



**POMZA VE OBSİDYEN AGREGALARI
KULLANILARAK BETONARME LENTO
ÜRETİMİ**

Kübra YANMIŞ

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU

2022

Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**POMZA VE OBSİDYEN AGREGALARI KULLANILARAK BETONARME
LENTO ÜRETİMİ**

Kübra YANMIŞ

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2022

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

18 / 01 / 2022

Kübra YANMIŞ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POMZA VE OBSİDYEN AGREGALARI KULLANILARAK BETONARME LENTO ÜRETİMİ

Kübra YANMIŞ

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU

Bu çalışmada Erzurum ili Pasinler ilçesi Demirdöven mevkiindeki ocaklardan çıkarılan pomza ile bölgede hafif yapı elemanları imalatı yapan Kaleblok Bims A.Ş. firmasının fabrika sahasında atık olarak biriken obsidyen agregaları kullanılarak hafif betonarme lentolar üretilmiştir. Bağlayıcı olarak CEM II-42,5 R tipi çimento kullanılarak %100 pomza ve %10 obsidyen + %90 pomza içeren hafif agregalı beton imal edilmiştir. Belirtilen beton karışımları kullanılarak ortalama birim hacim ağırlığı 1500 kgf/m³ olan hafif betonarme lentolar üretilmiştir. 1,3 m, 1,8 m ve 2,4 m açıklıklı lentolar ilgili standarda uygun olarak mekanik testlere tabi tutulmuş düzgün yayılı yük taşıma kapasiteleri deneysel ve teorik olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışma neticesinde, lentoların 900 – 3600 kgf/m aralığında değişen düzgün yayılı yük taşıma kapasitesine sahip oldukları ve bu değerlerin piyasa talebinin üstünde olduğu sonucuna varılmıştır. İnce agrega olarak düşük miktarlarda obsidyen kullanımı çimento miktarını azaltmakla birlikte, lentoların yük taşıma kapasitesi ve geç dönem birim hacim ağırlık değerlerinde %100 pomza ile imal edilmiş lentolardan farklı sonuçlar sunmadığı görülmüştür.

2022, 104 sayfa

Anahtar Kelimeler: Pomza, Obsidyen, Betonarme, Lento, Hafif Beton

ABSTRACT

MS. Thesis

PRODUCTION OF REINFORCED CONCRETE LINTEL USING PUMICE AND OBSIDIAN AGGREGATE

Kübra YANMIŞ

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Dilek OKUYUCU

In this study, reinforced lightweight concrete lintels were produced by using pumice extracted from the quarries in the Demirdöven district of the Erzurum-Pasinler region and obsidian aggregates accumulated as waste at the factory site of Kaleblok Bims Company, which manufactures lightweight construction elements in the region. Lightweight aggregate concrete containing 100% pumice and 10% obsidian + 90% pumice was produced by using CEM II-42,5 R type cement as a binder. Lightweight reinforced concrete lintels with an average unit volume weight of 1500 kgf/m³ were produced using the specified concrete mixtures. 1,3 m, 1,8 m, and 2,4 m span lintels were subjected to mechanical tests in accordance with the related standard, and their evenly distributed load carrying capacities were obtained experimentally and theoretically. As a result of the experimental study, it was concluded that the lintels have a uniformly distributed load carrying capacity ranging from 900 to 3600 kgf/m and that this value is above the market demand. Although the use of low amounts of obsidian as fine aggregate reduces the amount of cement used, it has been observed that the load bearing capacity of the lintels and the late period unit volume weight values of the lintels do not provide different results than the lintels manufactured with 100% pumice.

2022, 104 pages

Keywords: Pumice, Obsidian, Reinforced Concrete, Lintel, Lightweight Concrete

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması Erzurum Teknik Üniversitesi (ETÜ) İnşaat Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde iki yıl boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşarak hayatıma kattığı önemi asla unutmayacağım, her zaman her konuda sabırla ve büyük ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını yapan güler yüzünü ve samimiyetini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmayı finanse eden Erzurum ili Pasinler ilçesinde faaliyet gösteren Kaleblok Bims A.Ş. firmasına ve Sayın Ethem TANRIVER'e teşekkür ederim.

Tezin deneysel çalışmaları sırasında bana yardımcı olan İnşaat Mühendisleri Zabiullah FAKUORİ, Memduh Şenol ÇAVDAR, Muhammet ŞAHİN, Erdem ERKMEN, Burak ŞAHİN, Sedanur SEMERDÖKEN'e ve Araştırma Görevlisi Burak GEDİK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince yanımda olan aileme özellikle de sevgili anneme ve babama teşekkürü bir borç bilirim. Hayatımın her alanında olduğu gibi, tez çalışmamı hazırlarken de her aşamada bana yardımcı olan ve sabrını hiç eksik etmeyen sevgili eşim İbrahim YANMIŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Kübra YANMIŞ
Ocak 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu ve Amaç.....	1
1.2. Beton	2
1.3. Hafif Beton.....	2
1.3.1. Hafif betonun tanımı	2
1.3.2. Hafif betonların tarihçesi.....	4
1.3.3. Hafif betonların normal betonlara göre artıları ile sakıncaları.....	6
1.3.4. Hafif beton üretiminde kullanılan agregalar	7
1.4. Lentolar	9
2. KAYNAK ÖZETLERİ	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Agregalar.....	20
3.1.2. Çimento	22
3.1.3. Karışım suyu	22
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Agrega deneylerinde uygulanan yöntemler	23
3.2.2. Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler.....	35
3.2.3. Lento imalatında kullanılacak hafif beton karışım oranlarının tespiti	39
3.2.4. Lento donatısı olarak kullanılacak çelik donatı ve donatı bağlantı şeklinin araştırılması	42
3.2.5. Piyasa talebine bağlı olarak belirlenen boyutlarda lento numunelerinin üretilmesi.....	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	71
4.1. Lento İmalatında Kullanılan Hafif Agregalı Beton Numunelerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	71
4.2. Lento Kesme Dayanımı Deney Sonuçları.....	77

4.3. Lento Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları	81
4.4. Lentoların Yükleme Şekline Bağlı Olarak Düzgün Yayılı Yük Taşıma Kapasiteleri	90
4.5. Antipas Kullanımının Lento Dayanımı Üzerindeki Etkisi.....	95
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR	100



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$^{\circ}$	Derece
A_c	Gövde kesiti beton alanı
A_g	Kesit alanı
A_{sw}	Kesme donatısı toplam kesit alanı
b_w	Kiriş gövde genişliği
cm	Santimetre
d	Kiriş faydalı yüksekliği
dm	Desimetre
f'_c	Betonun basınç mukavemeti
f_{ctd}	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
f_{ywd}	Enine donatı tasarım akma dayanımı
gr	Gram
kg	Kilogram
kN	KiloNewton
L	Boy
M	Metre
MPa	Megapascal
Min	Minute
Mm	Milimetre
N	Newton
N_d	Kesite etkiyen eksenel kuvvet
N_u	Tasarım eksenel kuvveti
P_{mak}	Maksimum kesme kuvveti
S_g	Agrega görünen özgül ağırlığı
S_k	Agrega kuru özgül ağırlığı
S_{ydk}	Agrega doymun kuru yüzey özgül ağırlığı
sn	Saniye
V_c	Betonarme elemanda beton tarafından taşınan kesme kuvveti
$V_{c,a}$	Betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi

$V_{c,b}$	Betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi
$V_{c,c}$	Betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi
V_r	Betonarme elemanın kesme kuvveti taşıma kapasitesi
V_w	Betonarme elemanda enine donatı tarafından taşınan kesme kuvveti
w_c	Betonun denge yoğunluğu
ϵ	Birim şekil değiştirme
σ	Gerilme
ρ_w	Boyuna çekme donatısı oranı
ΔL	Boy değişimi
γ	Eksenel basınç ve çekme durumunda alınan bir katsayı
λ	Standard ya da hafif beton için çarpan

Kısaltmalar

ACI	American Collegiate Institute
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	Türk Standartları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kullanılan agrega türüne göre hafif beton gurupları (Arslan 2007).....	4
Şekil 1.2. U.S.S. Selma gemisinden bir görüntü (Arslan 2007)	5
Şekil 1.3. Southwestern Bell Telephone Company binası, Kansas City (Arslan 2007) ...	5
Şekil 1.4. Park Plaza Otel, St. Louis (Arslan 2007).....	6
Şekil 1.5. Türkiye pomza yatakları (Anonim 2021)	9
Şekil 1.6. Farklı formlardaki lento türleri	10
Şekil 3.1. Pomza kayacına ait genel bir görüntü (Anonim 2021).....	21
Şekil 3.2. Obsidyen kayacına ait genel bir görüntü (Anonim 2021)	22
Şekil 3.3. Çeyrekleme yöntemiyle numune küçültme	23
Şekil 3.4. (a) Elek takımı sarsma cihazı, (b) Elek analizinde kullanılan etüv	24
Şekil 3.5. İri pomza agrega için agrega granülometri eğrisi	25
Şekil 3.6. Orta pomza agrega için agrega granülometri eğrisi.....	26
Şekil 3.7. İnce pomza agrega için agrega granülometri eğrisi	27
Şekil 3.8. İnce obsidyen agrega için agrega granülometri eğrisi	28
Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan pomza agregasının XRD analizi sonucunda elde edilen elementer bileşimi.....	28
Şekil 3.10. Pomza ve obsidyen türü agregaların birim ağırlığının tayini	29
Şekil 3.11. (a) ve (b) 24 saat suda bekletilen agregaların görüntüsü	30
Şekil 3.12. İri agregaların doygun kuru yüzey haline getirilmesi işlemi	30
Şekil 3.13. İnce agregaların doygun kuru yüzey haline getirilmesi işlemi.....	31
Şekil 3.14. (a), (b) ve (c) Agregaların su içerisindeki ağırlıklarının tespiti	31
Şekil 3.15. (a) ve (b) Tamamen kuru hale gelmesi için etüve bırakılan agregaların görüntüsü.	32
Şekil 3.16. Mevcut nem tespiti için etüve atılan agregaların görüntüsü.....	32
Şekil 3.17. Agregada bulunan organik madde tayini deneyi, (a) Deney başlangıcı, (b) 24 saat sonra.	35
Şekil 3.18. Çalışmada kullanılan Proceq marka N tipi Schmidt çekici cihazı.....	37
Şekil 3.19. Ultra ses geçiş hızı deney uygulama görüntüsü.....	38
Şekil 3.20. Eksenel basınç dayanımı deneyi, (a) kontrol yazılımı ekran görüntüsü, (b) numunenin pres cihazına yerleştirilmesi.	39
Şekil 3.21. Lento imalatı için kullanımı tasarlanan kesitler.....	43

