

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HÜCRESEL HAFİF BETONUN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Yıldırım ÇAÇUR
DANIŞMAN : Doç. Dr. Mücip TAPAN

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HÜCRESEL HAFİF BETONUN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Yıldırım ÇAÇUR

Bu çalışma TÜBİTAK 115M037 No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Yıldırım ÇAÇUR tarafından hazırlanan “**Hücreli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi**” başlıklı bu çalışma, 30/01/2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Abdulhalim KARAŞİN

İmza:



Üye: Doç. Dr. Mücip TAPAN (Tez Danışman)

İmza:



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL

İmza:



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15/02/2019 tarih ve 2019/14-I Sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

İmza

Yıldırım ÇAÇUR



ÖZET

HÜCRESEL HAFİF BETONUN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÇAÇUR, Yıldırım.
Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mücip TAPAN
Şubat 2019, 81 Sayfa

Son yıllarda, özellikle ısı yalıtımı ve birim ağırlığı bakımından normal betona nazaran oldukça büyük avantajlara sahip olan hücresel hafif betonun kullanım alanı gün geçtikçe yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu malzemelerin tercih sebepleri hafifliği ve düşük ısı iletim katsayısına sahip olmasının yanında, malzemenin doğal ve yerel bir malzeme olmasıdır.

Tez kapsamında çimento bağlayıcılı inorganik yalıtım malzemesi olan hücresel hafif betonun birim ağırlığının en düşük seviyelere indirilip en yüksek yalıtım özelliği kazandırılabilmesi için birçok deney yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda en uygun numuneler elde edilmiştir. Kuru birim yoğunluğu 139 kg/m^3 ile en düşük birim hacim ağırlığa sahip olduğu ve bu numunenin ısı iletimlik değerinin 0.0398 mW/mK ile en düşük ısı iletimlik değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Bu numunelerin basınç ve çekme mukavemetleri yapılan mekanik deneyler ile elde edilmiştir. Basınç mukavemetleri min. 0.25 MPa iken max. 4.66 MPa olarak elde edilmiştir. Çekme dayanımı ise max. 0.921 MPa olduğu görülmüştür. Numunelerin ultrasonik ses deneyleri yapılmış olup genel anlamda numune yoğunlukları düşük olan numunelerin hız iletimlerinin düşük olduğu görülmüştür. Ultrasonik hızlarının min. 550 m/s iken max. 2604 m/s olduğu görülmüştür. Numunelerin su emme testleri yapılmış olup numunelerin su emme oranların çok yüksek olduğu ve bazı numunelerde %200 varan su emme oranları görülmüştür. Su emme yüzdesinin min. %37.19, max. %199.20 olduğu görülmüştür. Su emme oranları düşük olan numunelerin genel anlamda donma-çözülme testinde daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Boşluk yapısı, Düşük Birim hacim ağırlık, Hafif hücresel beton, Isı iletim katsayısı.



ABSTRACT

DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE

ÇAÇUR, Yıldırım

M. Sc. Thesis, Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Mücip TAPAN

February 2019, 81 pages

In recent years, especially in terms of thermal insulation and unit weight, the usage area of cellular lightweight concrete, which has considerable advantages compared to normal concrete, has started to become widespread day by day. The reasons for these materials are the lightness and low heat transmission coefficient, and the material is a natural and local material.

Within the scope of the thesis, many experiments have been carried out to reduce the unit weight of cellular lightweight concrete, which is the inorganic insulating material with cement bonding, to the lowest levels and to give the highest insulation property. As a result of these experiments, the most appropriate samples were obtained. It has been observed that the dry unit density has the lowest density with 139 kg / m³ and the thermal conductivity value of this sample has the lowest thermal conductivity value with the value of 0.0398 mW/mK.

Pressure and tensile strength of these samples were obtained by mechanical experiments. The pressure strengths are min. 4.66 MPa. Tensile strength is max. 0.921 MPa. The ultrasonic sound tests of the samples were made and it was found that the samples with low sample densities had low speed transmissions. Ultrasonic speeds min. 550 m/s while max. 2604 m/s. Water absorption tests of the samples were made and water absorption rates of 200% were observed in some samples where the water absorption rates of the samples were very high. Water absorption percentage min 37.19%, max. % 199.20. Samples with low water absorption rates were generally more successful in the freeze-thaw test.

Keywords: Cavity structure, Heat conduction coefficient, Low unit volume weight, Light cellular concrete.



ÖN SÖZ

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu yüksek lisans tez çalışması TUBİTAK tarafından 2015-115M037 no'lu “**Yüksek Isıl Direnç Yeteneği Kazandırılmış Depreme Dayanıklı Tasarlanmış Ön Dökümlü Betonarme Yapı Sistemleri**” isimli araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya 2015-115M037 no'lu proje kapsamında destek veren TUBİTAK'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını kapsayan sürecin başından sonuna dek, maddi ve manevi her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Mücip TAPAN'a teşekkür ederim. Tez çalışması kapsamında her türlü bilgi ve belge paylaşımında bulunarak çalışmalara katkıda bulunan hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet TÜRKMENOĞLU'na, Araş. Gör. Funda TÜRKMENOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca laboratuvar çalışmalarım sırasında destek veren Mihraç AĞAÇKAYA'ya ve Kemal GEZİCİ'ye sonsuz teşekkür ederim. Son olarak hayatımın her alanında olduğu gibi bu tez çalışması sürecinde de yanımda olan aileme ve ayrıca desteklerini eksik etmeyen değerli arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

2019

Yıldırım ÇAÇUR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yapılarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri	2
1.1.1. Bitkisel ve hayvansal kökenli ısı yalıtım malzemeleri.....	3
1.1.1.1. Mantar.....	3
1.1.1.2. Pamuk esaslı ısı yalıtım malzemesi	3
1.1.1.3. Bor katkılı selülozik yalıtım malzemesi	3
1.1.2. Mineral kökenli ısı yalıtım malzemeleri	4
1.1.2.1. Cam yünü.....	4
1.1.2.2. Taş yünü	4
1.1.2.3. Perlit	4
1.1.2.4. Gaz beton.....	5
1.1.3. Sentetik kökenli ısı yalıtım malzemeleri.....	5
1.1.3.1. Poliüretan köpük(PUR)	5
1.1.3.2. Genleştirilmiş polistren sert köpük (EPS)	5
1.1.3.3. Ekstrüde sert polistren köpük(XPS)	6
1.1.3.4. PVC-polivinilklorür köpüğü	6
1.1.4. Köpük beton.....	6
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	9

3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Materyal.....	11
3.1.1. Çimento	11
3.1.2. Karışım suyu.....	11
3.1.3. Köpük beton üretiminde kullanılan köpük ajanları	12
3.1.3.1. Sentetik sürfaktan	12
3.1.3.2. Polimer esaslı sürfaktan.....	13
3.1.3.3. Protein esaslı sürfaktan.....	14
3.1.3.4. Laboratuarda geliştirilen lateks katkılı köpük sürfaktanı	14
3.1.4. Fiber lif.....	15
3.1.5. Pomza	15
3.1.6. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesi	17
3.2. Yöntem	17
3.2.1. Köpük ajanları(sürfaktanlar)	17
3.2.2. Pomza	18
3.2.3. Köpük beton kullanılarak çimento bağlayıcılı izolasyon malzemesinin tasarımı.....	19
3.2.4. Basınç dayanımlarının belirlenmesi için köpük beton üretimi.....	21
3.2.5. Eksenel eğilme ve çekme deneyi için köpük beton üretimi	23
3.2.6. Köpük betonun ısı iletkenlik katsayısının belirlenmesi.....	23
3.2.7. Ses geçirgenlik katsayısının belirlenmesi için köpük betonun üretimi	23
3.2.8. Lif kullanılarak üretilen köpük beton numuneleri.....	26
3.3. Laboratuarda yapılan çalışmalar.....	26
3.3.1. Ultra hafif beton numunelerinin hacim ve birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi.....	29
3.4.Mekanik Özellik Deneyleri	30
3.4.1.Tek eksenli basınç dayanımı deneyi.....	30
3.4.2.Eğilme dayanımı tayini.....	31
3.4.3. Ultrases geçirgenliği testi	33

3.4.4. Isı iletkenlik katsayısının belirlenmesi	34
3.4.5. Ses geçirgenlik katsayısının belirlenmesi.....	34
3.4.6. Mikro yapısal özelliklerin belirlenmesi.....	38
3.4.7. Birim ağırlık ve su emme oranı	38
3.4.8. Donma-çözülme dayanıklılığı	38
3.4.9. Numune donma-çözülme sonrası ağırlık kaybı deneyi	41
3.4.10. Numune donma-çözülme sonrası basınç dayanımı deneyi	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1. Köpük ajanı kullanarak tasarlanan çimento bağlayıcılı izolasyon malzemesi ile yapılan deneylere ait sonuçlar	43
4.1.1. Sentetik sürfaktanlar	43
4.1.2. Protein esaslı sürfaktan.....	44
4.1.3. Polimer esaslı sürfaktan.....	45
4.1.4. Lateks katkılı köpük ajanı	46
4.2. Düşük Isı İletkenlikli Ultra Hafif Betonun Ayırıcı Elemanlarda Kullanılması Amacıyla Üretilmesi	47
4.3. Düşük Isı İletkenlikli Ultra Hafif Betonun Tek Eksenli Basınç Deneyi	49
4.3.1. Sentetik ajanlı numunelerin basınç deneyi	49
4.3.2. Polimer esaslı sürfaktan basınç deneyi.....	50
4.3.3. Protein esaslı sürfaktan basınç deneyleri.....	51
4.3.4. Laboratuarda geliştirilen sentetik latex katkılı özel ajanla yapılan basınç deneyi.....	51
4.4. Eğilme Dayanım Tayını.....	52
4.5. Ultrasonik Hız Deneyi	54
4.6. Düşük Isı İletkenlik Katsayısına Sahip Çimento Bağlayıcılı İzolasyon Malzemelerinin Donma Çözülme Dayanımlarının Deneysel Olarak Elde Edilmesi.....	57

4.7. Düşük Isı İletkenlik Katsayısına Sahip Çimento Bağlayıcılı İzolasyon	
Malzemelerinin Mikro Yapısal Analizi	63
4.7.1. X-Ray fluorescence (XRF).....	63
4.7.2. XRD.....	63
4.7.3. SEM.....	66
4.8. Birim Ağırlık ve Su Emme Oranları.....	69
4.9. Numunelerin Isı İletkenlik Katsayısının Kuru Birim Hacim Ağırlık İle İlişkisi .	71
SONUÇLAR.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	11
Çizelge 3.2. PVA Liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri	15
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan pomzanın fiziksel özellikleri	16
Çizelge 3.4. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin teknik özellikleri...	17
Çizelge 3.5. Çalışmalarda kullanılan öğütülmüş pomzaya ait elek analizi sonuçları.....	19
Çizelge 3.6.Yapılan çalışmalara ait köpük beton karışım hesabı	28
Çizelge 3.7. Numunelerin birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi.....	29
Çizelge 3.8. Numunelerin birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi.....	30
Çizelge 4.1. Sentetik sürfaktan ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar	44
Çizelge 4.2. Protein esaslı sürfaktan ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar	44
Çizelge 4.3.Protein esaslı sürfaktan ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar	45
Çizelge 4.4. Polimer esaslı sürfaktan ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar	46
Çizelge 4.5. Laboratuarda proje kapsamında geliştirilen lateks katkılı köpük ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar	47
Çizelge 4.6. Üretilen köpük betonların eğilme dayanımı deney sonuçları.....	54
Çizelge 4.7. Ultra hafif ve normal betondaki ses dalgası geçiş ortalama hızı.....	56
Çizelge 4.8. Köpük betonun basınç ve ultra ses geçirgenlik değerleri.....	57
Çizelge 4.9.Donma-çözülme çevrimleri sonucunda fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişim değerleri	60
Çizelge 4.10. Düşük ısı iletkenlikli ultra hafif betonun donma-çözülme deney sonuçları	62
Çizelge 4.11. Düşük ısı iletkenlikli ultra hafif betonun donma-çözülme deney sonuçları	63
Çizelge 4.12. Üretilen betonların XRF ile elde edilen kimyasal bileşimi	64

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.13.Mikroyapısal analiz için seçilen örneklerin EDX ile elde edilen kimyasal analizi.....	66
Çizelge 4.14.Mikroyapısal analiz için seçilen örneklerin EDX ile elde edilen kimyasal analizi.....	67
Çizelge 4.15. Isı iletkenliği düşük köpük beton numunelerin su emme oranları	70
Çizelge 4.16. Isı iletkenliği düşük köpük beton numunelerin su emme oranları	71
Çizelge 4.17.Proje kapsamında farklı sürfaktanlarla üretilen köpük betonlara ait basınç mukavemet ve ısı iletkenlik testi sonuçları.....	72
Çizelge 4.18.Proje kapsamında farklı sürfaktanlarla üretilen köpük betonlara ait basınç mukavemet ve ısı iletkenlik testi sonuçları.....	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1.Çalışmalarda kullanılan köpüğün oluşumu.	12
Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılan sentetik köpük ajanı.....	13
Şekil 3.3. Laboratuarda ürettiğimiz sentetik lateks katkılı köpük ajanı.	14
Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan fiber lif görüntüsü.	15
Şekil 3.5. a) Ham pomzanın etüv görüntüsü, b) Öğütülmüş pomza, c) Pomza öğütme makinesi, d) Pomza elek analizi.	16
Şekil 3.6. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin görselleri.	17
Şekil 3.7. Köpük jeneratörü, pompası ve mikseri.	22
Şekil 3.8.Çimento su karışımına köpük verilmesi.....	22
Şekil 3.9. Köpük betonun mikserde karıştırılması.	22
Şekil 3.10. Basınç numunelerin üretimi (solda), basınç numunelerinin etüv görüntüleri (sağda).	22
Şekil 3.11. Çekme dayanım deneyi için hazırlanan numune görüntüleri.....	23
Şekil 3.12. Isı iletim deneyi için hazırlanan numunelerin görüntüleri. Numunenin numaralandırılması (solda), numune ağırlıklarının belirlenmesi (sağda).	24
Şekil 3.13. Malzemenin üretiminden görüntüler.	24
Şekil 3.14. Lif kullanılmış bir numuneden görüntü.	26
Şekil 3.15. Köpük betonunun laboratuarda döküm aşamaları.....	27
Şekil 3.16. Farklı birim hacim ağırlıklarına sahip köpük beton numuneleri.	28
Şekil 3.17. Kumpas ile numune boyutlarının ölçülmesi.....	29
Şekil 3.18. Üretilen köpük betonların basınç mukavemet testi.	32
Şekil 3.19. Köpüklü betonun eğilme dayanımı deneyi.....	33
Şekil 3.20. Ultrases geçiş hızı deneyinden görüntüler.....	34
Şekil 3.21. Isı iletim makinesi ve ısı iletim numunesi.....	34
Şekil 3.22. Hafif beton numunelerinin ısı iletim katsayılarının belirlenmesi.....	35

Şekil	Sayfa
Şekil 3.23. Isı iletim için yapılmış numune yoğunluk değerinin belirlenmesi.....	35
Şekil 3.24. Ses yalıtım testi için üretilen proje kapsamında geliştirilen çimento bağlayıcılı izolasyon malzemesi.....	35
Şekil 3.25. Ses yalıtım testi için duvar örülmesi.	36
Şekil 3.26. Ses yalıtım testi.	36
Şekil 3.27. .Kaynak ve alıcı oda özellikleri(solda), deney çerçevesi(sağda).....	37
Şekil 3.28. Doymun kuru olan numune (solda), suya doymun olan numune (sağda).	41
Şekil 3.29. Donma-çözülme deney numunelerinden görüntüler.	42
Şekil 4.1. Kür yapılmış numune ile kür işlemi yapılmamış numune görüntüsü.	48
Şekil 4.2.Köpük beton kesim makinesi(üstte), köpük betonun kesimi(sağ alt), köpük betonun ambalajlanması(sol alt).....	48
Şekil 4.3. CEM-42.5R çimento ile farklı sürfaktanlar kullanılarak üretilmiş köpük beton birim hacim ağırlıkları ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.	49
Şekil 4.4.CEM-I 42.5R çimentosu ile sentetik kullanılarak üretilmiş köpük betonların birim hacim ağırlığı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki. .	50
Şekil 4.5.CEM-I 42.5R çimentosu ile polimer esaslı sürfaktan kullanılarak üretilmiş köpük betonların birim hacim ağırlığı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki.	50
Şekil 4.6.CEM-I 52.5R çimentosu ile protein esaslı sürfaktan kullanılarak üretilmiş köpük betonların birim hacim ağırlığı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki.	51
Şekil 4.7. CEM-I 52.5R çimentosu ile sürfaktan kullanılarak üretilmiş köpük betonların birim hacim ağırlığı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki. .	52
Şekil 4.8. Lif içerikli numune çekme dayanım deneyi.	53
Şekil 4.9.Lifsiz numune çekme dayanım deneyi.	53
Şekil 4.10. Üretilen köpüklü beton numunelerin ultrases geçirgenliği testi.....	55
Şekil 4.11. Ultra ses dalga hızı ile basınç dayanımı ilişkisi.	55
Şekil 4.12. Ultrases dalga hızı ile birim hacim ağırlık ilişkisi.....	56
Şekil 4.13.Donma-çözülme döngüsü sonucunda başarılı olan numuneler.....	58

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. Deneyde başarısız olan numunelerin görünüşleri.....	58
Şekil 4.15. Suya doymuş numunelerin birim ağırlıklarının hesaplanması.....	59
Şekil 4.16. Donma-çözülme öncesi ve sonrasındaki kütle değişim ilişkisi.....	60
Şekil 4.17. Donma-çözülme öncesi ve sonrasındaki basınç mukavemeti ilişkisi.	61
Şekil 4.18. 61 nolu numunenin XRD ile yapılan kalitatif incelemesi (Sentetik).	65
Şekil 4.19. 84 nolu numunenin XRD ile yapılan kalitatif incelemesi (Polimer Esaslı). 65	
Şekil 4.20.137 nolu numunenin XRD ile yapılan kalitatif incelemesi (Laboratuvarımızda geliştirilen latex katkılı).....	65
Şekil 4.21. 150 nolu numunenin XRD ile yapılan kalitatif incelemesi (Protein esaslı lif katkılı).....	66
Şekil 4.22.Sentetik esaslı köpük ajanı kullanılarak üretilen 61 nolu numunenin mikro yapısı(solda), Polimer esaslı köpük ajanı kullanılarak üretilen 84 nolu numunenin mikro yapısı(sağda).	68
Şekil 4.23.Polimer esaslı köpük ajanı kullanılarak üretilen 85 nolu numunenin mikro yapısı(solda), Polimer esaslı köpük ajanı kullanılarak üretilen 87 nolu numunenin mikro yapısı(sağda).	68
Şekil 4.24. Polimer esaslı köpük ajanı ve lif kullanılarak üretilen 89 nolu numunenin mikro yapısı(solda), Laboratuvarımızda geliştirilen latex katkılı köpük ajanı kullanılarak üretilen 137 nolu numunenin mikro yapısı(sağda).....	68
Şekil 4.25. Laboratuvarımızda geliştirilen latex katkılı köpük ajanı ve lif kullanılarak üretilen 139 nolu numunenin mikro yapısı(solda), Protein esaslı köpük ajanı ve lif kullanılarak üretilen 150 nolu numunenin mikro yapısı(sağda).....	69
Şekil 4.26. Laboratuvarımızda geliştirilen latex katkılı köpük ajanı kullanılarak üretilen 159 nolu numunenin mikro yapısı.....	69
Şekil 4.27. Suya doymuş ultra hafif beton numunelerinin görüntüleri.	70
Şekil 4.28. Numunelerin kuru birim hacim ağırlık ile su emme yüzdesi ilişkisi	72
Şekil 4.29. Numunelerin ısı iletkenlik katsayısının kuru birim hacim ağırlık ile ilişkisi.	74



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Alicı odadaki eşdeğer ses absorpsiyon alanı, (m ²)
a	Numunenin boyu, (cm)
b	Numunenin eni, (cm)
cm	Santimetre
d	yoğunluk, (kg/m ³)
g	Gram
h	Numunenin yüksekliği, (cm)
L	Uzunluk, (cm)
l	lambda
L1	Kaynak odadaki ses basınç seviyesi enerji ortalaması, (desibel)
L2	Alicı odadaki ses basınç seviyesi enerji ortalaması, (desibel)
n	Porozite
P	Protein köpük konsantresi
P	Yük, (kN)
S	Deney elemanının yerleştirileceği serbest deney açıklığının alanı, (m ²)
s	Saniye
T	Alicı odada çınlama süresi, (sn)
U	Isı geçirgenlik katsayısını, (mW/mK)
V	Hacim, (mm ³ , cm ³ , m ³)
V _p	Sıkışma dalga hızı, (m/s)
V	Alicı odanın hacmi, (m ³)

W	Ağırlık, (kg)
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık, (kg/m ³)
γ_d	Doygun birim hacim ağırlık, (kg/m ³)
λ	Isı iletim katsayısı, (mW/mK)
σ	Gerilme, (MPa)
μ	Su buharı difüzyon direnç katsayısı

Kısaltmalar

Açıklama

B.sız	Başarısız
C-S-H	Kalsiyum silika hidrat
EDX	Energy-dispersive X-ray Spectroscopy
Kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
kN	Kilo Newton
KSE	Kütlece su emme
Lt	Litre
mW/mK	milliWatt/milliKelvin
SEM	Scanning elektron microscope
S/C	Su/Çimento
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
XRD	X-Işınları Kırınım Cihazı
XRF	X-Rayfluorescence

1. GİRİŞ

Türkiye'nin enerji açığı ve düşük maliyetli konutlara olan ihtiyaç düşünüldüğünde, insanların maddi olarak güç yetirebilecekleri çok yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip yapı malzemelerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Dolayısıyla, bu tezde öncelikle ülkemizde yaşayan alt gelir grubundaki insanlara yönelik, yüksek ısıl dirence sahip düşük maliyetli bir yapı malzemesinin geliştirilerek mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Ülkemizde toplam enerjinin %29'u konutlarda kullanılmaktadır. Konutlarda kullanılan bu enerjinin %47'si yapı elemanlarından doğan ısı kayıplarının karşılanması için harcanmaktadır. Bu kayıplar her yıl 15 Milyon Ton Eşdeğer Petrolü (TEP) bulmaktadır. Birçok ülkede duvar blokları, yalıtım blokları, asmolen bloklar, çatı ve kat arası zemin yalıtımının yanında birçok sahada da kullanılmakta olan köpük beton standardı, TSE tarafından 1988 yılında TS 453 olarak yayımlanarak yürürlüğe girmiş, fakat 2006 yılında iptal edilmiştir. Son yıllarda ülkemizin kazanmış olduğu ivme sonucu birçok alanda olduğu gibi yapı endüstrisinde de olumlu gelişmeler kat edilmiştir. Bu bağlamda hem gözardı edilemeyen bir enerji tasarrufu sağlayacak hem de dışa bağımlı yalıtım malzemelerinin yerini alabilecek, tamamen yerli teknoloji ve hammadde ile üretilecek olan köpük betonun ülkemizde üretimine yönelik gayretler başlamış ve devam etmektedir. Mevcut yapı elemanlarımızın yanında ısı yalıtım özelliğine sahip, uzun ömürlü, yanmaz ve tamamen yerli hammadde ile üretilebilen ekonomik yapı malzemelerinin de piyasaya çıkarılması büyük önem taşımaktadır. Bu ürünün, yerli hammadde, düşük yatırım ve teknolojiyle ilgili büyük avantaj sağlayan özelliklerinden dolayı üretimi stratejik bir öneme sahiptir (Ekinci, 2014).

Yalıtım amacı ile geliştirilecek olan kaplama malzemesinin ithal ve mevcut yerel izolasyon kaplama malzemelerine alternatif ve mevcut ürünlerde gözlemlenen olumsuzluklara yol açmayacak biçimde inorganik yapıda, ekonomik ve uygulanabilir bir izolasyon kaplama malzemesi olması amaçlanmaktadır. Tez kapsamında çimento bağlayıcılı inorganik yalıtım malzemesinin birim hacim ağırlığının en düşük seviyelere indirilip en yüksek yalıtım özelliği kazandırılabilmesi için bir takım yeni nesil yöntemler kullanılmıştır. Bu kapsamda yalıtım malzemesinin üç ana bileşenden (agrega, çimento bağlayıcılı matris ve ilave katkıları) oluştuğu kabul edilip her bir bileşenin kendi

içerisinde en yüksek yalıtım özelliği sağlayacak şekilde tasarlanıp sonrasında en üstün özellik sergileyen bileşenler tek bir kompozitte birleştirilmiştir.

