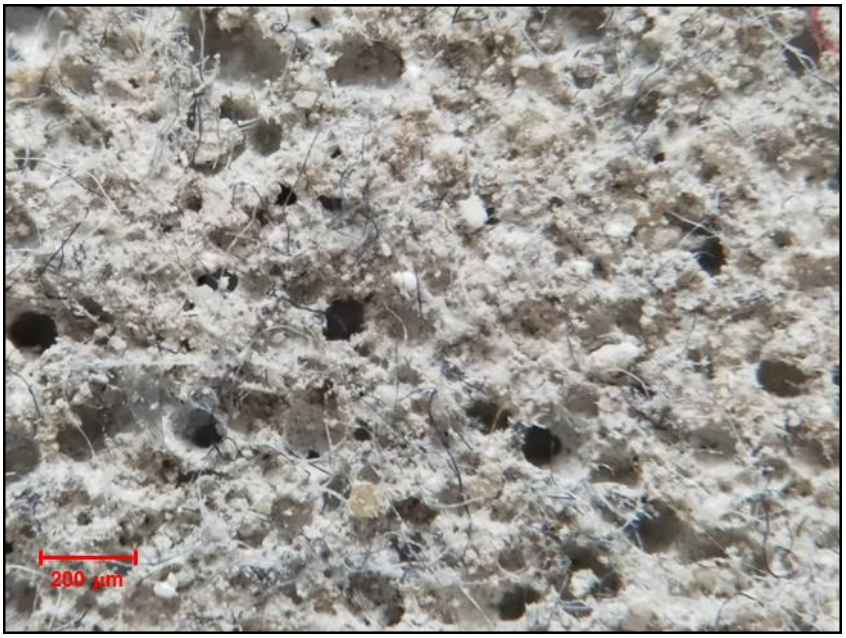
Mikroskobik analiz yardımıyla malzemelerin karakterizasyonu, mikro ve matris yapısı ve kalitesi hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Gazbeton kâgir blok elemanlarının mikroskobik incelemesinde, harç karışımının homojenlik durumu, gözeneneklilik yapısı, hava boşlukları miktarının belirlenmesi ve lif materyalinin saçınım durumu ilk olarak belirlenebilmektedir. Bunlara bağlı olarak, ısıl performans, ses yalıtımı ve basınç dayanımı gibi mekanik özellikler için de ön değerlendirme yapılabilmektedir. Mikroskobik yapısal analiz sayesinde bir ürünün geliştirilmesi oldukça kolaylaşmaktadır. Malzemenin mikroskobik yapısı analiz edilerek artı ve eksilerin erken görülebilmesi, bir malzemenin geliştirilmesi için hem net adımlar atılmasına hem de süreden tasarruf edilerek reel sonuçlara ulaşılmasına olanak sağlamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, 28 gün kürleme süresini tamamlamış, otokavlanmamış lifli gazbeton kâgir blok örneklerinin mikroskobik yapısal analizleri yapılmıştır. Bu analizlere örnek olarak Şekil 4.11 - Şekil 4.15 gösterilmiştir. Bu görseller, kıyaslama kolaylığı açısından 1 adet lifsiz, ağırlıkça %0,12 Al içeren kontrol numunesinden ve 3 adet farklı Al oranlarında hazırlanan %1,25 lif içeriğine sahip örneklerden oluşmaktadır.



Şekil 4.11 MK2 örneğine ait genel yapısal görünümü



Şekil 4.12 MA2 örneğine ait genel yapısal görünümü



Şekil 4.13 MC1 örneğine ait genel yapısal görünümü

Şekil 4.14 MC2 örneğine ait genel yapısal görünümü

Şekil 4.15 MC3 örneğine ait genel yapısal görünümü

Şekil 4.11- Şekil 4.15 görsellerinden de görüleceği üzere, ağırlıkça Al kullanım yüzdesindeki farklı kullanım miktarlarından kaynaklı harç karışımlarında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda matris yapıda oluşan gözenek yapısı, oranı ve

dağılımlarının farklılıklar gösterdiğinden söz edilebilmektedir. Otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numunelerinin harç kombinasyonlarında kullanılan Al miktarı artırıldıkça gözenek boyutlarında büyüme ile karşılaşılmıştır. Bu durum, belirli miktarlarda Al kullanım miktarının genleşme oranı ile doğru orantılı bir ilişkisi olduğunu sembolize etmektedir. Matris yapıda gözeneklilik miktarı fazlalığının bloklarda zayıf basınç dayanımı eldesine neden olduğu önceki çalışmalardan da tecrübe edilmiştir. Dayanımın yanında, matris yapıdaki gözeneklilik artışının diğer mekanik özellikleri de etkilediği bilinmektedir.

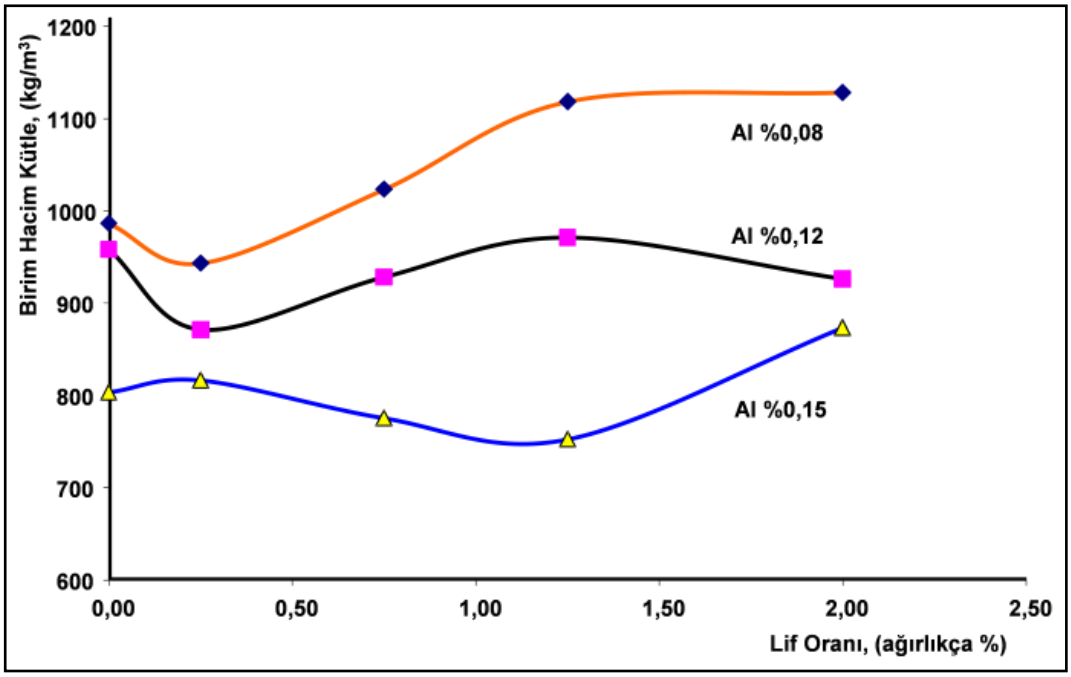
Harç karışım kombinasyonlarının mikroskobik yapısal analiz yardımıyla lif miktarının artırılmasına bağlı olarak malzemenin matris yapısında bulunan liflerde topaklanma, düzensiz dağılım ve ayrışmama gibi sorunlarla karşılaşıldığı söylenebilmektedir.

Tablo 4.2 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 (ν, m/s)	Akustik Empedans (Z, g/cm^2s)	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

4.2.2 Kuru Birim Hacim Kütle

Hafif beton yapı blokların normal betona kıyasla düşük birim hacim kütle değerlerine sahip olması beklenir. Ticari piyasada pazarlaması yapılan hafif beton ürünlerde dikkat çeken parametrelerin başında birim hacim kütle değerleri gelmektedir. Otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarda birim hacim kütle değerinin düşük değerlere sahip olması ölü yükü azaltacağından bina ölü yük dengesini olumlu yönde etkilemektedir. Malzeme gözenekliliğiyle ters orantılı olan kuru birim hacim kütle değeri, basınç dayanım ve ısıl performans değerlerine de dolaylı olarak etki etmektedir. Kuru birim hacim ağırlık değeri düşük olan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok yapı elemanlarında ısıl yalıtım performansının yüksek olması beklenirken göstereceği basınç dayanımının düşük olması beklenmektedir. Bu sebepten, otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanların genellikle taşıyıcı olmayan, bölme duvar malzemesi olarak kullanımı söz konusudur. Harç numunelerinin kuru birim hacim kütlesini belirlemek için, TS EN 1015-10 standardına uygun olarak, numuneler sabit kütleye ulaşıncaya kadar hava dolaşımlı etüvde 70°C ± 3°C'de kurutulmuştur. Sonrasında 0.01 g duyarlığa sahip elektronik terazi ile her bir numunenin kütlesi ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Daha sonra her bir numunenin eni (w), boyu (L) ve yüksekliği (h) 0.01 mm hassasiyetli elektronik kumpasla ölçülmüş ve hacmi hesaplanmıştır [36]. Bu tez çalışması kapsamında hazırlanmış olan tüm numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin her kombinasyon için ortalama değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Kullanılan her üç ağırlıkça Al oranı için ağırlıkça lif oranının birim hacim kütle miktarındaki değişimini gösteren grafik Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 Otoklavsız gazbeton numunelerinin birim hacim kütle değerleri değişimi

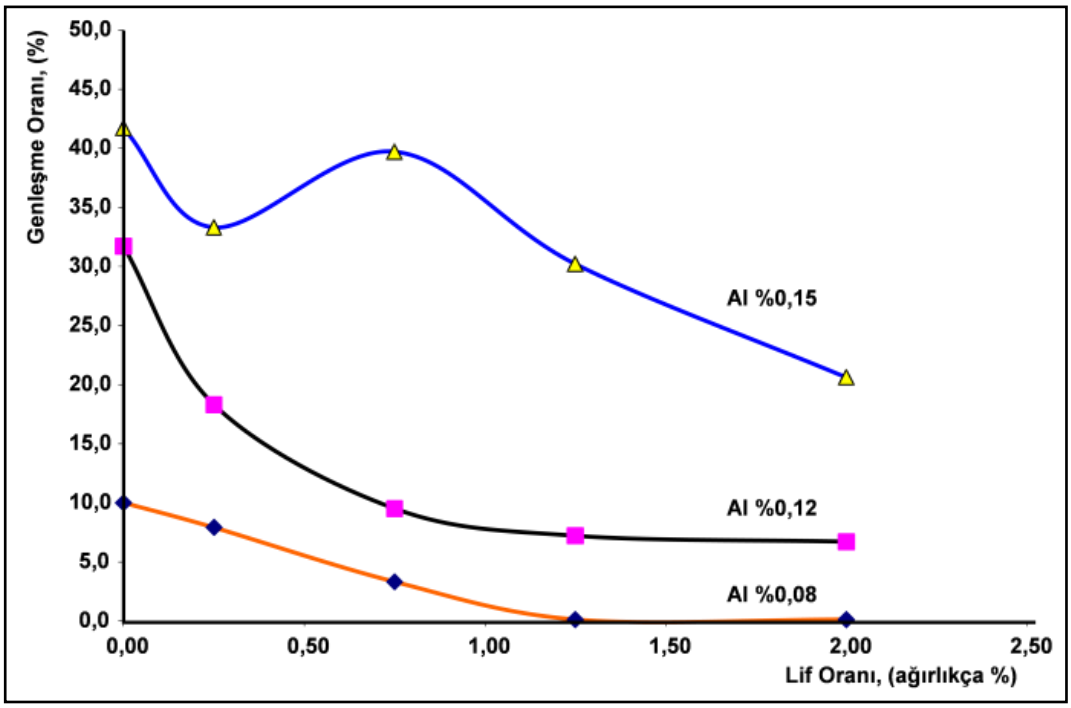
Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok yapı elemanı örnekleri karşılaştırıldığında her ağırlıkça aynı lif oranı için en yüksek birim hacim kütle değerine sahip numunelerin ağırlıkça %0,08 Al içerdiği, en düşük birim hacim kütle değerine sahip numunelerin ağırlıkça %0,15 Al ihtiva ettiği görülmüştür. Şekil 4.16'dan da görüleceği üzere, ağırlıkça Al miktarının artmasıyla malzemenin yoğunluk düşüşü elde edilebilmektedir. Bunun sebebinin, matris yapıda diğer katkılar sayesinde gerçekleşen kimyasal tepkimeye ilaveten Al girdisinin olmasıyla daha hızlı ve daha fazla miktarda hidrojen gazı açığa çıkışıyla gözenekliliğin oluşmasıdır. 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. Ağırlıkça %0,25 lif ihtiva eden numuneler içinden Al kullanım oranı %0,08 olanların ortalama kuru birim hacim kütle değeri 943 kg/m^3 belirlenmiştir. Harç karışımındaki ağırlıkça Al miktarı %0,12'ye çıkartıldığında %7,6 hafifleme olduğu görülmüştür. Al miktarı daha da artırılarak %0,15 oranına çıkartıldığında hafiflemenin %13,5'lere çıktığı