Şekil 3.22. Çelik donatı birleşim türünün belirlenmesi amacıyla kullanılacak lento donatısı hazırlığından görüntüler.	44
Şekil 3.23. Laboratuvar tipi betoniyerde hafif beton hazırlanması.....	45
Şekil 3.24. Beton karışımının lento kalıplarına yerleştirilmesi.....	45
Şekil 3.25. (a) Priz alan numunelerin kalıptan çıkarılması (b) ıslak çuvalla sarılarak kür yapılması.....	46
Şekil 3.26. (a) Lentoların birim hacim ağırlığını belirlemek için tartılması, (b) Schmidt sertlik çekici deneyi uygulaması.....	46
Şekil 3.27. Donatı bağlantı tayini amacıyla yapılan lento eğilme deneyine ait genel bir görüntü.....	48
Şekil 3.28. Donatı bağlantı detayının tayini amacıyla imal edilen tüm lento numunelerine ait yük – orta nokta deplasman grafikleri.	49
Şekil 3.29. Deplasman kontrollü Ø5 çelik donatı çekme deneyi.....	51
Şekil 3.30. Eksenel çekme deneyine tabi tutulan Ø5 donatıların gerilme- birim şekil değiştirme grafikleri.....	52
Şekil 3.31. Akma noktası belirgin olan ve belirgin olmayan çelik malzeme için örnek gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Anonim 2008).	52
Şekil 3.32. Lentolar için donatı kafeslerinin hazırlığı	53
Şekil 3.33. Tüm boyutlar için hazırlanan donatı kafesleri	54
Şekil 3.34. Lento donatısına antipas uygulaması.....	54
Şekil 3.35. Beton dökümü öncesi kalıp içerisine yerleştirilen donatı kafesleri	55
Şekil 3.36. Son dökümlerde kullanılan betoniyer görüntüsü.....	55
Şekil 3.37. Lentolar için beton dökümü çalışmalarından görüntüler.....	56
Şekil 3.38. Lentoların priz alması için hazırlanan ortam	57
Şekil 3.39. Kalıptan çıkarılan lentolara nemli kür uygulanması.....	57
Şekil 3.40. Lentolara ait küp numunelere ultra ses geçiş hızı deneyi yapılması	59
Şekil 3.41. Lento imalatında kullanılan hafif beton numunelere eksenel basınç dayanımı testi uygulanması.	59
Şekil 3.42. Yükleme düzeneği için ilave çelik mesnet kirişi hazırlıkları.....	60
Şekil 3.43. Lentolara kireç badanası yapılması	60
Şekil 3.44. Lentoların deney öncesi tartılma işlemi.....	61
Şekil 3.45. Yükleme düzeneğinde mesnet parçaları üzerine alçı uygulaması	61
Şekil 3.46. TS EN 846-9 (2016) uyarınca lento numunesinin kayma direncinin belirlenmesi amacıyla yapılması gereken yükleme şeması.	62

Şekil 3.47. Lento kayma direnci tayini deneyi	63
Şekil 3.48. TS EN 846-9 (2016) uyarınca lento numunesinin eğilme direncinin belirlenmesi amacıyla yapılması gereken iki ve dört noktalı yükleme şemaları.....	68
Şekil 3.49. İki noktalı lento eğilme deneyi	68
Şekil 3.50. Dört noktalı lento eğilme deneyi	69
Şekil 3.51. Dört noktalı lento eğilme deneyi için yükleme kirişi değişimi.....	69
Şekil 3.52. Lento eğilme direnci deneyinde orta nokta yanal yer değiştirme ölçümü....	70
Şekil 4.1. Lentolara ait küp numunelerin farklı günlerdeki birim hacim ağırlıkları.....	71
Şekil 4.2. Lentolara ait küp numunelerin ultra ses geçiş hızı deneyi ve eksenel basınç testi ile elde edilen basınç dayanımı değerleri.	73
Şekil 4.3. Kesme direnci tayini deneyine tabi tutulan 1,30 m açıklıklı lentonun deney öncesi ve sonrası görüntüleri.	77
Şekil 4.4. 1,30 m açıklıklı lentoların yük-yer değiştirme grafikleri.....	78
Şekil 4.5. Eğilme momenti taşıma kapasitesi deneyine tabi tutulan 1,8 m açıklıklı lentonun deney öncesi ve sonrası görüntüleri.....	81
Şekil 4.6. Eğilme direnci deneyine tabi tutulan 1,30 m açıklıklı lentoların yük-orta nokta yer değiştirme grafikleri.	82
Şekil 4.7. Eğilme direnci deneyine tabi tutulan 1,8 m açıklıklı lentoların yük-orta nokta yer değiştirme grafikleri.	82
Şekil 4.8. Eğilme direnci deneyine tabi tutulan 2,4 m açıklıklı lentoların yük-orta nokta yer değiştirme grafikleri.	83
Şekil 4.9. Response2000 yazılımı ara yüz görüntüsü	87
Şekil 4.10. Response2000 yazılımı ile yapılan kesit analizi sonucu elde edilen veri örneği.....	87
Şekil 4.11. Lentoların deneysel olarak elde edilen düzgün yayılı yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırması.	93
Şekil 4.12. Eğilme deneyine maruz bırakılan antipaslı ve antipassız lentoların göçme anındaki bileşke tekil yükleri.....	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Hafif beton için yoğunluk sınıfları (TS EN 206-1 2002)	3
Çizelge 1.2. Hafif betonların basınç dayanımı sınıfları (TS EN 206-1 2002)	3
Çizelge 1.3. Hafif betonların kuru özgül kütlelerine göre kullanım yerleri (Arslan 2007)	4
Çizelge 1.4. Pomza agregasının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Pekdemir 2011).....	8
Çizelge 3.1. İri pomza agrega numunelerinin elek analizi sonuçları	24
Çizelge 3.2. Orta pomza agrega numunelerinin elek analizi sonuçları.....	25
Çizelge 3.3. İnce pomza agrega numunelerinin elek analizi sonuçları	26
Çizelge 3.4. İnce obsidyen agrega numunelerinin elek analizi sonuçları	27
Çizelge 3.5. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri	34
Çizelge 3.6. Hafif taşıyıcı beton üretimi amacıyla çalışma yapılan beton birleşimleri ..	40
Çizelge 3.7. Nihai lento üretiminde kullanılmasına karar verilen hafif beton karışım oranları.	41
Çizelge 3.8. %100 pomza agregasından imal edilecek olan betonun 1m ³ için ağırlıkça malzeme miktarları.	41
Çizelge 3.9. %10 obsidyen ve %90 pomza agregasından imal edilecek olan betonun 1m ³ için ağırlıkça malzeme miktarları.....	41
Çizelge 3.10. Donatı bağlantı şeklinin tayini amacıyla imal edilen lentoların birim hacim ağırlıkları ve beton basınç dayanımları.	47
Çizelge 3.11. Karar verilen lento boyutları ve adetleri	51
Çizelge 3.12. Lento imalatında kullanılan Ø5 çelik donatı mekanik özellikleri	53
Çizelge 3.13. Betonun denge yoğunluğuna bağlı olarak hafif beton için λ katsayıları ACI 318-19 (2019).	66
Çizelge 3.14. Betonun agrega bileşimine bağlı olarak hafif beton için λ katsayıları ACI 318-19 (2019).	67
Çizelge 4.1. 1,30 m açıklıklı lentoların kayma direnci tayini deneyi sonuçları.....	79
Çizelge 4.2. Lentoların eğilme momenti taşıma kapasitesi deneyi sonuçları	84
Çizelge 4.3. Lentoların teorik ve deneysel eğilme momenti taşıma kapasiteleri.....	88
Çizelge 4.4. Response2000 programında yapılan kesit analizi sonucunda farklı boyuna donatı kombinasyonları için elde edilen teorik moment taşıma kapasiteleri.	89

Çizelge 4.5. Muhtelif duvar malzemeleri için lentoların birim boy için maruz kalabilecekleri yükler.	91
Çizelge 4.6. Lentoların deneysel olarak elde edilen düzgün yayılı yük taşıma kapasiteleri.	92
Çizelge 4.7. Boyuna donatı miktarına bağlı olarak lentoların taşıyabileceği teorik düzgün yayılı yük kapasiteleri.....	94



1. GİRİŞ

Günümüzde gelişime açık ve yaygın olarak kullanılan, yapı malzemesi olan beton doğru şekilde planlanarak uygulanırsa kalıcı, dayanıklı ve ekonomik bir malzemeye dönüşür. Yapı malzemesi açısından kullanışlı olan normal beton, birim ağırlığı yüksek olduğu için zati(ölü) yükü artırmaktadır. Böylece depremin yatay kuvvetler üzerindeki etkisinin artmasına sebep olmaktadır. Bu da aktif fay hattı üzerinde olan ülkemizde yaşanan depremlerin yıkıcı etki yaratmasına, ağır hasarların ortaya çıkmasına, can ve mal kayıplarının yaşanmasına sebep olmaktadır.

Teknolojinin ilerlemesiyle özel beton türlerinden biri olan hafif betonlar da ilerleme kaydetmiştir. Özel beton olan bu hafif betonlarda hafif agregalar kullanılarak birim kütleler azaltılmaktadır. Bu durumda hafif beton kullanımını yaygınlaştırarak yatay deprem kuvvetlerindeki zati(ölü) ağırlığın azalmasıyla depremin bıraktığı enkaz ve yaşanan kayıplar önlenabilir.

1.1. Konu ve Amaç

Hafif betonun yapısal olarak kullanımının yanı sıra hafif doğal agregalar kullanılarak yapısal olmayan eleman üretimleri de yapılmaktadır. Buna çarpıcı bir örnek olarak son yıllarda ülkemizde üretimi ve kullanımı önemli ölçüde artan blokbims türü dolgu duvar elemanlarını göstermek mümkündür. Doğu Anadolu Bölgesi'nde bu sektörde üretim yapmakta olan Kale Blokbims A.Ş. firması Erzurum ili Pasinler ilçesi sınırları içerisinde kurulu fabrikasında bölgeye yakın konumdaki lisanslı ocaklardan temin ettiği pomza türü hafif agregalar ile blokbims üretimleri yapmaktadır. Dolgu duvar imalat malzemesi olarak piyasaya arz edilen blokbims grubu ürünlere ek olarak, bu tür ürünlerle duvar imalatında kullanılan yapıştırma harçları ve diğer muhtelif yapı kimyasal üretimi de firma tarafından yapılmaktadır. Dolgu duvarlarda kapı, pencere, Fransız balkonu gibi boşlukların oluşturabilmesi için gerekli lento türü taşıyıcı elemanların hazır olarak temini konusunda firmaya iletilen talep bu tez çalışmasının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

1. GİRİŞ

Firmadan dolgu duvar imalatı için ürün temin eden firmalar, şantiyede imalatı zaman alan lento türü elemanları da tek elden temin etmek istemektedirler. Firmanın imalatıta kullanıldığı pomza agregası ile çelik donatılı olarak imal edilmesi istenen lento türü elemanlar hafif yüklere maruz betonarme eğilme elemanları olarak tasarlanıp imal edilmek durumundadır. Firma ile yapılan görüşme neticesinde bu ürün grubu için bir ARGE çalışması yapılması kararlaştırılmış ve çalışma bu tezin konusunu oluşturmuştur.

Çalışmanın amacı hafif beton agregası olan pomza ve fabrika sahasında atık olarak sürekli birikmekte olan obsidyen agregasını kullanarak betonarme lento üretimi yapmaktır.

1.2. Beton

Beton; agregası, çimento, su ve gerekli hallerde katkı maddeleri eklenerek oluşan kompozit bir yapı malzemesidir. Üretimi yapılan beton her zaman dayanıklı, işlenebilir ve dayanımlı olmalıdır. Betonun özellikleri üretimi yapılırken özel katkı malzemeleri eklenerek iyileştirilebilir.

Betonlar birim hacim ağırlıklarına göre normal ve hafif betonlar olarak ikiye ayrılırlar.

- Normal betonlar: Etüv kurusu hali 2000 kg/m^3 'ten az 2600 kg/m^3 'ten fazla olmayan betonlardır.
- Hafif betonlar: Etüv kurusu hali 800 kg/m^3 'ten fazla ve 2000 kg/m^3 'ten az olan betonlardır.

1.3. Hafif Beton

1.3.1. Hafif betonun tanımı

TS EN 206-1 (2002) uyarınca etüvde kurutularak elde edilen yoğunluk değeri 800 kg/m^3 ile 2000 kg/m^3 aralığındaki betonlar hafif beton sınıfına girmektedir.