Hücresele hafif köpük betonun geçmiş çalışmalarda ortaya çıkan olumlu özelliklerinden dolayı, bu tez kapsamında, kimyasal katkıları içerisinde sıralanan köpük ajanları kullanılarak, birim ağırlığı 150 - 400 kg/m³ ve en yüksek ısı iletkenlik katsayısı 40-80 mW/mK değerleri arasında olan köpük betonun geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilmesi planlanan yeni nesil yalıtım malzemesinde istenen ısı yalıtım özelliklerinin elde edilebilmesi amacı ile mevcut yöntemlerden yararlanılması amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışması beş bölüme ayrılmıştır. İlk bölümde tez konusu ve yalıtım malzemeleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde tez kapsamında üretilen hücresele hafif beton üretim yöntemleri, karakteristik özellikleri ve yapılan deneyler hakkında detaylı bilgi sunulmuştur. Dördüncü bölümde ise yapılan çalışmalar ve laboratuvar ortamında elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Son bölüm olan sonuç başlığı altında da bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar verilmiştir.

1.1. Yapılarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri

TS 825'in ön gördüğü ısı yalıtım değerlerine ulaşmak için yapılacak yalıtım uygulamaları kaynaklarda ısı yalıtım malzemesinin konumuna göre 4 farklı sistemle karşımıza çıkmaktadır (Sezer, 2005). Bunlar aşağıda maddeler şeklinde verilmiştir:

- 1-) Duvarların Dış Yüzeyine Yapılan Isı Yalıtım Uygulamaları(Mantolama),
- 2-) Duvarların İç Yüzeyine Yapılan Isı Yalıtım Uygulamaları,
- 3-) Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamaları (Sandviç Duvar),
- 4-) Havalandırmalı Dış Duvar Yalıtım Uygulamaları(Giydirme Cephe Sistemi).

Isı yalıtım malzemeleri, yapı elemanlarının ısı ile tüm direncini artırarak istenmeyen ısı kaybı ve kazançlarını azaltmak amacıyla kullanılır. Yapılarda kullanılan bazı ısı yalıtım malzemeleri, hammadde kaynağına bağlı olarak, bitkisel ve hayvansal kökenli ısı yalıtım malzemeleri, mineral kökenli ısı yalıtım malzemeleri ve sentetik

kökenli ısı yalıtım malzemeleri olmak üzere üç sınıfa ayrılmış ve genel özellikleri maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır(Karadayı ve ark., 2016).

1.1.1. Bitkisel ve hayvansal kökenli ısı yalıtım malzemeleri

1.1.1.1. Mantar

Yapı malzemesi olarak zemin kaplamalarında kullanılan mantar ısı iletkenlik hesap değeri 0.045-0.055 W/mK dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu = 5-10$ dur. Kullanım sıcaklığı $-180\text{ }^{\circ}\text{C} / +100\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. Bilinen en eski bitkisel kökenli yalıtkanlardan biri olan mantar, taneli bir yapıda olup, doğal mantar veya meşe mantarı olarak da bilinir. Heterojen yapılı ve örnekten örneğe değişen ısı iletkenlik katsayısına sahip olan mantar, piyasada kabuk, pano, karo, vb. şekillerde bulunmaktadır. Genel özellikleri açısından yapıştırılması, çivilenmesi, kesilmesi kolay, çürümeyen, zor yanan (ancak alev alınca sonuna kadar yanan), is çıkararak yanan (DIN 4102 ye göre B2 Sınıfı) bir malzemedir (Yılmaz ve ark., 2009).

1.1.1.2. Pamuk esaslı ısı yalıtım malzemesi

Gelişmiş ülkelerde endüstriyel tekstil atıkların yapı malzemesi üretiminde kullanımı ile elde edilen ürünler ticari olarak pazarlanmaktadır. Bu ürünler, endüstriyel üretimin sonrasında elde edilen geri dönüştürülmüş kot kumaşlarından ve geri dönüştürülmüş diğer pamuk tekstil ürünlerinden üretilir. İçeriğinde %85 oranında pamuk, %10 oranında yangın geciktirici, %5 oranında polyolefin (polipropilin türleri ve polietilenler) bulunur (Karadayı ve ark., 2016).

1.1.1.3. Bor katkılı selülozik yalıtım malzemesi

Atık gazete kâğıtlarının bor madeni ile özel işlemler kullanılarak işlenmesinden elde edilen yalıtım malzemesidir. Ağırlıkça %70-75 atık kâğıt ve alev yavaşlatma özelliğini arttırmak için kullanılan %23 bor bileşikleri içermektedir. Hammadde olarak atık kâğıtların yanında selüloz da kullanılmaktadır. Amonyum fosfat/sülfat ve malzemenin yapışma özelliğini sağlayan cam suyu, zamk veya buğday nişastası katkı

maddesi olarak eklenmektedir. Isı iletim katsayısı 0.036-0.040 W/mK, yoğunluğu 30-90 kg/m³ olan selüloz yünü, şilte ve plaka şeklinde duvar ve çatıların yalıtımında ısı, ses ve yangın yalıtımı için kullanılmaktadır (Çelik, 2016).

1.1.2. Mineral kökenli ısı yalıtım malzemeleri

1.1.2.1. Cam yünü

İnorganik bir hammadde olan silis kumunun 1200°C-1250°C'de ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşmaktadır. Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kaplama malzemeleri ile şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilebilmektedir. Isı iletkenlik hesap değeri $\lambda \leq 0,040 \text{ W/mK}$ 'dir. İzocam camyünü duvar levhası; iki duvar arasında su itici, silikonlu ısı ve ses yalıtım malzemesi olarak, çift cidarlı sandviç duvar panolarında, akustik amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır (Kına, 2006).

1.1.2.2. Taş yünü

Bazalt veya diabaz taşının yüksek sıcaklıklarda ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Taş yünü; düşük yoğunluklu olanları rulo halinde, yüksek yoğunluklu olanları ise şilte halinde piyasaya sürülür. Kükürt esaslı ve kalsiyum esaslı olmak üzere iki çeşittir. 10 °C' de ki ısıl iletkenliği kükürt esaslı taş yünü için 0.033-0.002W/mK'dir. En iyi ısı iletim performansı 100-120 kg/m³ yoğunluk değerinde elde edilir. Yoğunluğu 30-200 kg/m³ arasındadır (Can,1998).

1.1.2.3. Perlit

Perlit, magmanın asit fazında oluşan lavların soğuyup, gözle veya mikroskopla görülebilecek bir yapıda kırılmasının meydana getirdiği, kütle bünyesinde su damlacıkları bulunan, volkanik bir cam türüdür. Belirli tane iriliğinde özel formlarda 900-1100 °C arasında ısıtıldığında hacmi yaklaşık 4-20 katı genişmekte ve mısır gibi patlayarak, yoğunluğu çok hafif hale gelmektedir (Hodul, 2009). Genleşmiş perlitin yoğunluğu 30-190 kg/m³ arasında değişmekte ısı iletkenlik katsayısı ise 0.058-0.068

W/mK değerleri arasındadır. Sahip olduğu bu özellikler ile genişletilmiş perlit malzemesi inşaat sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Perlit tanecik olarak gevşek dolgu yapılmasında ve beton ile harç katkılarında, başka malzemelerle karışım haline getirilerek sıva, harç ve beton üretiminde, yapı bileşeni olarak blok veya pano ve levha şeklinde, kiremit üretiminde kullanılmaktadır (Akıncı, 2007).

1.1.2.4. Gaz beton

Kum, çimento, kireç, alçı, alüminyum ve suyun karışımından, bir dizi endüstriyel işlem sonucu elde edilen bir yapı bileşenidir. Ülkemizde üretimi yapılan gaz beton, donatısız olarak duvar blokları, asmolen bloklar ve yalıtım plakaları şeklinde üretilmektedir. Donatılı olarak da duvar elemanları, çatı ve döşeme elemanları, bölme panoları üretilmektedir. Isı iletkenlik değeri 0.085-0.16 W/mK değerleri arasındadır. Ayrıca yalıtım plağı olarak üretilen gaz beton panellerinin ısı iletkenlik değeri 0.05 W/mK'dır (Karadayı ve ark., 2016).

1.1.3. Sentetik kökenli ısı yalıtım malzemeleri

1.1.3.1. Poliüretan köpük (PUR)

Poliüretan, iki ayrı kimyasal komponentin bir araya getirilmesi ile üretilir. Levha, sandviç panel ve püskürtme yöntemiyle kullanılan bir ısı yalıtım malzemesidir. Kapalı hücrelere sahiptir, hücreler hava soğutucu gazlarla (florokarbonlar) şişirilmiştir. Isı iletkenlik değeri 0.035 W/mK, yoğunlukları 30-40 kg/m³ arasındadır. Levha, sandviç panel ve püskürtme yöntemiyle kullanılan bir ısı yalıtım malzemesidir (Kulaksızoğlu, 2006).

1.1.3.2. Genleştirilmiş polistren sert köpük (EPS)

Polistiren hammaddesinin, su buharı ile teması sonucu, hammadde granüllerinin içinde bulunan pentan gazının granülleri şişirmesi ve birbirlerine yapıştırması sonucu meydana gelmektedir (Yılmaz ve ark., 2009). Blok halinde ve kesilme suretiyle levha haline getirilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Ayrıca levha şeklinde kalıp içinde

genleştirilerek de üretilebilir (Kulaksızıoğlu, 2006). Yapı sektöründe genellikle 13-20 kg/m³ yoğunluğa sahip olanları kullanılır. Yoğunluğun artmasıyla basınç dayanımı ve buhar geçirimsizliği de artar. EPS'lerin en önemli özelliği ısı iletkenliklerinin düşük olmasıdır. EPS'ler için ortalama ısı iletim katsayısı 0.035 W/mK'dir (Akıncı, 2007).

1.1.3.3. Ekstrüde sert polistren köpük (XPS)

Isı yalıtımı sağlamak amacıyla üretilen homojen hücre yapısına sahip köpük malzemelerdir. XPS hammaddesi poliestren, bir şişirme ajanı kullanılarak ekstrüzyon işlemleri ile basınç altında köpük halinde üretilir. Polistiren, monomer haldeki stirenden polimerizasyon ile üretilen bir polimerdir (Pfundstein ve ark., 2008).

Yoğunlukları 25-45kg/m³ arasında değişmektedir. Isıl iletkenlik değeri; 33 kg/m³ yoğunluğundaki XPS için ısı iletim katsayısı 0.026 W/mK kabul edilmektedir(Akıncı, 2007).

1.1.3.4. PVC-polivinilklorür köpüğü

PVC köpük, polivinilklorid esaslı termoplastik bir malzemedir ve sert, yarı sert veya yumuşak olarak üretilebilir. Gözenek yapısı ve sayısı üretim yöntemine göre değişmektedir. Yüksek basınç sistemi ile üretimde kapalı gözenekli; alçak basınç sisteminde karışık gözenekli veya açık gözenekli; basınçsız üretimde ise açık gözenekli malzeme elde edilir (Akıncı, 2007).

Kimyasal yoldan köpük elde edilmesinde ise katı haldeki köpük malzemesinin ısı tesiri ile bozulması ve azot açığa çıkmasından faydalanılmaktadır. Yüksek basınçlı yoldan elde edilen polivinilklorür köpüğü 50 °C sıcaklığa kadar kullanılabilmekte ve 0 °C sıcaklıktaki ısı iletim katsayısı 0.033 W/mK olmaktadır (Dağsöz, 1976).

1.1.4. Köpük beton

Köpük beton, çimento, su ve özel agregaların (uçucu kül, ponza, perlit, bims, bazalt, dolomit, kalker ve benzeri) karışımından oluşan ve bünyesinde % 75-80 oranında birbirinden bağımsız kapalı hava boşluklarının bulunduğu gözenekli betona

denir. Binalarda termal konfor için ısıtma ve soğutmaya harcanan enerjinin tasarrufunda duvar ve döşeme malzemeleri önemli rol oynamaktadır. Köpük beton, bünyesinde bulunan hava boşlukları nedeniyle çok iyi yalıtım özelliği gösterir. Isı iletim katsayılarının (λ) düşük olmasından dolayı enerji tüketimini büyük ölçüde azaltır. Türkiye’de ısı iletim katsayısı (λ) 0.060 ile 0.610 W/mK arasında değişen 250-1800 kg/m³ yoğunluklarda hafif hücresel beton üretilmektedir (Ekinci, 2014).



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Köpük beton ilk olarak 1923 yılında patentlenmiş olmasına rağmen son yıllarda, yüksek akışkanlığı, hafifliği, bünyesinde minimum agrega bulunması, kontrol edilebilir dayanımı ve mükemmel ısı yalıtım özelliklerinden dolayı inşaat malzemesi olarak 400-1600 kg/m³ arasında değişen yoğunluklarda üretilerek yapısal, bölme duvarlarda ve yapısal olmayan elemanlarda tercih edildiği belirtilmektedir (Valore 1954; Ramamurthy ve ark., 2009).

Köpük beton çalışmaları hakkında ilk detaylı derleme 1954 yılında Valore (1954) tarafından yapılmış sonrasında 1963 yılında Rudnai (1963) ve Short ve Kinniburgh (1963) tarafından köpük betonların içerikleri, özellikleri ve kullanım yerleri boşluk yapısının oluşması için yöntemler irdelenmeden açıklanmıştır. Son zamanlarda Jones ve McCarthy (2005) köpük betonun tarihini, kullanılan malzemeleri, özelliklerini ve dünya çapındaki projelerde yapısal uygulamalarda kullanımını derlemiştir.

Yapılan araştırmalar köpük betonun hücreli içyapısı sebebiyle mükemmel yalıtım özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Yoğunluğu 1000 kg/m³ olan köpük betonun ısı geçirgenliğinin tipik çimento-kum harcının altıda biri kadar olduğu belirtilmektedir (Aldridge ve Ansel 2001). Giannakau ve Jones (2002) köpük beton üzerine oturtulmuş radye temelli az katlı bir yapının daha iyi ısı yalıtım kapasitesine sahip olduğu ve köpük betonun yükleri taşıyacak yeteri derecede dayanıma sahip olduğunu belirtmiştir.

Jones ve McCarthy (2005), kuru yoğunluğu 600–1600 kg/m³ arasında olan köpük betonun ısı geçirgenliğinin 0.1 ile 0.7 W/mK arasında değiştiğini ve normal ağırlıklı betonla kıyaslandığında % 5–30 arasında daha düşük ısı geçirgenliğine sahip olduğunu belirtmiştir (Aldridge ve Ansell 2001). Weigler ve Karl (1980), yapısal eleman üretiminde kullanılan hafif agregalı köpük betonun kuru yoğunluğunun 100 kg/m³ azalması ile ısı geçirgenliğinin 0.004 W/mK azaldığını tespit etmiştir.

Giannakau ve Jones (2002), yaptıkları çalışmada, portland çimentosunun %30 oranında öğütülmüş yakıt külü ile yer değiştirdiği köpük betonların ısı geçirgenliğinin kontrol numunelerinkinden (%100 portland çimentosu) %12–38 daha az olduğunu tespit etmiştir. Bu değişimin öğütülmüş yakıt külünün daha düşük yoğunluğu ve ısı akış

çizgisini arttıran boşluklu küresel (cenosphere) parça morfolojisinden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Proshin ve ark. (2005), köpük beton içindeki boşlukların polistren granülleri ile doldurularak yoğunluğu 200–650 kg/m³ ve ısı geçirgenliği 0.06–0.16 W/mK olan köpük betonların üretilebileceğini belirtmişlerdir.

Pargana ve ark. (2014), yapılarda kullanılan izolasyon malzemelerinin karşılaştırılmalı çevresel yaşam boyu etki değerlendirmesini yaptıkları çalışmada hafif agregalı beton bloklardan üretilen izolasyon malzemelerinin sekiz çevresel etki değerlendirme kriterinin altında en az çevresel etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir (Proshin ve ark. 2005).

Hilal ve ark. (2015), farklı katkıların köpük betonun basınç dayanımı üzerindeki etkileri hava-boşluk ölçüleri ve şekil parametrelerine bağlı olarak araştırarak bu parametrelerin çimento pastasının mikro yapısının üzerindeki etkilerini belirlemiştir. Bu amaçla, çimento ön üretilmiş köpük, mineral ve kimyasal katkıları kullanarak farklı yoğunluklarda (1300, 1600 ve 1900 kg/m³) 9 farklı karışım ile köpük beton üreterek optik mikroskopi ve taramalı elektron mikroskobu yöntemleri ile bu betonların mikro yapılarını incelemiştir. Sonuç olarak, mineral ve kimyasal katkıların çimento pastasının yapısal özelliklerini ve hava-boşluk özelliklerini pozitif yönde etkilediğini belirlemiştir.

Huang ve ark. (2015), Portland çimentolu ultra hafif köpük betonun karışım miktarları ve özellikleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Yaptıkları çalışma neticesinde Portland çimentosu, uçucu kül, hidrojen peroksit ve kimyasal katkıları kullanılarak 100-300 kg/m³ yoğunluğa sahip ultra hafif beton üretiminin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Köpükte çökmeyi ve hava boşluklarının kaçışını engellemek için kalınlaştırıcı ajan ve köpüğü stabil yapacak bir emülsiyon ile yapılabileceğini belirtmişlerdir. Betonların içindeki hava boşluklarının çoğunun birbirine bağlı olmayan 2 ile 4 mm çapta boşluklar olduğunu ve böylelikle de düşük ısı iletkenlik ve yeterli basınç ve çekme dayanımına sahip olduklarını belirlemiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan tüm malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

3.1.1. Çimento

Çalışma kapsamında üretilen köpük beton numunelerinde CEM I 42.5R ve CEM I 52.5R tipi çimento kullanılmıştır. Üretici firmadan alınan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler	CEM-I 42.5R	CEM-I 52.5R Beyaz
CaO	63.40	65.70
SiO ₂	20.07	21.60
Al ₂ O ₃	5.46	4.05
Fe ₂ O ₃	3.03	0.26
MgO	1.53	1.30
SO ₃	3.32	3.30
K ₂ O	0.74	0.35
Na ₂ O	0.33	0.32
TiO ₂	0.33	0.33
Kızdırma Kaybı	1.79	2.79
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	21.79	25.91
Fiziksel Özellikler	CEM-I 42.5R	CEM-I 52.5R Beyaz
Yoğunluğu (g/cm ³)	3.06	3.06
Blaine inceliği (cm ² /g)	4200	4600
Hacim genleşmesi(mm)	1.00	1.00
90 µm elek üstü (%)	5.72	5.18
45 µm elek üstü (%)	24.52	22.22

3.1.2. Karışım suyu

Çalışmada karışım suyu olarak Van ili, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüs’ü şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.3. Köpük beton üretiminde kullanılan köpük ajanları

Köpük ajanı köpük oluşum prosesini başlatan bir kimyasaldır. Köpüğün her bir kabarcığına dayanım kazandıran böylelikle de belli bir süre kaybolmamasını sağlayan bu kimyasallar yaygın olarak protein esaslı ve sentetik olmak üzere iki farklı kategoriye ayrılmaktadır. Protein esaslı köpük ajanı genellikle düşük kuru birim ağırlığına sahip köpük betonların üretiminde yaygın olarak kullanılırken sentetik köpük ajanları daha fazla yoğunluklara sahip köpük beton üretiminde tercih edilmektedir. Köpük ajanı ile su karıştırılarak elde edilen kimyasal suyun hava yardımıyla elde edilmesi işlemi için harcanan enerji köpüğün özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Sentetik köpük için gerekli olan enerji protein esaslı köpük için gerekli olandan azdır. Ayrıca laboratuvar çalışmaları kapsamında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi mekanik laboratuvarında sentetik latex katkılı köpük ajanı da Şekil 3.1’de görüldüğü gibi üretilmiş ve çalışmalarda kullanılarak köpük beton üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Aşağıda, bu tez kapsamındaki çalışmalarda kullanılan köpük ajanlarının temel özellikleri verilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmalarda kullanılan köpüğün oluşumu.

3.1.3.1. Sentetik sürfaktan

Sentetik köpük konsantresi, sentetik esaslı köpük yapıcı maddeler, stabilizatörler koruyucu ve diğer bazı yardımcı kimyasal maddeler içeren bir karışımdır. %1-3-6 suyla karışım oranlarında uygulanabilir olarak üretilmektedir. Sentetik köpükler düşük, orta ve yüksek genişleme oranlarında üretilerek tatlı su ve deniz suyu ile kullanılabilir.

Sentetik köpük ajanları daha fazla yoğunluklara sahip köpük beton üretiminde tercih edilmektedir. Tez kapsamında kullanılan sentetik köpük ajanı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılan sentetik köpük ajanı.

3.1.3.2. Polimer esaslı sürfaktan

Polimer köpükler, uçucu gaza dönüşebilen gaz veya sıvı haldeki köpük yapıcıların genişmesiyle üretilen, yoğun polimer matris ile çevrilmiş, gaz boşlukları içeren malzemeler olarak tanımlanır. Polimer köpükler genellikle, minimum iki fazdan oluşur. Bunlardan birincisi katı polimerik matris, diğeri ise köpük yapıcı ile elde edilen gaz fazıdır. Polimer içindeki boşluklar malzemenin yoğunluğunu azaltırken daha az hammadde kullanımı sağlarlar (Yetgin ve ark., 2008).

Tez kapsamında ekonomik beton üretimi hedefi ile köpük beton üreticileri tarafından kullanılmaya başlanan polimer esaslı köpük ajanları temin edilerek kullanılmıştır.

3.1.3.3. Protein esaslı sürfaktan

Protein esaslı köpük konsantresi %3-%6 suyla karışım oranlarında hidrolize proteinlerden üretilmektedir. Proteine köpük artırıcı ve stabil özellikler kazandırılmakta ve uzun yıllar depolanabilmesi için özel koruyucu katkılar ilave edilmektedir. Köpük yapıcılarla oluşturulan köpük ısı dayanımı yüksek, stabil ve yanan yüzeyde iyi bir örtücüdür. Ayrıca protein köpük konsantresi normal su ile kullanıldığı gibi deniz suyuyla da kullanılabilir. Kullanım oranına göre %3 ve %6 suyla karıştırılarak uygulanır. Protein köpük diğer köpüklere nazaran yapışkan özelliğe sahiptir.

Protein esaslı köpük ajanı genellikle düşük kuru birim ağırlığına sahip köpük betonların üretiminde kullanılır.

3.1.3.4. Laboratuarda geliştirilen lateks katkıli köpük sürfaktanı

Lateks, bünyesinde bulunan kopolimer sayesinde yapıda, su geçirimsizlik ve kimyasal maddelere karşı direnç sağlayan, harç içindeki tanecikler arasındaki aderansı artırarak kılcal çatlakların oluşmasını azaltan, kullanıma hazır sıvı emülsiyondur.

Laboratuarda tez kapsamında bir monomerin poymerizasyonu sonucu yüzey aktif maddelerinin emülsiyonu ile elde edilen sentetik lateks farklı miktarlarda köpük ile karıştırılarak köpük ajanı elde edilmiştir. Laboratuarda ürettiğimiz sentetik lateks katkıli köpük ajanı Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Laboratuarda ürettiğimiz sentetik lateks katkıli köpük ajanı.

3.1.4. Fiber lif

Bu çalışmada, fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’de verilen ve görünümü de Şekil 3.4’de verilen polivinil alkol (PVA) lif kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. PVA Liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Çap(mikron)	Uzunluk (mm)	Çekme Dayanımı (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)
40	8	1.6	42



Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan fiber lif görüntüsü.