saptanmıştır. Karışım formülasyonlarında ağırlıkça %0,08 Al içeren %0,75 lifli kâgir blok numunelerinin birin hacim kütle değeri 1023 kg/m^3 bulunmuştur. Bu değer baz alınarak, Al miktarı %0,12'ye çıkarıldığında %9,3 düşüş görülmüş; Al ihtiva oranı %0,15'e yükseltildiğinde ise %24,2 hafifleme ile karşılaşılmıştır. Matris yapıda kullanılan lif oranının %0,75 olmasıyla %0,08 Al ve %0,12 Al içerikli numunelerin yoğunluklarında artış gözlenirken, %0,15 Al oranıyla hazırlanan otoklavsız gazbeton örneklerinin yoğunluk değerlerinde hafifleme gerçekleşmiştir. Pamuk/sentetik bileşenli lifin ağırlıkça %1,25 oranına getirilmesiyle %0,08 Al içeren otoklavlanmamış gazbeton örneklerinde birim hacim ağırlık değerlerinde artış gözlenmiş olup 1118 kg/m^3 değerinde olduğu belirlenmiştir. Harç matrisinde bulunan ağırlıkça Al oranının %0,12'ye çıkarılmasıyla %13,1 yoğunluk düşüşü, Al oranının %0,15'e artırılmasıyla ise birim hacim kütle değerinde %32,7 düşüş gözlenmiştir. Ağırlıkça %2 lif içeriğine sahip harç kombinasyonlarından %0,08 Al içeren örneklerin ortalama birim hacim kütle değeri 1128 kg/m^3 bulunmuştur. %0,04 Al ilavesi ile %0,12 Al ihtiva oranına sahip numunelerde %17,9 yoğunluk düşüşü görülürken, %0,07 Al ilavesi yapılan %0,15'lik Al kullanım oranına sahip gazbeton örneklerinde %22,6 hafifleme meydana geldiği belirlenmiştir. Genel bir bakışla, ağırlıkça %0,08 ve %0,12 Al kullanımıyla hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanların lif ihtiva değişkenliği karşısında birim hacim kütle değerlerinde aynı etkiler gözlenirken, ağırlıkça %0,15 Al içeren karışım örneklerinden elde edilen numunelerde zıt yönlü etkilere rastlanmıştır.

4.2.3 Genleşme Oranı

Genleşme miktarı, gözeneklilik oranı ile bağlantılı olarak otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanları için ön değerlendirme açısından önemli bir parametredir. Genleşme oranı, birim hacim kütle kıyaslaması açısından da kolaylık sağlamaktadır. Kuru birim hacim kütlesi düşük olan malzemede genleşme oranının yüksek olması beklenmektedir. Gözeneklilik durumu ve kuru birim hacim kütle miktarlarının da etkisinden bahsedilebildiği gibi genleşme oranın da basınç dayanımı, ısıl performans, akustik empedans ve sismik hız gibi parametrelerde ilişkisinden bahsedilebilmektedir. Genleşme oranı yüksek malzemelerde gözeneklilik yüksektir.

Bu sebepten, genleşme oranı yüksek otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarda basınç dayanımının düşük olduğu ve belirli değerler içerisinde genleşme arttıkça malzemenin ısı ve ses yalıtım değerlerinde iyileşme görülmektedir. Genleşme oranı yüksek otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok yapı elemanlarının taşıyıcı olmayan, özellikle duvar örme yapı birimlerinde kullanımı uygun görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneyler neticesinde numunelerin ortalama genleşme oranları Tablo 4.2'de verilmiştir olup Al değerlerindeki ağırlıkça lif kullanım oranlarına bağlı genleşme oranları değşimi grafiksel olarak Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Otoklavsız test örneklerinin genleşme oranı değişimi

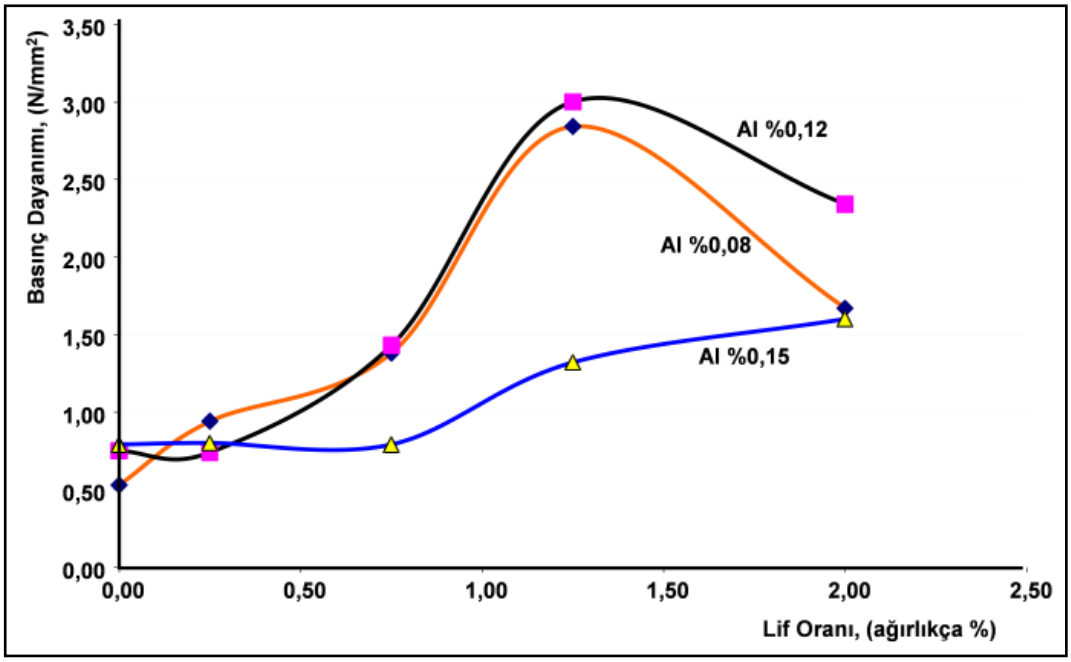
Şekil 4.17'den de görüleceği üzere, otoklavsız gazbeton örnekleri her bir lif oranı bazında incelendiğinde en düşük genleşme oranına, %0,08 Al ihtiva eden numunelerin sahip olduğu söylenebilmektedir. Genleşmenin, ağırlıkça %0,15 Al içeren numunelerde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Bu bağlamda, harç karışımlarında kullanılan ağırlıkça Al kullanım miktarının artırılmasının genleşme oranını olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Lif kullanılmaksızın üretilen,

harç kombinasyonunda ağırlıkça %0,08 Al kullanılan MK1 numunelerinin %10 genleştiği saptanırken, yine lif içermeyen fakat Al kullanım oranı %0,12 olarak tercih edilen MK2 kâgir blok numunelerinde 3,17 kat artış göstererek %31,7 kadar genleşmiş ve lif içermeyen, %0,15 Al ihtiva eden MK3 örneklerinde 4,15 kat ilave genleşmeyle nihai olarak %41,5 oranında genleşme meydana geldiği belirlenmiştir. %0,25 lif içeren harç karışımlarında, %0,08 Al içeren otoklavsız gazbeton örnekleri ortalama %7,9 genleşirken, Al miktarının artmasıyla bu genleşme değeri %0,12 Al kullanımında 2,32 kat artış; %0,15 Al kullanımında ise 4,22 kat artış göstermiştir. Ağırlıkça %0,75 lif ihtiva eden test numunelerinden Al kullanım oranı %0,08 olan örneklerin ortalama genleşme değeri %3,3 bulunmuştur. Ağırlıkça Al kullanım miktarı %0,12'ye çıkartıldığında genleşme miktarı 2,88 kat artış ile %9,5; harç içeriğindeki Al miktarı %0,15'e yükseltildiğinde ise 12,03 kat genleşme karakteristiğinde artış eğilimi olduğu görülmüş ve ortalama genleşme oranı %39,7 belirlenmiştir. Harç içeriğindeki lif miktarı %1,25'e çıkartıldığında, ağırlıkça %0,08 Al ihtiva oranına sahip MC1 kodlu numuneler neredeyse genleşmemiş olup, genleşme pozisyonları sıfır mertebelerindedir. Bu durum karşısında, lif malzemenin kullanım oranının artmasıyla genleşmenin sağlanması için %0,08'lik Al genleştirme ajanının yeterli gelmeyebileceği, lifin matris yapıda çökmeye sebep olabileceği tecrübe edilmiştir. Bileşiminde %1,25 lif bulunduran numunelerden ağırlıkça %0,12 Al ihtiva eden MC2 örneklerinde ortalama genleşme oranı %7,2 bulunmuş iken, %0,15 Al içeren MC3 numunelerinde ise ortalama genleşme oranının %30,2 seviyelerine ulaştığı görülmüştür. Ağırlıkça lif oranının %2 olması durumunda, %1,25 lif kullanılan numunelerle benzer genleşme değeri sonuçlarına varılmıştır. %1,25 lif kullanılan %0,08 Al bileşenli numunelerin kimyasal tepkimeler sonucu genleşme eldesi gibi %2 lif ihtiva eden %0,08 Al içerikli örneklerin de oldukça az genleşme seviyelerinde kaldığı gözlenmiştir. Böylece, genleşme durumunun olumsuz etkilerinden birinin matris yapıda fazla lif miktarına bağlı topaklanma olduğu söylenebilmektedir. Harç matrisinde %2 lif ve %0,12 Al bulunduran MD2 kodlu numunelerde genleşme oranı %6,7 iken %0,15 Al içeren MD3 numunelerinde ise genleşme oranının %20,6 seviyelerine yükseldiği görülmüştür. Bu durum, lif oranının artırılması sonucu Al miktarının da yükseltilmesi ihyacını ortaya koymaktadır.

Genel olarak, bu tez çalışması kapsamında hazırlanan test numunelerinden ağırlıkça %0,08 ve %0,12 Al ihtiva eden matris yapılar ele alındığında lif kullanım oranındaki artışın genleşme miktarını olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılabilmektedir. Bu durum özellikle, %0,75 lif kullanımından itibaren lif ihtiva oranı artışları her iki Al kullanım oranı bazında da genleşme oranında görece değişim eğilimine yol açmadığı, genleşme oranlarının benzer değerlerde seyrettiği tecrübe edilmiştir. İçeriğinde %0,15 Al bulunduran otoklavlanmamış gazbeton bloklarında %0,25 lif ihtivasıyla genleşme oranında düşüş gözlenirken, ağırlıkça lif kullanımının %0,75'e çıkarılmasıyla genleşme miktarının yükselme eğilimine geçtiği belirlenmiştir. %0,15 Al ihtiva oranıyla hazırlanan numunelerde lif oranı %0,75'in üzerine çıktığında numune genleşme oranları hakkında neredeyse lineer bir düşüşten bahsedilebilmektedir.