1. GİRİŞ

Hafif betonların yoğunlukları Çizelge 1.1’de verilirken dayanım sınıfları Çizelge 1.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 1.1. Hafif betonların yoğunluk sınıfları (TS EN 206-1 2002)

Yoğunluk sınıfı	D 1,0	D 1,2	D 1,4	D 1,6	D 1,8	D 2,0
Yoğunluk aralığı (kg/m ³)	≥800 ve ≤1000	>1000 ve ≤1200	>1200 ve ≤1400	>1400 ve ≤1600	>1600 ve ≤1800	>1800 ve ≤2000

Çizelge 1.2. Hafif beton için basınç dayanımı sınıfları (TS EN 206-1 2002)

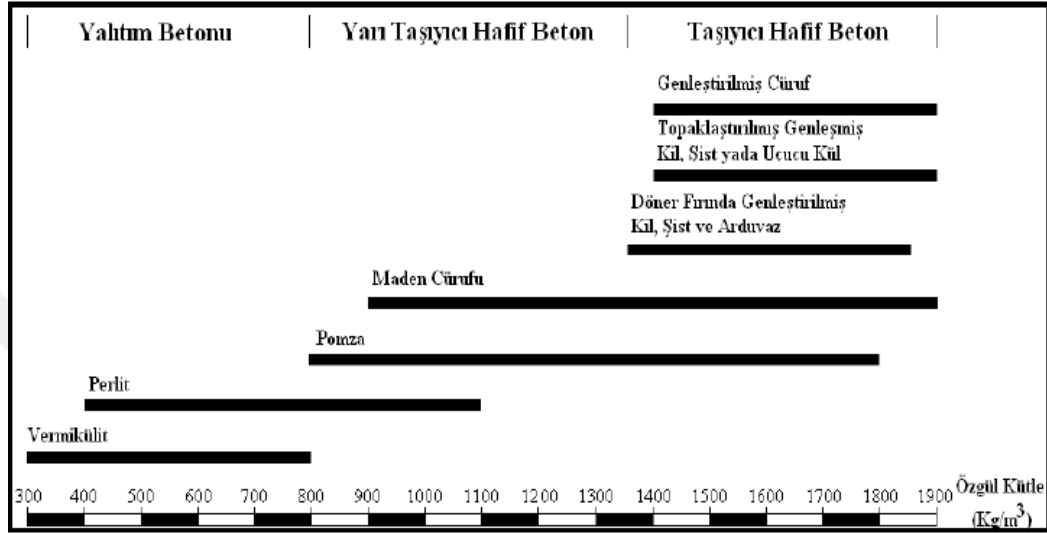
Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck,sil}$ (MPa)	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck,küp}$ (MPa)
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

Hafif betonların üretiminde bulunan hafif agregalara bağlı olarak hafif betonların işlevleri değişebilmektedir. Hafif betonların kullanıldıkları yere göre kuru haldeki özgül kütleleri Çizelge 1.3’te verilmiştir. Agregası hafif agregaya olan hafif beton grupları ise Şekil 1.1’de verilmektedir.

1. GİRİŞ

Çizelge 1.3. Hafif betonların kuru özgül kütlelerine göre kullanım yerleri (Arslan 2007)

Kullanım Alanları	Kuru Halde Özgül Kütlesi (kg/m ³)
Yalıtım Betonu Olarak	300-800
Yarı Taşıyıcı Hafif Beton Olarak	800-1400
Taşıyıcı Hafif Beton Olarak	1400-1900

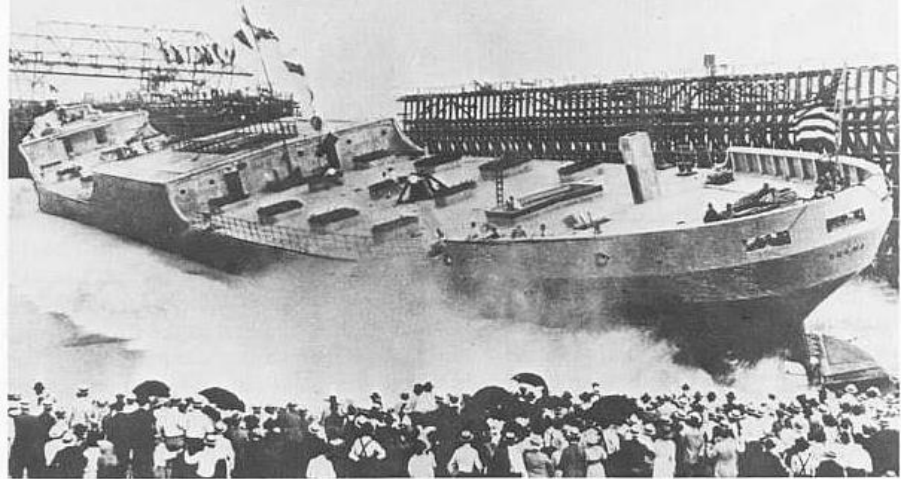


Şekil 1.1. Kullanılan agrega türüne göre hafif beton grupları (Arslan 2007)

1.3.2. Hafif betonların tarihçesi

Hafif betonlar yeni kullanılan bir yapı malzemesi değildir. Hafif betonlar milattan 3000 yıl öncesinden beri kullanılmaktadır. Avrupa’da ise eski zamanlarda Romalılar yapılarını inşa ederken hafif beton kullanmışlardır (Zandi 2012).

Hafif betonlar, I. Dünya Savaşı’nda gemi üretiminde de kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarla Şekil 1.2’de verilen U.S.S. Selma ismi verilen gemi üretilerek aktif halde kullanılmıştır (Arslan 2007).



Şekil 1.2. U.S.S. Selma gemisinden bir görüntü (Arslan 2007)

Hafif beton ile ilk olarak üretilen Kansas Citydeki Wesport Lisesi'dir. Hafif beton malzemesinin kullanıldığı çalışmalardan bir diğeri ise 1928–1929 yıllarında imal edilen Şekil 1.3'deki 14 katlı Southwestern Bell Telephone Company binasıdır (Arslan 2007).



Şekil 1.3. Southwestern Bell Telephone Company binası, Kansas City (Arslan 2007)

Hafif betonun kullanıldığı gökdelenlerden ilki olan 1929 yılında St. Louis'te inşa edilen ve Şekil 1.4'te genel bir görüntüsü sunulan Park Plaza Oteli'dir (Arslan 2007).



Şekil 1.4. Park Plaza Otel, St. Louis (Arslan 2007)

1.3.3. Hafif betonların normal betonlara göre artıları ile sakıncaları

Hafif betonların günlük hayatta kullanılan betonlara göre artıları ile sakıncaları aşağıda verilmektedir (Arslan 2007).

-Artıları

- Hafif betonların zati ağırlıkları ve yoğunlukları düşük olduğundan yük taşıyan elemanların boyutlarında ve donatı miktarında azalma sağlar.
- Yapıya gelen deprem kuvvetleri azalır.
- Kalıp ve iskele maliyeti düşer.
- Yangına karşı daha dayanıklıdır.
- Taşınma ve yerleştirme işlemleri kolay olduğundan fabrikasyon üretiminde kolaylık sağlar.

-Sakıncaları

- Dayanımları daha düşüktür.
- Aşınmaya karşı dirençleri zayıftır.
- Rutubete ve suya karşı yalıtılmalıdır.

- Üretim ve yerleşim aşamaları özen gerektirir.
- Ayrışma riski yüksektir.

1.3.4. Hafif beton üretiminde kullanılan agregalar

Agrega betonun yaklaşık %70-80'ini oluşturan oldukça önemli bir malzemedir. Bu nedenle betonun mekanik ve diğer özellikleri üzerinde etkisi büyüktür. Beton karışımındaki granülometrik dağılımı, çimento dozajı, su emme özelliğini ve karışım suyu miktarını belirlemektedir (Akkaş 2011).

Kullanılan hafif agregalar ile birim ağırlık ayarlanabilmektedir. Kullanılan bu agregalar yapay ve doğal agregalar olarak 2'ye ayrılmaktadır. Bunlar aşağıdaki başlıklarda açıklanmaktadır.

- **Yapay hafif agregalar**

Yapay hafif agregalar çeşitli kimyasal yollarla gözenekleştirilerek elde edilen, dönel fırınlarda üretilen genleştirilmiş kil, şist ve arduvaz, sinterlenmiş arduvaz ve şist, genleştirilmiş cüruf gibi agregalardır (Akkaş 2011).

- **Doğal hafif agregalar**

Kırma ve eleme gibi fiziksel işlemlerden başka işlem görmeyen pomza, volkanik cüruf, tuf gibi malzemelerdir (Arslan 2007).

- **Pomza**

Pomza açık renkli, sünger görünümlü, birim hacim ağırlığı genellikle 1000 kg/m³'ün altında, perlitin doğal olarak genişmesiyle oluşan kristal şekli amorf olan hafif bir kayaç türüdür (Arslan 2007).

Pomza volkanik aktivite ile ortaya çıkan bir kayaç türüdür. Magma, volkanik aktivite sonunda değişik ebatlarda dışarı atılır. Atılan bu malzemelerden iri taneliler

1. GİRİŞ

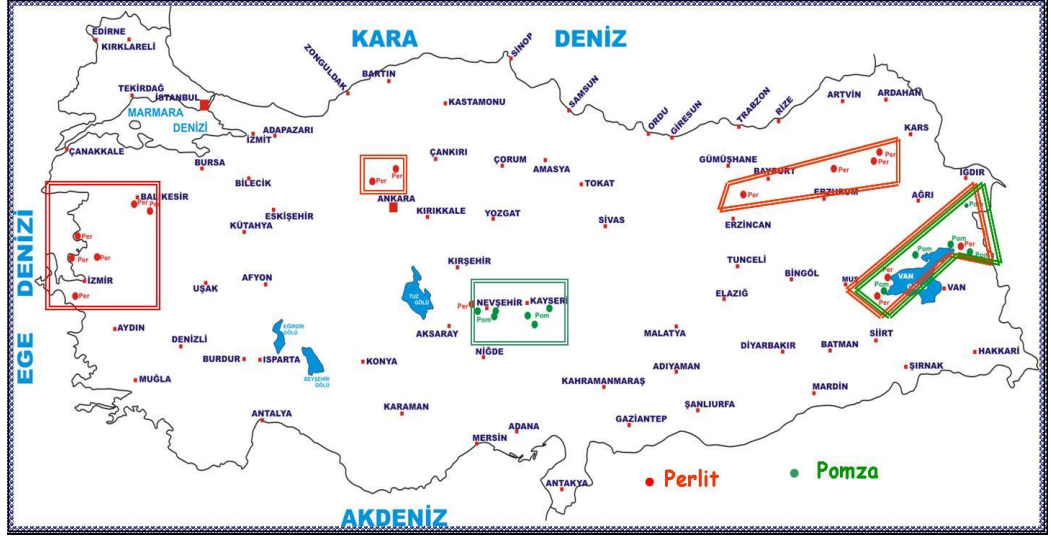
volkanın yakınına, ince taneliler uzak bölgesine düşer. Bu volkanik patlama sonucu yüzeye ulaşarak ani soğuyan magma gözenekli bir malzeme oluşturarak pomzayı meydana getirir (Pekdemir 2011).

Pomza bazı özellikleri ile diğer kayalardan ayrılır. Bunların bazıları gözenekli olması, kristal suyunun eksikliği, rengi, düşük yoğunluğu ve yüksek poroziteye sahip olmasıdır (Pekdemir 2011). Pomzanın özellikleri Çizelge 1.4'te sunulmaktadır.