3.1.5. Pomza

Çalışmalarda kullanılan pomza agregası, Bitlis İli Tatvan İlçesi Adabağ Civarında temin edilmiştir. Proje kapsamında kullanılan pomza agregasının özellikleri aşağıda Çizelge 3.3’de verilmiştir. Pomzanın etüv görüntüsü, öğütülmüş pomza ve öğütülen pomzanın elek analizi görüntüleri Şekil 3.5.’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan pomzanın fiziksel özellikleri

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



a



b



c



d

Şekil 3.5. a) Ham pomzanın etüv görüntüsü, b) Öğütülmüş pomza, c) Pomza öğütme makinesi, d) Pomza elek analizi.

3.1.6. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesi

Betonun basınç dayanımı yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Bu bakımdan proje kapsamında üretilen ultra hafif betonların dayanımını arttırmak amacıyla kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesi kullanılmıştır.

Deneyleerde kullanılan kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.4’de ve görselleri de Şekil 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin teknik özellikleri

Malzemenin yapısı	Modifiye Polimer Dispersiyon
Renk	Beyaz
Yoğunluk	1.1 kg/m ³
pH	8.5
Uygulama sıcaklığı	+5°C-+35°C



Şekil 3.6. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin görselleri.

3.2. Yöntem

3.2.1. Köpük ajanları (süfaktanlar)

Farklı türde süfaktanlardan elde edilecek köpüğün fiziksel özellikleri belirlenerek bunların yeni geliştirilecek ısı yalıtım malzemesinin fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri, katı bileşenlerin (pomza agregası, çimento) süfaktan ile uyumları,

süfaktan türünün çimento priz süresine, kıvama ve işlenebilirliğe etkileri araştırılarak elde edilecek ısı izolasyon malzemesinin fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılarak ısı iletkenlik değeri ≤ 80 mW/mK değerini sağlayan, yeterli dayanım ve durabilite özellikleri gösteren malzemelere ait karışım tasarımlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Yüksek yalıtım özelliğinin elde edilebilmesi için çimento bağlayıcılı matrisle kimyasal katkıların aracılığı ile hava sürüklemek için uygulanabilirliğine göre farklı yöntem denenebilir. Bu yöntemler:

- Köpük ajanları,
- Hava sürükleyici kimyasal katkı,
- Gaz beton üretiminde kullanılan alüminyum tozlarıdır.

Tez kapsamında bu yöntemlerden köpük ajanları seçilmiş olup, seçilen yöntem ile en düşük ısı iletimi sağlayacak boşluk hacmi, dağılımı ve boyutuna karar verilmiştir. Dolayısıyla matrisle gözeneklerin homojen dağılımının ve istenen boyutlarda olmasının sağlanabilmesinin karışım süresi, karışım parametreleri ile direkt ilgili olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan çalışma ile kimyasal katkı türünün, katkının karışıma ilave edilme şeklinin, karışımda kullanılan malzeme özelliklerinin ve köpük beton üretimindeki karışım tekniklerinin gözenek oluşumu üzerindeki etkileri de araştırılarak en küçük boyutta ve en homojen gözenek oluşumuna bir çözüm önerisi sunularak istenilen ısı iletkenlik değeri 40-80 mW/mK'den küçük olan yalıtım malzemesinin üretilmesi düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalarda ilk olarak köpük betonun stabilesinin belirlenebilmesi için farklı yoğunluklarda farklı su ve hava basıncı oranlarında köpük üretimi gerçekleştirilmiş ve stabil halde köpük beton üretimi için köpük ajanı/su oranının 0.025 olduğu ve su/hava basıncı oranı da 4/2 olarak belirlenmiş ve çalışmaların tamamında sonuçların objektif olarak değerlendirilmesinin yapılabilmesi için sabit tutulmuştur.

3.2.2. Pomza

Doğada elde edilen ham pomzanın kuru birim ağırlığını elde etmek için ayrıca öğütme işlemini gerçekleştirmek amacıyla 7 gün boyunca +105 °C'de etüve bırakıldıktan sonra kuru birim ağırlığı tespit edilip 100 dakika boyunca öğütme işlemine

tabii tutulmuştur. Öğütme işlemi bittikten sonra öğütülmüş olan malzemenin tane boyutunu tespit etmek amacıyla elek analizi yapılmıştır. Elek analizi sonucu Çizelge 3.5.'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan pomzanın% 67.5'i tane boyutu 38-63 mikron aralığında yer almaktadır.

Çizelge 3.5. Çalışmalarda kullanılan öğütülmüş pomzaya ait elek analizi sonuçları

Elek Analizi (Mikron)	Karışım İçine Katılan Pomzanın Hacimsel Yüzde(%)	Yoğunluğu (kg/m ³)
<250	0.0	
250-212	0.8	
212-150	1.4	
150-125	1.4	
125-90	3.1	0.5
90-63	12.1	
63-38	13.7	
38-0	67.5	

Bu işlemlerden sonra elde edilen öğütülmüş pomza farklı reçetelerde farklı miktarlarda çimento ile karıştırılarak numunelerde kullanılmıştır.

3.2.3. Köpük beton kullanılarak çimento bağlayıcı izolasyon malzemesinin tasarımı

Kimyasal katkıları içerisinde sıralanan köpük ajanları kullanılarak geliştirilmesi planlanan köpük beton (hücreli hafif beton) üretiminde öncelikle çimento, su, köpük ajanı ve pomza agregası kullanılarak, ısı işlemsiz nihai ürün elde edilmesi hedeflenmiştir. Hava boşluklarının hacmi, boyutu ve hava-boşluk mesafesinin köpük betonların basınç dayanımı ve yoğunluğu üzerinde etkileri birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Kearsely ve Visagie, 1999; Luping 1986; Nambir ve Rammurty, 2007).

Bu çalışmada; hava boşluğu boyutu daraldıkça daha yüksek basınç dayanımlarının elde edildiği ve hava boşluğunun genişlemesinin ise basınç dayanımını

azalttığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Boşluk parametreleri ve boşluk mikro yapısı ile beton bileşimi köpük betonun özelliklerini ve pratikte kullanımını direkt olarak etkilemektedir. Önceden yapılmış köpük betonlarda boşluk oranı ve malzemenin boşluklara bağlı parametreleri genellikle köpüğün stabilitesine, boşluk oranına ve su-çimento oranına bağlıdır.

Kimyasal ve fiziksel özellikleri verilen iki farklı tip çimento (CEM-I 42.5R ve CEM-52.5R) kullanılarak hazırlanmıştır. Çimento dayanımının köpük beton özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması için farklı çimento tipleri kullanılmıştır. Tez kapsamında köpük beton üretimi için uygulanan yöntemlerde; köpük ajanı, kopolimer dispersiyon esaslı katkı ve pomza agregası kullanılmıştır. İlk olarak geliştirilmesi planlanan köpük beton (hücreli hafif beton) üretiminde kimyasal katkıları içerisinde sıralanan köpük ajanları kullanılarak elde edilen köpük, çimento ve su kullanılmıştır. Bu amaçla, farklı türde sürfaktanlar (sentetik, protein esaslı ve polimer esaslı) kullanılarak köpük jeneratörü ile köpük pompası yardımıyla köpüğün karışıma ilave edilerek hacmi 200 litre olan yuvarlak tip mikserde karıştırılması ile elde edilmiştir (Şekil 3.7.,8., 9). Su/çimento oranı ve işlenebilirlik dikkate alınarak, katı bileşenlerin sürfaktan (köpük ajanı) ile uyumları ve yapı malzemesi fiziko-mekanik özelliklerine etkileri araştırılarak, uygun bağlayıcı malzeme, su miktarı ve köpük kullanım oranları belirlenerek farklı yoğunluklara sahip köpük beton karışımları elde edilmiştir.

Köpük ajanının su ile karıştırılarak bir solüsyonun hazırlanması ve bu solüsyonun köpük üretim makinesinde hava basıncı altında patlatma nozulunda geçirilerek köpürtülmesi, bu köpüğün çimento şerbeti ile karıştırılması ile oluşan köpüklü bir betondur. Köpüklü betonun kurduktan sonra betonun bünyesinde kapalı hücrelerin oluşması neticesinde hafif, gözenekli bir yapının meydana gelmesidir.

Hücreli hafif beton akıcıdır, kolaylıkla döküm yapılır. Hafiftir, taşınması kolay, nakliyesi kolay, işçiliği kolay, blok ebatları büyüktür. Bu nedenle kısa zaman ve az işçilikle geniş yüzeylerin kaplanması mümkün olur. Hafif Beton veya Hücreli Beton olarak adlandırılır. Muhteviyatındaki boşluk miktarına bağlı olarak, yoğunluğu değişkenlik gösterir. Düşük yoğunluklu hücreli beton, yüksek yalıtım ve düşük mukavemet değerleri verirken, yüksek yoğunluklu hücreli beton, daha düşük yalıtım ve yüksek mukavemet değerleri verir. Hücreli betonun özellikleri; boşluk oluşum şekline, dağılımına ve düzenliliğine bağlıdır. Isı iletim katsayısı (λ), esas olarak yoğunluğa

bağlıdır. En önemli özelliği, ısı ve ses izolasyonu sağlamasıdır. Hücreli beton yangın dayanımı son derece yüksek bir üründür. Hücreli hafif betonun ömrü, normal betonla aynı olduğu düşünülmektedir. Gözenekli beton bloklarda basit aletlerle çalışılır; testereyle kolayca kesilir, çiviyle veya burguyla kolayca delinir.

Köpük jeneratörüyle elde edilen kararlı köpüğün beton içerisine homojen şekilde yerleştirilmesi ile üretilen hücreli hafif bir beton olan köpük beton üretim süreci içinde çimento hidratasyonu dışında hiçbir kimyasal reaksiyon gözlenmez. Bünyesinde kum ve çimento dışında malzeme bulunmadığı gibi, kullanılan organik, protein esaslı, sentetik köpük ajanları, enzim bazlı doğal malzemeler olup, insan sağlığına zararlı bir etkisine rastlanılmamıştır.

Köpük beton, kullanım amacına göre hazırlanacak olan reçeteye uygun olarak, çimento, su, agrega ve jeneratörde oluşturulmuş olan köpüğün mikserde Şekil 3.7’de olduğu gibi yaklaşık 3-5 dakika boyunca karıştırılması suretiyle elde edilir. Üretilen köpük beton bir pompa yardımıyla uygulama alanına iletilir. Önceden teraziye getirilen kalıpların yağlanma işlemleri Şekil 3.7’de gösterildiği gibi yapılmıştır. Uygulama sonrası yüzey tesviyesi yapıldıktan sonra rötre çatlakların oluşmaması için üzeri naylon, cam yünü vb. malzemelerle örtülerek Şekil 3.7’deki gibi iki gün boyunca doğal kurumaya bırakılır. Kalıplarda normal şartlarda kesilebilir hale gelmiş olan bloklar istenilen ebatlarda tel veya testere ile kesilerek yapı ve yalıtım malzemesi olarak hazırlanır.

3.2.4. Basınç dayanımlarının belirlenmesi için köpük beton üretimi

Bir kenarı 10 cm olan üç bölmeli küp kalıplara döküm yapılarak hazırlanmıştır. Kalıplara döküm yapmadan önce kalıplar, kalıp yağı ile yağlanmıştır. Döküm yapıldıktan sonra numune prizini alması için laboratuarda 24-48 saat bekletilmeye bırakılmıştır. Numuneler basınçlı hava ile kalıplardan çıkarılarak tebeşir ile numaralandırılmış ve kuru birim ağırlıklarını ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Numunelerden bir tanesini 105°C’de etüve bırakılarak doygun kuru ağırlığını elde etmek için 7 gün boyunca Şekil 3.10’da görüldüğü gibi etüve bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan numuneler doygun kuru birim ağırlıkları ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Numuneler 28 günün sonucunda basınç deneylerine tabii tutulmuştur.



Şekil 3.7. Köpük jeneratörü, pompası ve mikseri.



Şekil 3.8. Çimento su karışımına köpük verilmesi.



Şekil 3.9. Köpük betonun mikserde karıştırılması.



Şekil 3.10. Basınç numunelerinin üretimi (solda), basınç numunelerinin etüv görüntüleri (sağda).

3.2.5. Eksenel eğilme ve çekme deneyi için köpük beton üretimi

Eksenel eğilme ve çekme deneyleri için 10x10x40 cm boyutlarında ahşaptan kalıplar yapılmıştır. Köpük solüsyonu elde edildikten sonra el mikseri ile 2-3 dakika çimento, pomza, su ve köpük karıştırılarak karışım hazırlandıktan sonra kalıplara dökülmüştür. Kalıplar iki üç gün bekletildikten sonra numuneler priz alıp sertleştikten sonra çıkartılarak Şekil 3.11'deki gibi tebeşirle numaralandırılmıştır. Numuneler 28 günün sonunda eksenel eğilme ve çekme deneyine tabi tutulmuşlardır.



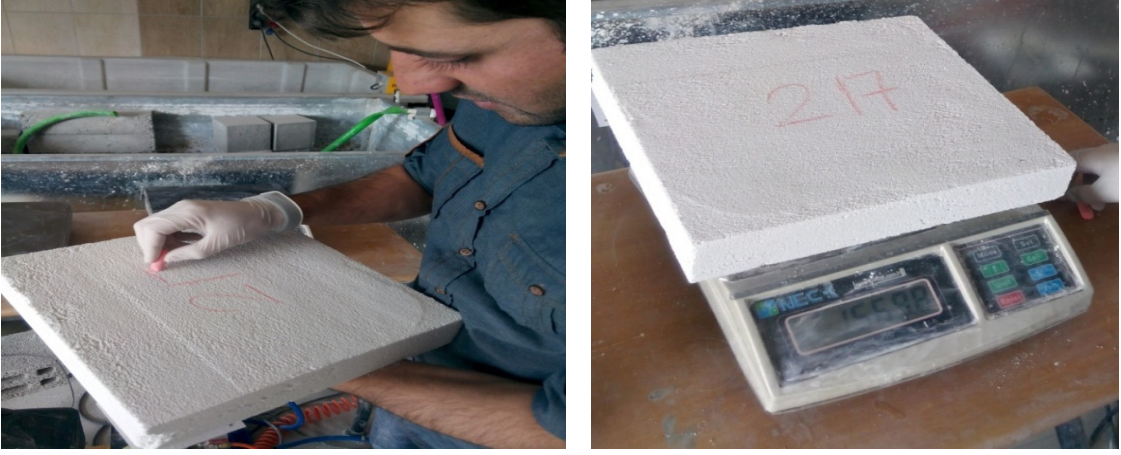
Şekil 3.11. Çekme dayanım deneyi için hazırlanan numune görüntüleri.

3.2.6. Köpük betonun ısı iletkenlik katsayısının belirlenmesi

Yapılan çalışmalar kapsamında üretilen ısı yalıtım özelliği kazandırılmış ultra hafif beton numunelerin ısı iletim katsayısı TS EN 12667 standardına göre ısı iletkenlik ölçüm cihazı yardımı ile belirlenmiştir. Köpük beton karışımları hazırlandıktan sonra 5x30x30cm boyutlarındaki kalıplara dökülmüştür. Kalıplar düz bir zemin üzerine bırakılarak 2-3 gün boyunca bekletilerek numunelerin priz alarak sertleşmesi sonrası numuneler kalıplarından çıkarılarak Şekil 3.12'de görüldüğü gibi hassas terazi ile tartılarak yoğunlukları tespit edilmiştir.

3.2.7. Ses geçirgenlik katsayısının belirlenmesi için köpük betonun üretimi

Malzemenin düzgün bir şekilde elde edilmesi için kalıplar düzgün bir yüzey üzerine kurularak teraziye getirilmiştir. Malzemenin sulu ve akışkan olmasından dolayı da kalıplar malzemeyi kaçırmayacak şekilde plywoodlar ile ayarlanmıştır.



Şekil 3.12. Isı iletim deneyi için hazırlanan numunelerin görüntüleri. Numunenin numaralandırılması (solda), numune ağırlıklarının belirlenmesi (sağda).

Dökümden hemen önce malzemenin düzgün bir şekilde çıkması için kalıp, kalıp yağı ile yağlanmıştır. 200 litrelik hazneye sahip beton karma makinesine köpük solüsyonu hazırlama pompası ilave edilerek köpük beton üretimi için hazırlanmıştır. Manuel veya otomatik bir şekilde suyunu alarak içine çimento bağlayıcı malzemesi katılarak 3-5 dakika karıldıktan sonra köpük verilerek 1-2 dakika daha karılıp malzeme pompa yardımı ile uygulama sahasına gönderilmiştir (Şekil 3.13).

Malzeme döküldükten sonra masterla yüzey tesviyesi yapılarak rötne çatlakların oluşmaması için yüzeyi örtülerek izole edilmiştir.



Şekil 3.13. Malzemenin üretiminden görüntüleri.



Şekil 3.13. Malzemenin üretiminden görüntüler (devamı).

3.2.8. Lif kullanılarak üretilen köpük beton numuneleri

Beton gevrek bir kompozit malzeme olduğundan dolayı uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Bu dezavantajını ortadan kaldırmak için birçok farklı yöntem ve birçok farklı malzeme kullanılmıştır. Bu yöntemlerden biri de lif kullanımudur. Beton içindeki lifler çekme kuvvetinin bir kısmını karşılayarak gevrek olan betona süneklik kazandırabilmektedir. Bu nedenle köpük beton numunelerinin eğilme ve çekme dayanımlarını artırmak, donma-çözülme sırasında numunelerde oluşacak gerilmelerini karşılamak amacıyla belirli oranlardan lif kullanılmıştır.

Harç hazırlandıktan sonra öngörülen lif miktarı katılarak el mikseri ile lifler karışım içerisinde homojen olarak dağılına kadar karıştırılmıştır. Karışım hazırlandıktan sonra kalıplara dökülerek 1-2 gün boyunca prize bırakılmıştır. Şekil 3.14'de lifli bir numunenin basınç deneyinden sonra kırılan fakat lifler sayesinde bir arada kalan numune gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Lif kullanılmış bir numuneden görüntü.

3.3. Laboratuvarda yapılan çalışmalar

Referans alınan bir reçete üzerinden deneme-yanılma yoluyla yaklaşık 200 civarında reçete denenerek döküm yapılmıştır. Bu reçetelerden optimum olan deneyler baz alınarak çalışmalar yürütülmüştür. Dökümü yapılacak olan reçete belirlendikten sonra köpük üretmek için köpük ajanı hazırlanır. Reçetede belirtilen su ve çimento kaba konularak Şekil 3.15'de görüldüğü gibi el mikseri ile ortalama 1-2 dakika

karıştırıldıktan sonra köpük jeneratörüyle elde edilen kararlı köpüğün beton içerisine 1-2 dakika boyunca karıştırılarak homojen dağılması sağlanarak döküme hazır hale getirilir. Döküm yapılan numuneler 10x10x10cm'lik küp kalıplarda üçer adet yapılmıştır. Numuneler 24-48 saat sonunda çıkarılarak göz kararıyla incelenmiştir. Numunelerin homojenliği, tozumanın olup olmadığı, dayanımının nasıl olduğu ve çökmenin olup olmadığı incelenmiştir.



Şekil 3.15. Köpük betonunun laboratuarda döküm aşamaları.

Optimum değerde numune elde etmek için birçok parametre üzerinden değişiklikler yapıldı. Birim hacim ağırlıkları düşük ve dayanımı iyi olacak şekilde Çizelge 3.6'da verildiği gibi birçok deney yapıldı. Bu karışım hesaplarında pomza sabit tutularak daha çok su, çimento ve köpük miktarlarının yoğunluk üzerindeki etkisi

incelenmiştir. Köpük miktarındaki artışla numune yoğunluklarının azaldığı, tam tersi durumunda ise su ve çimento miktarındaki artış sonucu numune yoğunluklarından artış olduğu Çizelge 3.6’da verilmiştir. Yapılan numunelerde elde edilen farklı yoğunluklara sahip numuneler Şekil 3.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6.Yapılan çalışmalara ait köpük beton karışım hesabı

1 M ³ KÖPÜK BETON HESABI (KG/M ³)						
ÇİMENTO (kg/m ³)	SU (LT)	POMZA (kg/m ³)	KÖPÜK HACMİ (LT)	KÖPÜK KARIŞIM ORANLARI		BİRİM HACİM AĞIRLIK (KURU)
308	205	49	934	1 LT KÖPÜK KATKISI	50 LT SU	440 kg/m ³
146	64	49	745	1 LT KÖPÜK KATKISI	50 LT SU	250 kg/m ³
112	55	49	547	1 LT KÖPÜK KATKISI	50 LT SU	172 kg/m ³
245	97	49	446	1 LT KÖPÜK KATKISI	50 LT SU	360 kg/m ³



Şekil 3.16. Farklı birim hacim ağırlıklarına sahip köpük beton numuneleri.

3.3.1. Ultra hafif beton numunelerinin hacim ve birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

Dijital kumpas kullanılarak numunelerin üç yüzeyinde (genişlik, uzunluk ve yükseklik) Şekil 3.17’de ki gibi ölçümler yapılarak numune boyutları net olarak belirlenmiştir. Numunelerde çökme olup olmadığı, çökme olan numunelerde çökme miktarının ne kadar olduğu ve bu şekilde numunelerin net boyutları belirlenerek tam olarak birim hacim ağırlıkları Çizelge 3.7’de hesaplanmıştır.



Şekil 3.17. Kumpas ile numune boyutlarının ölçülmesi.

Numunelerde kütleli kayıp miktarının belirlemek ve aynı zamanda numune birim hacim ağırlıklarının elde etmek amacıyla yapılan bu çalışma ile numunelerin eni (a), boyu (b) ve yüksekliği (h) belirlenerek hacim (v) hesabı yapılmış, hassas terazi ile ölçülen numunelerin kütleleri bulunarak hacimlerine bölünerek birim hacim ağırlıkları (d) numune yapım sırasına göre Çizelge 3.7’de verildiği gibi bulunmuştur.

Çizelge 3.7. Numunelerin birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

Dency No	a (mm)	b (mm)	h (mm)	v (mm ³)	d (kg/m ³)
54	98.25	98.84	88.30	857483.9	324.55
61	98.07	98.9	95.30	924326.4	387.41
64	99.25	99.31	93.90	925527.0	406.79
81	99.07	99	90.00	882713.7	825.06
85	99.26	99.23	98.35	968705.2	441.62
89	99.1	99.19	98.35	966753.8	341.34

Çizelge 3.8. Numunelerin birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

Deney No	a (mm)	b (mm)	h (mm)	v (mm ³)	d (kg/m ³)
97	98.36	99.13	98.00	955541.8	478.15
99	98.76	99.31	92.71	909286.3	433.96
118	98.53	98.93	92.41	900773.2	502.01
126	98.85	98.49	98.94	963253.8	469.55
129	99.26	99.23	96.70	952453.4	377.44
131	98.43	98.79	95.24	926104.2	243.38
134	99.02	99.65	99.10	977853.7	395.60
140	98.95	99.19	96.28	944973.8	478.00
141	98.84	98.75	99.81	974190.5	334.53
145	98.52	98.75	96.28	936693.7	261.87
148	99	98.84	96.39	943191.6	319.15
150	98.33	98.75	100.00	971008.8	283.51
151	96.44	99.13	92.10	880485.0	236.11
153	78.71	98.44	95.00	736080.0	295.89
159	98.66	98.94	96.06	937682.0	344.47
160	98.96	99.34	95.87	942468.0	286.16
161	98.16	98.49	98.58	953050.0	331.94
169	99.11	99.18	99.83	981302.0	458.06
171	99.05	98.94	100.00	980001.0	359.79
180	98.81	98.76	96.42	940912.0	290.57
198	99.17	99.4	99.78	983581.0	355.84

3.4. Mekanik Özellik Deneyleri

3.4.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Betonların basınç dayanımlarının belirlenmesinde TS EN 1354 esas alınmıştır [TS EN 1354, 2007]. Hafif betonların basınç dayanımları 100x100x100 mm boyutundaki küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Her bir karışımda elde edilen değerler alınarak her bir beton basınç dayanım sınıfı için ortalama bir değer kullanılmıştır.