4.2.4 Basınç Dayanımı

Otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanların uygulama yerinde ne büyüklükte taşıma yükü sağlayabileceğinin belirlenmesi açısından basınç dayanımı önemli bir parametredir. Donatı işlevini kısmen de olsa karşılayan lif katkıların basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği bilinmektedir. Tez çalışmasının ikinci yaklaşımı kapsamında hazırlanan numunelerde üç ayrı Al kullanım oranında, %70 pamuk, %30 sentetik bileşenli lif katkılar ağırlıkça beş farklı oranda ihtiva edecek şekilde hazırlanarak lif miktarının 28 günlük kür sonrası basınç dayanımına etkisi irdelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen ortalama basınç dayanım değerleri Tablo 4.2'de , grafiksel gösterimi ise Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18 Lif kullanım oranı - 28 gün kür sonrası basınç dayanım değerleri analizi

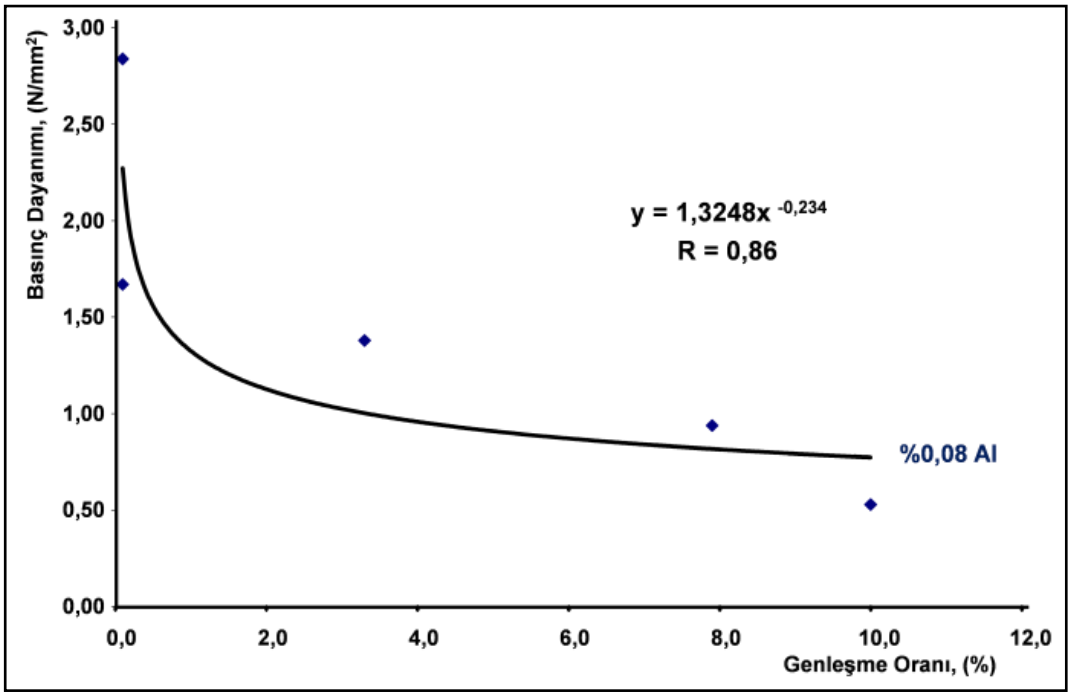
Bu tez çalışmasının ikinci yaklaşım yöntemi kapsamında hazırlanan otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerinden ağırlıkça lif değişimli olarak %0,08 Al ihtiva oranına sahip numunelerin ortalama basınç dayanım değerleri 0,53 N/mm^2 – 1,67 N/mm^2 aralığında; ağırlıkça %0,12 Al içeren otoklavsız gazbeton örneklerinin dayanımları 0,75 N/mm^2 – 2,34 N/mm^2 aralığında; ağırlıkça %0,15 Al oranına sahip test örneklerinin 0,79 N/mm^2 – 1,6 N/mm^2 aralığında değişim gösterdiği saptanmıştır. Tablo 4.1'de de gösterildiği üzere, %0,08 Al ihtiva oranına sahip lif ilavesiz MK1 örneklerinin 28 gün kür sonrası ortalama basınç dayanım değeri 0,53 N/mm^2 iken,Al oranı %0,04 artırılarak %0,12 oranında kullanıldığında MK2 kontrol örneklerinin basınç dayanımı %41,5 artış göstererek 0,75 N/mm^2'ye yükselmiştir. Lifsiz kontrol numunelerinden %0,15 Al ihtiva oranına sahip MK3 örneklerinin basınç dayanım değerleri MK1 kodlu kontrol örneklerine oranla %49,1 artışla 0,79 N/mm^2'ye ulaştığı belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, lif kullanılmaksızın hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numunelerin ağırlıkça Al ihtiva oranındaki artışın, basınç dayanımı değerlerinde yükselme etkisinden bahsedilebilmektedir. Harç içerisinde kullanılan ağırlıkça lif miktarı %0,25 olan MA kodlu blok örneklerinden MA1'in ortalama basınç dayanım değeri 0,94 N/mm^2 olarak hesaplanmıştır. Al miktarının %0,12'ye çıkartıldığı MA2 numunelerinin dayanımda

%21,3 düşüşe uğradığı ve alüminyumun %0,15'e çıkartılmasıyla MA3 örneklerinde %14,9'luk basınç dayanım düşüşü olduğu belirlenmiştir. Matris yapısında ağırlıkça %0,75 oranında lif bulunduran otoklavsız gazbeton örneklerinden %0,08 Al oranına sahip NB1 kodlu test numunelerinin ortalama basınç dayanımı 1,38 N/mm^2 olarak saptanmıştır. Al miktarı artırılan MB2 kodlu numune dayanımlarında %3,6 iyileşme görülmesine karşın %0,15 Al oranına sahip MB3 numune dayanımlarında aşırı genleşmeye bağlı olarak %42,8'lik bir zayıflama görülmüştür. Ağırlıkça %1,25 ve %0,08 Al kullanım oranında hazırlanan MC1 numunelerinin ortalama basınç dayanım değeri 2,84 N/mm^2 belirlenmiştir. Matris yapıdaki Al kullanım oranının %0,12'ye yükseltildiği MC2 örneklerinin basınç dayanımının %5,6 iyileşme gösterdiği, alüminyumun %0,15'e çıkartılmasıyla MC3 numunelerinde yüksek genleşme oranına bağlı olarak %53,5'luk dayanım düşüşü meydana gelmiştir. Ağırlıkça %2 lif ve %0,08 Al ihtiva oranına sahip MD1 numunelerinin ortalama basınç dayanım değeri 1,67 N/mm^2 hesaplanmıştır. Otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numunelerinde Al kullanım oranının %0,12'ye çıkartıldığı MD2 kodlu örneklerde dayanımın %40,1 arttığı, Al miktarının %0,15'e yükseltildiği MD3 örneklerinde %4,2 düştüğü saptanmıştır.

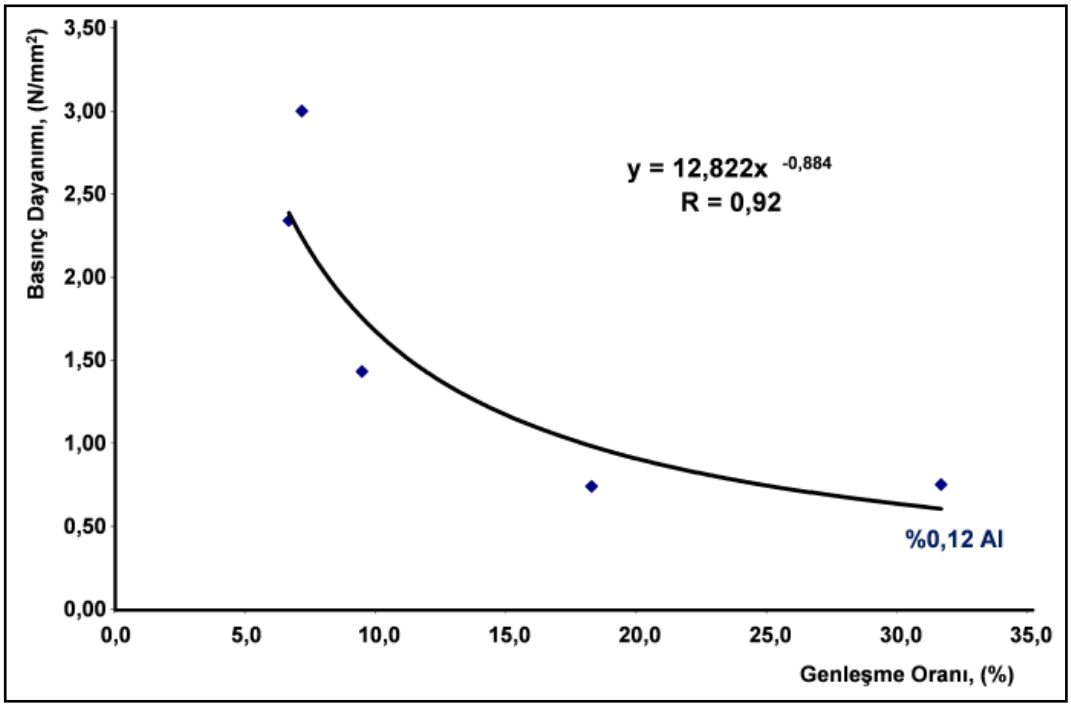
Tez çalışması kapsamında hazırlanan numunelerde lif kullanımının otoklavsız gazbeton kâgir blokların basınç dayanım değerleri üzerinde belirgin derecede olumlu etkilerinden bahsedilebilmektedir. Bu durum, liflerin matris yapıda donate materyali görevi üstlenmesi ve kompaktlık özelliği ile açıklanabilmektedir. Ağırlıkça Al kullanım oranının %0,15 olduğu örneklerde lif miktarının artırılasıyla matris yapının direncinin arttığı görülmüştür. Ancak, Al ihtiva oranının %0,08 ve %0,12 olarak belirlendiği blok örneklerde basınç dayanım değeri %1,25 lif içerdiğinde görece yüksek sonuçlar sunarken, lif kullanımının %1,25'in üzerine çıkmasıyla dayanımda düşüş eğilimi ile karşılaşıldığı tecrübe edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak, özellikle lif kullanılmaksızın üretilen ve %0,25 lif içeriğine sahip blok numunelerin dayanım değerlerinin beklenilen düzeylerde olmadığı görülmüştür. Ağırlıkça Al kullanım oranının %0,08 ve %0,12 olduğu numunelerde %0,75 ve üstünde lif içeren örneklerin taşıyıcı olmayan dolgu duvar ve yalıtım malzemesi niteliğinde kullanımına yeterli cevaplar verdiği söylenebilmektedir. Bu durumu %0,15 Al ihtiva eden örnekler ancak %1,25 ve üstü lif kullanım oranlarıyla karşılayabilmektedir.

4.2.5 Genleşme – Basınç Dayanımı Değişimi

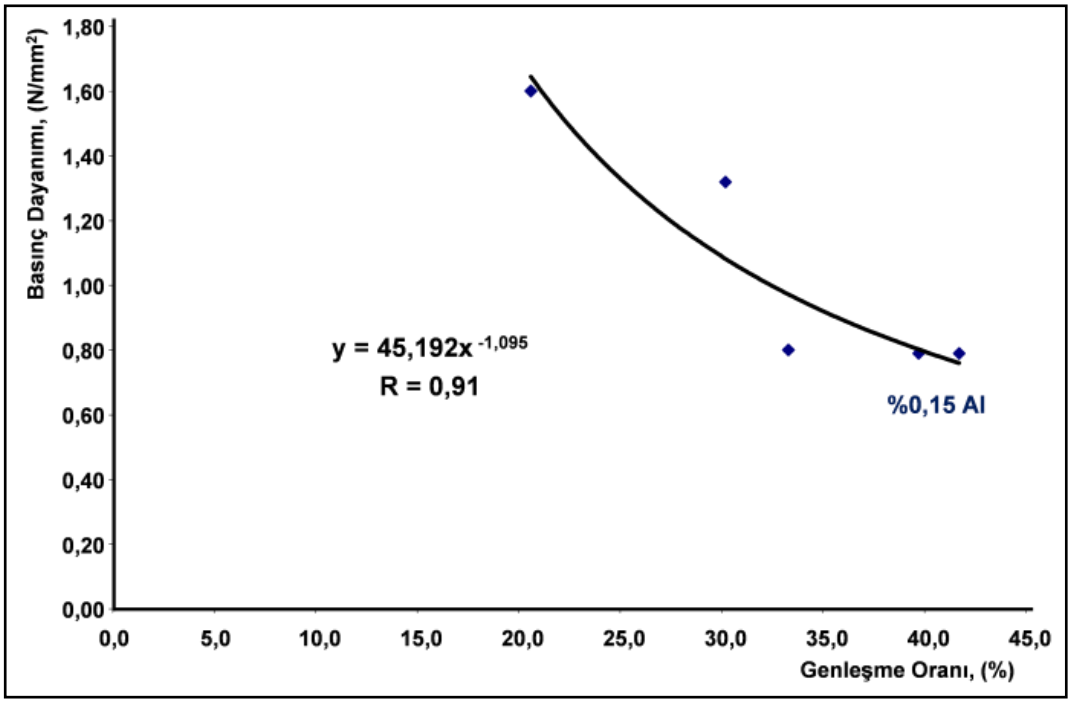
Otoklavsız gazbeton kâgir blok yapı elemanlarında genleşme oranı ile basınç dayanımı arasında zıt ilişkiden bahsedilebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan test numune deneyleri sonucunda elde edilen genleşme oranı ve basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.19 – Şekil 4.21'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere, otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarının, her ağırlıkça Al kullanım oranında genleşme oranındaki artışa bağlı olarak basınç dayanım değerlerinde düşüş eğilimi gösterdiği korelasyonlarca desteklenebilmektedir.