Çizelge 1.4. Pomza agregasının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Pekdemir 2011)

Fiziksel özellikleri		Kimyasal Özellikler		Kimyasal bileşimi (%)	
Sertlik (MOHS)	5,5-6,0	pH	7-7,3	SiO ₂	60-75
K.B Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	0,32-0,97	Radioaktivite	Yok	Al ₂ O ₃	13-15
Gerçek Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	2,15-2,65	Suda çözünen madde (Ağırlıkça %)	≤0,15	Fe ₂ O ₃	1-3
Porozite (%)	45-90	Asitte çözünen madde (Ağırlıkça %)	≤2,9	CaO	1-2
Rötre (mm/m)	<1	Uçucu madde (Ağırlıkça %)	Yok	MgO	1-2
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,08-0,20	Asitlerle etkileşim (*)	İnert	Na ₂ O+K ₂ O	7-8
Isınma Isısı (cal /gr.°C)	0,24-0,28	Alevlenme derecesi(°C)	Yok	TiO ₂	Eser
Ses Yalıtımı (dB)	40-55	Ergime derecesi (°C)	>900	SO ₃	Eser
Su Emme (Ağırlıkça %)	30-70				
Buhar Difüzyon Katsayısı	5-10				
Kristal Şekli	Amorf				

Pomza birçok kullanım alanında yer alırken ülkemizde ve dünyada daha çok inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Pomza ile hafif malzemeler üretilebilmesi kullanımını oldukça cazip bir hale getirmektedir. Ülkemiz pomza agregası bakımından zengin bir coğrafya üzerindedir. Şekil 1.5 pomza yataklarını göstermektedir.



Şekil 1.5. Türkiye pomza yatakları (Anonim 2021)

- **Obsidyen**

Obsidyen; volkanik patlamalar ile oluşan volkanik lavların hızlı bir şekilde soğumasıyla oluşur. Obsidyen doğal volkanik cam sınıfına girerken fiziksel olarak amorf ve izotropik özelliktedir. Fakat kimyasal bileşimi oldukça karmaşık durumdadır. Obsidyen yapısında kristal olmadığından normal kaya özelliği göstermezler. Genellikle siyah, gri, açık kahverengi renkleri bulunurken çizgili ve simli grupları da vardır (Aktaş vd.2019).

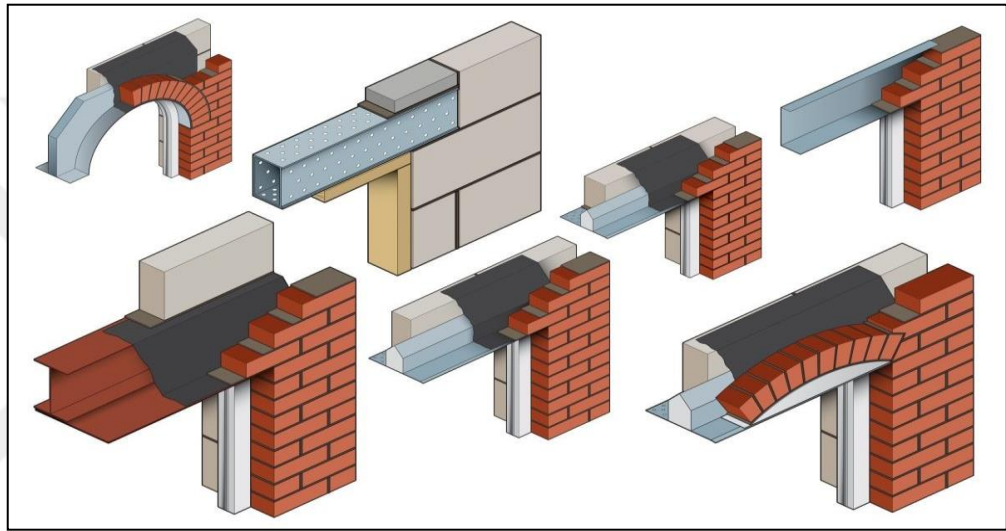
1.4. Lentolar

Türkiye’de hâlihazırda en yaygın yapı inşa tekniği betonarme imalattır. Bu yöntemde ana taşıyıcı sistem imal edildikten sonra çerçeve açıklıkları, mimari tasarıma uygun bir şekilde, dolgu duvarlar ile doldurulur. Dolgu duvarlar üzerinde açılacak kapı-pencere boşluklarının imalarında kullanılan lentolar ise genellikle şantiye ortamında teknik kontrolden uzak bir şekilde imal edilmektedir. Dolgu duvarlar her ne kadar yapısal taşıyıcı elemanlar olarak kabul edilmese de; deprem esnasında yatay ötelemeleri azaltacak şekilde fonksiyon üstlenirler. Bu durumda; dolgu duvarın çerçeve ile olan bağıntıları, kapı-pencere boşluklarının büyüklükleri ve lento elemanlarının mekanik özellikleri devreye girmektedir.

1. GİRİŞ

Lento, kapı ve pencere üzerinde bırakılan boşluklara konulan üzerine gelen yükleri taşıyıcı elemanlara ileten küçük kiriş, hatıl benzeri elemanlardır. Görüntü olarak kemer sistemine benzer fakat kavisli şekilde değildir; lentolar düz parçalardır (TBDY 2018).

Ülkemizde kullanılan lento türü elemanlar; Şekil 1.6’da görüldüğü gibi farklı malzemeler ile farklı formlarda üretilmektedir (TBDY 2018). Fakat tez çalışmasında düzgün formlu çelik donatılı lentolar üzerinde çalışıldı.



Şekil 1.6. Farklı formlardaki lento türleri

Kentsel dönüşüm çalışmaları kapsamında son yıllarda ülkemizde yeni konut imalatı hızlanmış ve inşaat sektörünün hazır lento elemanlara olan talebi artmıştır. Ülkemizde hazır lento üretimi yapan firma sayısının oldukça kısıtlı olduğu ve talebe yetişemediğini ifade etmek mümkündür.

Özellikle toplu konut imalatlarında kullanılmak üzere lento talep ve ihtiyacı ülke genelinde olduğu gibi Doğu Anadolu Bölgesi’nde de artmıştır. Bölgenin en büyük pomza ve pomza türevi ürün üreticisi konumundaki Kaleblok Bims firmasına duvar imalatı için blokbims temini yapan müşterilerin kapı, pencere ve balkon gibi duvar açıklıklarını oluşturmak amacıyla ihtiyaç duydukları lento türü taşıyıcı eleman talepleri söz konusu olmuştur. Firma ile yapılan görüşme neticesinde bu elemanların ilgili

standarda uygun şekilde üretilmesine yönelik bir ARGE çalışması yapılmasına karar verilmiş ve bu çalışma yüksek lisans tez çalışması olarak kurgulanmıştır.

Lento türü taşıyıcı elemanların imalatı “TS EN 845-2+A1: Kâgir - Yardımcı bileşenler - Özellikler -Bölüm 2: Lentolar (2016)” mevzuatına uygun olacak şekilde yapılmaktadır. Çalışmanın kurgulandığı ilk aşamada, belirtilen standart incelenmiş ve imalat sonucu lentolar üzerinde yapılması zorunlu mekanik deneyler için laboratuvar şartlarının uygunluğu çalışılmıştır. Bu çalışma doğrultusunda Firma ile yapılan görüşmeler sonucunda, laboratuvarında eksik olan araç-gereç-malzeme teminlerinin Firma tarafından sağlanması ve teknik çalışmanın yüksek lisans tezi olarak yürütülmesi konusunda mutabakata varılmıştır.

Takip eden süreçte, piyasada hazır olarak satılan lentolar ve lentolar üzerinde yapılmış akademik çalışmalar konusunda kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Eş zamanlı olarak, Firma tarafından iç ve dış piyasanın lento talebi ve geliştirilecek ürünlerin ihraç ürünü olup olamayacağı konusunda piyasa araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında pomza ve obsidyen agregaları kullanılarak çelik donatılı taşıyıcı hafif lento üretilmesi planlanmıştır.

Kurgulanan ARGE çalışmasının temel gayesi firmanın fabrika sahasında atık halde bulunan ve miktarı 1.000.000 m³'ü aşan 0-5 mm boyutlarındaki pomza agregasının lento imalatı ile üretime kazandırılmasıdır. Ayrıca, yine firma sahasında atık olarak biriken obsidyen malzemenin taşıyıcı lento üretiminde kullanılması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ulusal veri tabanlarında lento üretimine ilişkin bilimsel yayınlar ve lisansüstü tezler taranmış; ancak, bu konuda bir çalışmaya erişim sağlanamamıştır. Uluslararası veri tabanlarında yapılan araştırma da ise kısıtlı çalışmalara ulaşılmıştır. Yayımlanmış çalışmalar derlenip aşağıda verilmiştir.

İlgün (1992) çalışmasında hafif agreganın ve tamamı hafif agrega kullanılarak üretilen betonarme kirişlerin taşıyıcı eleman olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Farklı karışımlarda hafif betonlar üreterek dayanımlar elde etmiştir. Betonarme kirişler için ise farklı çelik sınıflarında kiriş hazırlayarak teorik ve deneysel taşıyıcılık özellikleri karşılaştırılmıştır (Akkaş 2011).

Şahin (1996) çalışmasında Kocapınar pomzası kullanarak hafif beton üretilip mukavemetini araştırmıştır. Bu çalışmada pomza karışımındaki toplam agrega hacmine oranla farklı oranlarda normal agregası ile kullanılarak birkaç çökme değerlere sahip betonlar üretilmiştir. İlâveten çimento dozajı değiştirilerek dozajın betona etkisi incelenirken ek olarak dozajı belli betonlarda karışıma çimento ağırlığına oranla birkaç farklı oranlarda puzolan katılarak pomzanın puzolanik özelliğinin olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda pomza katılan karışımlarla elde edilen betonun birim ağırlığının normal agregası karışımı betonundan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fakat; azalan birim ağırlıkla beraber mukavemetin de düşüş gösterdiği görülmektedir. Artan çimento dozajı ise betonda hem birim ağırlığı hem de mukavemeti artırmıştır. Puzolan eklenmesi mukavemet düşüşüne neden olsa da düşük puzolan oranlarında bu düşüşün çok fazla olmadığı görülmüştür.

Pamukçu vd (1997) çalışmalarında pomzanın özellikleri ve kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Daha sonra bims adı verilen bloğun ısı ve ses yalıtımı ile basınç dayanımı bakımından artıları belirtilmiştir. Çalışmalar sonucunda ise bims blok kullanımının günümüzde önemli bir yeri olduğunu göstermişlerdir.

Arıcı (1997) Van yöresindeki volkanik tüfün taşıyıcı elemanlarda agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve beton dayanımına katkısını incelemiştir. Çalışmada ilk

olarak ihtiyaç duyulan laboratuvar deneyleri yapılarak volkanik tüfün beton agregası olarak kullanılabilirliğine bakılmıştır ve kullanılabileceği görülmüştür. Daha sonra karışımda agrega hacmi sabit tutularak tüf değişik oranlarda agrega yer değiştirerek deneyler yapılmış. Alınan sonuçlarda tüfün betonun basınç mukavemetini artırdığı anlaşılmıştır. Ayrıca bir başka aşamada da taşıyıcı hafif beton tasarlama çalışmaları yapılarak olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Sancak (1998) yapılan bu çalışmada farklı yörelerden temin edilen pomza agregaları kullanılarak üretilen hafif ve yarı hafif betonlarda lif tipi ve miktarının etkisini araştırmıştır. Çalışmalarla hafif ve yarı hafif betonlar üretilmiş, bu karışımlarda çimento dozajı, su/çimento oranı, maksimum dane boyutu ve agrega granülometrisi sabit tutulmuştur. Betona farklı miktarlarda lif eklenmiştir. Numuneler üzerinde basınç dayanımı, ultra ses hızı tayini, birim ağırlık deneyi yapılmış ve su emme oranı test edilmiştir. Elde edilen verilerde beton karışımına eklenen liflerin betonun basınç dayanımını artırdığı görülürken; ultra ses hızı ve birim ağırlıkları üzerinde belirgin bir etkisi olmamıştır. Öte yandan karışıma eklenen lifler taze betonun işlenebilirliğini önemli oranda etkilemektedir. Lif miktarı ve boyutu arttıkça beton içerisinde boşluklar oluşabileceği görülmüştür ve bu da istenmeyen bir durum olurken olumsuz etkiler ortaya çıkarsa bile genel olarak hafif agregalı betonların lif katkısıyla üretiminde fayda sağlanabileceği söylenmektedir.