Çalışmadaki betonların basınç dayanımı 1250 kN yükleme kapasiteli preste yükleme hızı 0.5 kN/s sabit olarak ayarlanarak belirlenmiştir. Deneyler sırasında UTEST marka Servo kontrollü deney cihazı kullanılmıştır. Cihazda bulunan yazılım programı vasıtasıyla basınç deneyi yürütülmektedir. Hidrolik güç ünitesi üzerinde yer

alan ekrandan veriler alınabildiği gibi bilgisayar bağlantısı ile de yazılıma veriler işlenmektedir. Deney öncesinde küp numunelerin boyutları cihaza girilmiştir. Standartlara uygun olarak cihazın numuneyi 5-10 dakika süre içerisinde kırması için deformasyon ayarı bölümünden saniyede uygulanan deformasyon artışı ayarlanmıştır. Cihaz belirlenen bu yük artış miktarını numune üzerine saniyelik olarak uygulamakta ve numune kırılıncaya kadar bu yük artışı sabit olarak devam etmektedir. Numunenin kırıldığı andaki dayanımı programa eklenen numunenin alan bilgilerine dayalı olarak yük/alan “Eş.3.1” hesabını otomatik yaparak numunelerin basınç dayanımı otomatik olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.18).

$$\sigma_1 = \frac{P (kN)}{A (m^2)} \quad (3.1)$$

3.4.2. Eğilme dayanımı tayini

Beton çekme dayanımı; betonda çekme etkisi yapacak kuvvetlerin neden olacağı kırılmaya ve şekil değiştirmeye karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Çekme deneyi, malzemelerin statik yük altındaki mukavemet özelliklerini saptamak ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılması sağlamak amacıyla uygulanan deneydir.

Isı yalıtım özelliği kazandırılmış ultra hafif beton numunelerinin eğilme dayanımı TS EN 196-1 standardı esas alınarak yapılmıştır. Eğilme dayanımı için numuneler 10x10x40 cm ebatlarındaki kalıplara dökülerek hazırlanmıştır. Elde edilen bu numunelerin üçer adedinin eğilme dayanımının aritmetik ortalaması alınarak eğilme dayanımı elde edilmiştir. Eğilme dayanımı hesaplanmasında Eş. 3.2’de kullanılmıştır.

$$\sigma_e = 1,5 \frac{P*L}{b*d^2} (MPa) \quad (3.2)$$

Burada;

σ_e : Eğilme dayanımı (4 Nokta) (MPa),

P: Kırılma yükü (kN),

L: Mesnet aralığı (mm),

B: Kalıbın iç boyutu yüksekliği (mm),

D: Kalıbın iç boyutu uzunluğu (mm).



Şekil 3.18. Üretilen köpük betonların basınç mukavemet testi.

Numuneleri eğilme dayanımları ölçümü ile ilgili çalışma görüntüleri Şekil 3.20’de verilmiştir. Numunelerin eğilme deneyi sırasında yükleme hızı 0.03 kN/s olarak alınmıştır. Beton eğilme dayanımının bulunabilmesi için, beton kiriş numuneler hazırlanmıştır. Şekil 3.19’da görülen düzenleme ile eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmuştur.

Numunelerden, lif kullanılan numunelerin çekme dayanımları lifsiz olan numunelere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerdeki lif miktarının artması da çekme dayanımın üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Liflerin çekme gerilmelerini karşıladığı bu numunelerle araştırılmıştır.

3.4.3. Ultrases geçirgenliği testi

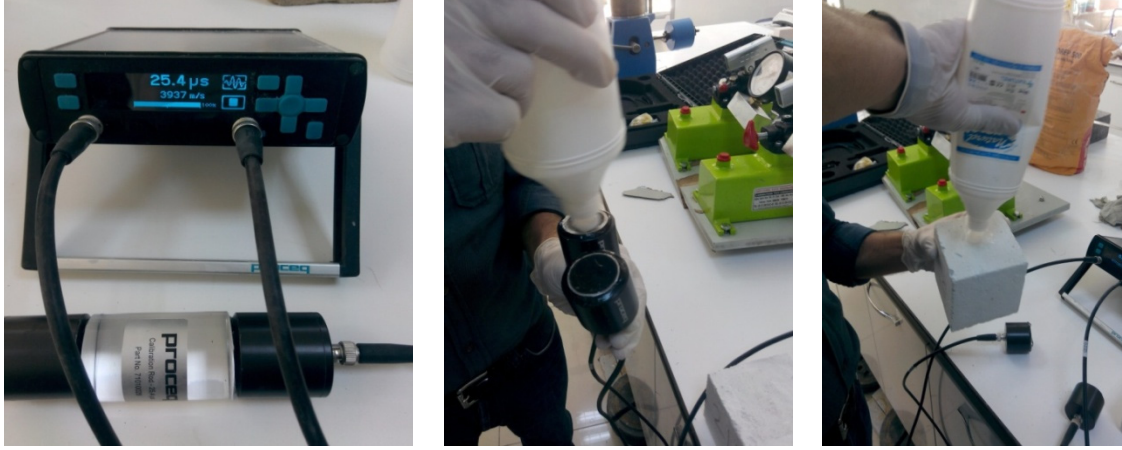
Betonarme elemanların dayanımları tarihsel olarak daima silindirik veya kübik beton numunelerin lboratuarda kırılması yolu ile tayin edile gelmiştir. Halbuki, ultrases dalga yayılma hızını tahribat yapmaksızın ۆlerek, betonun karakteristik basınç dayanımını güvenilir bir hassasiyetle tayin etmek kabildir (Uyanık, ve ark., 1999).

Ölçümler Pundit Plus test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler 10x10x10 cm boyutlarındaki kp numunelerde gerçekleştirilmiştir.



şekil 3.19. Köpüklü betonun eğilme dayanımı deneyi.

Numunelerin ۆlm esnasında dalga frekansı 54 kHz alınmıştır. Ultrasonik hızın rahat iletilebilmesi için şekil 3.20’de görüldüğü gibi ۆrneęin alt ve üst kısmına ultrason jeli sürülerek dalgaların numune içerisindeki hızının iyi iletılarak ۆlmn doğru yapılması sağlanmıştır. Cihazın göstergesinden okunan dalgaların iletim süreleri numunenin boyutuna bölünerek her bir numune için yayılma hızları hesaplanmıştır (şekil 3.20).



Şekil 3.20. Ultrases geçiş hızı deneyinden görüntüler.

3.4.4. Isı iletkenlik katsayısının belirlenmesi

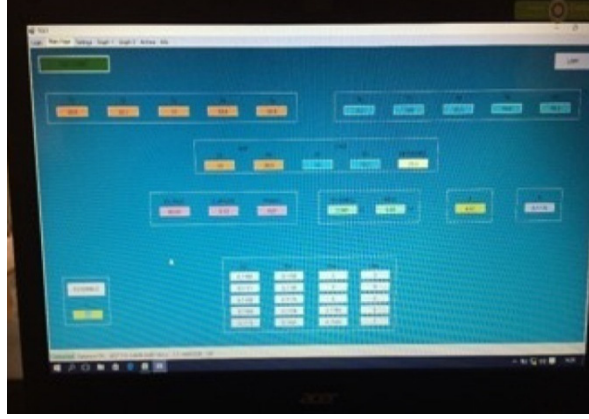
Proje kapsamında üretilen ısı yalıtım özelliği kazandırılmış ultra hafif beton numunelerin ısı iletim katsayıları TS EN 12667 standardına göre proje kapsamında alınan ısı iletkenlik ölçüm cihazı yardımı ile belirlenmiştir. Isı iletim katsayısını belirlemek için yapılan ölçümler Şekil 3.21, 22 ve 23’de gösterilmiştir.

3.4.5. Ses geçirgenlik katsayısının belirlenmesi

Tez kapsamında üretilen çimento bağlayıcılı izolasyon malzemelerinden birim hacim ağırlığı 270 kg/m^3 olan numuneden $25 \times 25 \times 60 \text{ cm}$ boyutlarında bloklardan üretilmiştir. 12.42 m^2 bir duvar blokları üretilerek malzemenin ses yalıtım özelliğinin “TS EN ISO 10140-2:2013 Akustik – Yapı elemanlarının ses yalıtımının laboratuarda ölçümü yapılmıştır



Şekil 3.21. Isı iletim makinesi ve ısı iletim numunesi.



Şekil 3.22. Hafif beton numunelerinin ısı iletim katsayılarının belirlenmesi.



Şekil 3.23. Isı iletim için yapılmış numune yoğunluk değerinin belirlenmesi.

Hava ile yayılan ses yalıtımının ölçülmesi” standardına göre belirlenmesi amacıyla TSE Yapı Malzemeleri Yangın ve Akustik Laboratuvar Müdürlüğü’nden hizmet alımı yoluyla test edilmiştir. Deney numunesine ait şekiller aşağıda gösterilmektedir (Şekil 3.24., 25. ve 26).



Şekil 3.24. Ses yalıtım testi için üretilen proje kapsamında geliştirilen çimento bağlayıcılı izolasyon malzemesi.



Şekil 3.25. Ses yalıtım testi için duvar örülmesi.



Şekil 3.26. Ses yalıtım testi.

Deney tesisi TS EN ISO 10140-5 ve TS EN ISO 10140-2 standartlarında belirtilen özelliklerin tamamını karşılamaktadır.

Biri kaynak oda diğeri alıcı oda olacak şekilde yatayda birbirine bitişik olan iki oda kullanılmıştır (Şekil 3.27).

Deney numunesi çerçeveye standarda uygun olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.27).

Hoparlör ve mikrofonlar daha önceden belirlenen ölçüm noktalarında konumlandırılarak sistem ölçüme hazır hale getirilmiştir.

Ölçüme başlamadan hemen önce ve ölçümden sonra mikrofonlara doğrulama işlemi yapılmıştır.

TS EN ISO 3382 standardına göre her frekans bandı için 12 ölçüm yapılarak alıcı odadaki çınlama süresi bulunmuştur.

Alıcı odada arka plan gürültüsü ölçülerek ses basınç düzeylerinin hesabında gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

Sonuçlar TS EN ISO 10140-2 standardında yer alan aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$R=L_1-L_2+\text{Log}(S/A)$$

$$A=0.16V/T$$

Burada;

L_1 =Kaynak odadaki ses basınç seviyesi enerji ortalaması, desibel

L_2 =Alıcı odadaki ses basınç seviyesi enerji ortalaması, desibel

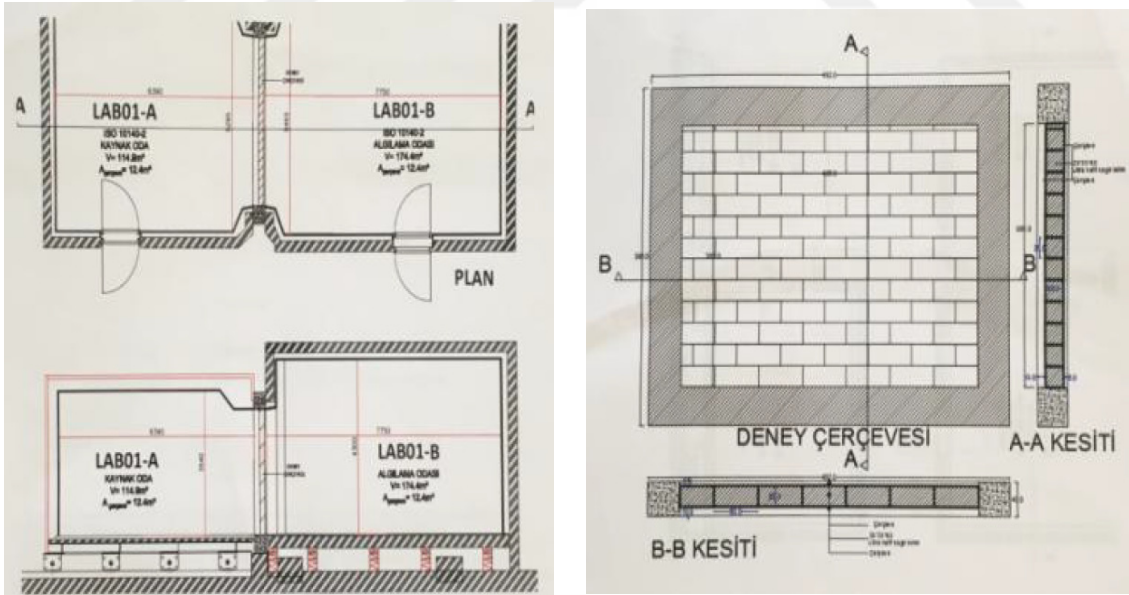
S =Deney elemanının yerleştirileceği serbest deney açıklığının alanı, m^2

A =Alıcı odadaki eşdeğer ses absorpsiyon alanı, m^2

V =Alıcı odanın hacmi, m^3

T =Alıcı odada çınlama süresi, sn

□ TS EN ISO 717-1 standardına göre tek sayı derecelendirmesi yapılmıştır.



Şekil 3.27. Kaynak ve alıcı oda özellikleri(solda), deney çerçevesi(sağda).

Yapılan deneyde TS EN ISO 717-1 standardına göre ses azaltım indeksinin tek sayı değeri $R_w(C;Ctr)=38.9 (0;-3)$ dB olarak bulunmuştur.

3.4.6. Mikro yapısal özelliklerin belirlenmesi

Bu proje kapsamında üretilen çimento esaslı ısı yalıtım malzemelerinin mikro yapısında gelişen faz yapılarının belirlenebilmesi için SEM, XRD, XRF ve EDX incelemeleri çalışmaları yapılmıştır.

3.4.7. Birim ağırlık ve su emme oranı

Numune içerisinde bulunan boşluk hacminin tüm hacme oranı porozite değerini vermektedir. Numune içerisinde bulunan boşluk oranı belirlenirken numune önce tamamen kurutularak kuru ağırlığı belirlenir ve numunede boşluklar tamamen suyla dolacak şekilde suda bekletilir ve elde edilen kuru ve doymuş ağırlık değerleri Eş.3.3'de yerine koyularak porozite değeri hesaplanır. Kütlece su emme (KSE) değeri ise numunenin içerebileceği maksimum su miktarının katı kısmın ağırlığına oranının yüzde olarak ifadesi şeklinde tanımlanabilir (Eş.3.4).

$$n = \frac{W_{doy} - W_{kuru}}{V_T} \times 100 \quad (3.3)$$

$$KSE = \frac{W_{su}}{W_{kuru}} = \frac{W_{doy} - W_{kuru}}{W_{kuru}} \times 100 \quad (3.4)$$

10x10x10 cm boyutlu köpük beton küp numuneleri üzerinde birim ağırlık ve su emme oranları tespit edilmiştir.

3.4.8. Donma-çözülme dayanıklılığı

Donma çözülme etkisi altındaki betonun hasar mekanizması oldukça karmaşık bir olay olduğundan hasar mekanizmalarını açıklamak için çeşitli teoriler ileri sürülmüştür. Bu teoriler arasında en önemli olanları; kapiler boşluklardaki donma nedeni ile hidrolik basıncın yayılması, donma başladıktan sonra jel suyunun kapiler boşluklara doğru hareketi, sıcaklık etkisi gibi yerel genleşmelerin neden olduğu farklı şekil değiştirmeler ve çözeltilerin kapiler boşluklardaki kısmi donmasından kaynaklanan osmotik basınçtır (Şahin ve ark., 2003). Donma olayını takip eden

çözülme ve tekrar donmanın etkisi kümülatif olarak artmaktadır. Suyun donması ile hacminde yaklaşık %9'luk bir artış meydana gelmekte, bu artış ile boşluklarda bulunan fazla su basınç oluşturmaktadır (Neville, 2000). Gao ve ark., (2002), yaptıkları çalışmada yüksek performanslı hafif betonlarda mikro çatlakların donma dayanıklılıkta ve durabilitede en önemli faktörler olduğunu, donma-çözülme çevrimine maruz kalan betonda çatlak oluşumunun temel sebeplerden ilkinin suyun donması, genişmesi ve gerilme oluşturması, diğerinin ise tekrarlı donma-çözülme sırasında oluşan ısıl gerilmeler olduğunu belirtmişlerdir. Betona uçucu kül ilavesinin içyapının yoğunluğunu arttıracığını, bu şekilde mikro çatlak oluşumunun ve çatlak ilerleyişinin engelleneceğini ifade etmişlerdir.

Mao ve Ayuta (2008), genelde hafif agregalı betonların donma-çözülme dayanımının normal betonlardan daha kötü olduğunu, hafif agregaların kolayca su emmeleri nedeni ile donma-çözülme neticesinde betonun daha fazla zarar göreceğini belirtmişlerdir.

Atmosfer basıncında suya batırılarak su altında tutulan deney numunesi kısımları, 15 defa donma-çözülme döngüsüne tâbi tutulur. Burada numuneler suya doymuş şekilde 15 °C'a soğutma ve daha sonra da yaklaşık 20 °C'de ki oda sıcaklığında çözme işlemi gerçekleştirilmiştir. Donma-çözülme döngülerinin tamamlanmasından sonra numuneler, çatlak oluşumu, kütle kaybı ve varsa mukavemet değişiklikleri gibi herhangi bir değişiklik olup olmadığı hususunda kontrol edilmiştir. Bu deney metodu, numune tarafından suyun iyice absorbe edilmesi amacıyla, numunenin atmosfer basıncında suya doygunluğu sağlayarak yapılmıştır.

10x10x10 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde uygulanan donma çözülme deneyinde, suya doymuş numunelerde donma sonucu gözeneklerde gerilme koşulları oluşturularak numunenin gözenek suyu basıncının etkisi altında kalması sağlanmıştır. Bu deney TS EN 15304 (2010) "Gazbetonun donma-çözülme direncinin belirlenmesi" standartına göre uygulanmıştır. Buna göre en az 16 saat süren bir çevirim sonucunda numuneler -15 °C'de en az 8 saat boyunca dondurulduktan sonra, çıkarılarak +23°C'de en az 8 saat boyunca çözülmeye bırakılmıştır. Gözeneklerin suya doymuş hale gelmesi için numuneler donma işlemine tabi tutulmadan önce 48 saat süre ile suda bekletilmişlerdir. Numunelerin hafif ve su yüzeyinde kalmasından dolayı numunelerin tamamının doymuş su yüzeyine sahip olması için numuneler su alacak şekilde gözenekli

kapların içine konularak tüm yüzeyinin suyla teması sağlanmıştır. Donma çözülme aleti(buzdolabı), numunelerin su içeriklerini kaybetmeyecek şekilde korunmasını sağlamıştır. Ancak, çevrimler sırasında örneklerin doygunluğunu yitirmesi durumunda numuneler yeniden suya doyurulmuştur. Bu şekilde gözeneklerin çevrimler sırasında devamlı olarak suya doygun halde kalmaları sağlanmıştır.

Donma-çözülme deneyleri kenar uzunluğu 10 cm olan 49 farklı yoğunluktaki numuneden oluşan küp şekilli numune üzerinde yapılmıştır. Donma-çözülme çevrimleri sonucunda numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki (çatlak oluşumu, kütle kaybı ve varsa mukavemet değişiklikleri gibi) değişimler incelenmiştir. Fiziksel ve mekanik değişimleri fazla olan numuneler deneylerden çıkarılarak başarısız olanlar kayıt altına alınmıştır. Tüm çevrimler sonunda çıkarılan numunelerin kütle değişimleri, kuru ve doygun birim hacim ağırlık, gözeneklilik ve tek eksenli sıkışma dayanımı ölçülmüştür. Bu şekilde donma-çözülme etkisi altında numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde oluşan değişimler belirlenmiştir (Şekil 3.29).

Numuneler donma-çözülme deneyine tutulmadan önce $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sıcaklıkta sabit kütleye ulaşıncaya kadar etüvde kurutulduktan sonra, ortam sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmış ve hemen tartılmıştır (M_1). Donma-çözülme deneyi sonucunda herhangi fiziksel ve mekanik değişime uğramayan numuneler $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'de sabit kütleye ulaşıncaya kadar etüvde kurutulmuş, daha sonra ortam sıcaklığına kadar soğutularak ve hemen tartılmıştır (M_2).

Numunelerde donma ve çözülme deneyi sonucunda oluşan kütlece yüzde kaybı (F), deney başlangıcındaki kütleden deney sonrası kütlenin farkının başlangıcındaki kütleye bölünmesi ile elde edilip bu değer 100 ile çarpılıp yüzde olarak ifade edilmiştir (Eş.3.5).

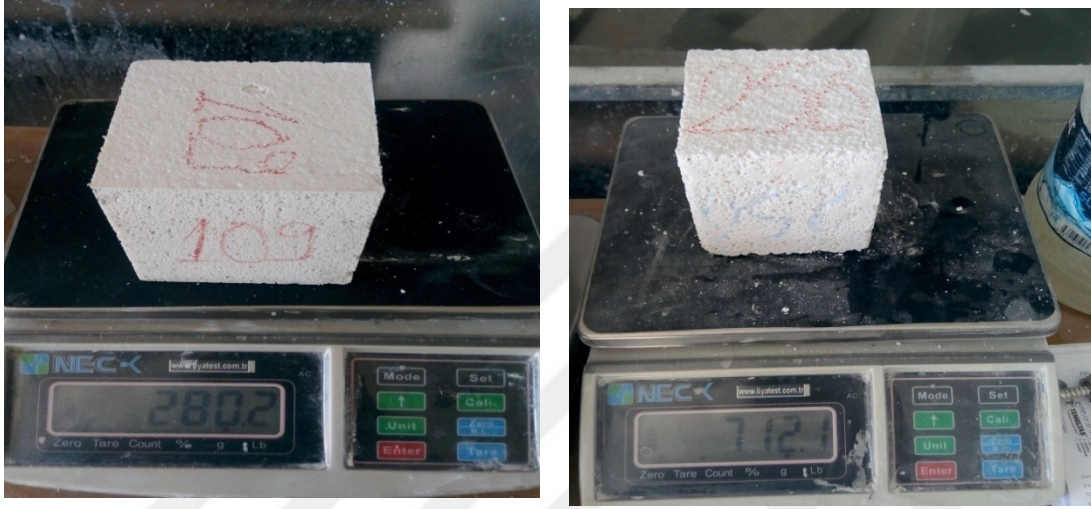
$$F = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.5)$$

Ayrıca, su emme deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma basamakları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır.

Elde edilmiş olan küp numuneleri 24 saat boyunca $105 ^\circ\text{C}$ etüvde bırakılarak doygun kuru yüzeyi (M_2) elde edildi. Doygun kuru yüzeyi elde ettikten sonra Şekil 4.28'de ki gibi tartılarak birim ağırlıkları hesaplandı. Birim ağırlıkları hesaplanan numuneler suya

doğunluğunu elde edilmesi için en az 24 saat kür havuzundan tutularak suya doğun (W_{SH}) hale getirildi. Sonradan numunelerin yüzeyleri kurutularak birim ağırlıkları Şekil 3.29’da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Numunelerin donma-çözülme testi sonrası bulunan kütle kaybı ve basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Deney sonunda en fazla kütle kaybı %10 olurken, en az kayıp ise %1 civarlarında olduğu görülmüştür. Kütle kayıplarının çok fazla olması numunelerin boşluklu yapısının çok fazla su emmesi sonucu oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3.28. Doğun kuru olan numune (solda), suya doğun olan numune (sağda).

3.4.9. Numune donma-çözülme sonrası ağırlık kaybı deneyi

Numunelerde donma-çözülme sonrası ağırlık kayıplarını belirleyebilmek için, donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrasında numunelerin kuru ağırlıkları belirlenerek karşılaştırılmıştır.

3.4.10. Numune donma-çözülme sonrası basınç dayanımı deneyi

Farklı yoğunluktaki numunelerden hazırlanan 10x10x10cm’lik küp numunelerin donma- çözülme sonrası basınç dayanımlarında meydana gelen değişimi incelemek üzere hazırlanan farklı yoğunluktaki ve farklı lif ağırlık oranlarının numuneler donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrası basınç deneyine tabi tutulmuştur. Numunelerin basınç deneyi sırasında yükleme hızı 0.05 kN/sn olarak alınmıştır. Yukarıda yapılan deney ve hesaplamalar “TS EN 15304 Gazbetonun donma-çözülme

direnci belirlenmesi” standardı referans alınarak yapılmıştır. Şekil 3.30’da numunelerin donma-çözülme deney aşamalarının görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.29. Donma-çözülme deney numunelerinden görüntüleri.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı yöntemler kullanılarak üretilen çimento bağlayıcılı izolasyon malzemeleri üzerinde yapılan deneylerde; numunelerin eğilme dayanımı, basınç dayanımı, donma çözünme dayanımı, ısı yalıtımı katsayısı, ses yutma kapasitesi, ultra ses geçirgenlik hızları, birim hacim ağırlık ve su emme kapasitesi gibi karakteristik özellikleri belirlenerek sonuçları bu bölümde verilmiştir.