Şekil 4.19 %0,08 Al içeren test örneklerinde genleşme oranı – basınç dayanımı ilişkisi



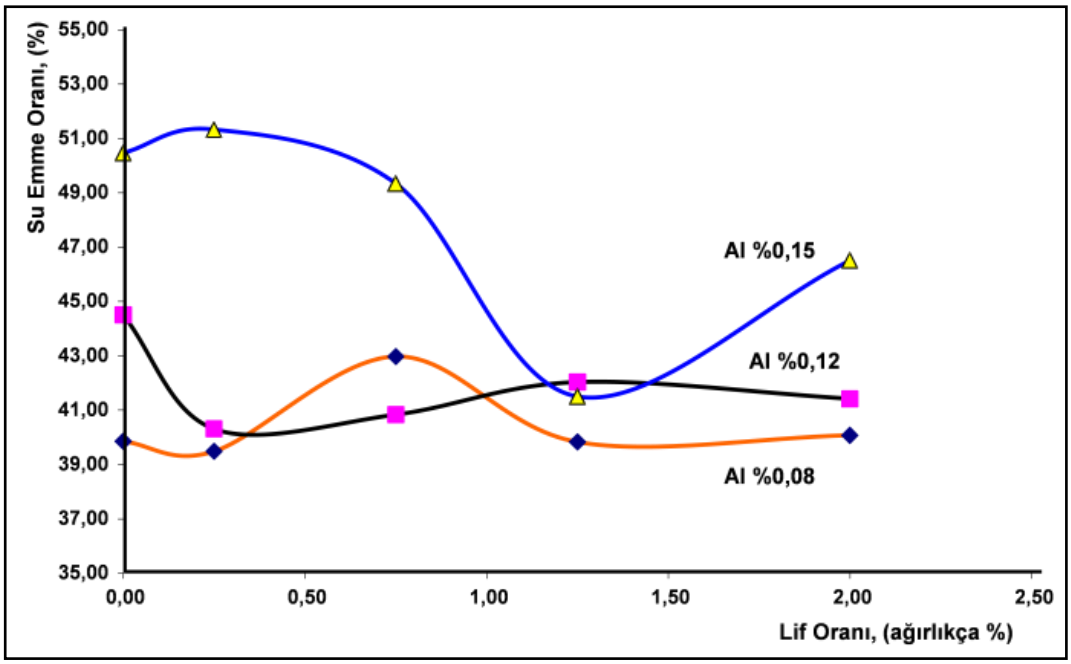
Şekil 4.20 %0,12 Al içeren test örneklerinde genleşme oranı – basınç dayanımı ilişkisi



Şekil 4.21 %0,15 Al içeren test örneklerinde genleşme oranı – basınç dayanımı ilişkisi

4.2.6 Kütlece Su Emme

Sıva ya da herhangi bir yüzey kaplama işlemine tabi tutulmaksızın kullanılması planlanan otoklavlanmamış kâgir blok elemanlarının kütlece su emme değeri önem taşımaktadır. Kütlece su emme değeri, diğer mekanik parametreleri de etkilemektedir. Otoklavsız gazbetonların bünyesinde yüksek oranda nem tutması ısıl performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanında malzemenin nem bulundurmasının, yük taşıma kapasitesinde dirençsizliğe yol açtığı söylenebilmektedir. Bu tez çalışmasının ikinci yaklaşım yöntemi kapsamında belirlenen ağırlıkça üç farklı Al ve ağırlıkça beş farklı lif ihtiva oranıyla hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton numunelerin kütlece su emme değerleri Tablo 4.2'de verilmiş olup grafiksel gösterimi Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22 Lif kullanım oranı ve kütlece su emme değerleri analizi

Grafikte yer aldığı üzere, karışım harcı %0,08 oranda Al içeren lifsiz kontrol örneklerinde kütlece su emme değeri ortalama %39,86'dır. Karışım harcında Al ihtiva oranı arttırıldığında ortalama kütlece su emme değeri, MK2 isimli

numunelerde %44,51'e, MK3 isimli örneklerde ise %50,46'ya kadar artış göstermiştir. Buradaki yükselme trendinin lif kullanımından bağımsız olarak, karışım harcındaki Al oranının artmasıyla elde edilen gözenekli matris yapının su tutma kapasitesini arttırmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Yapılan deneylerde, lif katkılı ve %0,08 oranında Al içeren numunelerin ortalama kütlece su emme oranında %39,49 - %42,98 değerleri aralığında, küçük farklılıklar gözlenmiştir. Benzer şekilde lif katkılı ve %0,12 oranında Al ihtiva eden numunelerde ortalama su emme oranı küçük değişimler göstererek %40,31 - %42,04 aralığında tespit edilmiştir. Lif katkılı ve %0,15 oranında Al içeren otoklavlanmamış gazbeton kâgir bloklarda ise ortalama kütlece su emme oranları arasında %41,5 - %51,32 değerleri arasında değişim ölçülmüştür. Kayıt altına alınan bu aralık, lif katkılı ve Al oranı daha düşük hazırlanan diğer numunelere kıyasla oldukça yüksektir. Karışım harcında %0,25 oranında lif materyali içeren MA isimli numunelerden %0,08 oranında Al ihtiva eden MA1'in kütlece su emme oranı ortalama %39,49 tespit edilmiştir. Al ihtiva oranının arttırıldığı MA2 isimli numunelerin kütlece su emme oranlarının %2,08 oranında artış göstererek ortalama %40,31'e ulaştığı , MA3 isimli numunelerin ise %29,96 oranında artışla %51,32'lere kadar yükselme gösterdiği görülmüştür. Değerler dikkate alındığında Al ihtivasına bağlı olarak kütlece su emme oranındaki artış eğiliminden söz edilebilmektedir. Harç karışımında %0,75 lif materyali ihtiva eden ve %0,08 oranında Al kullanılan MB1 isimli numunelerde kütlece su emme oranı ortalaması %42,98 olarak tespit edilmiştir. Al ihtiva oranı %0,12'ye arttırılan MB2 numunelerinde kütlece su emme değerinin %4,97 oranında azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Al oranı %0,15 oranına yükseltildiğinde ise su emme değerinin %14,79 oranında arttığı görülmüştür. Lif materyali kullanım oranı %1,25 olan MC isimli örneklerde kütlece su emme değerleri birbirlerine oldukça yakın tespit edilmiştir. Al içeriği %0,08 olan MC1 isimli numunelerde ortalama kütlece su emme oranı %39,83 olarak ölçülmüştür. Harç karışımında Al kullanım oranının arttırılmasına bağlı olarak MC2 numunelerinde su emme kapasitesi %5,53 oranında, MC3 numunelerinde %4,18 oranında artış kaydedilmiştir. %75 oranında lif katkılı ve %0,15 oranında Al içeren numunelere lif takviyesi yapıldığında kütlece su emme oranlarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Buna karşın, lif kullanımı %1,25'in üzerine çıkarıldığında su emme değerinin artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. %2 oranında lif katkısı içeren otoklavlanmamış gazbeton kâgir bloklardan

MD1 isimli numunenin kütlece su emme oranı %40,08 ölçülmüştür. Al ihtivasının artışına bağlı olarak MD2 ve MD3 numunelerinde su emme oranları sırasıyla %3,34 ile %16,02 oranlarında artış göstermiştir.

4.2.7 Görünür Gözeneklilik

Malzemenin matris yapısında bulunan hava boşlukları ile malzeme toplam hacminin yüzde ilişkisi görünür gözeneklilik olarak tanımlanmaktadır. Görünür gözeneklilik, otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarının kuru birim hacim kütle, basınç dayanımı, ısı ve ses yalıtım performansları gibi parametreleri etkilemektedir. Görünür porozite, malzeme bünyesinde hapsolan durağan hava sayesinde birim hacim kütle değerinde düşüş sağlarken akustik empedans değerlinde de iyileşme sağlamaktadır. Matris yapıda bulunan hava boşlukları ısıl performansı yükselteceğinden, yüksek görünür gözenekliliğe sahip otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarının efektif ısıl iletkenlik değerinde düşüş beklenmektedir. Bu deneysel tez çalışmasının ikinci yaklaşım yönetimde elde edilen görünür gözeneklilik yüzdesi, kuru birim hacim kütle ve kütlece su emme değerinin bir fonksiyonu olarak belirlenmiş olup kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir (4.2):

$$P_1 = \frac{W_f * \rho_t}{\rho_w} \tag{4.2}$$

Burada;

P_1 : Görünür gözeneklilik (%),

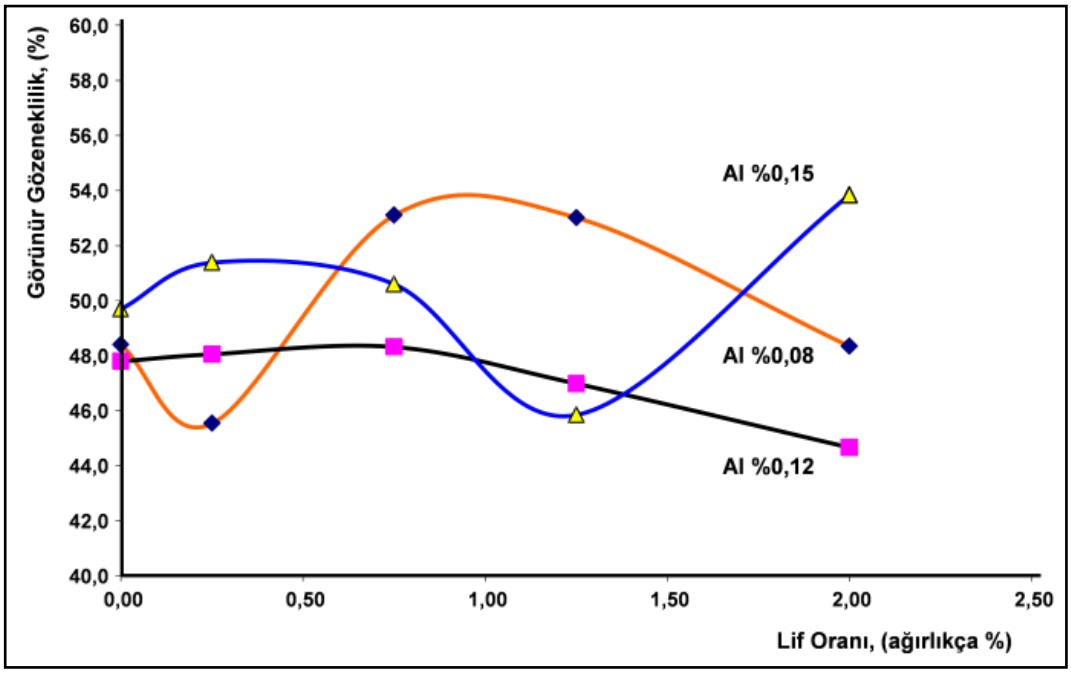
W_f : Kütlece su emme (%),

ρ_t : Kuru birim hacim kütle (kg/m^3),

ρ_w : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

Bu tez çalışması kapsamında, ağırlıkça üç ayrı Al ihtiva oranı altında lif kullanılmaksızın ve ağırlıkça beş ayrı lif oranı takviyeli olarak üretilen 28 günlük dayanım alma süresini tamamladıktan sonra elde edilen kütlece su emme ve kuru birim hacim ağırlık değerleri ile hesaplanan görünür gözeneklilik ortalama değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Hazırlanan otoklavlanmamış kâgir blok yapı elemanı

örneklerinin görünür gözenek değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırmalı analizi Şekil 4.23'de gösterilmiştir. Hazırlanan örnekler incelendiğinde görünür gözeneklilik oranlarının; %0,08 oranında Al içeren bloklarda %45,5 - %53,1 aralığında; %0,12 oranında Al içeren bloklarda %44,7 - %48,3 aralığında ve %0,15 oranında Al içeren bloklarda %45,8 - %53,8 aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.23 Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası görünür gözeneklilik oran değerleri analizi

Otoklavsız gazbeton kâgir blok numunelerde porozite değerleri ele alındığında, lif içermeyen kontrol numunelerinde %0,08 oranında Al kullanılan MK1 isimli örneğin 28 gün kür süresi sonundaki görünür gözenekliliği %48,5 olarak tespit edilmiştir. Al ihtiva oranının %0,12 olduğu MK2 isimli numunelerde ise görünür gözeneklilik yüzdesi %1,25 düşüş göstererek %47,8 olarak hesaplanmıştır. Al oranının %0,15 olarak belirlendiği MK3 kâgir bloklarda ise %2,67'lik artış gözlenerek porozite oranı %49,7 kaydedilmiştir. Lif ihtiva etmeyen MK isimli blok numunelerde Al kullanımına bağlı olarak önemli ölçüde bir farklılık gözlenmediği değerlendirilmiştir.