Çiçek (2002) tuğla, bims, gazbeton ve perlit gibi yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılaştırarak incelemiştir. Bu tez çalışmasındaki yapı malzemelerinin TS standartları uyarınca tanımlama ve sınıflandırması, özellikleri ve ilgili standartları verilerek her malzemenin inşaat sektöründe kullanımı örnekler eşliğinde anlatılmıştır. Çalışmanın amacı bu yapı malzemelerinin olumlu ve olumsuz yönlerini ortaya koyarak aralarında bir kıyaslama yapmaktır.

Kocaman ve Okuroğlu (2002) çalışmalarında Doğu Anadolu Bölgesi, Erzurum ili Pasinler ilçesinde bulunan pomza agregası ile elde edilen hafif betonlarda granülometri ve dozajın ısı iletimindeki etkisini incelemişlerdir. Konu alınan agregaya gerekli deneyleri yaparak agreganın özellikleri test edilmiştir. Bulunan verilerden hafif agrega kullanılan betonun birim ağırlığı ve ısı iletkenliği daha düşük olduğu

görülmüştür. Çok büyük bir fark olmasa da aayrılanmış granölometrilil betonlarda daha düşük ısı iletkenliğı tespit edilmiştir.

Hossain (2004) çalışmasında fiziksel ve kimyasal özelliklerinin etkisini incelemek için volkanik pomzayı farklı oranlarda ekleyerek numuneler üretmiştir. Üretilen numuneler işlenebilirlik, mukavemet, yüzey emme ve su geçirgenliğı üzerine kapsamlı testler yapılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak volkanik pomza betonunun yeterli yoğunluk ve dayanımda olduğı görülmüştür.

Dinçer ve Çağatay (2004) pomza agregası ile üretilen hafif betonların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında normal agregaya farklı oranlarda pomza agrega katılarak taşıyıcı hafif betonlarda birim hacim ağırlığı, basınç dayanımları, çekme dayanımları gibi parametreler incelenmiştir. Pomza ikameli betonlarda mekanik özelliklerde azalma olduğı gözlemlenirken normal agregaya %50 iri pomza katılmasıyla elde edilen gerilme-birim şekil değıştirme eğrilerinin iyileştiğı görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda pomza katkılı betonlar kullanılarak yapı ağırlığının azalması ile yapıya gelen dinamik yükler de azalacak ve yapı güvenliğı artırılmış olacaktır.

Tolğay vd (2004) çalışmalarında Nevşehir pomzasının agrega olarak betonda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan deneylerle pomza agreganın fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini belirleyerek beton numuneler üretmişlerdir. Uygulanan test sonuçlarında pomza agregasının betonda kullanılabilecek bir yapı malzemesi olduğı görülmüştür.

Aşık (2006) çalışmasında doğal perlit ve öğütölmüş perlit kullanarak taşıyıcı olan hafif beton üretmiştir. Deneyler sonucunda doğal perlit agregası ile hafif beton üretiminin mümkün olduğı görülmüştür. Ayrıca çimento yerine perlit tozu kullanılarak daha ekonomik beton elde edilerek taşıyıcı hafif betonun kütesinin daha da düşürölebileceğı görülmüştür.

Arslan (2007) çalışmasında taşıyıcı hafif beton ve donatı arasındaki aderansı normal beton ile donatı arasındaki aderansla karşılaştırmalı olarak incelemiştir.

Hazırlanan numunelere giriş deneyi yapılarak bulunan sonuçlarda taşıyıcı hafif beton ile donatı aderansının normal betonunkinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Şimşek vd (2007) çalışmalarında birim ağırlığı düşük olan bims betonların kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bims agregasının kullanıldığı betonların birim ağırlığı normal agrega kullanılan betonların birim ağırlığından %23 düşük çıkmıştır. Ayrıca bims agregasıyla üretilen betonların 28 gün sonunda elde edilen basınç dayanımları 24 MPa çıkmıştır.

Erdoğan (2007) çalışmasında Nevşehir ve Toprakkale bölgesinden temin edilen asidik ve bazik kökenli pomzadan üretilen yapı malzemelerinin özelliklerini araştırmıştır. Getirilen pomzaların jeolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek uygun karışım oranlarında betonlar üretilmiştir. Farklı tip ve boyutta üretilen bims blokların fiziksel, mekanik ve yalıtım karakteristikleri incelenmiştir. Sonuç olarak uygun bir malzeme olduğu belirlenmiştir.

Türkel ve Kadiroğlu (2007) çalışmalarında Kayseri bölgesinde bulunan pomza agregası, CEM 1 42,5 çimento ve silis dumanı ile uçucu kül kullanarak taşıyıcı hafif beton üretmişlerdir. Çalışmalarında ACI 213R-87’de verilen dayanım değerinin oldukça üzerinde olan taşıyıcı hafif betonlar üretebileceklerini göstermişlerdir. Ayrıca elde edilen veriler sonucunda üretilen hafif betonlar, TS EN 206-1 standardına göre LC 20/22 ve LC 25/28 dayanım sınıflarını sağladığını görmüşlerdir.

Kabay (2009) hafif agrega kullanılarak üretilen betonun boşluk yapısının betonun özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışmasında vakumla suya doyurma yöntemini üreterek agregaların bu şekilde kullanılmasının üretimi hızlandırdığını ve sertleşmiş beton özelliklerine olumlu etki ettiğini görmüştür.

Toklu (2009) pomza taşından üretilen bims blok kalitesinin artırılma olanaklarını araştırmıştır. Bims bloğun teknik özellikleri deneylerle tespit edildikten sonra hammadde olan tüvenan pomza taşı yıkanarak safsızlaştırılıp yeni bir malzeme elde edilmiştir. Oluşturulan bu yeni malzemeye TS normlarına uygun deneyler yapılarak standart üretilen bims blok ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yıkanarak

üretilen bims bloğun standartlara uygun şekilde birim hacim ağırlığı daha düşük çıkmıştır ve bu da toplam maliyete olumlu yönde katkı sağlamaktadır.

Gökçe vd (2010) farklı perlit gruplarının hafif beton özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada ham perlit olan agregaya yerine belirli bir oranda geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak birkaç karışım hazırlanarak numuneler dökülmüştür. Bu numunelerin 28 günlük su emme miktarları, birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda geliştirilmiş perlit agregası kullanımının perlit agregalı hafif beton özellikleri üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır.

Dikici (2010) çalışmasında pomza ve farklı miktarlarda mineral katkı kullanarak üç ayrı grup taşıyıcı hafif beton üretmiştir. Elde edilen taşıyıcı hafif betonlarda, farklı gün ve farklı kür şartlarında doygun kuru yüzey ve etüv kurusu halinde basınç dayanımı, elastisite modülü ve gerilme-birim şekil değiştirme arasındaki ilişki incelenmiştir. Birim hacim ağırlığı etüv kurusu numunelerde kuru yüzey doygun durumdaki numunelerden daha düşük çıkmıştır. Basınç dayanımı sonuçları ise etüv kurusu numuneler de daha yüksek elde edilirken, eğilmede ve yarmada çekme dayanımı da kuru yüzey doygun durumdaki numunelerde fazladır.

Beycioğlu vd (2010) çalışmasında pomza agregası ile üretilen hafif betonlara silis dumanının etkisi incelenmiştir. Çalışmada belirli oranlarda silis dumanı ikamesi ile sertleşmiş betona basınç dayanımı ve ultra ses geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda silis dumanının belli bir orana kadar basınç dayanımını artırdığını fakat işlenebilirliği azalttığı görülmüştür. Silis dumanı ilavesiyle ultra ses geçiş hızı değerlerinin bir ilişkisi olmadığı görülmüştür.

Pekdemir (2011) çalışmasında pomza ve normal agregaya ile farklı oranlarda numuneler üretmiştir. Numuneler üretilirken farklı miktarlarda çimento, uçucu kül ile silis dumanı eklenerek birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı gibi değerlerinin değişimleri incelenmiştir. Silis dumanı eğilme ve basınç dayanımını artırırken uçucu kül ve pomza kullanımı dayanımları azaltmıştır. Ultrasonik ses geçirgenliğinde ise uçucu kül ve silis dumanı boşlukları azalttığı için bu parametreyi artırmış fakat pomza agregası boşluklu olduğu için azaltmıştır.

Akkaş (2011) pomza agregası ile üretilen taşıyıcı hafif betonun taşıyıcılığını araştırmıştır. Çalışmada agrega değişimiyle betonun özelliklerini irdelemek için belirli oranlarda değiştirilmiş yöresel bir malzeme olan pomza agregası ve yine o yöreden elde edilen normal agrega kullanılarak taşıyıcı hafif beton serisi ve agregasının tümü pomza olan hafif betonlar üretilmiştir. Sonuçta pomza ile üretilen betonların birim ağırlığının daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca taşıyıcılık özellikleri için betonarme kirişler üretilerek deney düzeneği kurulup yük etkisi altında yapılan sehimler ölçülmüştür. Alınan sonuçlara göre pomzalı taşıyıcı betonların taşıyıcı eleman olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Parhizkar et al. (2012) tüm agregası hafif agrega olan ve iri agrega olarak hafif agrega ince agrega olarak ise normal kum kullanılan iki farklı taşıyıcı hafif beton üretmiştir. Deneyler sonucunda basınç ve eğilme dayanımlarına bakılarak taşıyıcı hafif beton üretimi yapılabileceği görülmüştür. Çimento oranının performansı etkilediği sonucuna da varılmıştır (Akkaş 2011).

Zandi (2012) çalışmasında taşıyıcı ve hafif betonla üretilen prefabrike elemanların davranışlarını inceleyerek teorik ile deneysel olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında uygun karışım ile üretilen taşıyıcı hafif betona çeşitli deneyler uygulanmıştır. Sonuç olarak üretilen taşıyıcı hafif betonun donatı ile beton arasındaki aderansı, eğilme ve basınç etkisi sonucunda gösterdiği davranışları dikkate alındığında, yekpare ve prefabrike yapılarda kullanılabileceğini kanıtlamıştır.

Mohammad and Hamad (2014) çalışmalarında hafif beton elde etmek için kullanılan malzemeler üzerinde durmuşlardır. Hafif beton özellikleri geleneksel beton ile karşılaştırılarak artıları belirlenmiştir. Ayrıca üretilebilecek hafif beton tipleri incelenerek geliştirilmesi için çözümler üretilmiştir.

Mazur et al. (2016) çalışmalarında toplam 2 metre uzunluğunda olan AAC'den yapılmış prekast lento sonuçlarını sunmaktadır. Çalışma temel ve genel olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Temel seride, lento EN 846-9: 2002 ve EN 1356:1999 standartlarına göre incelenmektedir. 6 modelden oluşan genel seride, değişen yüksekliklerde etkileşimli duvarlı lentolar incelenmektedir. Test sırasında, kuvvetler, yer değiştirmeler

ve deformasyonlar, endüktif dönüştürücü kuvvetleri ve yer değiştirmeleri kullanılarak ölçülmektedir. Temel ve genel seriler, kesme nedeniyle mesnet bölgesinde elemanların tahribatının devam ettiğini göstermektedir.

Mazur et al. (2017) çalışmalarında AAC'den yapılmış yığma duvarlar ve lentolar arasındaki etkileşimin deneysel sonuçlarının ve FEM benzetimlerinin sonuçlarını sunmaktadır. Lento üzerine yerleştirilen 1, 3 ve 5 sıra yığma üniteli 3 farklı model test edilmiştir. Test sırasında kuvvetler, yer değiştirmeler, deformasyonlar ve çatlaklar ölçülerek gözlemlenmiştir. Sayısal simülasyon sırasında, kagir birimlerin ve lentoların malzemesi için Menétrey-Willam (M-W-3)'ün üç parametrelili elastik-plastik modeli kullanılmıştır. Tüm parametreler, temel ve eşlik eden malzeme deney sonuçlarına dayanmaktadır.