4.1. Köpük ajanı kullanarak tasarlanan çimento bağlayıcılı izolasyon malzemesi ile yapılan deneylere ait sonuçlar

Farklı köpük ajanları kullanarak elde edilen ultra hafif beton numuneleri üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen numunelerin gözlemsel ve bazı mekanik özelliklerine ait sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Yapılan çalışmalarda ilk olarak köpük betonun stabilitesinin belirlenmesi için farklı yoğunluklarda farklı su ve hava basıncı oranlarında köpük üretimi gerçekleştirilmiştir ve stabil halde köpük beton üretimi için köpük ajanı/su oranı 0.025 ve su/hava basıncı oranı 4/2 olarak belirlenmiş ve çalışmaların tamamında sonuçların objektif olarak değerlendirilmesinin yapılabilmesi için sabit tutulmuştur.

4.1.1. Sentetik sürfaktanlar

Sentetik sürfaktanların kullanıldığı numuneler genel anlamda tozumanın (ufalanma, parçalanma, dökülme vb.) olmadığı gözeneklerin deney numunelerinde homojen bir şekilde dağıldığı, çimento şerbetinin homojen bir şekilde dağılarak numune dibinde yoğunlaşmadığı görülmüştür. Çizelge 4.1'de 1 m³ için verilen CEM-I 42.5R çimento tipi kullanılarak elde edilen numunenin yaş birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, su/çimento (s/ç) oranları verilmiştir. Numunelerde çökme olmadığı görülmüştür. Sentetik ajanının kararlı olmasından dolayı çökme miktarının olmadığı ya da olan numunelerde ihmal edilecek kadar az olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.1. Sentetik sürfaktan ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar

Çimento Tipi	1m ³ beton için çimento (kg)	1m ³ beton için su (lt)	1m ³ beton için latex (kg)	S/Ç	Köpük Ajanı (lt)	Köpük Suyu (lt)	1m ³ beton için Köpük (lt)	Yaş birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Çökme	Gözenek Homojenlik	Tozuma
CEM-I 42.5 R	350	273	0.0	0.6	1	40	1777	619	618	yok	iyi	yok
	347	298	0.0	0.7	1	40	1017	722	613	az	iyi	yok
	230	188	0.0	0.7	1	40	1164	833	405	az	iyi değil	yok
	217	296	0.0	1.0	1	40	1101	441	383	var	iyi değil	yok
	198	124	0.0	0.5	1	40	1006	941	850	yok	iyi	yok
	293	400	0.0	1.0	1	40	915	407	517	yok	kötü	yok
	236	194	0.0	0.7	1	40	1199	545	417	yok	çok iyi	yok

4.1.2. Protein esaslı sürfaktan

Protein sürfaktanların kullanıldığı numuneler genel anlamda tozumanın (ufalanma, parçalanma, dökülme vb.) olmadığı gözeneklerin deney numunelerinde homojen bir şekilde dağıldığı, çimento şerbetinin homojen bir şekilde dağılarak numune dibinde yoğunlaşmanın olmadığı görülmüştür. Çizelge 4.2, ve 4.3’de 1 m³ için verilen CEM-I 42.5R çimento tipi kullanılarak elde edilen numunenin yaş birim yoğunluğu, kuru birim yoğunluğu, su/çimento(s/ç) oranları verilmiştir. Numunelerde çökme olup olmadığı belirtilmiştir. Protein ajanının, sentetik ajana göre biraz daha kararlı olduğu görülse de aralarında pek fazla bir fark olmadığı görülmüştür. Ayrıca su/çimento oranları da 0.4’lerde olduğu, sentetik ajana göre daha dengeli olduğu Çizelge 4.2, ve 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Protein esaslı sürfaktan ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar

Çimento Tipi	1m ³ Beton İçin Çimento (kg)	1m ³ Beton İçin Su (lt)	1m ³ Beton İçin Latex (kg)	S/Ç	Köpük Ajanı (gr)	Köpük Suyu (lt)	1m ³ Beton İçin Köpük (lt)	Yaş birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Çökme	Gözenek Homojenlik	Tozuma
CEM-I 42.5 R	510	438	0.0	0.7	250	10	1990	1000	900	az	iyi	yok
	238	108	0.0	0.4	250	10	1081	355	326	yok	iyi	yok
	252	115	0.0	0.4	250	10	1148	387	346	yok	iyi	yok

Çizelge 4.3. Protein esaslı sürfaktan ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar

Çimento Tipi	1m ³ Beton İçin Çimento (kg)	1m ³ Beton İçin Su (lt)	1m ³ Beton İçin Latex (kg)	S/Ç	Köpük Ajamı (gr)	Köpük Suyu (lt)	1m ³ Beton İçin Köpük (lt)	Yaş birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Çökme	Gözenek Homojenlik	Tozuma
CEM-I 42.5 R	396	144	0.0	0.3	250	10	1199	564	542	yok	iyi	az
	273	99	0.0	0.3	250	10	1241	396	374	yok	kötü	az
	101	37	0.0	0.3	250	10	553	211	139	yok	kötü	Var
	189	86	0.0	0.4	250	10	859	313	259	yok	iyi	az
	227	103	0.0	0.4	250	10	1032	363	311	yok	iyi	az
	219	100	0.0	0.4	250	10	995	317	300	yok	iyi	az
	209	95	0.0	0.4	250	10	952	328	287	yok	iyi	var
	201	91	0.0	0.4	250	10	912	389	275	yok	iyi	az
	239	109	0.0	0.4	250	10	1088	378	328	yok	iyi	var
	152	62	0.0	0.4	250	10	776	357	271	yok	kötü	var

4.1.3. Polimer esaslı sürfaktan

Polimer sürfaktanların kullanıldığı numuneler genel anlamda tozumanın (ufalanma, parçalanma, dökülme vb) sentetik ve polimer ajanlara göre biraz olduğu Çizelge 4.4.'de görülmektedir. Gözeneklerin deney numunelerinde homojen bir şekilde dağılmadığı çimento şerbetinin numunelerin genelinde alt kısımlarında yoğunlaştığı görülmüştür. Çizelge 4.4.'de 1 m³ için verilen CEM-I 42.5R ve CEM-I 52.5R çimento tipleri kullanılarak elde edilen numunenin yaş birim yoğunluğu, kuru birim yoğunluğu, su/çimento(s/ç) oranları verilmiştir. Numunelerde çökme olup olmadığı belirtilmiştir. Polimer ajanının kararlı olmasından dolayı çökme miktarının olmadığı ya da olan numunelerde ihmal edilecek kadar az olduğu görülmüştür. Ayrıca CEM-I 52.5R, CEM-I 42.5R'ye göre çökme miktarları daha az olup daha fazla kararlı olduğu ve tozuma miktarların daha az olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.4. Polimer esaslı sürfaktan ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar

Çimento Tipi	1m ³ beton için çimento (kg)	1m ³ beton için su (lt)	1m ³ beton için latex (kg)	S/Ç	Köpük Ajanı (gr)	Köpük Suyu (lt)	1m ³ beton için Köpük (lt)	Yaş birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Çökme	Gözenek Homojenlik	Tozuma
CEM-I 42.5 R	308	205	0.0	0.6	1	40	934	820	440	az	iyi	var
	266	113	0.0	0.4	1	40	484	442	380	yok	kötü	yok
	340	124	0.0	0.3	1	40	618	526	485	yok	iyi	yok
	231	98	0.0	0.4	1	40	700	373	330	yok	iyi	yok
	385	140	0.0	0.3	1	40	700	615	550	yok	iyi	yok
	236	103	0.0	0.4	1	40	514	461	404	yok	iyi	yok
	201	102	0.0	0.5	1	40	730	423	344	az	kötü	az
CEM-I 42.5 R	140	89	0.0	0.6	1	40	637	381	300	yok	iyi	az
	146	64	0.0	0.4	1	40	531	303	250	yok	çok kötü	var
	158	69	0.0	0.4	1	40	745	328	270	yok	iyi değil	var
	363	132	0.0	0.3	1	40	660	538	518	yok	kötü	yok
	283	171	0.0	0.6	1	40	857	443	404	yok	normal	yok
	202	92	0.0	0.4	1	40	920	355	321	az	iyi	az
	171	78	0.0	0.4	1	40	935	338	272	çok	kötü	çok
CEM-I 52.5 R	287	123	0.0	0.4	1	40	821	480	430	az	iyi	az
	245	105	0.0	0.4	1	40	914	440	368	1cm	kötü	var
	209	86	0.0	0.4	1	40	714	395	374	yok	iyi	az
	306	125	0.0	0.4	1	40	834	580	546	yok	iyi	az
	145	60	0.0	0.4	1	40	745	302	260	yok	iyi	var
	112	55	0.0	0.5	1	40	547	220	172	yok	iyi	az
	118	55	0.0	0.5	1	40	554	225	174	yok	iyi	var
	133	60	0.0	0.5	1	40	602	240	189	yok	iyi	var
	146	63	0.0	0.4	1	40	633	261	199	yok	iyi	var
	156	65	0.0	0.4	1	40	653	260	205	yok	iyi	az
	158	64	0.0	0.4	1	40	640	252	201	yok	iyi	az
	203	77	0.0	0.4	1	40	767	295	241	yok	iyi	var
	218	80	0.0	0.4	1	40	796	300	250	yok	iyi	var
	151	75	0.0	0.5	1	40	748	284	235	yok	iyi	var
176	84	0.0	0.5	1	40	837	315	263	yok	iyi	var	

4.1.4. Lateks katkıli köpük ajanı

Lateks katkıli köpük ajanının kullanıldığı numuneler genel anlamda tozumanın(ufalanma, parçalanma, dökülme vb.) çok az olduğu gözeneklerin deney

numunelerinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Çizelge 4.5’de 1 m³ için verilen CEM-I 42.5R çimento tipi kullanılarak elde edilen numunenin yaş birim yoğunluğu, kuru birim yoğunluğu, su/çimento(s/ç) oranları verilmiştir. Numunelerde çökme olup olmadığı belirtilmiştir.

Çizelge 4.5. Laboratuarda proje kapsamında geliştirilen lateks katkılı köpük ile üretilen köpük beton karışım miktarları ve gözlemsel sonuçlar

Çimento Tipi	1m ³ beton için çimento (kg)	1m ³ beton için su (lt)	1m ³ beton için latex (kg)	S/Ç	Köpük Ajanı (gr)	Köpük Suyu (lt)	1m ³ beton için Köpük (lt)	Yaş birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Çökme	Gözenek Homojenlik	Tozuma
CEM-I 42.5 R	300	182	3.8	0.6	1	40	545	490	440	3 cm	yok	var
	371	169	4.7	0.4	1	40	675	580	545	var	iyi	az
	245	97	3.1	0.4	1	40	446	490	360	yok	iyi	az
	234	92	3.0	0.4	1	40	708	401	343	az	iyi	iyi
	349	137	4.4	0.4	1	40	846	537	512	yok	iyi	yok
	243	96	3.1	0.4	1	40	735	390	356	yok	iyi	az
	243	96	3.1	0.4	1	40	956	385	356	yok	iyi	az
	228	90	0.7	0.4	1	40	692	467	335	yok	iyi	yok
	260	102	1.7	0.4	1	40	787	533	381	yok	iyi	yok
	227	89	2.2	0.4	1	40	688	450	333	yok	iyi	yok
	212	84	3.4	0.4	1	40	642	476	311	yok	iyi	az
	189	74	3.6	0.4	1	40	572	430	277	yok	iyi	çok var
	221	87	2.8	0.4	1	40	669	476	324	yok	iyi	az
	226	84	2.2	0.4	1	40	840	415	313	yok	iyi	az

4.2. Düşük Isı İletkenlikli Ultra Hafif Betonun Ayırıcı Elemanlarda Kullanılması Amacıyla Üretilmesi

Bloklar şeklinde üretilen köpük betonun çökme olmadığı priz alma süresi içerisinde yaklaşık 1 cm’lik kabarma olduğu görülmüştür. Köpük betonun homojen bir şekilde dağıldığı üretilen blokların üst kısımlarıyla alt kısımların yoğunlukları yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi dökümü yapılan iki bloktan birinin üzeri açık bırakılarak, diğerinin ise üzeri izolasyon malzemesi(naylon, izocam vb.)ile örtülerek prize bırakılmıştır. Priz süresince üzeri açık olan numunede rötne çatlakların görüldüğü fakat aynı koşullarda prize bırakılan üzeri izole edilen numuneden çatlakları gözlemlenmediği görülmüştür. Kalıptan çıkarılışı kesim düzeneğine taşınması

ve kesim aşamalarında kırılma, ufalanma vb. fiziksel hasarların ihmal edilecek düzeyde olduğu görülmüştür.

Malzeme hazırlanan kesme düzeneğiyle Şekil 4.2'de görüldüğü gibi belirli boyutlarda (25x25x60 cm) kesilerek kullanıma hazır bir şekilde stoklanmıştır.



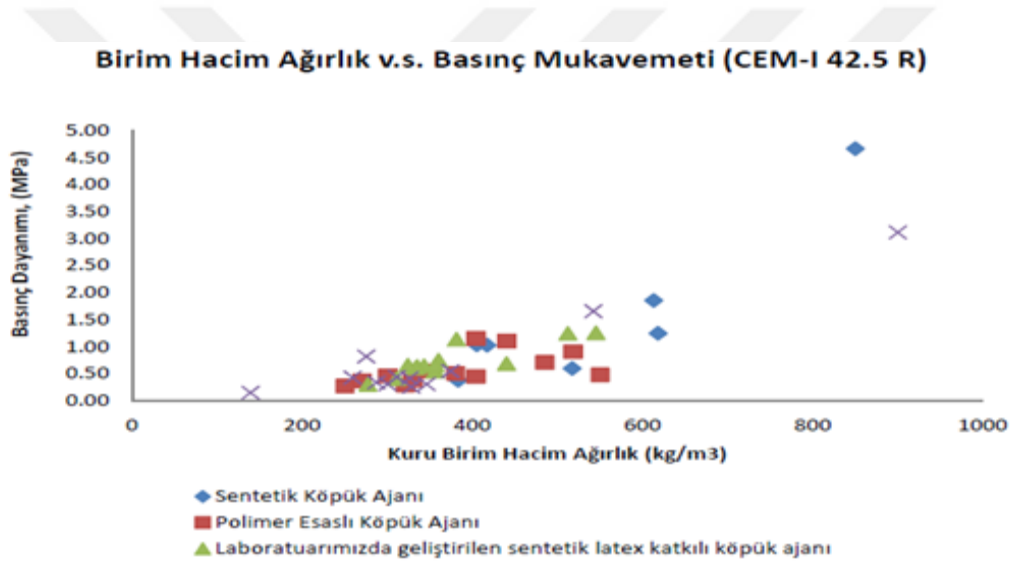
Şekil 4.1. Kür yapılmış numune ile kür işlemi yapılmamış numune görüntüsü.



Şekil 4.2. Köpük beton kesim makinesi(üstte), köpük betonun kesimi(sağ alt), köpük betonun ambalajlanması(sol alt).

4.3. Düşük Isı İletkenlikli Ultra Hafif Betonun Tek Eksenli Basınç Deneyi

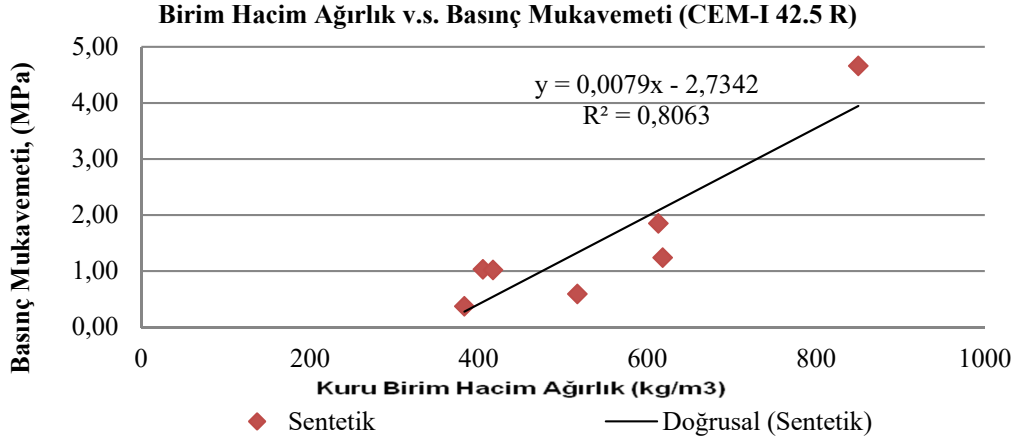
Bu çalışmalarda, hava boşluğu boyutu daraldıkça daha yüksek basınç dayanımlarının elde edildiği ve hava boşluğunun genişlemesinin ise basınç dayanımını azalttığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Boşluk parametreleri ve boşluk mikro yapısı ile beton bileşimi köpük betonun özelliklerini ve pratikte kullanımını direkt olarak etkilemektedir. Kullanılan bütün ajan türlerinin basınç dayanımları bir birlerine çok yakın olup ve düşük değerlere sahiptirler. Yapılan deney sonuçlarından da Şekil 4.3’de görüldüğü üzere herhangi bir sürfaktanının basınç değerleri üzerinde belirgin bir etkisi yoktur.



Şekil 4.3. CEM-42.5R çimento ile farklı sürfaktanlar kullanılarak üretilmiş köpük beton birim hacim ağırlıkları ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.

4.3.1. Sentetik ajanlı numunelerin basınç deneyi

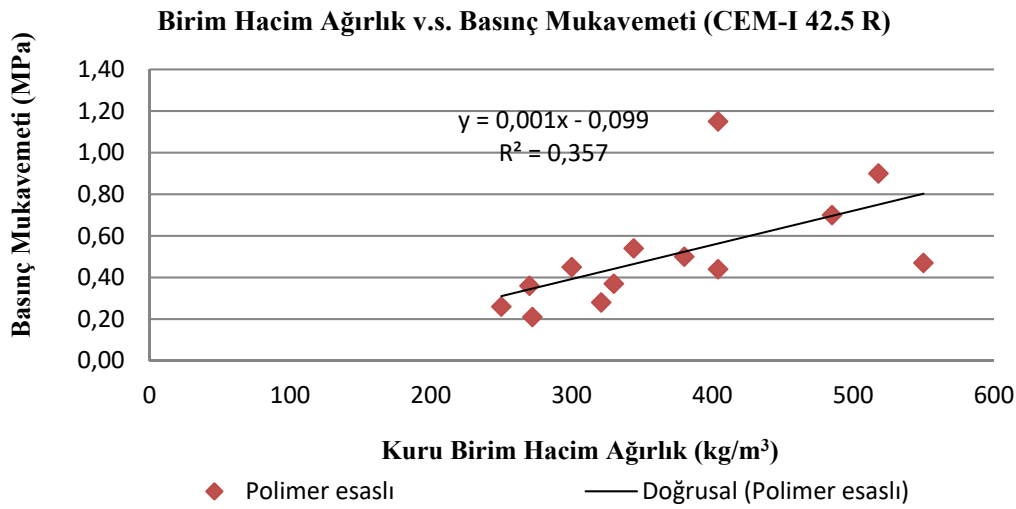
Sentetik ajanın basınç değerleri genel anlamda yoğunlukla doğru orantılı bir şekilde arttığı Şekil 4.4’de görülmektedir. Malzemenin boşluklu yapısından dolayı basınç değerlerinin düşük olduğu, 0.2 ile 5 MPa arasında değiştiği Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Korelasyon katsayısı ($R^2=80$) yüksek olduğu görülmektedir. Bu da basınç mukavemeti ile kuru birim hacim ağırlıkla pozitif bir ilişki olduğunu vermektedir.



Şekil 4.4. CEM-I 42.5R çimentosu ile sentetik kullanılarak üretilmiş köpük betonların birim hacim ağırlığı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki.

4.3.2. Polimer esaslı sürfaktan basınç deneyi

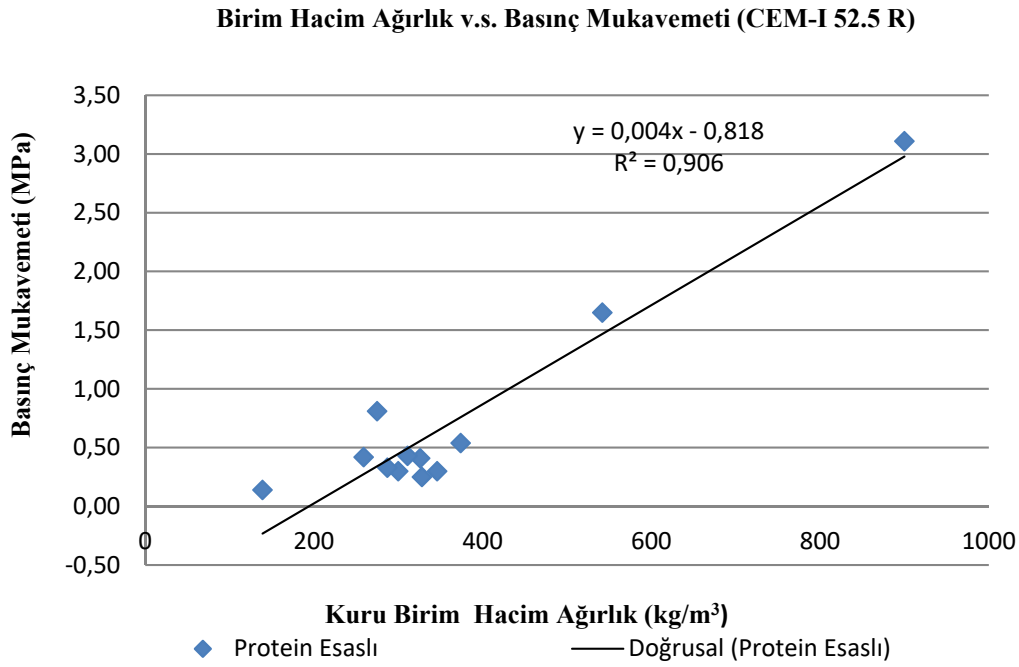
Polimer ajanın basınç değerlerinin genel anlamda yoğunlukla doğru orantılı bir şekilde arttığı Şekil 4.5’de görülmektedir. Malzemenin boşluklu yapısından dolayı basınç değerlerinin düşük olduğu 0,2 ile 1.2 MPa arasında değiştiği Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Korelasyon katsayısı ($R^2=0.35$) düşük olduğu görülmektedir. Bu da basınç mukavemeti ile kuru birim hacim ağırlıkla negatif bir ilişki olduğunu vermektedir. Sentetik ajana göre basınç değerlerinin daha düşük olduğu da görülmektedir.



Şekil 4.5. CEM-I 42.5R çimentosu ile polimer esaslı sürfaktan kullanılarak üretilmiş köpük betonların birim hacim ağırlığı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki.