Ağırlıkça %0,25 oranında lif ihtiva eden numuneler incelendiğinde Şekil 4.23'den de görülebileceği üzere; matris yapıdaki porozite oranı, ebatları ve saçınımları üzerinde Al içerik oranına bağlı olarak kimyasal tepkimelerin etkilerinden söz etmek mümkündür. Ayrıca, endüstriyel atık lif materyalinin matris yapıda lif miktarına bağlı olarak dağılım düzeni de incelenebilmektedir. Özellikle, ağırlıkça % Al kullanım oranının artırılmasıyla test numunelerinin matris yapısında gözeneklerin büyük ebatlara ulaştığı gözlenmiştir. Bu durum, 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 söylenebilmektedir. Lif kullanım miktarının artırılmasına bağlı olarak matris yapıdaki lifler arasında topaklanma, ayrışmama, saçınımlarında da düzensizliklerin olabildiği gözlenmiştir.

%0,08 Al içeren MA1 örneklerinin ortalama görünür gözeneklilik değeri %45,5 iken, Al miktarının %0,12'ye yükseltilmesiyle görünür porozite yüzdesinde %5,54 artış ve Al kullanım miktarının %0,15'e çıkartılması ile de %12,83'lük bir artışın söz konusu olduğu görülmüştür. Harç karışımlarında %0,25 lif ihtiva oranına sahip olan MA kodlu örneklerde Al kullanım oranının artmasına bağlı olarak görünür gözeneklilik yüzdesinin arttığı tespit edilmiştir. 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 ortalama görünür gözeneklilik değerinde %4,71'lik düşüş hesaplanmıştır. Harç içeriğindeki lif miktarı %1,25'e getirilen, %0,08 Al oranına sahip MC1 numunelerinin ortalama görünür gözeneklilik değeri %53 gibi önemli bir değerde hesaplanmıştır. Harç karışımındaki Al miktarı artırılmış MC2 kodlu örneklerin gözeneklilik değerlerinde %11,36 düşüş, MC3 kodlu numune gözenekliliğinde %13,53 azalma meydana geldiği görülmüştür. En yüksek lif ve en düşük Al kullanım oranında hazırlanan MD1 örneklerinin ortalama görünür gözeneklilik değeri %48,3 olarak belirlenmiştir. Otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerinde Al kullanım oranının %0,12'ye yükseltildiği MD2 kodlu numunelerin porozite yüzdesinde %7,59 kadar düşüş gösterdiği, Al'ün %0,15'e çıkartılmasıyla da MD3 kodlu numunelerde %11,36 artış sergilediği tespit edilmiştir.

En yüksek görünür gözeneklilik değeri, ağırlıkça %2 lif ve %0,15 Al ihtiva oranına sahip MD3 kodlu numunelerinden elde edilen deney verileri ortalamasından hesaplanmıştır. En düşük porozite değeri ise yine %2 lif içeren ancak Al ihtiva oranı %0,12 olan MD2 kodlu numunelerden elde edilen ortalama görünür gözeneklilik değerinden tespit edilmiştir.

4.2.8 Sismik Hız

Sismik hız, malzemeden geçen sismik dalga geçiş süresindeki problar arası mesafe oranı olarak tanımlanabilmektedir. Ultrasonik enerji, hava ile karşılaştığında iki prob arasındaki iletim süresi gecikmektedir. Ölçümün doğru yapıldığından emin olunduktan sonra, edinilen sismik hız verileri ışığında boşluk oranı hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Aynı zamanda, otoklavlanmamış kâgir bloklardaki kırık ve bozulma durumlarının da tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Genel olarak, sismik hız değerlerinin akustik empedans ve basınç dayanımı ile doğrusal ilişkisi olduğu bilinmektedir. Bu tez çalışmasının ikinci yaklaşım yöntemi kapsamında hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerinin sismik dalga geçiş süreleri doğrudan ölçüm tekniği ile elde edilmiş olup aşağıdaki eşitlik yardımıyla sismik hız değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sismik hız değerleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Sismik hız bulgularının karşılaştırmalı analizi grafiksel olarak Şekil 4.24'te verilmiştir.

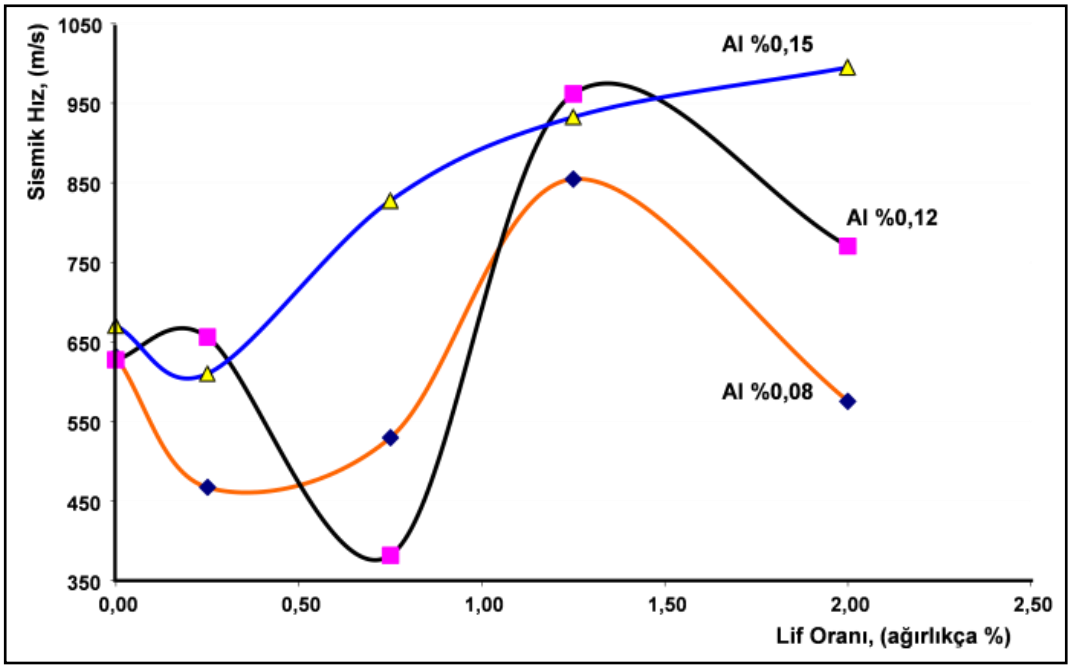
$$V = \frac{L}{t} \tag{4.3}$$

Burada;

V : Sismik hız (m/s),

L : Problar arası mesafe (m),

t : Sismik dalga geçiş süresi (s).



Şekil 4.24 Lif kullanım oranı ve sismik hız değerleri ilişkisi

Bu tez çalışması kapsamında yapılan analiz sonuçlarına göre, karışım harcı bileşeninde ağırlıkça %0,08 oranında Al ihtiva eden lif takviyesiz kontrol örneklerin ortalama sismik hız değeri 632 m/s iken, Al kullanımı artırıldığı MK2 kodlu örneklerde 627 m/s'ye düştüğü ve MK3 kodlu numunelerde ise 670 m/s'ye yükseldiği saptanmıştır. Kontrol örneklerinin kendi aralarında yakın ortalama sismik hız değerlerine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Buradan Al kullanım oranındaki değişikliklerin sismik hıza lif kullanım miktarlarındaki değişikliklerden daha az etki oluşturduğu sonucuna varılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında üretilen lif takviyeli, ağırlıkça %0,08 Al ihtiva oranına sahip otoklavsız gazbeton örneklerin sismik hız değerlerinin ortalama 467 m/s – 854 m/s aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Lif ilavesi yapılan, %0,12 Al içeren test örneklerinin sismik hızları ise 382 m/s – 961 m/s değerleri aralığında bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. 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 görülmektedir. Lif materyalinin harç karışımında ağırlıkça %0,25 ihtiva oranına sahip olduğu MA kodlu numunelerden MA1'lerin ortalama sismik hız değeri 467 m/s olarak belirlenmiştir. Al kullanım oranının artırıldığı MA2 kodlu örneklerde %40,39 ve MA3 numunelerinde ise %30,52'lik bir sismik hız artış eğilimi göze

çarpmaktadır. %0,75 lif içeren test numunelerinden Al kullanım oranı %0,08 olan örneklerin ortalama sismik hız değeri 530 m/s hesaplanmıştır. Ağırlıkça Al ihtivası %0,12'ye yükseltildiğinde ortalama sismik hız değerinde %27,92 azalma; karışımdaki Al ihtiva oranı %0,15'e çıkartıldığında ise %56,19 artma eğilimi ile karşılaşılmıştır. Ağırlıkça %1,25 lif kullanım oranına sahip MC kodlu gazbeton örneklerinden %0,08 Al içeren MC1 numunelerinin ortalama sismik hız değeri 854 m/s hesaplanıştır. Harç içerisindeki Al oranının artırılması, MC2 örneklerinde %12,52 ve MC3 örneklerinde ise %9,11 oranında sismik hız artışına yol açmıştır. Sismik hızlar basınç dayanım değerleri ile mukayese edildiğinde, %1,25 lif kullanımıyla elde edilmiş olan sismik hızdaki değer yüksekliklerinin basınç dayanımlarına da olumlu yönde yansıdığı göze çarpmaktadır. Ağırlıkça %2 lif katkısıyla hazırlanan otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerinden MD1 kodlu numunelerin ortalama sismik hız değeri 575 m/s olarak belirlenmiştir. MD2 ve MD3 numunelerinde Al oranının artışıyla sismik hız değerlerinde sırasıyla %33,81 ve %72,83'lük artış söz konusu olmuştur. Elde edilen sismik hız değişimlerinin genleşme ve görünür gözeneklilik oranlarına ortaklaşa bağlı değiştiği söylenebilir. Probdan gönderilen sismik dalganın diğer proba ulaşırken hava ile karşılaşması sonucu süre uzamaktadır. Bu net bir şekilde, ağırlıkça %0,15 Al kullanımının uygulandığı otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerinden de görülebilmektedir.

4.2.9 Akustik Empedans

Akustik empedans, ses empedansı ve akustik empedans olarak da adlandırılmaktadır ve "Z" harfiyle sembolize edilmektedir. Malzemenin, gelen ultrasonik ses dalgalarına karşı direnci söz konusudur. Malzemenin karşı koyduğu bu dirence akustik empedans denmektedir. Otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanların akustik empedans hesaplamaları sayesinde malzemenin ses yutma becerisi yorumlanabilmektedir. Malzemenin ses yutma katsayısı, matris yapının gözeneklilik durumu ve homojenliği gibi özelliklere bağlı davranış sergilemektedir. Akustik empedans değerlerine, malzemenin ultrasonik dalga geçiş hızı (sismik hızı) ile kuru birim hacim kütle değerlerinin çarpılması yoluyla ulaşılmaktadır. Bu tez

çalışmasında akustik empedans değerleri, numunelere uygulanan deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Z = \mathrm{V} * \rho_t \tag{4.4}$$

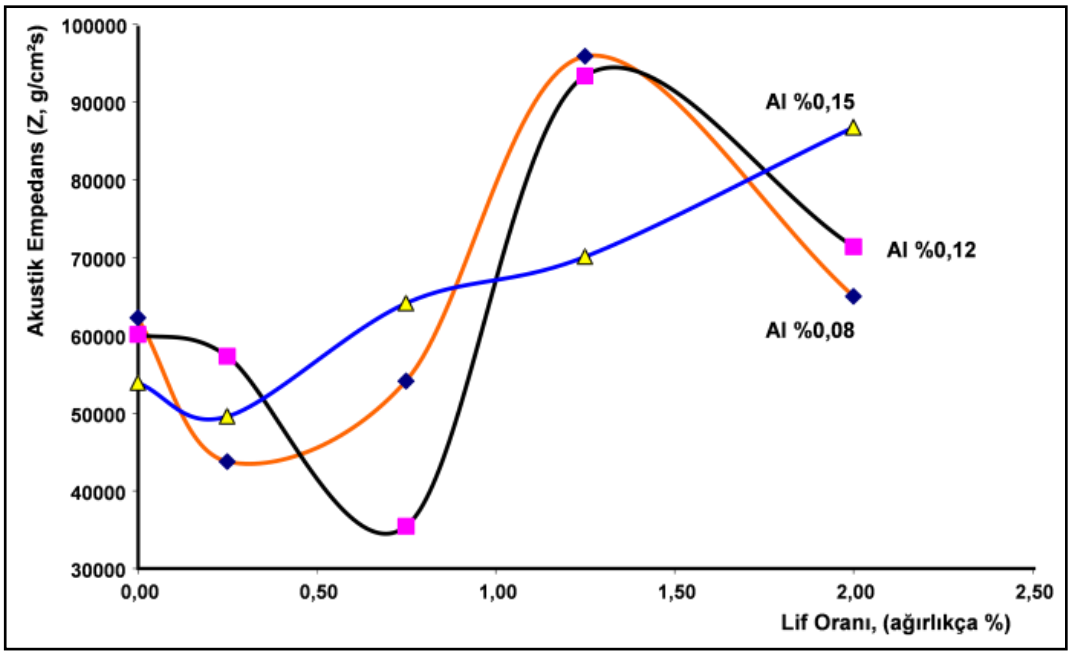
Burada;

Z : Akustik empedans (g/cm^{2}s),

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

ρt : Kuru birim hacim kütle (kg/m^3).