Akyüncü (2017) pomza agregası kullanılan hafif betonların mekanik özelliklerini ve yangın halindeki davranışını incelemiştir. Yangın direncini ve basınç dayanım kaybını karşılaştırmak amacıyla hafif beton ve normal beton üretilmiştir. Kapalı bir alan oluşturularak yangın başlatılmıştır. Beton bloklarda yüzey sıcaklığı değeri ölçülüp hafif beton bloklarda ölçülen en yüksek yüzey sıcaklığı %50 civarında düşük çıkmıştır. Yangına maruz kalan beton bloklar basıncın etkisi ile kırılmış olup basınç dayanımı kaybının hafif betonlarda %6 oranında iken normal betonlarda ise %18 oranında çıktığı görülmüştür.

Bakırhan (2019) çalışmasında pomza ve perlit kullanarak hafif beton tasarlayıp ısı yalıtım ve mukavemet özellikleri karşılaştırmıştır. Perlitli hafif betonların ısı yalıtımları yüksek iken mukavemetleri daha düşük çıkmıştır. Ayrıca uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu vb. kimyasal katkıların hafif betona katkısı incelenmiştir.

Yanık (2019) çalışmasında farklı boyutlarda öğütülmüş obsidyen, yüksek fırın cürufu gibi malzemelerin katıldığı çimentolarda puzolanik özelliklerini inceleyerek karşılaştırma yapmıştır. Sonuç olarak Rize yöresi obsidyenin çimentoda puzolan olarak kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca obsidyen ilaveli çimento ile üretilmiş malzemenin puzolanik aktivitesi ve basınç dayanımları, uçucu kül ikameli çimento ile üretilen

2. KAYNAK ÖZETLERİ

malzemeye göre daha fazla iken yüksek fırın cürufu ikameli çimento ile üretilen malzemeden daha düşük çıkmıştır.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Tez çalışmasının temel amacı hafif pomza agregası kullanılarak lento türü taşıyıcı yapı elemanlarının hafif beton sınıfı malzeme ile donatılı bir şekilde imal edilmesi ve üretilen lento numunelerin mekanik davranışlarının deneysel olarak incelenmesidir. Bu nedenle, çalışmanın iki faz halinde gerçekleştirildiğini ifade etmek mümkündür. Birinci aşamada pomza agregası ve hafif beton üretimi konusunda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise birinci faz çalışma neticesinde elde edilen hafif beton karışımı reçeteleri kullanılarak çelik donatılı lentolar üretilmiş ve standarda uygun olarak mekanik davranışları incelenmiştir.

Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan materyal ve takip edilen yöntem hakkında detaylı bilgi sunulmaktadır.

3.1. Materyal

3.1.1. Agregalar

Çalışmada pomza ve üretim sahasında atık olarak birikmekte olan obsidyen olmak üzere iki tür agrega kullanılmıştır. Kullanılan bu agregalar Erzurum Pasinler bölgesinde bulunan Kaleblok Bims A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Bu bölümde agregaların granülometrik dağılımı, birim hacim ağırlığı, yüzey nemi, özgül ağırlık, su emme ve mevcut nem ile içerdikleri organik madde içeriğinin tayini amacıyla yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgi sunulmaktadır.

Pomza; boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak büneyi terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içeren bir kayadır. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan, permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Sertliği Mohs skalasına göre 5-6' olarak ifade edilmektedir. Pomza kayacına ait genel bir görüntü Şekil 3.1'de sunulmaktadır.



Şekil 3.1. Pomza kayacına ait genel bir görüntü (Anonim 2021)

Bu çalışmada kullanılan pomza, Kaleblok Bims A.Ş. firmasına ait fabrika sahasında yapılan eleme ile 0-4mm, 4-8 mm, ve 8-12 mm aralığındaki taneciklerden oluşan üç ayrı grup agrega olarak laboratuvar ortamına getirilmiştir. Çalışma süresince 1-4 mm grubu ince pomza, 4-8 mm grubu orta pomza ve 8-12 mm grubu iri pomza olarak adlandırılmıştır.

Çalışmada kullanılan bir diğer agrega ise fabrika sahasında ocaktan gelen pomzanın elenmesi esnasında ayrıışan obsidyen grubu agregadır. Bu grup agrega, hafif yapı elemanı üretiminde kullanılmadığından çalışma sahasının bir bölgesinde biriktirilmekte ve bir nevi atık malzeme olarak bekletilmektedir. Genel bir görünümü Şekil 3.2’de sunulan obsidyen; volkanik cama verilen eski bir addır. Siyah, kahverengi, bazen yeşil renklerde olabilmektedir. Genellikle riyolitik bileşimli bir kayaç olup konkoidal (midye kabuğu şeklinde) kırınım gösterir. Geçmişte mızrak ucu, okbaşı ve diğer keskin aletlerde, ayrıca mücevherat ya da sanatsal objelerin yapımında kullanılmıştır. Günümüzde yarı değerli süstaşı olarak önemini sürdürmektedir (Anonim 2021).



Şekil 3.2. Obsidyen kayacına ait genel bir görüntü (Anonim 2021)

Bu çalışmada kullanılan obsidyen fabrika sahasında yapılan eleme ile 1-4 mm büyüklüğünde taneciklerden oluşan bir agrega olarak laboratuvar ortamına getirilmiş ve bu grup malzeme çalışma süresince ince obsidyen olarak adlandırılmıştır.

3.1.2. Çimento

Çalışmada kullanılan çimento CEM-II 42,5 R Portland-kompoze türü çimentodur. Söz konusu çimento Kaleblok Bims A.Ş. firmasının halihazırda hafif yapı elemanları üretiminde kullandığı çimentodur. Bu nedenle, lento imalatında da aynı çimento kullanılmıştır. Firma imalatında R tipi, hızlı priz alan çimentonun tercih edilme nedeni ürün imalatının ve buna bağlı olarak da piyasaya sevkiyatın mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesidir.

Bu tez çalışması kapsamında çimento üzerinde herhangi bir malzeme deneyi gerçekleştirilmemiştir. Çimentonun TS EN 197-1 (2012) kodlu Türk standardına uygun olduğu firma tarafından beyan edilmiştir.

3.1.3. Karışım suyu

Beton üretim çalışmalarının tamamında gerek malzeme araştırmaları sürecinde ve gerekse lento imalatı safhasında, Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'ndaki

musluklardan akan şebeke suyu kullanılmıştır. İçme suyu olarak tüketilebilen su üzerinde herhangi bir fiziksel ya da kimyasal analiz çalışması gerçekleştirilmemiştir. Karışım suyu olarak doğrudan musluktan alınan su, herhangi bir ısıtma, vb. işleme tabi tutulmadan ilgili imalatla kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Agrega deneylerinde uygulanan yöntemler

İlk olarak TS706 EN12620 ve TS3530 EN933-1'e uygun olarak azami derecede özen göstererek ocağın tümünü temsil edecek şekilde agrega yığınının belirli bölgelerinden agrega deneyleri yapmak için numuneler alınmış daha sonra Şekil 3.3'te görüldüğü gibi dörde bölme (çeyrekleme) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde agregadan örnek alınan yığın her tarafı eşit yükseklikte olacak şekilde dairesel bir alana yayılmıştır. Daire şeklindeki alan, yaklaşık dört eşit parçaya bölünmüştür. Karşılıklı çeyrek parçalar alınarak karıştırılıp ve istenilen numune miktarı elde edilene kadar aynı küçültme işlemleri tekrar edilmiştir.



Şekil 3.3. Çeyrekleme yöntemiyle numune küçültme

Elek analizi için alınan ince ve iri agrega numuneleri değişmez ağırlığa gelene kadar etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılıp tartma işlemi yapılarak not edilmiştir. Diğer taraftan elek analizi için ayarlanan elekler boyutları yukarıdan aşağıya azalacak şekilde sıralanıp elek sarsma cihazına yerleştirilmiştir. Tüm numune eleme işlemine tabi tutulduktan sonra her elek üzerinde kalan agregalar tartılarak gradasyon eğrisi

3. MATERYAL ve YÖNTEM

belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan elek takımı, elek sarsma cihazı ve etüv Şekil 3.4'te verilmiştir.

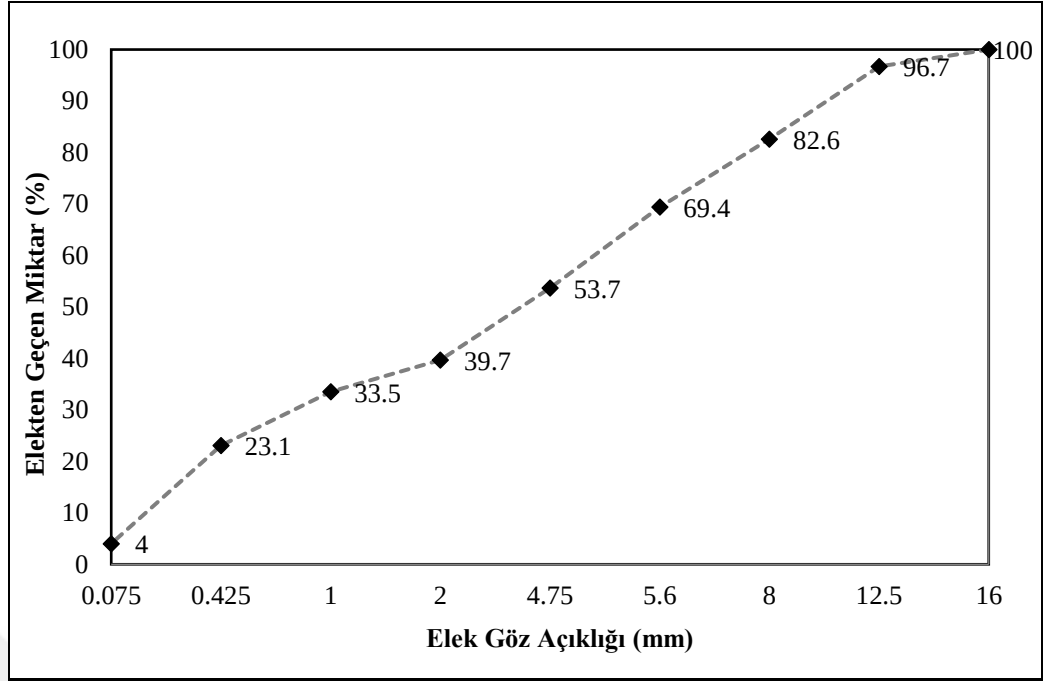


Şekil 3.4. (a) Elek takımı sarsma cihazı, (b) Elek analizinde kullanılan etüv

Pomza ve obsidyen agregaları için elek analizi sonuçları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te verilmektedir. Elde edilen granülometri eğrileri ise Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. İri pomza agrega numunelerinin elek analizi sonuçları