4.3.3. Protein esaslı sürfaktan basınç deneyleri

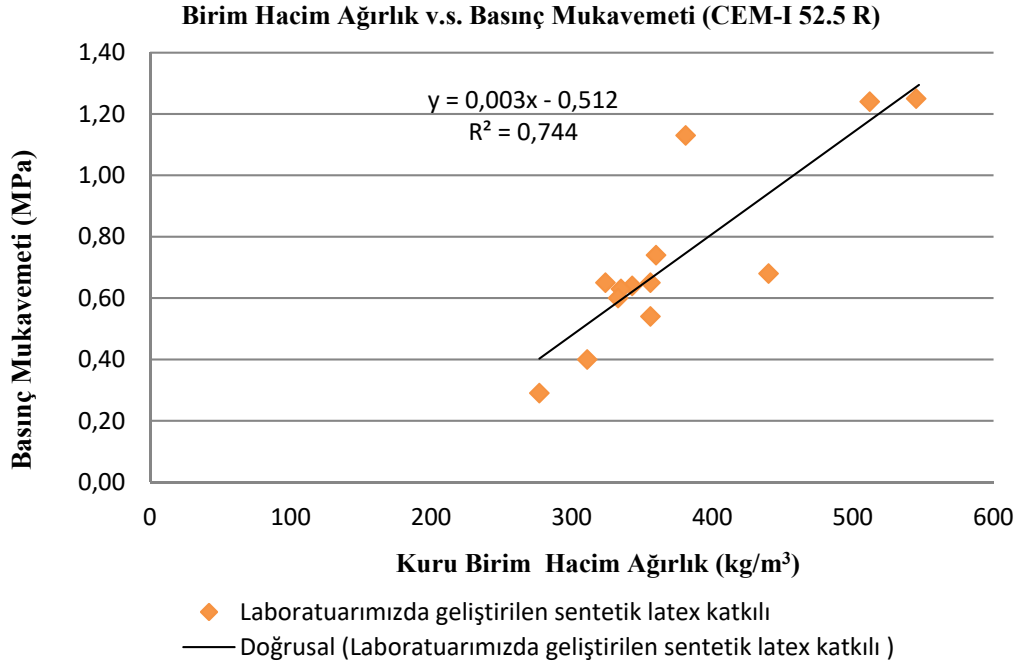
Protein ajanın basınç değerlerinin genel anlamda yoğunlukla doğru orantılı bir şekilde arttığı Şekil 4.6'da görülmektedir. Malzemenin boşluklu yapısından dolayı basınç değerlerinin düşük olduğu 0.2 ile 3.0 MPa arasında değiştiği Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. Korelasyon katsayısının ($R^2=90$) yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6.CEM-I 52.5R çimentosu ile protein esaslı sürfaktan kullanılarak üretilmiş köpük betonların birim hacim ağırlığı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki.

4.3.4. Laboratuarda geliştirilen sentetik latex katkılı özel ajanla yapılan basınç deneyi

Latex katkılı sentetik ajanın basınç değerlerinin genel anlamda yoğunlukla doğru orantılı bir şekilde arttığı Şekil 4.7'de görülmektedir. Malzemenin boşluklu yapısından dolayı basınç değerlerinin düşük olduğu, 0.2 ile 1.4 MPa arasında değiştiği Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Korelasyon katsayısının ($R^2=74$) yüksek olduğu görülmektedir.



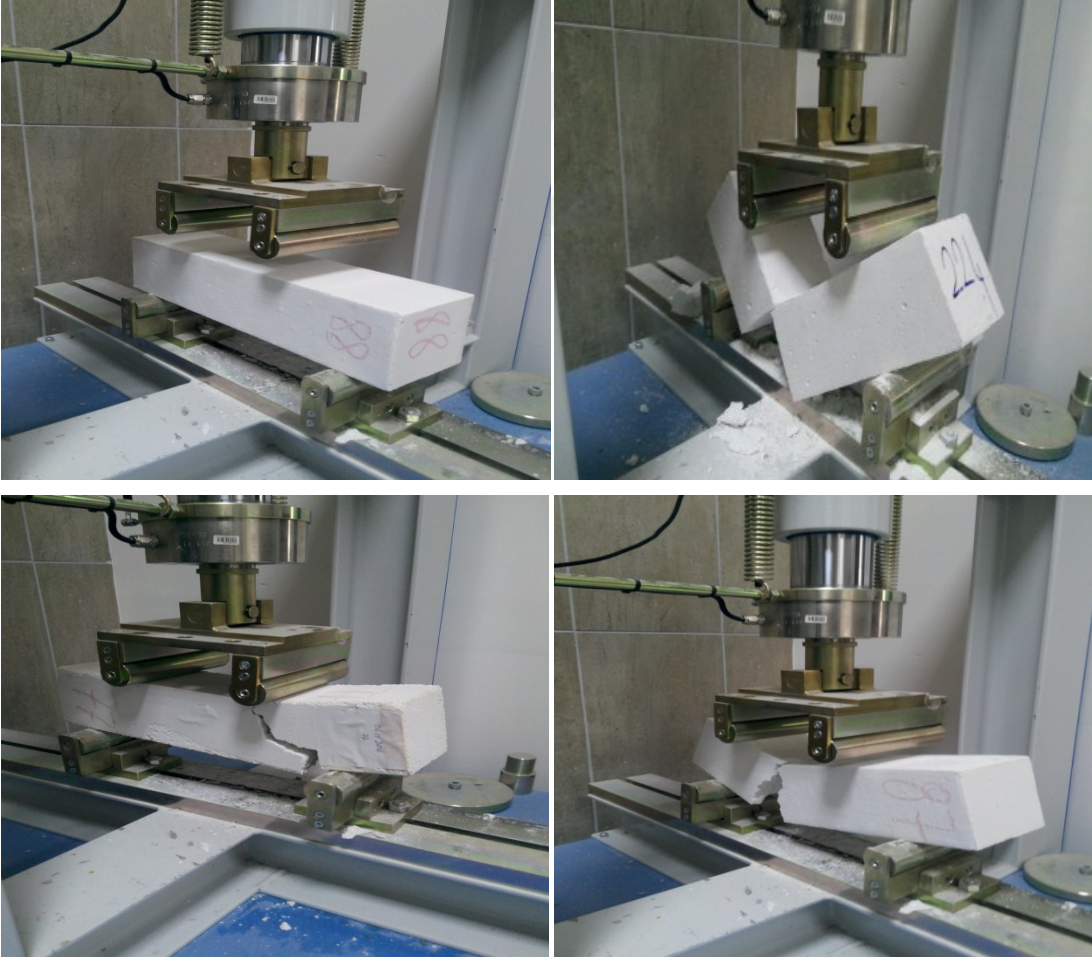
Şekil 4.7. CEM-I 52.5R çimentosu ile sürfaktan kullanılarak üretilmiş köpük betonların birim hacim ağırlığı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki.

4.4. Eğilme Dayanım Tayını

Köpük betonun eğilme dayanımı deneyi sonuçları numune numarasına göre Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Malzemenin boşluklu içyapısı ve gevrek oluşundan dolayı da çekme dayanımlarının çok düşük olmasına büyük etki ettiği düşünülmektedir. Özellikle fiber glas liflerin kullanıldığı numunelerde çekme dayanımının diğer numunelere göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca lifli numunelerin çekme deneyi sırasında sünek bir davranış gösterdiği, lifsiz numunelerin ise gevrek bir davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.8'de lifli numunenin üst kısımlarında ezilmesi sonucunda ve alt kısımlarında eğilme çatlakları oluşması sonucu sünek bir kırılma gözlenirken, Şekil 4.9'da ki lifsiz numunede ise ani ve gevrek bir kırılma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8. Lif içerkli numune çekme dayanım deneyi.



Şekil 4.9. Lifsiz numune çekme dayanım deneyi.

Çizelge 4.6. Üretilen köpük betonların eğilme dayanımı deney sonuçları

Deney No	Eğilme Dayanımı (MPa)	Deney No	Eğilme Dayanımı (MPa)
54	0.1755	95	0.1665
61	0.1035	97	0.6570
63	0.0540	98	0.0810
64	0.1665	117	0.9000
66	0.0585	118	1.3140
77	0.1125	119	1.9710
84	0.7155	140	3.8385
85	0.7785	141	4.1445
86	0.3870	149	0.2835
87	0.6210	153	0.0405
88	0.5490	154	0.8100
89	0.1800	159	0.4635
90	0.3285	169	0.2835
94	0.3465	171	1.3140

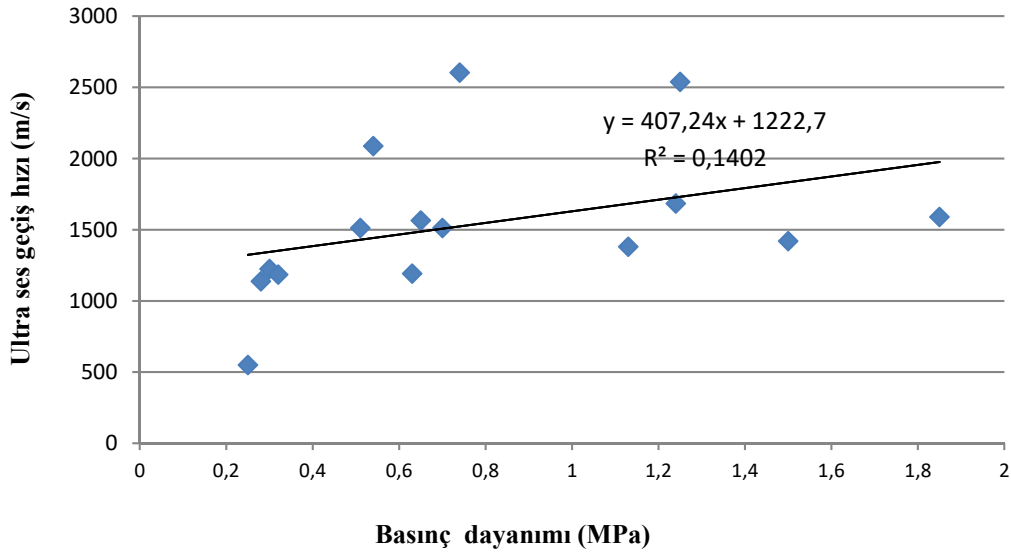
4.5. Ultrasonik Hız Deneyi

Malzemenin yoğunluğu ile doğru orantılı olarak içerisinde ultra ses dalgalarının geçiş hızının da arttığı bilinmektedir. Bu tez kapsamında elde edilen tüm numunelerin ultra ses geçirgenlik hız testi yapılmıştır. Bu testle numunelerin ısı-ses geçirgenliği, dayanım, yoğunluk gibi parametreleri ile normal bir betonun özellikleri de kıyaslanmıştır. Bu amaçla normal yoğunlukta bir beton numunenin (2250 kg/m^3) ultra ses deneyi yapılmış ve tez kapsamında üretilen ısı yalıtım özelliği kazandırılmış ultra hafif beton numunelerin ultra ses geçirgenlik değerleri ile kıyaslama yapılmıştır.

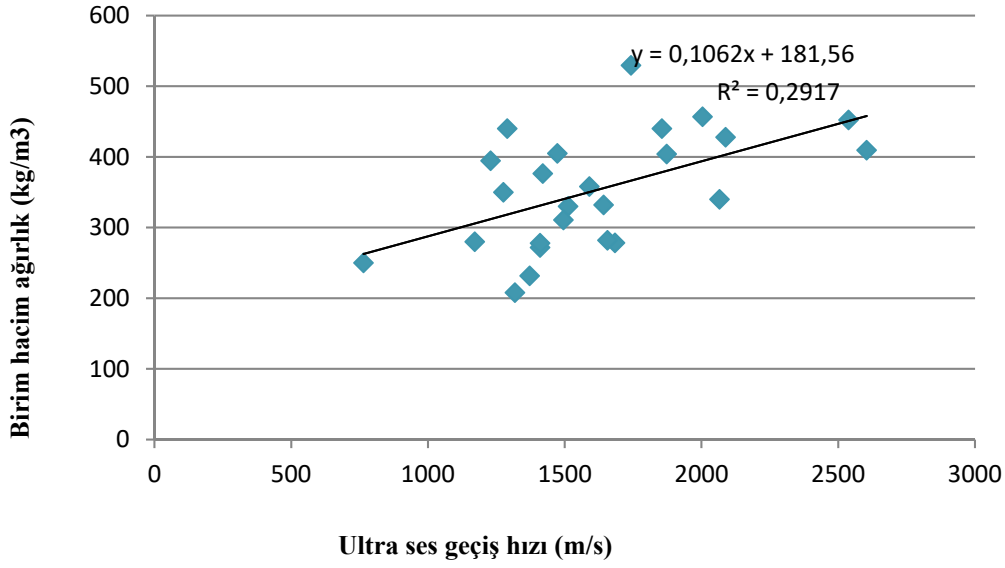
Üretilen köpüklü beton numunelerin ultrases geçirgenliği testinin aşamaları Şekil 4.10'da verilmiştir. Ultra ses geçirgenlik hızı ile numune yoğunluk ilişkisi bazı deneyler için yapılmış olup Şekil 4.11'de ki gibi ultra ses dalga hızı ile basınç dayanımı ilişkisi elde edilmiştir. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi ultra ses dalga geçiş hızı yoğunlukla doğru orantılı olarak düzenli olmasa da artmaktadır. Normal kalitede betonda ultra ses dalga geçiş hızı ile ortalama ultra hafif betonda dalga geçiş hızı Çizelge 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.10. Üretilen köpüklü beton numunelerin ultrases geçirgenliği testi.



Şekil 4.11. Ultra ses dalga hızı ile basınç dayanımı ilişkisi.



Şekil 4.12. Ultrases dalga hızı ile birim hacim ağırlık ilişkisi.

Hafif betonun yapısal özelliğinden dolayı ultra ses geçiş hızı normal betona ultra ses geçiş hızına göre daha düşüktür. Norma beton da ultra ses geçiş hızı yaklaşık 3500-4500 m/s arasındayken, hafif hücreli betonda Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere genel olarak bu değer 1000-2000 m/s arasında olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7. Ultra hafif ve normal betondaki ses dalgası geçiş ortalama hızı

Ortalama ultra hafif köpük beton dalga geçiş hızı(m/s) (Beton Yoğunluğu: 150-400 kg/m ³)	Ortalama kalite (25 MPa) beton ultra dalga geçiş hızı (m/s), (Beton Yoğunluğu: 2250 kg/m ³)	Yüzde fark %
1470.9	4000	171.9

Ultra ses geçirgenlik hızı ile numune basınç dayanımı ilişkisi bazı deneyler için yapılmış olup Çizelge 4.8’de ki gibi elde edilmiştir. Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi ultra ses dalga geçme hızı, basınç dayanımı ile doğru orantılı olarak düzenli olmasa da artmaktadır.

Çizelge 4.8. Köpük betonun basınç ve ultra ses geçirgenlik değerleri

Deneş No	Basınç Dayanımı (MPa)	Ultra ses Geçiş hızı (m/s)	Deneş No	Basınç Dayanımı (MPa)	Ultra ses Geçiş hızı (m/s)
54	1.24	1684	132	0.30	1441
61	1.85	1590	134	0.63	1192
63	4.66	1276	135	1.13	1381
64	1.50	1420	136	0.60	1348
66	1.02	1473	138	0.29	1178
77	1.10	1290	139	0.65	1565
84	0.50	2066	144	0.42	1484
85	0.70	2088	148	0.30	1224
86	0.37	1656	149	0.33	1185
87	0.47	1742	151	0.25	550
88	1.15	1873	153	0.80	1138
89	0.54	1512	159	0.51	1512
90	0.45	1410	160	0.32	1185
94	0.26	1318	171	0.50	1517
95	0.36	1372	175	0.16	1164
97	0.90	2004	205	0.15	1021
117	0.68	1855	209	0.14	1112
118	1.25	2538	215	0.12	810
119	0.74	2604			

4.6. Düşük Isı İletkenlik Katsayısına Sahip Çimento Bağlayıcılı İzolasyon Malzemelerinin Donma Çözölme Dayanımlarının Deneşel Olarak Elde Edilmesi

Beton içindeki hava boşluklarındaki su $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de donmaya başlar. Bir miktar su donduğunda donmamış sudaki iyon konsantrasyonu yükselir ve donma noktası düşer. Suyun donması sonucu oluşan hacimsel genişleme betonda telafi edilemeyecek hasarlara neden olur. Bu anlamda üretilen ultra hafif beton bu fiziksel olaya dayanıklı olması gerekir.

TS EN 15304 standardı esas alınarak ilk olarak farklı köpük ajanları kullanılarak üretilen köpük betonların donma çözölme dayanımları ölçülmüştür.

Donma çözölme deneşleri kenar uzunluğu 10 cm olan farklı yoğunluktaki numuneden oluşan küp şekilli numune üzerinde yapılmıştır. Donma-çözölme çevrimleri sonucunda numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki (çatlak oluşumu, kütle

kaybı ve varsa mukavemet değişiklikleri gibi) Şekil 4.13'de ki gibi değişimleri incelenmiştir. Şekil 4.14'de gösterildiği gibi fiziksel ve mekanik değişimleri fazla olan numuneler deneylerden çıkarılarak başarısız olduğu kayıt altına alınmıştır. Tüm çevirimler sonunda çıkarılan numunelerin kütle değişimleri, kuru ve doymun birim hacim ağırlık, gözeneklilik ve tek eksenli sıkışma dayanımı ölçülmüştür. Bu şekilde donma-çözülme etkisi altında numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde oluşan değişimler belirlenmiştir.



Şekil 4.13. Donma-çözülme döngüsü sonucunda başarılı olan numuneler.



Şekil 4.14. Deneyde başarısız olan numunelerin görünüşleri.

Numuneler suya doymun yüzeyleri elde edildikten sonra yüzeyleri kağıt havlu veya kuru bezle kurutularak ağırlıkları Şekil 4.15’de gösterildiği şekilde hassas terazide tartılarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.15. Suya doymun numunelerin birim ağırlıklarının hesaplanması.

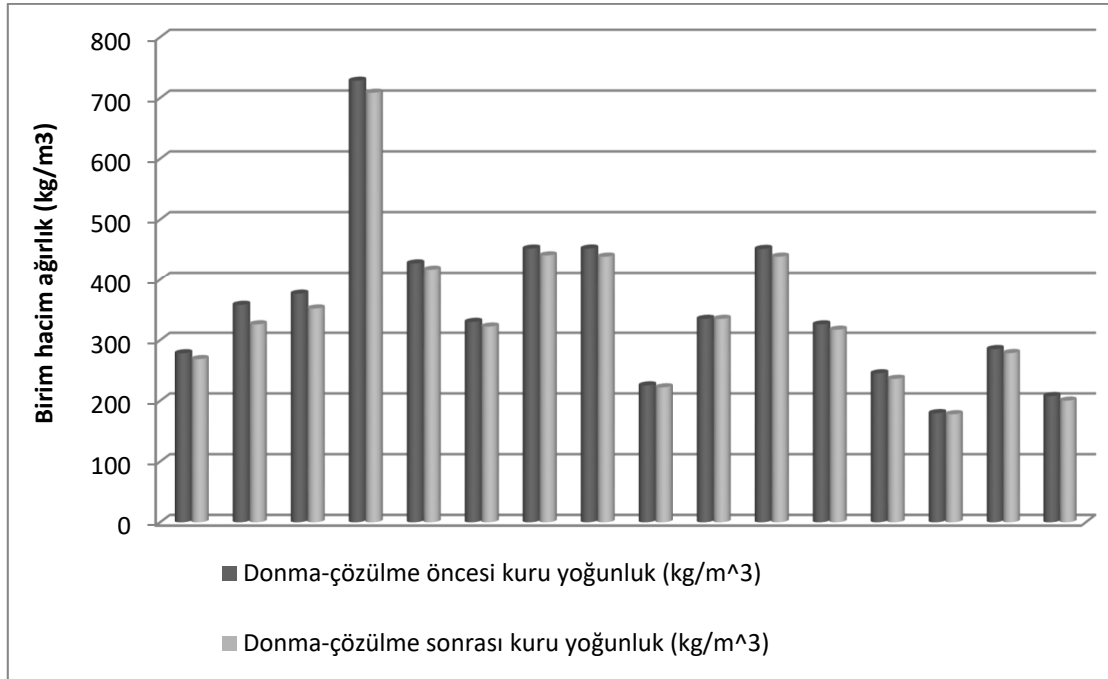
Numunelerin donma-çözülme testi sonrası bulunan kütle kaybı ve basınç dayanımı değerleri, Çizelge 4.9’da verilmiştir. Deney sonunda en fazla kütle kaybı %10 olurken, en az kayıp ise %1 civarlarında olduğu görülmüştür. Kütle kayıplarının çok fazla olması numunelerin boşluklu yapısının çok fazla su emmesi sonucu olduğu görülmektedir.

Başarısız olan numunelerin ise yoğunluklarının çok düşük olmasına bağlı dayanımlarının da çok düşük olduğu görülmüştür. Numunelerde yoğunluğun ve lif oranlarının artmasına bağlı olarak başarılı numunelerin sayısı fazla olduğu gözlemlenmiştir. Fakat yoğunluğu düşük, CEM-I 42.5R ve pomza miktarının fazla olduğu numunelerin donma-çözülme başarı oranları düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca donma-çözülme deneylerden başarısız olan numunelerin su emme oranlarının da yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.9. Donma-çözülme çevrimleri sonucunda fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişim değerleri

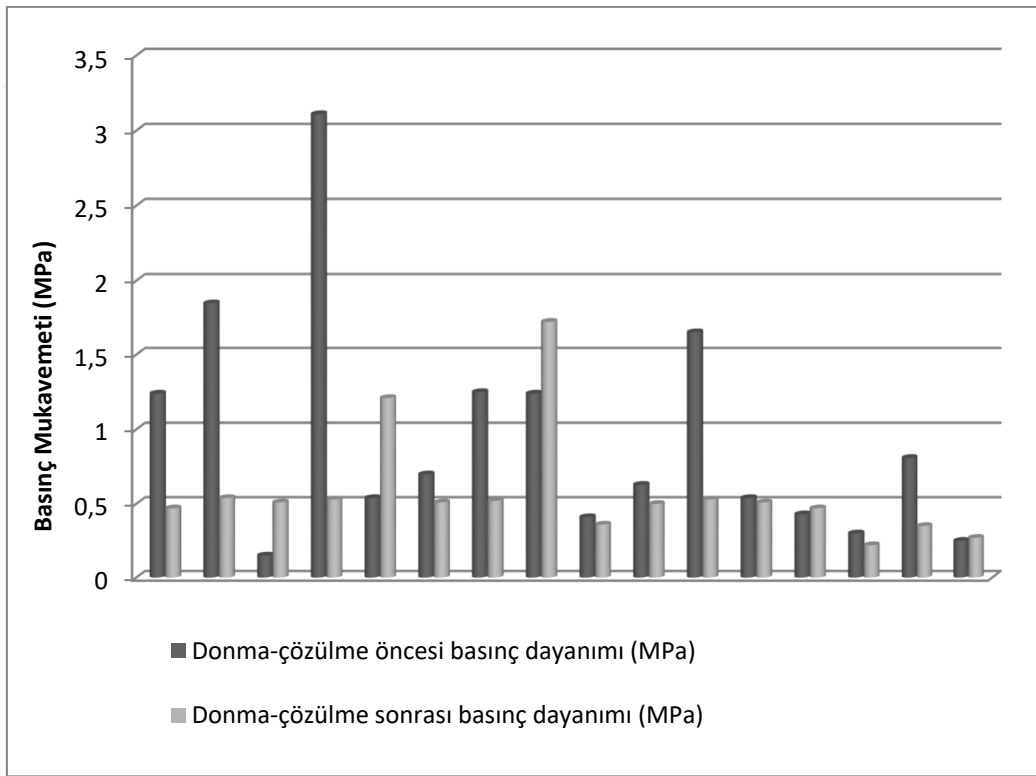
Deney No	Donma-çözülme öncesi kuru yoğunluk (kg/m ³)	Donma-çözülme sonrası kuru yoğunluk (kg/m ³)	Donma-çözülme sonrası kütle kaybı (%)	Donma-çözülme öncesi basınç dayanımı (MPa)	Donma-çözülme sonrası basınç dayanımı (MPa)	Basınç dayanım farkı (%)	Donma çözülme testi
54	278.3	268.7	3.449	1.24	0.48	61.451	Başarılı
61	358.1	326.0	8.963	1.85	0.54	70.594	Başarılı
64	376.5	352.0	6.507	1.50	0.51	65.933	Başarılı
81	728.3	708.6	2.704	3.11	0.54	82.705	Başarılı
85	427.8	417.4	2.431	0.54	1.21	124.44	Başarılı
89	330.0	322.3	2.333	0.70	0.52	26.714	Başarılı
118	452.2	441.0	2.476	1.25	0.53	57.920	Başarılı
126	452.3	439.0	2.940	1.24	1.73	38.616	Başarılı
131	225.4	222.2	1.419	0.41	0.37	10.731	Başarılı
134	335.0	335.0	0.00	0.63	0.51	20.476	Başarılı
140	451.7	439.0	2.811	1.654	0.53	67.835	Başarılı
141	325.9	317.1	2.700	0.54	0.51	6.250	Başarılı
145	245.3	236.2	3.709	0.43	0.47	10.879	Başarılı
148	179.7	177.9	1.002	0.30	0.22	25.666	Başarılı
150	285.2	278.7	2.279	0.82	0.35	57.160	Başarılı
151	207.9	200.3	3.655	0.25	0.27	9.600	Başarılı

Deney sonucunda kütle kayıplarını incelediğimizde önemli derecede kütle kayıplarının olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.16. Donma-çözülme öncesi ve sonrasındaki kütle değişim ilişkisi.