Bu tez çalışmasının ikinci yaklaşım yöntemi kapsamında, otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarda üç farklı Al kullanım oranında lif miktarının akustik empedans verileri üzerindeki etkileri verisel olarak Tablo 4.2'de verilmiştir. Bu verilerin kıyaslamalı karşılaştırmaları grafiksel olarak Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25 Lif kullanım oranı ve akustik empedans değerleri analizi

Bu tez çalışmasının ikinci yaklaşım yöntemi kapsamında yapılan deneyler ışığında, lif kullanımı olmadan üretilen test numunelerinin sismik hızları birbirlerine görece yakın değerlerde bulunmuştur. 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 belirlenmiştir. En yüksek akustik empedans değerleri, karışımda %0,08 Al ve %1,25 oranında lif içeren MC1 numunelerinde görülmüştür. MC1'i, ihmal edilebilecek değer farkıyla MC2 kodlu numuneler takip etmektedir. Sismik hız ve kuru birim hacim kütle ile doğrudan ilişkili olan akustik empedans değerinin MB3 kodlu numunelerde en düşük değere sahip olması beklendik bir durumun neticesi olarak ortaya çıkmaktadır. Karışım harcına lif ilave edilmeksizin, %0,08 oranında Al kullanılan MK1 numuneleri 62230 g/cm²s akustik empedansa sahipken, yine lif içermeyen fakat Al kullanım oranı %0,12 olarak artırılan MK2 örneklerinde %3,41 düşüş göstererek 60108 g/cm²s ve lif içermeyen, %0,15 Al oranı ile hazırlanan MK3 numunelerinde %13,41 kadar azalma meydana gelerek 53886 g/cm²s akustik empedans meydana geldiği belirlenmiştir. Harç matrisinde %0,25 lif ve %0,08 Al içeren numunelerin ortalama 43759 g/cm²s ses direncine sahip olduğu belirlenirken Al miktarının artmasıyla bu empedans değeri ağırlıkça %0,12 Al kullanımında %30,98; yine ağırlıkça %0,15 Al kullanımında ise %13,24 artış göstermiştir. Ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunelerden ağırlıkça Al kullanım oranı %0,08 olanların ortalama akustik direnci 54130 g/cm²s hesaplanmıştır. Ağırlıkça Al kullanımı %0,12'ye yükseltildiğinde akustik dirençte %34,51 düşüş; Al kullanım oranı %0,15'e çıkartıldığında ise %18,45 kadar ses empedansı değerlerinde artış eğilimi meydana gelmiştir. Lif kullanım miktarı %1,25 tercih edildiğinde sismik hız ve kuru birim hacim kütleye bağlı olarak üç Al kullanım oranında da akustik direnç trendinin iyi yönde olduğu söylenebilmektedir. Harç içeriğindeki ağırlıkça lif ihtiva oranı %1,25 olan ve aynı zamanda %0,08 Al kullanım oranına sahip MC1 numunelerinin 95869 g/cm²s değerinde akustik dirence sahip olduğu belirlenmiştir. Bileşiğinde %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. Harç formülasyonlarında en yüksek ağırlıkça lif oranı olarak belirlenen %2 life sahip numuneler incelendiğinde Al ihtiva oranı %0,08 olan MD1 numunelerin akustik empedans değeri 65103 g/cm²s bulunmuştur. %2 lif ve %0,12

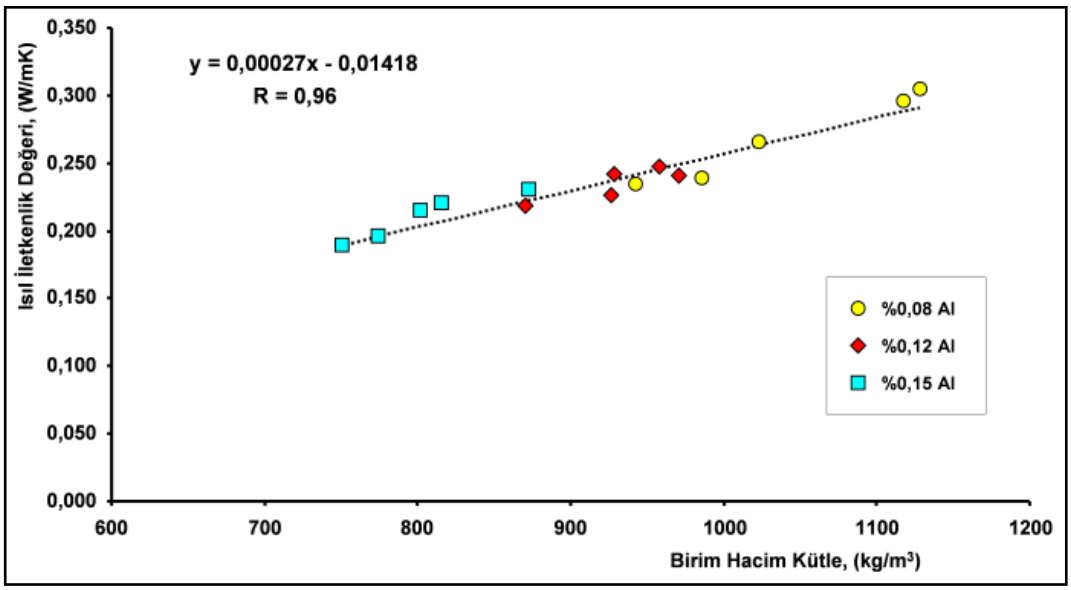
Al bulunduran MD2 kodlu numunelerin MD1 örneklerindeki akustik empedansına göre %9,80; %2 lif ve %0,15 Al ihtiva eden MD3 isimli numunelerin ise MD1'lerin akustik direncine göre %33,39 yükseliş eğilimi gösterdiği sonucuna erişilmiştir.

Bu tez çalışma kapsamının ikinci yaklaşım yöntemi için hazırlanan test numunelerinden %0,08 Al ve %0,12 Al içeren bloklar ele alındığında, ürün içeriğindeki lif miktarındaki değişimin 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. Gazbetonun akustik kalitesini irdelendiği bir çalışmada, gazbetonun akustik kalitesinin geçirgenlik ve porozitesine göre değişkenlik göstermek amacıyla akustik girişimölçer ile ölçümler yapılmıştır. Yüzeylerine silindirik tipte çentik(Helmoltz rezonatör) uygulanmış bloklarda ses emilim katsayısının yükseldiği gözlenmiştir. [16]. Elde edilen akustik empedans değerleri, genleşme ve görünür gözeneklilik oranlarına ortaklaşa ve sismik hıza da doğrudan bağlı değişmektedir. Probdan gönderilen sismik dalganın diğer proba ulaşırken hava ile karşılaşması sonucu süre uzamakta ve ses iletim direnci artmaktadır. Ses yalıtımı için gerekli olan bu direnç, ağırlıkça %0,15 Al içeren, otoklav kullanılmaksızın üretilen gazbeton kâgir blok numunelerinde rasyonel denebilecek bir artışla açıkça görülebilmektedir.

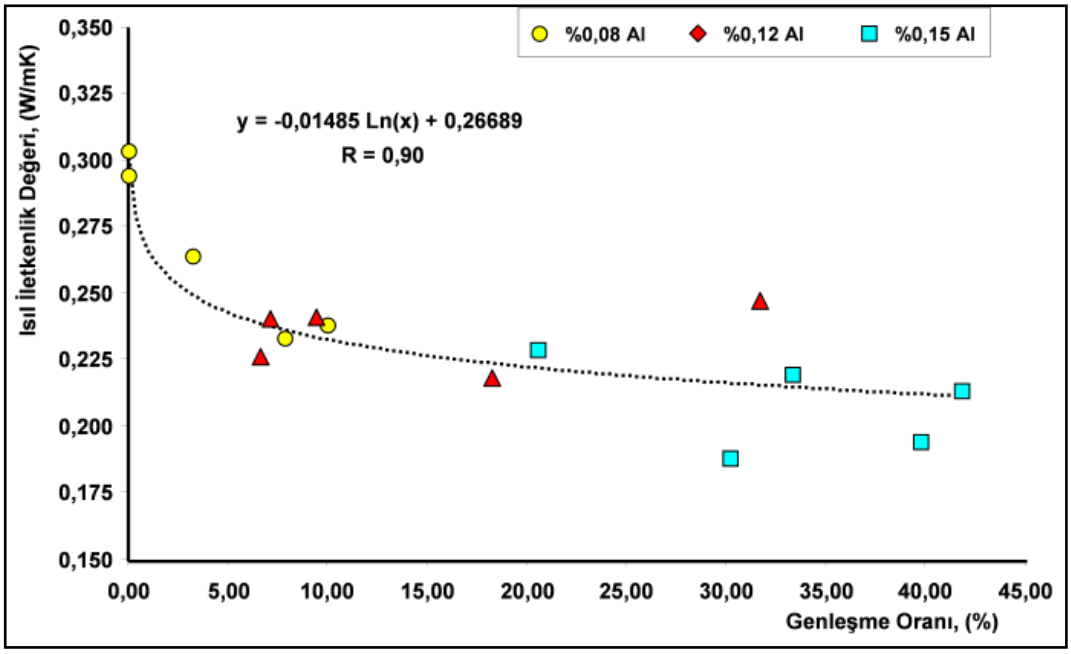
4.2.10 Isıl İletkenlik Özelliği

Gazbetonların piyasada tercih edilmesinin en büyük iki sebebinden biri ölü yükü azaltmak amacıyla hafif olması, diğeri ise enerji tüketimini azaltmak için ısıl performans özelliğinin yüksek olmasıdır. Otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarda, birbirleriyle de ilişkili olan kuru birim hacim kütle değeri ve genleşme oranlarının ısıl iletkenlik değerlerine doğrudan etki ettiği bilinmektedir. Matris yapıda bulunan gözeneklilik oranı arttıkça malzemenin kuru birim hacim kütlesinin düştüğü bilinirken, ısısal konforu iyileşme eğilimi göstermektedir. Otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanların birim hacim kütle ile genleşme oranlarının basınç dayanımına olumsuz etkileri olduğu bilinmekle birlikte, termal yalıtım değerlerinin muadili malzeme yapılarına göre daha rasyonel düzeylerde iyi sonuçlar

sergileyebildiği bilinmektedir. Isıl iletkenlik değeri düşük ve gözeneklilik oranı yüksek olan bu kâgir blok elemanların, taşıyıcı görevi üstlenmeyen yapı birimlerinde kullanım uygunluğu söz konusudur. Bu tez çalışmasının ikinci yaklaşım yöntemi için hazırlanan, 28 gün kğr süresini tamamlamış otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanların ısıl iletkenlik değeri ortalamaları Tablo 4.2'de verilmiştir. Elde edilen deney verileri ışığında ısıl iletkenlik değerlerinin birim hacim kütle ve genleşme oranları ile ilişkisi incelenmiş, Şekil 4.26'da ve Şekil 4.27'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Birim hacim kütlenin artışına bağlı olarak ısıl iletkenlik değerlerinde lineer bir artışın söz konusu olduğu görülmüştür. Genleşme oranında, birim hacim kütle ile olan ilişkisine zıt olarak artış durumunda ısıl iletkenlik değerlerinde düşüş olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 4.26 Birim hacim ağırlık ve ısıl iletkenlik değerleri ilişkisi



Şekil 4.27 Genleşme oranı ve ısıl iletkenlik değerleri ilişkisi

Bu tez çalışmasının ikinci yaklaşım yöntemi için hazırlanan otoklavlanmamış kâgir blok yapı elemanlarına uygulanan deneyler sonucunda elde edilen verilerden oluşturulan Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'deki grafiksel gösterimlerden de görüleceği üzere, birim hacim kütle değerleri ile ısıl iletkenlik değerleri arasında lineere yakın bir ilişkiden bahsedilebilmektedir.