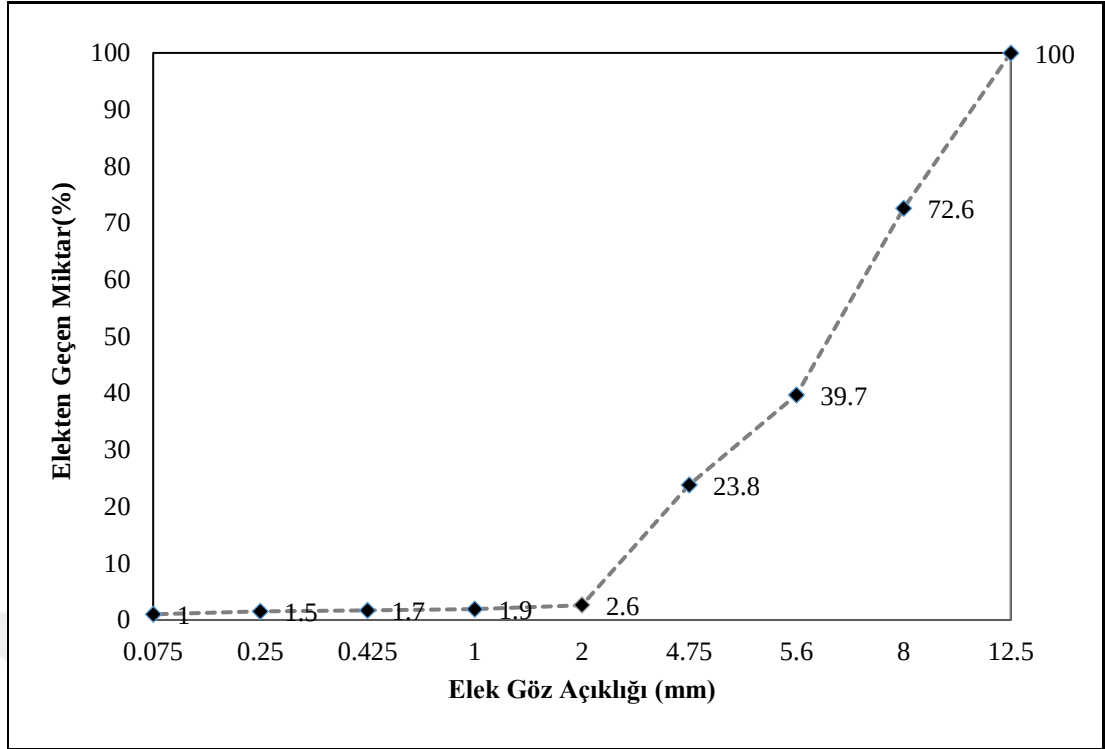
İri Pomza(Yıkanmadan Etüvde Kurutulmuş) Elek Analizi	
Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Miktar(%)
16,0	100,0
12,5	96,7
8,0	82,6
5,6	69,4
4,75	53,7
2,0	39,7
1,0	33,5
0,425	23,1
0,075	4,0



Şekil 3.5. İri pomza agregası için agregası granölometri eğrisi

Çizelge 3.2. Orta pomza agregası numunelerinin elek analizi sonuçları

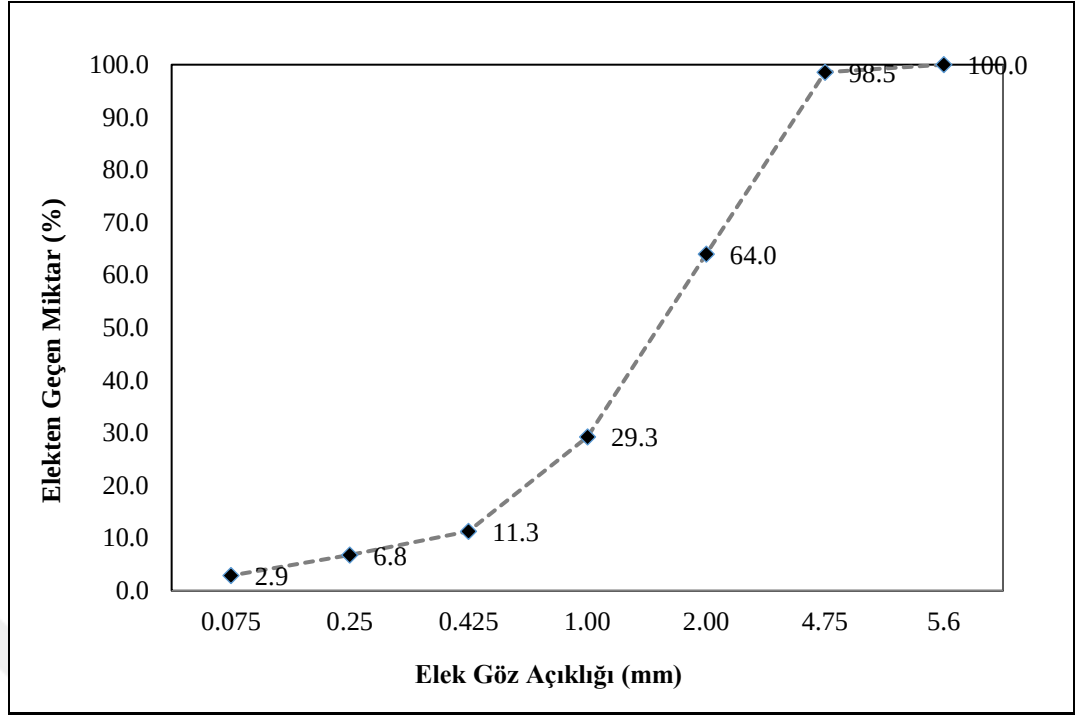
Orta Pomza(4-8)(Yıkanmadan Elenmiş Etüvde Kurutulmuş) Elek Analizi	
Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Miktar(%)
12,5	100,0
8	72,6
5,6	39,7
4,75	23,8
2	2,6
1	1,9
0,425	1,7
0,25	1,5
0,075	1,0



Şekil 3.6. Orta pomza agrega için agrega granülometri eğrisi

Çizelge 3.3. İnce pomza agrega numunelerinin elek analizi sonuçları

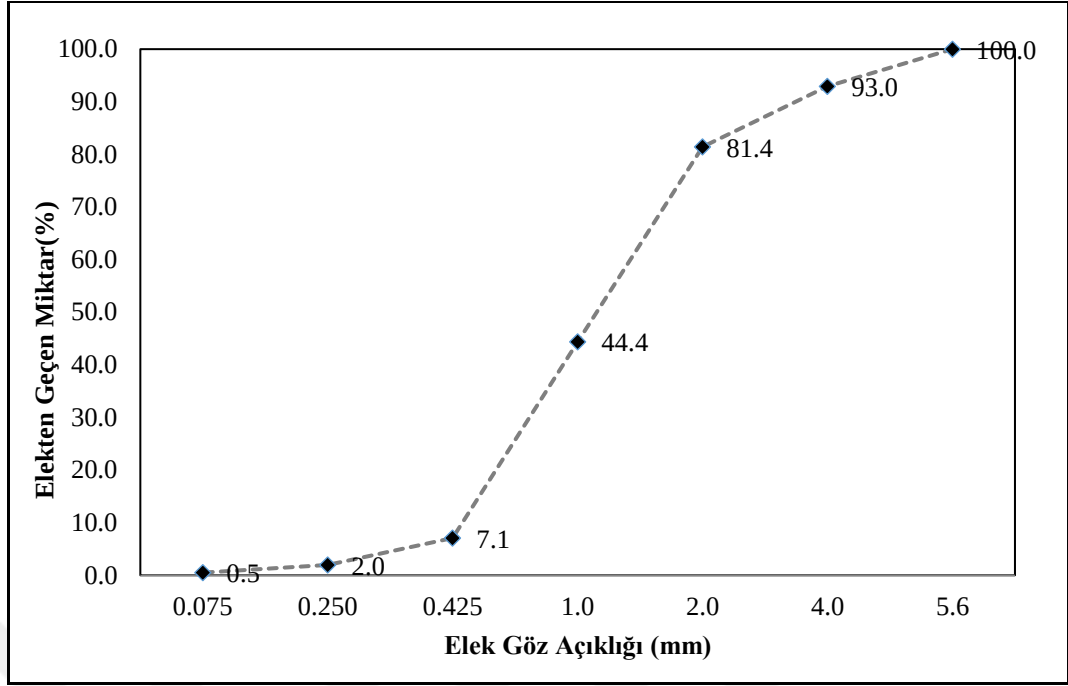
İnce Pomza(Yıkanmadan Etüvde Kurutulmuş) Elek Analizi	
Elekt Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Miktar(%)
5,6	100,0
4,75	98,5
2,00	64,0
1,00	29,3
0,425	11,3
0,25	6,8
0,075	2,9



Şekil 3.7. İnce pomza agrega için agrega granülometri eğrisi

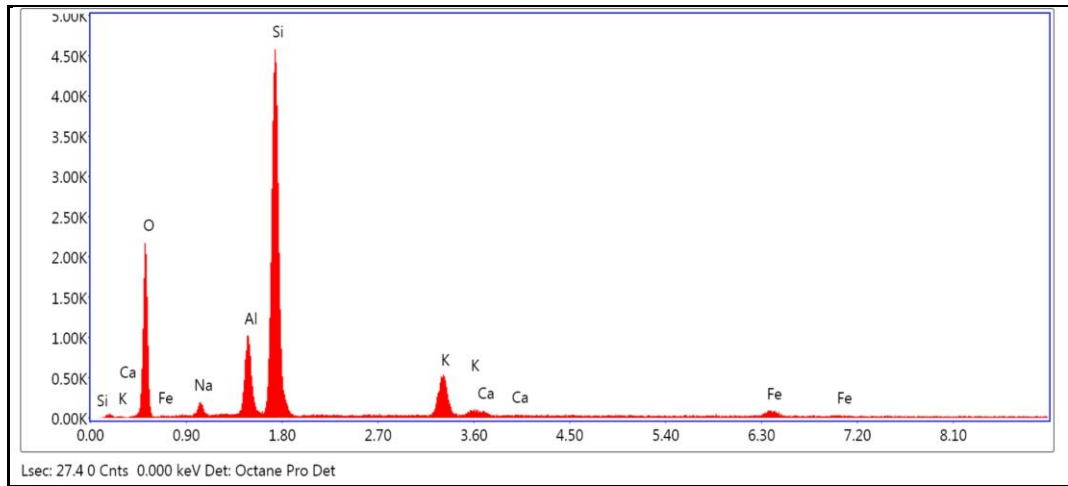
Çizelge 3.4. İnce obsidyen agrega numunelerinin elek analizi sonuçları

İnce Obsidyen Elek Analizi	
Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Miktar (%)
5,6	100,0
4,0	93,0
2,0	81,4
1,0	44,4
0,425	7,1
0,250	2,0
0,075	0,5



Şekil 3.8. İnce obsidyen agregası için agregası granülometri eğrisi

Çalışmada kullanılan pomza agregasının elementer düzeydeki birleşimi Erzurum Teknik Üniversitesi Yüksek Teknoloji Araştırma Merkezi Laboratuvarı'nda yapılan inceleme neticesinde elde edilmiş ve analiz sonuçları grafiksel olarak Şekil 3.9'da sunulmuştur.



Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan pomza agregasının XRD analizi sonucunda elde edilen elementer bileşimi.

Şekil 3.9 incelendiğinde pomza agregası içeriğinde en fazla bulunan elementin silisyum ve sonrasında oksijen olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre silisyum

3. MATERYAL ve YÖNTEM

ve oksijenin ağırlıkça bulunma oranları sırasıyla %31,2 ve %51,6 olarak tayin edilmiştir. Türkiye Cumhuriyeti Maden Tetkik ve Arama Kurumu tarafından yayınlanan teknik açıklamada pomzanın kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriği bulundurabileceği ifade edilmektedir (Anonim 2021). Yine, pomzanın genel kimyasal bileşiminin ; % 60-75 SiO₂ , % 13-17 Al₂O₃ , % 1-3 Fe₂O₃ , % 1-2 CaO, % 7-8 Na₂O - K₂O ve eser miktarda TiO₂ ve SO₃'ten oluştuğu belirtilmektedir (Anonim 2021). Şekil 3.9'da sunulan pomza agregasına ait element dağılımında alüminyum, demir, kalsiyum, sodyum ve potasyum elementlerinin bulunduğu ancak kullanılan pomza agregası birleşiminde titanyum ve sülfür bulunmadığı görülmektedir.