Şekil 4.17’de numunelerin bir aylık normal basınç dayanımları ile yaklaşık üç ay sonraki donma-çözülme sonrası basınç dayanımları bu grafikte analiz edilmiştir. Burada genel anlamda numunelerin donma öncesi basınç dayanımlarının yüksek olduğu görülmektedir. Bu da donma çözülme sonucu numunelerin kütle kayıpları ve oluşan iç gerilmeler sonucu dayanım kayıpları oluştuğuna işaret etmektedir. Bazı numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarının yüksek olmasının ana sebebi normal basınç deneyleri 28 günde yapılmışken, donma çözülme deneyi numunelerin 90 günlük iken yapılmış olmasından kaynaklanıldığı düşünülmektedir.



Şekil 4.17. Donma-çözülme öncesi ve sonrasındaki basınç mukavemeti ilişkisi.

Köpük beton deney numunesinin ilk kuru kütlesi (M_1), deney numunesinin nihai kuru kütlesi (M_2), donma-çözülme döngüsünden sonra deney numunesinin kütlece yüzde kaybı (F), suya doygun numunenin havadaki ağırlığı (W_{SH}) ve deneyde başarısız olan numunelerin de belirsiz (B.sız) şekilde numune yapım sırasına göre Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Düşük ısı iletkenlikli ultra hafif betonun donma-çözülme deney sonuçları

Deney No	M ₁	W _{SH}	M ₂	Su emme Yüzdesi (%)	F
54	278.3	498.2	268.7	79.02	3.44
61	358.1	793.3	326.0	121.5	8.96
64	376.5	822.8	352.0	118.5	6.50
81	728.3	1016.6	708.6	39.59	2.70
84	340.0	764.9	B.sız	125.0	B.sız
85	427.8	881.5	417.4	106.1	2.43
86	282.0	774.0	B.sız	174.5	B.sız
87	529.6	990.0	B.sız	86.93	B.sız
89	330.0	728.7	322.3	120.8	2.33
90	271.8	641.3	B.sız	135.9	B.sız
94	208.0	622.4	B.sız	199.2	B.sız
95	231.7	684.7	B.sız	195.5	B.sız
97	456.9	990.9	444.1	116.9	2.80
98	310.8	721.1	B.sız	132.0	B.sız
99	394.6	754.5	366.8	91.21	7.04
118	452.2	819.3	441.0	81.18	2.47
119	409.5	793.6	B.sız	93.8	B.sız
126	452.3	620.5	439.0	37.19	2.94
129	359.5	551.6	356.0	53.44	0.97
131	225.4	427.4	222.2	89.62	1.41
134	387.0	657.0	374.7	69.77	3.17
138	324.6	651.7	B.sız	100.8	B.sız
140	451.7	608.4	439.0	34.69	2.81
141	325.9	500.0	317.1	53.42	2.70
142	155.9	372.4	B.sız	138.9	B.sız
145	245.3	422.4	236.2	72.20	3.70
148	179.7	358.0	177.9	99.22	1.00
150	285.2	485.1	278.7	70.09	2.27
151	207.9	410.9	200.3	97.64	3.65
153	217.8	546.9	213.0	151.1	2.20
159	323.0	755.1	309.8	133.8	4.09
160	269.7	692.1	258.5	156.6	4.15
161	315.5	721.6	305.9	128.7	3.04
168	284.0	635.6	B.sız	123.8	B.sız
169	449.5	666.7	436.9	48.32	2.80
170	237.9	589.8	B.sız	147.9	B.sız
171	352.6	801.1	343.3	127.2	2.64
180	273.4	447.7	267.0	63.75	2.34
198	350.0	527.6	342.4	50.74	2.17
204	199.3	518.5	B.sız	160.2	0.00
205	194.7	523.8	B.sız	169.0	0.00
206	210.0	506.5	B.sız	141.2	0.00

Çizelge 4.11. Düşük ısı iletkenlikli ultra hafif betonun donma-çözülme deney sonuçları

Deney No	M ₁	W _{SH}	M ₂	Su emme Yüzdesi (%)	F
207	216.2	612.3	B.sız	183.2	0.00
208	224.5	581.5	B.sız	159.0	0.00
209	222.6	693.9	B.sız	211.7	0.00
214	261.0	717.7	B.sız	175.0	0.00
215	200.3	508.8	B.sız	154.0	0.00

M₁ :Deney numunesinin ilk kuru kütlesi, g,

B.sız :Belirsiz,

M₂ :Deney numunesinin nihai kuru kütlesi, g,

F :Donma-çözülme döngüsünden sonra deney numunesinin kütlece yüzde kaybı,

W_{SH} :Suya doygun numunenin havadaki ağırlığı.

4.7. Düşük Isı İletkenlik Katsayısına Sahip Çimento Bağlayıcı İzolasyon Malzemelerinin Mikro Yapısal Analizi

Bu proje kapsamında üretilen çimento esaslı ısı yalıtım malzemelerinin XRF, XRD, SEM ve EDX incelemeleri yapılarak bunların mikro yapısında gelişen faz yapıları belirlenerek elde edilen bulgular bu bölümde sunulmuştur.

4.7.1. X-Ray fluorescence (XRF)

Bu proje kapsamında üretilen çimento esaslı ısı yalıtım malzemelerinin kimyasal bileşenleri XRF kullanılarak elde edilmiştir. Farklı köpük ajanları ile üretilen köpük beton ile üretilen hafif betonların kimyasal bileşimi Çizelge 4.12’de verilmektedir.

4.7.2. XRD

XRD ile incelenen tüm hücrel hafif betonlarda hücrel hafif betonların genelde amorf karakterde olduğu sadece belli noktalarda kristallerin bulunduğu

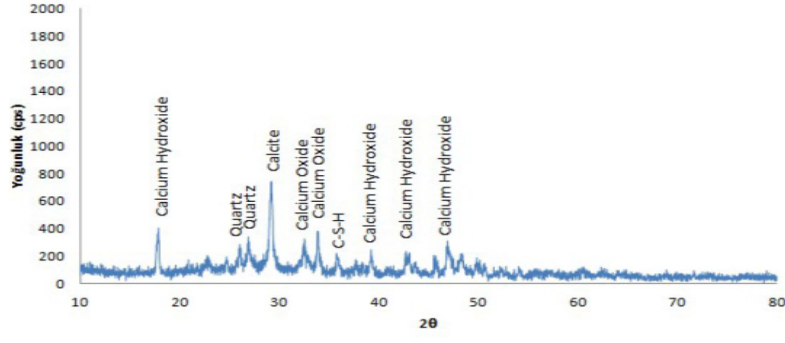
görülmektedir. Farklı özellikteki hücresele hafif betonların XRD desenleri Şekil 4.18., 19., 20. ve 21’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. Üretilen betonların XRF ile elde edilen kimyasal bileşimi

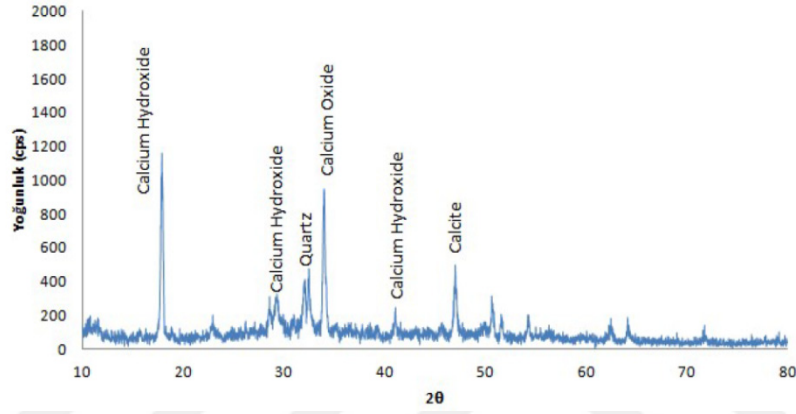
Numune Adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
61	21.17	5.49	2.50	34.43	1.72	1.47	1.17	0.48
84	16.24	3.99	0.25	41.40	1.34	2.01	0.52	0.40
85	15.98	3.81	0.11	43.49	1.40	2.09	0.32	0.38
87	16.46	3.90	0.23	41.64	1.32	1.88	0.40	0.38
89	16.09	3.95	0.25	40.53	1.29	1.87	0.58	0.41
137	15.51	3.82	0.23	40.63	1.26	1.87	0.47	0.41
138	15.74	3.79	0.22	41.04	1.30	1.83	0.39	0.38
139	16.89	3.87	0.33	40.95	1.32	1.81	0.42	0.39
150	18.95	4.59	0.60	38.28	1.24	1.66	0.75	0.45
153	17.89	4.07	0.28	42.44	1.36	1.95	0.41	0.40
159	15.85	3.41	0.18	42.36	1.31	1.89	0.25	0.39
171	15.89	3.38	0.18	42.12	1.29	1.91	0.25	0.40

Üretilen tüm hücresele hafif betonlarda yapılan incelemede CaO, SiO₂’in oldukça büyük piklere sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, portlandite de rastlanmıştır. Hidratasyon reaksiyonlarının devam ettiği oluşan portlanditten anlaşılmaktadır. XRD ile elde edilen sonuçlar. XRF ve EDX ile elde edilen sonuçlarla uyumludur.

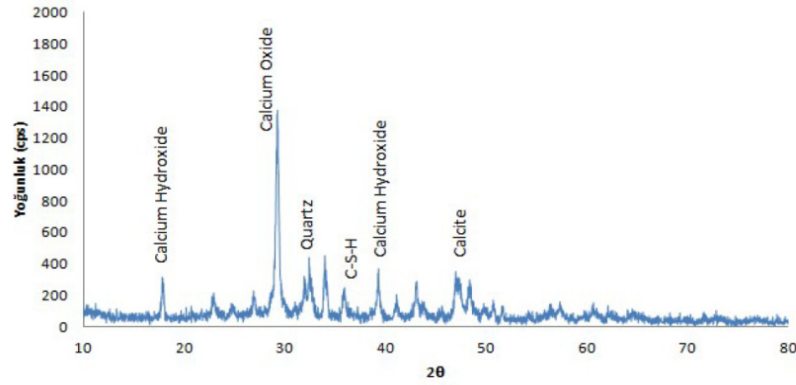
XRD ile incelenen tüm hücresele hafif betonlarda ana kristal fazının CaO ve CaOH₂ (portlandit) olduğu görülmüştür. Bunların yanında numunelerde C-S-H ve kalsite de bulunmaktadır. Hücresele hafif betonların tamamında kalsite ait piklerin karbonatlaşmaya bağlı hidratasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Karbonatlaşmanın da portlandit ve CS-H fazlarının havadan alınan karbondioksitin etkisi ile kararsızlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kalsiyum karbonat kristalleri çimento pastasındaki boşluklarda oluşmakta ve buna bağlı olarak da porozitenin azalmasına ve daha küçük boyutta boşluk oluşumuna sebep olmaktadır. Kalsite ait yüksek pikler hidratasyon reaksiyonlarının yüksek oranda olduğunu göstermektedir. Karbonatlaşmanın fazla olduğu numunelerde boşluk boyutlarının daha küçük olduğu SEM incelemelerinde gözlemlenmiştir.



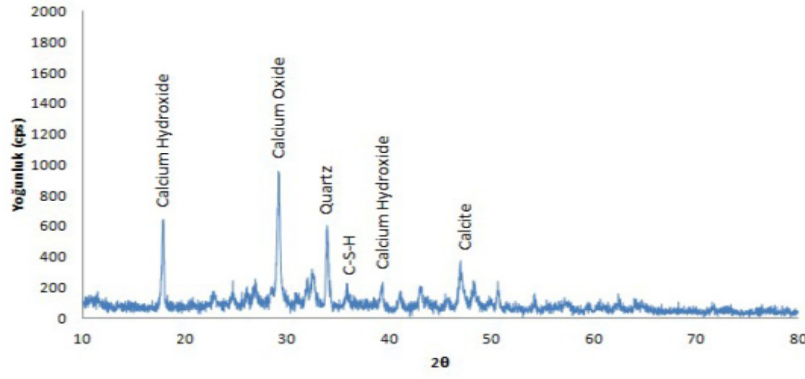
Şekil 4.18. 61 nolu numunenin XRD ile yapılan kalitatif incelemesi (Sentetik).



Şekil 4. 19. 84 nolu numunenin XRD ile yapılan kalitatif incelemesi (Polimer Esaslı).



Şekil 4.20.137 nolu numunenin XRD ile yapılan kalitatif incelemesi (Laboratuvarımızda geliştirilen latex katkılı).



Şekil 4.21. 150 nolu numunenin XRD ile yapılan kalitatif incelemesi (Protein esaslı lif katkıları).

4.7.3. SEM

Farklı köpük katkılarıyla (sentetik esaslı, polimer esaslı, protein esaslı ve laboratuarda geliştirilen latex katkıları köpük) üretilen hücresel beton numuneleri üzerinde mekanik ve fiziksel özellikler deneyleri yapıldıktan sonra teste tabi tutulmayan hafif betonlardan mikro yapı analizi için tüm deneyleri temsil edecek şekilde örnekler alındı. Alınan örneklerin SEM analizi için yüzeyleri hazırlandı. SEM ile mikro yapı fotoğrafları çekilerek EDX ile atom miktarları bulundu (Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14).

Çizelge 4.13. Mikroyapısal analiz için seçilen örneklerin EDX ile elde edilen kimyasal analizi

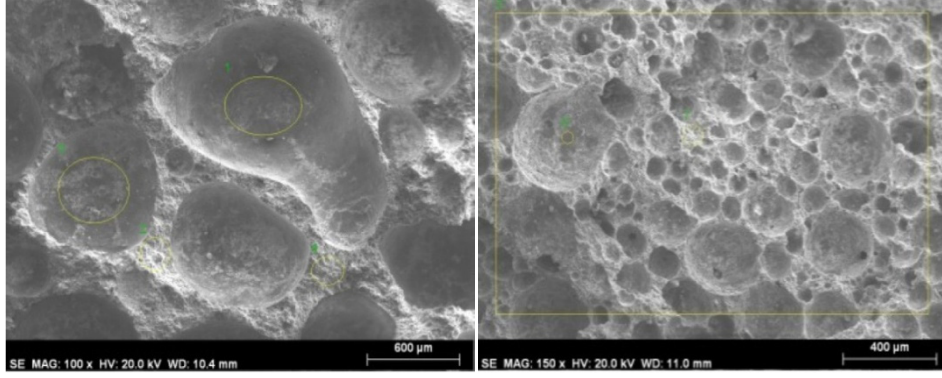
	Element Simgesi	Kimyasal Bileşim							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
61	Atom %	20.42	5.62	3.10	55.93	3.22	3.96	3.68	4.07
	Ağırlıkça %	16.01	4.23	4.83	62.57	2.18	3.55	4.02	2.61
84	Atom %	9.94	2.84	2.10	79.00	0.05	3.25	2.25	0.57
	Ağırlıkça %	7.32	2.01	3.80	81.45	0.03	2.74	2.30	0.34
85	Atom %	10.87	3.54	1.10	77.73	0.46	3.43	2.02	0.51
	Ağırlıkça %	8.07	2.53	2.50	81.08	0.03	2.91	2.09	0.84
87	Atom %	11.35	3.58	2.50	75.90	0.40	4.09	1.34	0.85
	Ağırlıkça %	8.46	2.56	3.70	79.64	0.26	3.48	1.39	0.52
89	Atom %	10.3	3.45	1.20	77.79	0.31	3.51	2.50	0.95
	Ağırlıkça %	7.64	2.46	2.80	80.78	0.20	2.97	2.58	0.58
137	Atom %	12.9	4.50	1.10	72.93	0.76	4.23	1.79	1.79
	Ağırlıkça %	9.75	3.27	2.60	77.24	0.49	3.65	1.88	1.11
138	Atom %	12.89	3.88	1.18	75.16	0.40	4.19	1.37	0.93
	Ağırlıkça %	9.67	2.80	2.24	79.45	0.26	3.59	1.43	0.57

Çizelge 4.14. Mikroyapısal analiz için seçilen örneklerin EDX ile elde edilen kimyasal analizi

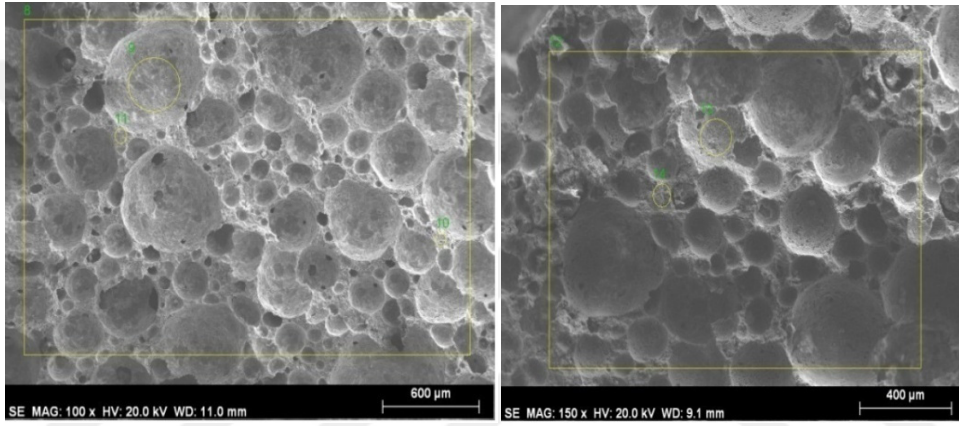
	Element Simgesi	Kimyasal Bileşim							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
139	Atomsal %	12.49	4.25	1.40	75.19	0.38	3.38	1.61	1.30
	Ağırlıkça %	9.37	3.06	2.30	79.65	0.24	2.90	1.68	0.80
150	Atomsal %	16.37	5.08	1.10	68.38	0.55	5.53	1.40	1.60
	Ağırlıkça %	12.55	3.74	1.30	74.71	0.36	4.84	1.49	1.00
153	Atomsal %	14.44	3.91	1.91	70.15	0.30	7.38	1.00	0.91
	Ağırlıkça %	10.95	2.85	2.85	75.11	0.20	6.39	1.09	0.56
159	Atomsal %	11.78	2.97	0.80	78.85	0.36	3.74	0.70	0.80
	Ağırlıkça %	8.76	2.12	1.40	83.05	0.23	3.17	0.78	0.49
171	Atomsal %	16.62	5.27	1.21	66.95	1.32	5.31	1.07	2.25
	Ağırlıkça %	12.83	3.91	1.73	73.38	0.88	4.68	1.15	1.42

Sentetik, protein, polimer esaslı köpük ajanları ve laboratuarda geliştirilen latex katkıli köpük ajanı kullanılarak üretilen hücreli hafif beton örneklerine ait SEM görüntüleri Şekil 4.22., 23., 24., 25. ve 26'da gösterilmektedir. Sentetik esaslı köpük kullanılarak üretilen hafif betonlarda boşluk yapısının homojen olmadığı ve diğer numunelerle kıyaslandığında daha büyük çapta boşlukların varlığı dikkat çekmektedir.

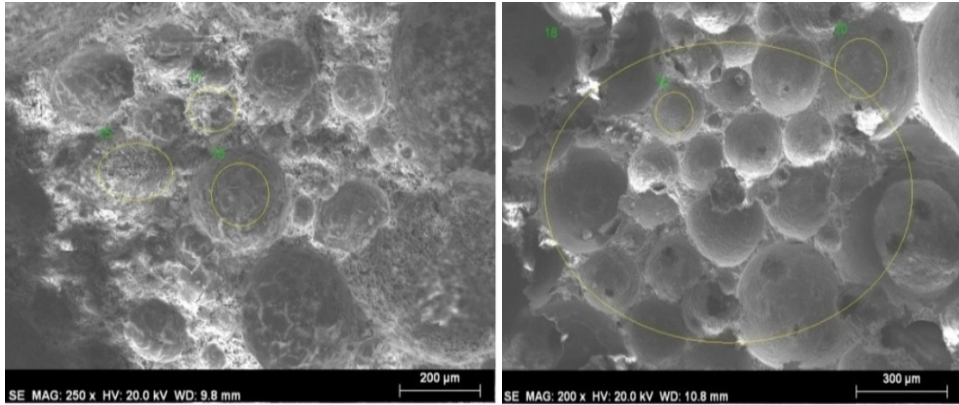
Polimer esaslı köpük ile elde edilen numunelerde ise hava boşluklarının çok değişken olduğu görülmektedir. Yapılan basınç deneylerinde de sentetik esaslı köpük katkıları ile elde edilen numunelerin basınç dayanımlarının polimer esaslı köpük katkıları ile elde edilen numunelerden daha fazla olmasının bu sebeple olduğu düşünülmektedir. Laboratuarda geliştirilen latex katkıli köpük betonlarda ortalama boşluk çapının da azaldığı ve daha homojenleştiği görülmektedir. Laboratuarda geliştirilen latex katkıli köpük betonların basınç dayanımlarının göreceli olarak daha fazla olmasının, mikro yapısal analizler neticesinde belirlenen daha küçük boşluk çapı ve daha homojen boşluk yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.



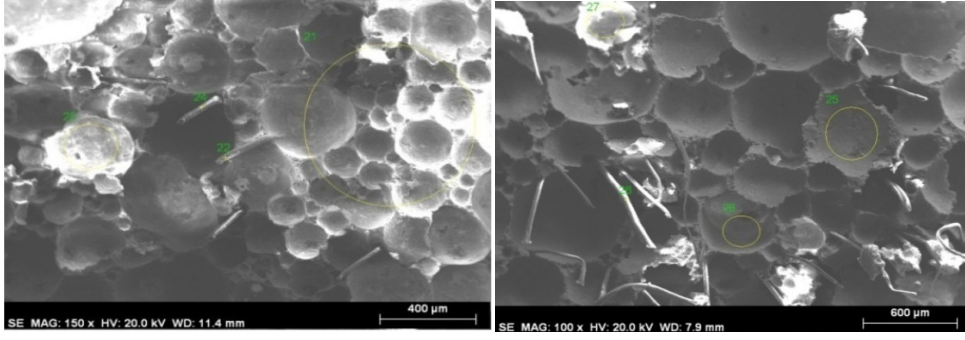
Şekil 4.22. Sentetik esaslı köpük ajanı kullanılarak üretilen 61 nolu numunenin mikro yapısı(solda), Polimer esaslı köpük ajanı kullanılarak üretilen 84 nolu numunenin mikro yapısı(sağda).



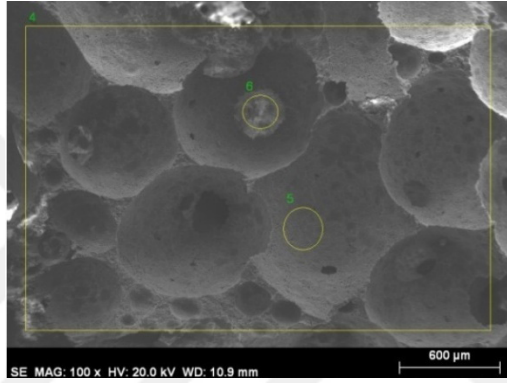
Şekil 4.23. Polimer esaslı köpük ajanı kullanılarak üretilen 85 nolu numunenin mikro yapısı(solda), Polimer esaslı köpük ajanı kullanılarak üretilen 87 nolu numunenin mikro yapısı(sağda).



Şekil 4.24. Polimer esaslı köpük ajanı ve lif kullanılarak üretilen 89 nolu numunenin mikro yapısı(solda), Laboratuarda geliştirilen latex katkılı köpük ajanı kullanılarak üretilen 137 nolu numunenin mikro yapısı(sağda).



Şekil 4.25. Laboratuarda geliştirilen latex katkılı köpük ajanı ve lif kullanılarak üretilen 139 nolu numunenin mikro yapısı(solda), Protein esaslı köpük ajanı ve lif kullanılarak üretilen 150 nolu numunenin mikro yapısı(sağda).



Şekil 4.26. Laboratuarda geliştirilen latex katkılı köpük ajanı kullanılarak üretilen 159 nolu numunenin mikro yapısı.