Bu tez çalışması için hazırlanan deney numunelerinden ağırlıkça %0,08 Al ihtiva oranına sahip lifsiz MK1 kodlu kontrol örneğinin 28 gün kür sonrası ortalama ısıl iletkenlik değeri 0,238 W/mK bulunmuştur. Yine lif ilave edilmeksizin üretilen, içeriğinde ağırlıkça %0,12 Al bulunduran MK2 numuneleri ortalama ısıl iletkenlik değeri 0,247 W/mK olarak belirlenirken; ağırlıkça %0,15 Al ihtiva oranına sahip, lif takviyesiz MK3 kodlu numunelerin ortalama ısıl iletkenlik değeri 0,213 W/mK olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça lif ihtiva oranı %0,08 olarak hazırlanan MA kodlu deney numunelerinden, ağırlıkça Al kullanım oranı %0,25 olan MA1 örneklerinin ortalama ısıl iletkenlik değeri 0,233 W/mK saptanmıştır. Ağırlıkça Al kullanım miktarının %0,04 birim artırılarak %0,12'ye çıkarılmasıyla %6,44 oranında ısıl iletkenlik düşüşü meydana gelmiştir. Al miktarının %0,15'a yükseltilmesiyle %6,01'luk bir ısı yalıtım iyileşmesinden bahsedilebilmektedir. Ağırlıkça %0,75 ve %1,25 oranında lif bulunduran MB ve MC kodlu karışım kombinasyonlarında Al

miktarının artışıyla görece lineer ısısal konfor iyileşmesi saptanmıştır. Lif ihtiva oranı %0,75 olan, ağırlıkça %0,08 Al kullanım oranına sahip MB1 örneklerinde deneyler sonucu elde edilen ortalama ısıl iletkenlik değeri 0,264 W/mK belirlenmiş iken, aynı harç bileşenine sahip numunelerin %0,12 Al ihtiva eden MB2 örneklerinde %9,54; %0,15 Al içeren MB3 örneklerinde %26,52 ısıl performans iyileşmesi ile karşılaşılmıştır. Ağırlıkça %1,25 lif oranına sahip MC kodlu bloklardan da benzer sonuçlar elde edilmiştir. %0,08 Al kullanım oranına sahip MC1 kodlu test numunelerinin ısıl iletkenlik değeri 0,294 W/mK hesaplanmıştır. Al oranının %0,12'ye çıkartıldığı MC2 numunelerinde %18,37 kadar yalıtım özelliği kazanırken, %0,15 Al kullanım oranıyla elde edilen MC3 numunelerinde %36,05 gibi önemli bir oranda ısıl performans iyileşmesi tespit edilmiştir. Lifin ağırlıkça en yüksek oranda kullanıldığı MD kodlu numunelerden ağırlıkça %0,08 Al ihtiva oranına sahip MD1 örneklerin ısıl iletkenlik değeri 0,303 W/mK bulunmuştur. MD2 ve MD3 örneklerindeki Al kullanımın oranında yapılan %0,04 ve %0,07 artışın etkisi neredeyse aynı olmuştur. Ağırlıkça Al kullanımının %0,12 olduğu test örneklerinde %25,41, ağırlıkça Al ihtiva oranının %0,15'e çıkartıldığı MD3 numunelerinde %24,75 ısıl iletkenlik düşüşü sergilediği saptanmıştır. En düşük ısıl iletkenlik değerine sahip MC3 kodlu numune bileşeninde %0,15 Al ve %1,25 lif bulunurken, bunu takip eden düşük ısıl 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 kullanım oranının enerji verimliliğine olumlu etkileri olduğu söylenebilmektedir. Gazbeton bir duvarda, ısıl öz iletkenlik ile nem oranı arasındaki bağlantının tespit edilmesi amaçlanan çalışmada belirlenen kesit boyunca farklı ısıl iletkenlik değerleri ile karşılaşılmıştır [42]. Bu durum gözeneklerin homojen dağılım sergilememesinden kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında, doğru sonuçlar elde etmek amacıyla fazlaca ölçüm ve hesap yapılmıştır.

Bölüm 5

Sonuçlar ve Öneriler

5.1 Alternatif Lif Türlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi

Bu tez çalışmasının ilk yaklaşım yönteminde, özellikle taşıyıcı nitelikte olmayan kâgir blok yapı elemanı kullanımlarında otoklav işlemine tabi tutulmamış gazbeton üretimlerinde bileşenleri farklı üç tür endüstriyel lif atıklarının kullanım durumu, uygunluğu ve kâgir blok elemanın fiziksel ve mekanik gibi teknik özelliklerine olan etkileri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Analizlerden ulaşılan verilere göre, genel olarak, kot kumaşının kot elyaf açma işleminden geçirilerek geri dönüştürülmesinden elde edilen endüstriyel atık liflerin, endüstriyel kâğıt atıklarının geri dönüşümünden elde edilmiş doğal ve yüksek oranda saf selüloz içeriğe sahip liflere oranla daha rasyonel sonuçlar oluşturduğu görülmüştür. Kot kumaşının geri dönüşümünden elde edilen lif türlerinde pamuk/sentetik oranının ve ayrıca lif uzunluğunun önemli bir etken parametre olduğu tespit edilmiş olup, mukavemet, gözeneklilik ve enerji verimlilik özelliklerinde iyileştirmelerin talep edildiği durumlarda kot kumaşı lif türevlerinin bileşiminde pamuk oranının daha yüksek olması ve lif boyutunun uzun olmasının daha olumlu sonuçlar verdiği tecrübe edilmiştir. Ancak, lif bileşenindeki pamuk oranının yüksek, sentetik oranının düşük olması ve lif boyutunun uzun olmasının, hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blokların su emme kabiliyetlerinde olumsuz etkiler doğurabilecek düzeyde artışa yol açtığı sonucuna varılmıştır. Hafif betonlardan beklenildiği üzere, düşük birim hacim kütle değerini endüstriyel kâğıt atıklarının geri dönüşümünden elde edilmiş yüksek oranda saf selüloz içeren doğal liflerin, talep edilecek yoğunluk değerlerini büyük ölçüde karşılamadığı görülmüştür. Bu konuda, kot kumaşın geri dönüşümünden elde edilmiş

lifleri kullanılarak üretilen örneklerin birim hacim kütle değerleri, otoklavsız gazbeton üretimi açısından daha uygun görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen test örneklerinin birim hacim kütle, basınç dayanım ve gözeneklilik vb. gibi teknik değerleri, karışımda yer alan tüm malzeme türleri ve kullanım oranlarının değişimi ve/veya ilave alternatif malzemelerin kullanımları ile yapılabilecek yeni araştırma çalışmalarında daha ergonomik sonuçlar sağlanabilir. Diğer bir deyişle, bu çalışmada sonucunda edinilen bulgulara kıyasla birim hacim ağırlık değerleri daha düşük, bunun yanı sıra gözeneklilik, ısıl performans ve basınç dayanım değerleri daha yüksek otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanları elde edilebilir.

Yapılan bir çalışmada, öncelikle elyaflar ve fiziksel özellikleri incelenerek, gazbeton malzemeye ikamesi ile en olumlu sonucu verecek özellikteki elyaflar araştırılmıştır. Temin edilen elyaflar sırasıyla G2/04, G3/05 ve G4/06 sınıflarındaki gazbetonların kum çamuruna kütlece %0,5 ~ %0,55‘i oranında yani toplam katının %0,2 ~ %0,25’i oranında elyaf katılarak dökümler gerçekleştirilmiştir. Bu aralıklar katkı elyaflarının yoğunluklarına bağlı olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonucunda, bu tez çalışmasında da ulaşılan sonuca benzer olarak, farklı boyut ve özellikteki elyafların ikamesi ile ısıl iletkenliği azalmış ve basınç-eğilme dayanımı artmış yeni bir gazbeton geliştirilmiştir [43].

5.2 Lif ve Alüminyum Kullanım Oranı Değişimlerinin Otoklavsız Gazbeton Teknik Özelliklerine Etkileri Yaklaşım Yöntemi

Bu tez çalışmasının ikinci yaklaşım yönteminde, özellikle dolgu elemanı olarak kullanılabilecek, taşıyıcı nitelikte olmayan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok üretimlerinde pamuk/sentetik bileşenli endüstriyel atık lif takviyesinin 5 ayrı oranda kullanımının 3 ayrı Al ihtiva oranı altında meydana gelen teknik davranışlar detaylı incelenmiştir. Harç içeriğine lif takviye edilmesi ve Al kullanım oranının artırılmasıyla matris yapıda oluşturulan gözenek yapısında artış ve gözenek ebatlarında büyümeler meydana geldiği gözlenmiştir. Al kullanımının yükseltilmesi

gazbeton örneklerinde genleşmeyi desteklerken birim hacim kütlenin düşmesinde de büyük bir etkiye sahiptir. Malzemelerin genleşme miktarları arttıkça dayanımın düşme eğilimine geçerek basına karşı dürençlerinde azalma meydana geldiği bilinmektedir. Genleştirilen kâgir blokların basınç dayanımındaki düşüşü engellemek amacıyla lif kullanımının oldukça etkili sonuçlar verdiği tecrübe edilmiştir. Malzemenin nem tutma kapasitesinin yüksek olması ısı yalıtım performansını olumsuz yönde 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 otoklavsız gazbeton örneklerin de uygunluğundan bahsedilebilmektedir. Pehlivanlı'nın bir çalışmasında, içerisinde hava kabarcıkları bulunan gazbeton yapı malzemesinin ısıl iletkenlik değerinin nem içeriğine ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi irdelenmiştir. Çalışmada, duvar elamanı olarak kullanılan G2/04 sınıfı gazbeton numuneleri, 0,0% ile 48% aralığında değişen beş farklı kütlesel nem içeriği için 0ºC ile 45ºC aralığındaki sıcaklıklarda ısı iletkenlik katsayılarının değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Bu tez çalışmasında da belirlenmiş olduğu gibi, LaserComp 300 cihazı yardımıyla ölçülen ısıl iletkenliğin, kütlesel nem içeriğine ve sıcaklığa bağlı olarak arttığı deneysel olarak belirlenmiştir [44]. Akustik direnç açısından lif kullanımının olumlu etkileri özellikle %1,25 oranında lif takviyesinin yapıldığı MC kodlu numunelerde göze çarpmaktadır. Akustik empedans değerlerinde matris yapıdaki Al miktarı etkisinin göz ardı edilebilecek düzeyde az olduğundan bahsedilebilmektedir. Ancak, bu durum ısıl iletkenlik değerleri için geçerli olmayıp, Al kullanım miktarında alüminyumun büyük ölçüde etkisi olduğu söylenebilmektedir. Al kullanım miktarındaki artışla harç karışımında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan hava kabarcıklarındaki artış, termal konfor ve enerji tasarrufunu iyileştirmektedir. Doğan'ın yapmış olduğu bir çalışmada, gazbetonun gözeneklilik oranına bağlı olarak ısıl iletkenlik değeri analitik, sayısal ve deneysel olarak ortaya koyulmuştur. Analitik inceleme yapılırken gözenek oranları göz önünde bulundurularak literatürde yer alan ısıl iletkenlik hesap yöntemleri kullanılmıştır. Sayısal incelemede, elektron mikroskopta elde edilen görüntüler (SEM) kullanılarak gazbetona ait geometrik model oluşturulup tek boyutlu çözümler elde edilmiştir. Sayısal çözümler yapılırken hava kabarcıklarının ısıl iletkenliğinin sıcaklığa bağlı olarak değiştiği, kuvarsitin sıcaklıkla değişmediği değerlerin kullanılması hususuna dikkat edilmiştir. Sayısal çözümlerde ise sonlu

eleman esaslı (ANSYS) programının kullanımı tercih edilmiştir. Çözümlerde ısı akısı hesaplanırken sabit yüzey sıcaklığı sınır şartları altında gerçekleştirilmesine özen gösterilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada, Laser Flash teknoloji kullanan cihazla farklı gözeneklilik oranlarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda analitik, deneysel ve sayısal sonuç verileri kıyaslanarak ortaya koyulmuştur. Her üç yaklaşım yönteminde de birim hacim kütlenin artışıyla ısıl iletkenlik özelliğinde artış, ısısal konforda kötüleşme meydana geldiği görülmüştür [45]. Analizler sonucu elde edilen bulgular neticesinde, genel bağlamda %1,25 lif ve %0,12 Al kullanım oranına sahip MC2 blok örneklerinin diğer test numunelerine kıyasla ideal sayılabilecek sonuçlar verdiği 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 özellikte olmayan yapı birimlerinde termal yalıtıma katkı sağlayan dolgu malzemesi olarak değerlendirilebileceği kanaatine varılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan harç kombinasyonları içerisinde kullanılan materyallerin karışım oranlarında değişiklikler uygulanması, ilave katkı malzemeleri kullanımı, ilave lif donatı materyalleri takviye edilmesi ve/veya farklı boyutta lif takviye materyali kullanımı ile yapılabilecek yeni geliştirme çalışmaları sayesinde bu çalışmada elde edilen parametrelere kıyasla teknik özellikleri daha da iyileştirilmiş otoklavsız gazbeton blok elemanları üretilebileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

[1] Chen Y-L, Chang J-E, Lai Y-C, Chou M-I M. A comprehensive study on the production of autoclaved aerated concrete: Effects of silica-lime-cement composition and autoclaving conditions. Construction and Building Materials 153th ed. Elsevier; 2017.

[2] Spratt BH. An introduction to lightweight concrete. Cement and Concrete Association 5th ed. Wexham Springs; 1975.

[3] Tanacan L, Ersoy H, Arpacıpğlu U. Effect of high temperature and cooling conditions on aerated concrete proerties. Construction and Building Materials 2009; 23(3): 1240-1248. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.08.007

[4] Sanytsky MA. Modified composite cements: A tutorial/ M.A. Sanytsky, H.S. Sobol, T.E. Markiv. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House; 2010.

[5] El Zareef MA. Conceptual and structural design of buildings made of lightweight and infra lightweight concrete (doktora tezi). Deutschen Natıonal Bıblıothek; 2010.

[6] Babu DS. Mechanical and deformational properties, and shrinkage cracking behavior of lightweight concretes (doktora tezi). National University of Singapore; 2008.

[7] Neville AM, Brooks JJ. Concrete technology. Prentice Hall 2nd ed. Pearson Education; 2010.

[8] Slaby AA, Aziz KI, Hadeed AF. Mechanical properties of porcelinite reinforced concrete beams. Iraqi Journal of Civil Engineering 2008; 10: 1-24.

[9] Yuan B, Straub C, Segers S, Yu QL, Brouwers HJ H. Sodium carbonate activated slag as cement replacement in autoclaved aerated concrete. Ceramics International 2017; 43(8): 6039-6047.

[10] Wittmann FH. Autoclaved aerated concrete, moisture and properties. Developments in Civil Engineering 6th ed. Elsevier; 1983.

[11] Aitcin PC. High–performance concrete. E and FN Spon Publisher; 1998.

[12] Sezer, H. Öğütülmüş diyatomitin gaz beton üretiminde kullanımının araştırılması (yüksek lisans tezi). Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi; 2010. https://tez.yok.gov.tr/

[13] Türk Ytong Sanayi A.Ş.. Gaz Beton Katalog [İnternet]. İstanbul; 2020 [erişim tarihi 17.03.2021]. www.ytong.com.tr.

[14] Yapı Endüstrisi Merkezi (YEM). Türk Yapı Sektörü Raporu; 2020 [erişim tarihi 02.12.2020]. http://www.yapi.com.tr/turkyapisektoruraporu2016/files/assets/basichtml/index.html#1.

[15] Suriyaprakash S, Hameed M. Review study on foam concrete. International Journal of Advanced Research in Basic Engineering Sciences and Technology 2018; 4(12): 1-6.

[16] Laukaitis A, Fiks B. Acoustical properties of aerated autoclaved concrete. Applied Acoustics 2006; 67(3): 284-296.

[17] Laurent JP, Guerre-Chaley C. Influence of water content and temperature on the thermal conductivity of autoclaved aerated concrete. Materials and Structures 1995; 28(182): 464-472.

[18] Kadı, B. 3 boyutlu yazıcıların kompozit gaz beton üretiminde kullanılması (yüksek lisans tezi). Karabük: Karabük Üniversitesi; 2022. https://tez.yok.gov.tr/

[19] Ünverdi A. Yüksek sıcaklık altında gaz beton kırıklarının incelenmesi (yüksek lisans tezi). Tokat: Osman Gazi Üniversitesi; 2006. https://tez.yok.gov.tr/

[20] van Boggelen DR. Safe aluminium dosing in AAC plants. Aircrete Europe BV, Oldenzaal, The Netherlands 2011; 45-50

[21] Xia Y, Yan Y, Hu Z. Utilization of circulating fluidized bed fly ash in preparing non-autoclaved aerated concrete production. Construction and Building Materials 2013; 47: 1461-1467.

[22] Bakhshi M, Mobasher B. Experimental observations of early-age drying of Portland cement paste under low-pressure conditions. Cement and Concrete Composites 2011; 33(4): 474-484.

[23] Ronald F, Carol DH. Engineering material properties of a fiber reinforced cellular concrete. Materials Journal 1998; 95(5): 631-635.

[24] Bonakdar A, Babbitt F, Mobasher B. Physical and mechanical characterization of fiber-reinforced aerated concrete (FRAC). Cement & Concrete Composites 2013; 38: 82-91.

[25] Bynum RT. Insulation handbook. Mcgraw Hill Professional; 2000.

[26] Geliş K, Yeşildal F. Klasik ve Modern Yapı Elemanları Kullanılması Durumunda Isı İletim Katsayısının Değişimi ile Minimum Yalıtım Kalınlığının Tayini. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2020; 10(4): 869-877. doi.org/10.17714/gumusfenbil.725909

[27] Mobasher B, Li CY. Mechanical properties of hybrid cement-based composites. Materials Journal 1996; 93(3): 284–292.

[28] Perez-Pena M, Mobasher B. Mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete composites. Cement and Concrete Research 1994; 24(6): 1121-1132.

[29] Rasheed M.A, Prakash SS. Behavior of hybridsynthetic fiber reinforced cellular lightweight concrete under uni-axial tension - experimental and analytical studies. Construction and Building Materials 2017; 162(7): 857-870. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.095

[30] Vijayalakshmi R, Ramanagopal S. Compression behaviour of polypropylene fibre reinforced cellular light weight concrete masonry prism. Civil And Environmental Engineering Reports 2020; 30(1): 145-160. doi.org/10.2478/ceer-2020-0011

[31] Vijayalakshmi R, Ramanagopal S. Experimental investigation into banana fibre reinforced lightweight concrete masonry prism sandwiched with GFRP sheet. Civil and Environmental Engineering Reports 2020; 30(2): 15-31. doi.org/10.2478/ceer-2020-0017

[32] Sukmana NC, Khifdillah MI, Nurkholil AS, Anggarini U. 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; 2008 Sep 7-8; Indonesia. IOP Publishing Ltd;2019. 509, 012095. doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012095

[33] Qian CX, Stroeven P. Development of hybrid polypropylene-steel fibre-reinforced concrete. Cement and Concrete Research 2000; 30(1): 63-69.

[34] Siram KKB. Cellular light-weight concrete blocks as a replacement of burnt clay bricks. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) 2012; 2(2): 149-151.

[35] Kaushik HB, Rai DC, Jain SK. Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression. Journal of Materials in Civil Engineering 2007; 19: 728-739. doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(728)

[36] TSE, Türk Standartları Enstitüsü, Kâgir Harcı-Deney Metotları- Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlesinin Tayini, Ankara/Türkiye: Türk Standartları Enstitüsü, Kabul 12 Nisan 2001, TS EN 1015-10.

[37] TSE, Türk Standartları Enstitüsü. Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 4: Gazbeton Kâgir Birimler. Ankara/Türkiye: Türk Standartları Enstitüsü, Kabul 27 Ağustos 2015, TS EN 771-4+A1.

[38] Kadashevich I, Schneider H-J, Stoyan D. Statistical modeling of the geometrical structure of the system of artificial air pores in autoclaved aerated concrete. Cement and Concrete Research 2005; 35: 1495-1502. doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.010

[39] Demirel B, Gönen T. Doğu anadolu bölgesi araştırmaları, karbon fiber takviyeli betonda farklı fiber boyunun kapilariteye etkisi (yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi; 2007. https://tez.yok.gov.tr/

[40] Karaaslan YK. Gazbeton yapı malzemesinin ısıl özelliklerinin mevcut standartlara göre deneysel olarak incelenmesi (yüksek lisans tezi). Kırıkkale Üniversitesi; 2009. https://tez.yok.gov.tr/

[41] Aksoy UT. Sandviç ve gazbeton duvar uygulamalarının ortalama ısı geçirgenlik katsayısı ve ısı kaybı üzerindeki etkisinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2008; 24 (1-2): 277- 290.

[42] Jozsa Z, Varfalvi J. Thermomechanical testing of an aerated concrete wall. Periodica Polytechnica Civil Engineering 1989; 33(1-2): 39–43.

[43] Alageyik ZP. Elyaf takviyesi ile gaz betonun ısıl ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi (yüksek lisans tezi). Kırıkkale Üniversitesi; 2018. https://tez.yok.gov.tr/

[44] Pehlivanlı, Z. Gazbeton malzemesinin ısıl iletkenliğinin nem ve sıcaklıkla değişiminin incelenmesi. International Journal of Engineering Research & Development 2009; 1(2): 76- 80.

[45] Doğan B. Gazbetonun malzemesinin ısıl iletkenliğinin farklı gözeneklilik oranlarında incelenmesi. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2018; 3 (2): 39-51.

Ekler

Ek A

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Konferans Bildirileri

1. Özcan ŞP, Gündüz L. A Technical Analysis on the Use of Industrial Waste Fibers in the Production of Non-Autoclaved Aerated Concrete Masonry Block Elements. Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization - ARACONF2021: Proceedings of the 2nd International Conference; 2021 March 10-12; Kayseri, Türkiye. 22-23. http://www.araconf.com/Proceedings/ARACONF_2021_PROCEEDING_BOOK.pdf .

Makaleler

1. Özcan ŞP, Gündüz L. Otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanlarının üretiminde endüstriyel atık liflerin kullanımı üzerine teknik bir analiz. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi - Ejosat Özel Sayı 2021 (ARACONF) 2021; 202-212 . DOI: 10.31590/ejosat.900083

2. Özcan ŞP, Gündüz L. Pamuk-sentetik bileşenli lif katkısı ve genleştirme ajanı miktarlarının otoklavsız gazbetonun teknik özelliklerine etkileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 21(6): 1404-1423. DOI: 10.35414/akufemubid.933359

T.C.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstriyel Atık Liflerinin Otoklavsız Gazbeton Blok Elemanlarının Üretiminde Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Şeyma Pınar ÖZCAN

ORCID 0000-0002-1395-196X

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

Temmuz 2022

88

ÖZCAN Endüstriyel Atık Liflerinin Otoklavsız Gazbeton Blok Elemanlarının Üretiminde Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi YÜKSEK LİSANS TEZİ 2022

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Şeyma Pınar ÖZCAN
E-mail (1): Y190227012@ikcu.edu.tr
E-mail (2): seymapinarozcan@gmail.com

Eğitim:

2015–2019 Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

İş Deneyimi:

2022 – ... TOPAZ Prekast Yapı Elemanları A.Ş., İnşaat Mühendisi, İzmir/Türkiye

2021 – 2022 Hittite Steel Inc., Assistant Estimator, Arlington/Amerika Birleşik Devletleri

2021 – 2021 İzmir İnşaat Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisi, İzmir/Türkiye

2016 – 2016 EDOSA İnşaat Malzemeleri Ve Taahhüt Tic.Ltd.Şti., İnşaat Teknolojisi Teknisyeni, Uşak/Türkiye

Yayınlar:

1. Özcan, Ş. P., Gündüz, L. (2021). Otoklavsız Gazbeton Kâgir Blok Elemanlarının Üretiminde Endüstriyel Atık Liflerin Kullanımı Üzerine Teknik Bir Analiz. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2021 (ARACONF), 202-212. DOI: 10.31590/ejosat.900083

2. Özcan, Ş. P. & Gündüz, L. (2021). Pamuk-Sentetik Bileşenli Lif Katkısı ve Genleştirme Ajanı Miktarlarının Otoklavsız Gazbetonun Teknik Özelliklerine Etkileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21 (6), 1404-1423 . DOI: 10.35414/akufemubid.933359