4.8. Birim Ağırlık ve Su Emme Oranları

Köpük beton gözenekli yapısından dolayı suyla temasında suyu bünyesine emerek hapseder. Numunelerin çok hızlı bir şekilde suyu emerek bünyelerine aldıkları görülmüştür. Hücresel yapısından dolayı %200'e varan su emme oranları bulunmaktadır. Şekil 4.27'de görüldüğü gibi 48 saat suda bekletilen numunelerin normal ağırlıklarının yaklaşık iki katı kadar su emdikleri belirlenmiştir. Bu numunelerin su emme yüzdesi Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16.'da verilmiştir. Numunelerin bünyesinde bulunan boşluklar oranında su emdikleri görülmüştür. Yoğunlukları az boşluk oranı fazla olan numunelerin daha fazla su emdikleri görülmüştür. 28 günlük numunelerde, max %199.2 su emme oranı ile 94 nolu hafif köpük beton numunenin ve min %34.69 su emme oranı ile 140 nolu hafif köpük beton numunesi belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Suya doygun ultra hafif beton numunelerinin görüntüleri.

Numunelerin su emme miktarları genel anlamda yoğunlukları ile ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Numune yoğunlukları artıkça, numune içerisinde bulunan boşluk miktarının azalması ile su emme oranları da azalmıştır.

Çizelge 4.15. Isı iletkenliği düşük köpük beton numunelerin su emme oranları

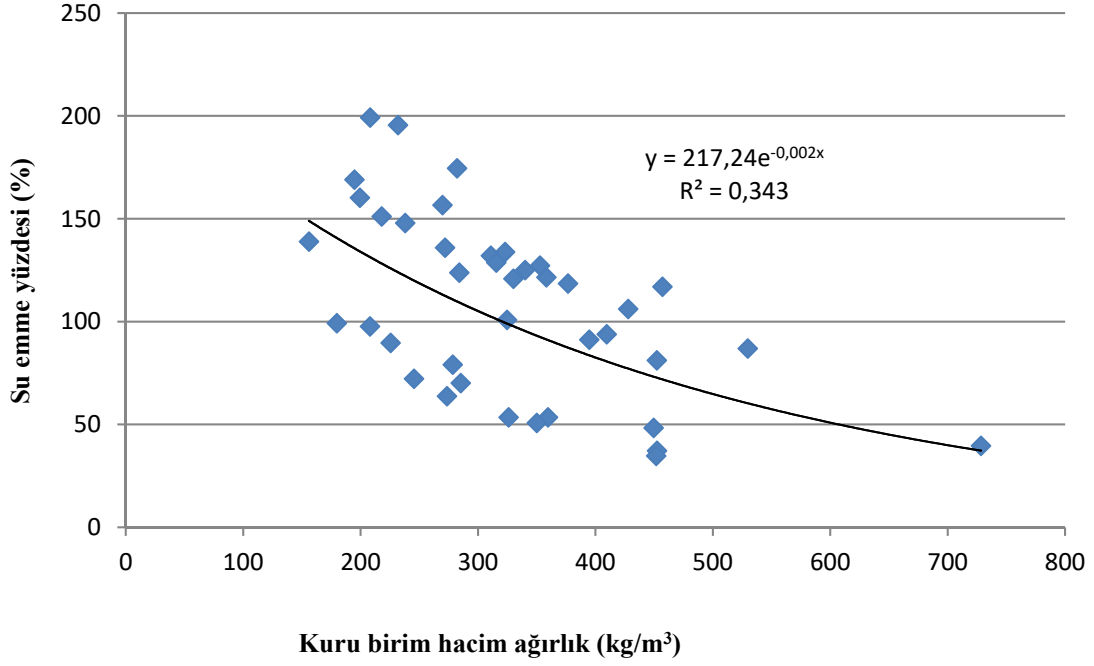
Deney No	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Yaş Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Su emme Yüzdesi (%)
54	278.3	498.21	79.02
61	358.1	793.19	121.5
64	376.5	822.65	118.5
81	728.3	1016.63	39.59
84	340.0	765.00	125.0
85	427.8	881.70	106.1
86	282.0	774.09	174.5
87	529.6	989.98	86.93
89	330.0	728.64	120.8
90	271.8	641.18	135.9
94	208.0	622.34	199.2
95	231.7	684.67	195.5
97	456.9	991.02	116.9

Çizelge 4.16. Isı iletkenliği düşük köpük beton numunelerin su emme oranları

Deney No	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Yaş Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Su emme Yüzdesi (%)
98	310.8	721.06	132.0
99	394.6	754.51	91.21
118	452.2	819.30	81.18
119	409.5	793.61	93.80
126	452.3	620.51	37.19
129	359.5	551.62	53.44
131	225.4	427.40	89.62
138	324.6	651.80	100.8
140	451.7	608.39	34.69
141	325.9	500.00	53.42
142	155.9	372.45	138.9
145	245.3	422.41	72.20
148	179.7	358.00	99.22
150	285.2	485.10	70.09
151	207.9	410.89	97.64
153	217.8	546.90	151.1
159	323.0	755.17	133.8
160	269.7	692.05	156.6
161	315.5	721.55	128.7
168	284.0	635.59	123.8
169	449.5	666.70	48.32
170	237.9	589.75	147.9
171	352.6	801.11	127.2
180	273.4	447.69	63.75
198	350.0	527.59	50.74
204	199.3	518.58	160.2
205	194.7	523.74	169.0

4.9. Numunelerin Isı İletkenlik Katsayısının Kuru Birim Hacim Ağırlık İle İlişkisi

Bu çalışmada elde edilen ultra hafif beton numunelerinin ısı iletim katsayısının birim hacim ağırlık ile ilişkisi belirlenmiş ve kuru birim hacim ağırlığın azalmasıyla ısı iletim katsayısının da azalmakta olduğu görülmüştür (Şekil 4.29). Kuru birim hacim ağırlığı 150kg/m³ olan ultra hafif beton numunelerinin hedeflenen ısı iletim katsayısına (0.040W/mK) sahip olduğu görülmüştür. Tez kapsamında yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir. Numunelerin ısı iletenlik değerleri genel anlamda yoğunlukla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Yoğunluğu düşük numunelerin ısı iletim değerlerinin de düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.28. Numunelerin kuru birim hacim ağırlık ile su emme yüzdesi ilişkisi

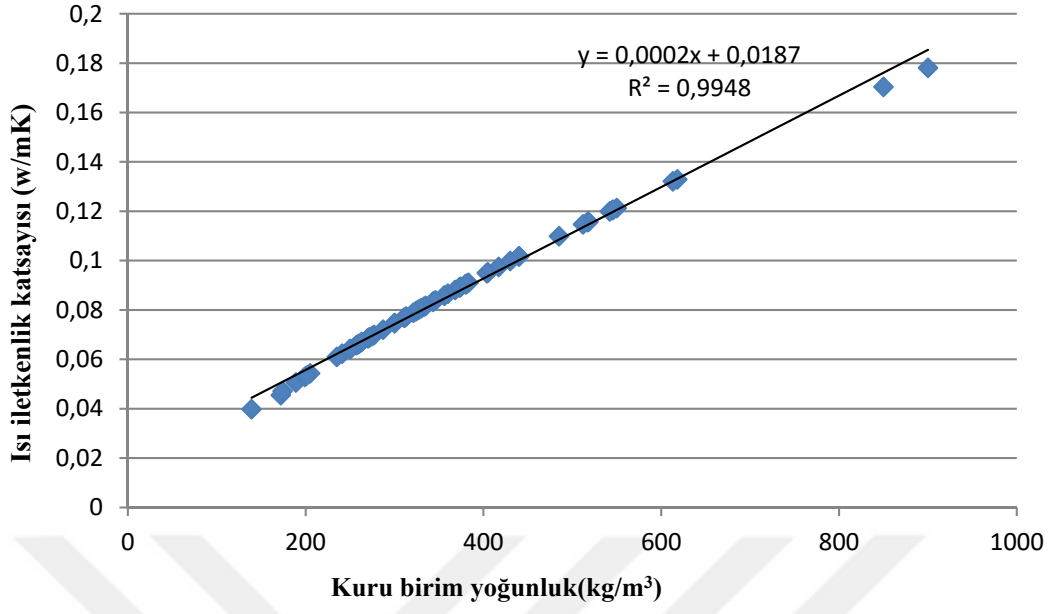
Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18’de verilen numunelerden 142 nolu numunenin kuru birim hacim ağırlığı 139 kg/m^3 ile en düşük birim hacim ağırlığına sahip olduğu ve bu numunenin ısı iletkenlik değerinin 0.0398 W/mK değeri ile en düşük ısı iletkenlik değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.17. Proje kapsamında farklı sürfaktanlarla üretilen köpük betonlara ait basınç mukavemet ve ısıl iletkenlik testi sonuçları

Çimento Tipi	Köpük Ajan Tipi	Deney No	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	Basınç Dayanımı (MPa)	Isı İletkenlik Katsayısı, (W/mK)
Cem-I 42.5 R	Sentetik	54	618	1.24	0.1329
		61	613	1.85	0.1321
		63	850	4.66	0.1704
		64	517	1.50	0.1156
		65	417	1.02	0.0974
		66	405	1.03	0.0952
		68	383	0.37	0.0910
	Polimer Esaslı	77	440	1.10	0.1017
		81	900	3.11	0.1781
		84	380	0.50	0.0904
		85	485	0.70	0.1099
		86	330	0.37	0.0807

Çizelge 4.18. Proje kapsamında farklı sürfaktanlarla üretilen köpük betonlara ait basınç mukavemet ve ısı iletkenlik testi sonuçları

Çimento Tipi	Köpük Ajan Tipi	Deney No	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Isı İletkenlik Katsayısı, (W/mK)	
Cem-I 52.5 R		87	550	0.47	0.1213	
		88	404	1.15	0.0950	
		89	344	0.54	0.0835	
		90	300	0.45	0.0747	
		94	250	0.26	0.0642	
		95	270	0.36	0.0685	
		97	518	0.90	0.1157	
		98	404	0.44	0.0950	
		117	440	0.68	0.1017	
		Laboratuarda Geliştirilen Latex Katkılı	118	545	1.25	0.1205
			119	360	0.74	0.0866
	124		343	0.64	0.0833	
	126		512	1.24	0.1147	
	127		356	0.54	0.0858	
	128		356	0.65	0.0858	
	131		326	0.41	0.0799	
	132		346	0.30	0.0839	
	134		335	0.63	0.0817	
	135		381	1.13	0.0906	
	136		333	0.60	0.0813	
	137		311	0.40	0.0769	
	138		277	0.29	0.0699	
	Esaslı Protein		139	324	0.65	0.0795
			140	542	1.65	0.1199
			141	374	0.54	0.0893
			142	139	0.14	0.0398
		144	259	0.42	0.0661	
		145	311	0.43	0.0769	
		148	300	0.30	0.0747	
		149	287	0.33	0.0720	
		150	275	0.81	0.0695	
		151	328	0.25	0.0803	
	Laboratuarda Geliştirilen Sentezik Latex Katkılı	153	321	0.28	0.0789	
		154	272	0.21	0.0689	
		159	430	0.51	0.0998	
		160	368	0.32	0.0881	
		161	373	0.36	0.0891	
		168	374	0.39	0.0893	
169		546	0.54	0.1206		
170		257	0.22	0.0657		
171		380	0.50	0.0904		
175		260	0.16	0.0663		
180		271	0.43	0.0687		
198	313	0.50	0.0773			
204	172	0.13	0.0455			
205	174	0.15	0.0471			
206	189	0.14	0.0506			
207	199	0.15	0.0529			
208	205	0.21	0.0543			
209	201	0.15	0.0534			
214	241	0.17	0.0623			
215	250	0.12	0.0642			
219	235	0.12	0.0610			
220	263	0.15	0.0670			



Şekil 4.29. Numunelerin ısı iletkenlik katsayısının kuru birim hacim ağırlık ile ilişkisi.

SONUÇLAR

Yapılan tez çalışmasında ısı iletim katsayısı ölçümleri için farklı gözeneklilik ve yoğunluk değerlerine sahip hafif hücreli beton numuneleri üretilmiştir. Isı yalıtım özelliği kazandırılmış hücreli hafif beton numuneleri elde edilmiş ve mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenerek değerlendirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen ultra hafif beton numunelerinin ısı iletim katsayısının birim hacim ağırlık ile ilişkisi belirlenmiş ve kuru birim hacim ağırlığın azalmasıyla ısı iletim katsayısının da azalmakta olduğu görülmüştür. Kuru birim hacim ağırlığı 139 kg/m^3 olan ultra hafif beton numunesinin hedeflenen ısı iletim katsayısına (0.0398 W/mK) sahip olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada gözenekli hafif hücreli köpük betonun normal betona göre daha iyi bir ısı ve akustik performans kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Bu çalışmalarda; hava boşluğu boyutu (hücreli yapı) daraldıkça daha yüksek basınç dayanımlarının elde edildiği ve hava boşluğunun genişlemesinin ise basınç dayanımını azalttığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Hedeflenen ısı iletim katsayısına sahip ultra hafif beton (139 kg/m^3) numunesinin basınç dayanımı 0.14 MPa olduğu görülmüştür. Boşluk parametreleri ve boşluk mikro yapısı ile beton bileşimi köpük betonun özelliklerini ve pratikte kullanımını direkt olarak etkilemektedir. Üretilen köpük betonlarda boşluk oranı ve malzemenin boşluklara bağlı parametreleri genellikle köpüğün stabilitesine, boşluk oranına ve su-çimento oranına bağlıdır.

Elde edilen köpük beton numunelerin donma-çözülme dayanımı sonucu numunelerin genelinde başarılı olmuştur. Donma-çözülme testi sonrasında beton numunelerinde kütleli azalma olur iken basınç dayanımında numunelerin genelinde de azalma olduğu görülürken bazı numunelerin de ise basınç dayanımlarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Basınç dayanımlarının artan numunelerin donma-çözülme sürecinde priz almaya devam ettikleri düşünülmektedir. Donma çözülme testi sonrasında elde edilen köpük beton numunelerinde kütle kaybının %1 ile % 11.85 oranında olduğu, basınç dayanımında % 6.25 ile % 82.7 oranında azalma olduğu görülmüştür.

Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesi betonun dayanımını artırdığı gibi tozmayı düşürmekte, geçirimsizliği ve aderansı artırmaktadır. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin her ne kadar pozitif etkileri olsa da anti köpük

özelliğinden dolayı beton içerisindeki hava boşluklarını yok ettiği yapılan deneyler sonucunda görülmüştür.

Düşük ısı iletkenlikli ultra hafif beton numunelerinde kullanılan farklı sürfaktanlar (sentetik, protein esaslı ve polimer esaslı), numune değerleri üzerindeki etkileri birbirine çok yakın olmuştur.

Yapılan eğilmede çekme deneyleri sonucunda numune kapasitelerinin düşük olduğu görülmüştür. Numunelerin çekme dayanımlarının birim hacim ağırlıkla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Numune yoğunluklarının artması ile çekme değerlerinde de artış olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerin lif kullanım oranlarına bağlı olarak çekme değerlerinde bir miktar iyileştirilme gerçekleşmiştir. Numunelerin en düşük 0.04 MPa ve en yüksek 4.14 MPa çekme değerleri elde edilmiştir. Numunelerdeki lif miktarının artması da çekme dayanımını üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yoğunlukları düşük CEM-I 52.5R numunelerin CEM-I 42.5R ye göre donma-çözülme döngüsünde başarı oranı daha fazla olduğu yapılan deney sonucundan belirlenmiştir. Numune yoğunluklarına bağlı olarak, numune yoğunluğu arttıkça döngüde başarılı bir şekilde çıkma oranlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Lif kullanımının donma-çözülme üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Donma-çözülme üzerinde önemli bir etkiye sahip bir diğer önemli etkenin ise yoğunluk olduğu görülmüştür. Yoğunluk artışıyla doğru orantılı bir şekilde numune başarı oranı da artmıştır.

Dayanımları yüksek olan numunelerin ultrases geçiş sürelerinin kısa olduğu ve aynı zamanda ultrases geçiş hızlarının yüksek olduğu yapılan deneyler sonucunda gözlemlenmiştir. Dayanımları düşük ve hücresel içyapıları fazla olan numunelerde ise ultrases geçiş süreleri fazla fakat ultrases geçiş hızlarının düşük olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aldridge, D., Ansell T., 2001. *Foamed concrete: production and equipment design, properties, applications and potential*. In: *Proceedings of One Day Seminar on Foamed Concrete: properties, applications and latest technological developments*. Loughborough University.
- Akıncı, H., 2007. *Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Arslan, A., M., 2018. *Şekillendirilebilir ısı-ses yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi ve analizi*. (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Ankara.
- ASTM C203-05a, 2012. *Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C165-07, 2012. *Standard Test Method for Measuring Compressive Properties of Thermal Insulations*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C356-10, 2010. *Standard Test Method for Linear Shrinkage of Preformed High-Temperature Thermal Insulation Subjected to Soaking Heat*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C177-13, 2013. *Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C447-03, 2010. *Standard Practice for Estimating the Maximum Use Temperature of Thermal Insulations*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E84-14, 2014. *Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C423-09a, (2009). *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C549-06, 2012. *Standard Specification for Perlite Loose Fill Insulation*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Can, A., 1998. Yapılarda Isı Yalıtımı ve Türkiye’de Enerji İhtiyacının Azaltılması Yönünden Önemi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*:18-23.
- Çelik, A., G., 2016. Bor Katkılı Selülozik İzolasyon Malzemesi Teknik Özellikleri ve Uygulama Alanları. <http://www.tirebor.com/bor-madenleri> makale/bor-katkili-selulozik-izolasyon-malzemesi- teknik-ozellikleri-ve-uygulama-alanlari. Html. Erişim tarihi: 25.12.2018.
- Dağsöz, A., K., 1976. *Isı İzolasyonu*. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Demirboğa, R., Gül, R., 2003. The Effects of Expanded Perlite Aggregate, Silica Fume and Fly Ash on the Thermal Conductivity of Light weight Concrete. *Cement Concrete Res.*, 33: 723-727.
- Ekinci, D., 2014. *Türkiye’de Köpük Beton*. <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=390&RecID=3355>. Erişim tarihi: 27/12/2018.
- Gao, X., F., Lo, Y., T., Tam, C.M., 2002. Investigation of Micro-cracks and

- Microstructure of High Performance Lightweight Aggregate Concrete. *Building and Environment*, **37**:485-489
- Giannakou A., Jones M.R., 2002. Potentials of Foamed Concrete to Enhance Thethermal Performance of Low Rise Dwellings. *Innovations and development in concrete materials and construction*: 533–544.
- Hilal A. A., Thom N. H., Dawson A. R., 2015. On void structure and strength of foamed concrete made without/with additives. *Construction and Building Materials* **85**: 157-164.
- Hodul, Y., 2009. Genleştirilmiş Perlit Üretimi Sanayii Profili, Sanayii ve Ticaret Bakanlığı, Sanayii Araştırma ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Huang, Z., Zhang T., Wen Z. 2015. Proportioning and characterization of Portland cement-based ultra-lightweight foam concretes. *Construction and Building Materials* **79**: 390-396.
- Jones, M. R., McCarthy A., 2005. Behaviour and assessment of foamed concrete for construction applications. *Use of Foamed Concrete in Construction*: 61–88.
- Sezer, F. Ş., 2005. Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*: **10**(2).
- Karadayı, T.T., Yüksek İ., 2016. Türkiye’de köpük beton üretimi. *Tesisat Dergisi*: 242.
- Kına, Y. E., 2006. *Duvar ve döşeme tasarımında malzeme seçim yardımcılarının Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kulaksızoğlu, Z., 2006. *Isı Yalıtım Sektör Araştırması*. https://www.researchgate.net/publication/301552726_Yapilarda_Isi_Yalitim_Malzemeleri-Secimi-Uzerine-Bir-Arastirma. Yalıtım’ TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO Yayın No: 2005/399, 2005, s.7-15, 19- 37,81-104. Erişim tarihi: 13/01/2019.
- Mao, J., Ayuta, K., 2008. Freze-Thaw Resistance of Lightweight Concrete and Aggregate at Different Freezing Rates. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **20**: 78-84.
- Neville, A.M., 2000. Properties of Concrete, Third Edition, Longman Scientific and Technical, New York.
- Pargana, N., Pinheiro M. D., Silvestre J. D., De Brito J., 2014. Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. *Energy and Buildings*. **82**: 466-481.
- Proshin A., Beregovoi V.A., Beregovoi A.M., Eremkin I.A., 2005. Unautoclaved foam concrete and its constructions, adapted to the regional conditions. In: *Use of Foamed Concrete in Construction*. Dhir RK, Newlands MD, McCarthy A, Editors., London: Thomas Telford; 113–120.
- Pfundstein M., Gellert R., Spitzner M., Rudlpfi A., 2008. *Insulating Materials-Principles, Materials, Applications*. DETAIL practice; Architektur Documentation GmbH &Co.KG, Munich.
- Ramamurthy K., Kunhanandan Nambiar E.K., Indu Siva Ranjani G., 2009. A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement and Concrete Composites*: **31** (6), 388-396.
- Rudnai G., 1963. *Lightweight Concretes*. Budapest, Akademiado.
- Sahin, R., Tasdemir, M.A., Gül, R., Çelik, C., 2003. Betonun don hasarının mekanik deneylerle analizi. *5. Ulusal Beton Kongresi*. 1-3 Ekim 2003, İstanbul, 333-343.
- Short A., Kinniburgh W., 1963. Lightweight concrete. *Asia Publishing House*.

- Uyanık, O., 1999. Kayaçalarda Sismik Hızlar ve Kayma Direncinin İncelenmesi.52. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler*.
http://www.jeofizik.org.tr/resimler/ekler/126f46c7ac67e45_ek.pdf?Dergi:34
- Valore R.C., 1954. Cellular concrete - *Part 1, Composition and Methods of Production*. *ACI J*, **50**: 773–796.
- Yetgin, S. H., Ünal, H., 2008. Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 54187. *Polimer Esaslı Köpük Malzemeler*. Sakarya
- Yılmaz ve ark, 2009=<http://acikerisim.deu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/12345/8294/276576.pdf?sequence=1&isAllowed>. Erişim tarihi: 25/12/2019.
- Weigler H., Karl S., 1980. Structural Lightweight Aggregate Concrete With Reduced Density. *Lightweight Aggregate Foamed Concrete*. *Int J Lightweight Concr*, **2**, 101–104.
- TS 825, 2013. *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1, 2009+A1, 2013. *Agregaların Kimyasal Özellikleri için Deneyler*– Bölüm 1: Kimyasal Analiz, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-7, 2009. *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler*– Bölüm 7: Dolgunun Tane Yoğunluğu Tayini - Piknometre yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12667, 2003. *Yapı Malzemeleri ve Mamullerinin Isıl Performansı- Muhafazalı Sıcak Plaka ve Isı Akış Sayacı Metotlarıyla Isı Direnci Tayini-Yüksek ve Orta Isıl Dirençli Mamuller*. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 196-1, 2009. *Çimento Deney Metotları*–Bölüm 1: Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 1354, 2007. *Gözenekli Hafif Beton – Basınç Dayanımının Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 15304, 2010. *Gaz Beton – Donma Çözülme Etkisine Direncin Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN ISO 717-1, 2013. *Akustik Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımın Değerlendirilmesi*– Bölüm 1: Hava ile yayılan sesin yalıtımı.
- TS 10088 EN 932-3/A1, 2006. *Agregaların genel özellikleri için deneyler*– Bölüm 3: Basıtleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminoloji. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS ISO 9277, 2002. *Bet Metodu Kullanılarak Gaz Adsorpsiyonu ile Katıların Özgül Yüzey Alanının Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.



ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Van'da doğdu. İlkokul ve liseyi Van'da okudu. 2010 yılında Alpaslan Anadolu Öğretmen Lisesini bitirdi. 2011 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı ve 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimime başladı.



T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 18/02/2019

Tez Başlığı / Konusu: Hücresel Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 81 sayfalık kısmına ilişkin, 18/02/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 (Üç) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.


Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Yıldırım ÇAÇUR

Öğrenci No: 159101135

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı


Programı: İnşaat Mühendisliği

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Doç. Dr. Mucip TAPAN



ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. SENSÖZ
Enstitü Müdürü