Agregaların birim hacim ağırlığını tespit etmek için hacmi Şekil 3.10'daki gibi 1 dm³ olan kalıplara agregalar doldurulmuştur. Üst yüzeyi düzeltilip malzeme tartılarak birim ağırlıkları elde edilmiştir.

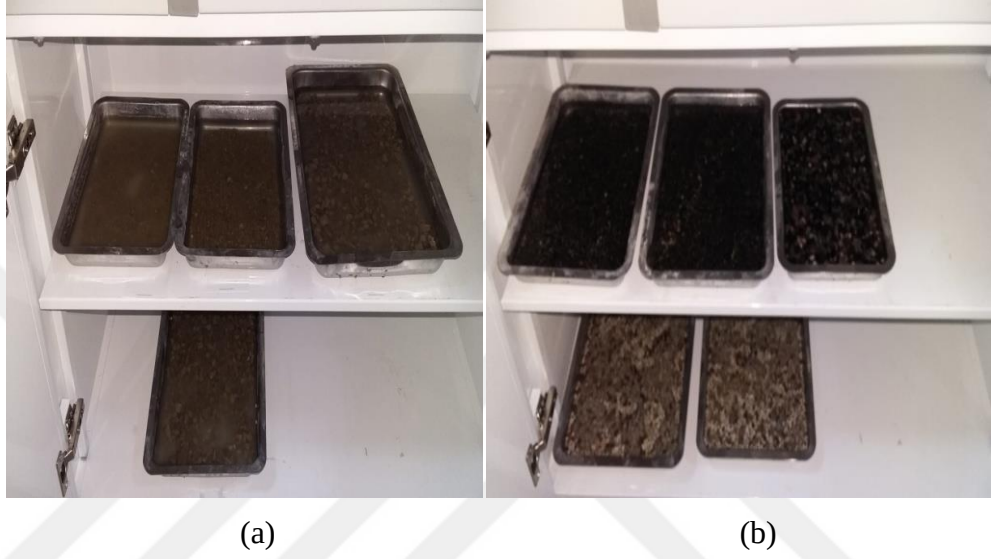


Şekil 3.10. Pomza ve obsidyen türü agregaların birim ağırlığının tayini

Çalışma kapsamındaki pomza ve obsidyene ait özgül ağırlık ve su emme deneyleri TS EN 1097-6/2002 standardına göre yapılırken yüzey nemi deneyleri TS 3523 standardına göre yapılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi tartılan iri ve ince agrega numuneler ilk olarak su içerisinde 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra iyice süzülerek sudan çıkarılan agrega numunelerinden iri olanlar Şekil 3.12’deki gibi kurulama bezi ile yüzeylerinde su kalmayacak şekilde kurularak tartılmıştır. Şekil 3.13’te ise süzülen ince agrega numuneleri saç kurutma makinesi ile bir kap içerisinde spatula yardımıyla karıştırılarak doymun kuru yüzey hale getirilmiştir.



Şekil 3.11. (a) ve (b) 24 saat suda bekletilen agregaların görüntüsü



Şekil 3.12. İri agregaların doymun kuru yüzey haline getirilmesi işlemi



Şekil 3.13. İnce agregaların doymun kuru yüzey haline getirilmesi işlemi

Doygun kuru yüzey ağırlığı belirlenen numuneler boş ve su dolu ağırlığı bilinen piknometre içerisine doldurularak üzerine su eklenmiştir. Piknometre içerisinde hava kabarcıklarını yok etmek için piknometre iyice çalkalanarak tartılmıştır. Çalışma görüntüleri Şekil 3.14’te verilmiştir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 3.14. (a), (b) ve (c) Agregaların su içerisindeki ağırlıklarının tespiti

Tamamen doymun ağırlığı tartılan numuneler etüve konularak kuru ağırlığı bulunmuştur. Şekil 3.15’te etüve atılan agregalar gösterilmiştir.



Şekil 3.15. (a) ve (b) Tamamen kuru hale gelmesi için etüve bırakılan agregaların görüntüsü.

Agregalardan alınan numuneler hiçbir işlem uygulanmadan tartılarak daha sonra tamamen kuru hale gelmesi için Şekil 3.16'daki gibi etüve atılmıştır. Etüvden çıkartıldıktan sonra tekrar tartılarak agregadaki mevcut nem tespit edilmiştir.



Şekil 3.16. Mevcut nem tespiti için etüve atılan agregaların görüntüsü

Agrega içerdiği su miktarına göre dört değişik duruma sahiptir:

- **Tamamen kuru durum:** Boşluklarında hiç su bulunmaması hali,
- **Hava kuru durumu:** Boşluklar tamamen suyla dolu değil ama tane yüzeylerinde su olmaması hali,

- **Doygun, yüzey kuru durum:** Su geçirgen boşluklar suyla dolu fakat agreganın yüzeylerinin kuru olması hali,
- **Islak durum:** Su geçirgen boşluklar suyla dolu ve agreganın yüzeylerinde bir miktar su bulunması halidir (Erdoğan T. Y. 2015).

Agregaların nem durumuna göre kuru özgül ağırlık Eşitlik 3.1, görünen özgül ağırlığı Eşitlik 3.2, doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı Eşitlik 3.3, su emme oranı Eşitlik 3.4 ve mevcut nem oranı Eşitlik 3.5 yardımıyla bulunmuştur (Erdoğan T. Y. 2015).

$$\text{Kuru özgül ağırlık, } S_k = \frac{A}{B-C} \quad (3.1)$$

$$\text{Doygun, Yüzey Kuru Özgül Ağırlık, } S_{ydk} = \frac{B}{B-C} \quad (3.2)$$

$$\text{Görünen özgül ağırlık, } S_g = \frac{A}{A-B} \quad (3.3)$$

$$\text{Su emme kapasitesi (\%)} = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (3.4)$$

$$\text{Mevcut nem kapasitesi (\%)} = \frac{D-A}{A} \times 100 \quad (3.5)$$

Burada,

A: Fırında tamamen kurutulmuş agreganın numunesinin havadaki ağırlığı,

B: Doygun, yüzey kuru durumdaki agreganın numunesinin havadaki ağırlığı,

C: Doygun, yüzey kuru durumdaki agreganın numunesinin sudaki ağırlığı ve

D: Agreganın yığınının temsil eden numunesinin hiç bir işleme tabi tutulmadan (o haliyle) ağırlığı'dır.

Deneye tabi tutulan farklı boyutlardaki agreganın numunelerinin fiziksel özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

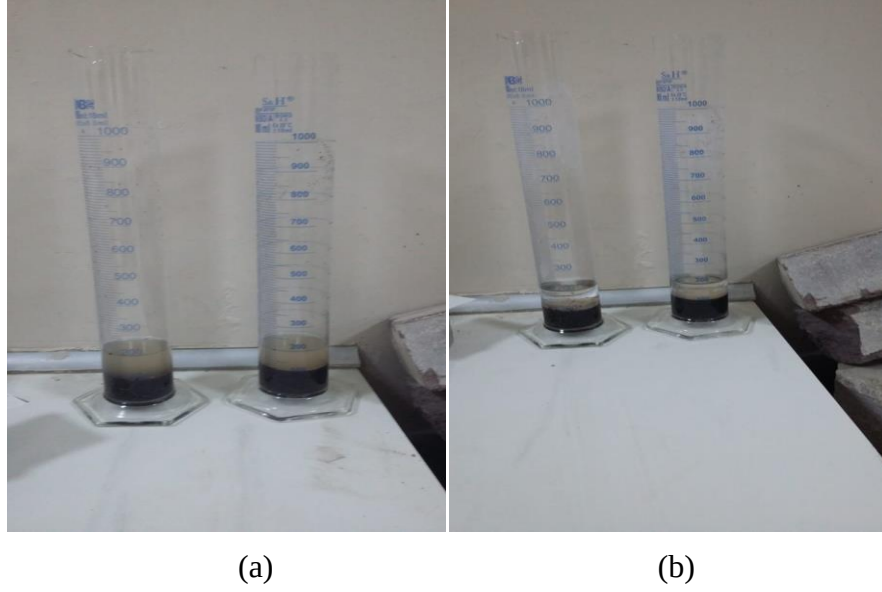
Çizelge 3.5. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Agrega Sınıfları	Elek Çapı	Agrega Birim Hacim Ağırlığı (gr/dm ³)	Kuru Özgöl Ağırlık (Kg/dm ³)	DYK Özgöl Ağırlık (Kg/dm ³)	Su Emme Oranı (%)	Mevcut Nem (%)
Pomza İri Agreg	8 mm Üstü	717,50	1,10	1,48	34,94	31,97
Pomza Orta Agreg	4 mm Üstü	838,30	1,11	1,54	38,24	35,75
Pomza İnce Agreg	(1-4) mm	811,90	1,09	1,58	44,57	37,05
Obsidyen İnce Agreg	(1-4) mm	1348,60	1,97	2,12	7,75	2,89

Kullanılan pomzanın özgül ağırlığı karşılaştırması için literatür incelenmiştir. Örnek olarak Pekdemir (2011) çalışmasında kullandığı ince, orta ve iri pomzanın kuru özgül ağırlığını sırasıyla 0,79, 1,013 ve 1 gr/cm³ bulmuştur. Su emme oranlarını ise yine sırasıyla % 40,53, % 44,73 ve % 45,95 elde etmiştir. Sonuçlar bu çalışmadaki değerlerle yakın çıkmıştır.

Yine literatürde Dinçer ve Çağatay (2004) çalışmasında kullandığı ince, orta ve iri pomzanın birim hacim ağırlığı sırasıyla 773, 457 ve 424 gr/dm³ bulunmuştur. Akkaş (2011) çalışmasında ise ince pomzanın birim hacim ağırlığının 1130 gr/dm³ iri pomzanın ise 747 gr/dm³ olarak tayin edildiği ifade edilmektedir. Bu tez çalışmasındaki ince, orta ve iri pomzanın birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla 811,90, 838,30 ve 717,50 gr/dm³ bulunmuştur. Pomzanın boşluklu ve heterojen yapısının literatürde ve bu tez çalışmasında çalışmalarda kullanılan malzemenin birim hacim ağırlıkları arasındaki farklılıkların temel nedeni olarak gösterilebileceği düşünülmektedir.

Organik maddeler çoğu zaman iri agregalarda yıkanarak uzaklaştırılabildiği için bu deney ince agregalara uygulanmaktadır. İlk olarak TS EN1744–1 Madde 15.1'e uygun olarak deney numunesi 8 mm göz açıklıklı kare gözlü tel elekten elenmiştir. Elenen agrega numunesinden gelişigüzel 500 gr alınmıştır. Ölçü silindire doldurarak üzerine eklenecek suya %3 oranında sodyum hidroksit eklenip iyice çalkalanmıştır. 24 saat bekletildikten sonra suyun renginin açık renkte olduğu görülmüştür. Bu da malzemede organik maddenin olmadığını göstermiştir. Aşağıda Şekil 3.17'de 24 saat öncesi ve sonrası verilmiştir.



Şekil 3.17. Agregada bulunan organik madde tayini deneyi, (a) deney başlangıcı, (b) 24 saat sonra.

Yapılan deneyde 24 saat sonra agreganın içinde bulunduğu sodyum hidroksit eklenmiş suyun oldukça açık renkli olduğu görülmüştür. Bu sonuç agregada zararlı oranda organik madde olmadığını göstermiştir.

3.2.2. Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler

Çalışmanın birinci aşaması agrega kimliklendirme ve hafif beton üretme deneylerini içeren çalışmaları kapsamaktadır. Araştırmanın hafif beton üretimi aşamasında lento türü elemanların taşıyıcı elemanlar olması nedeniyle taşıyıcı hafif beton üretimi amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Obsidyen agregası içeren ve içermeyen hafif taşıyıcı beton üretimi ve kullanılacak ideal karışım reçetesinin belirlenmesi amacıyla ve sonrasında lento üretiminde kullanımına karar verilen beton reçeteleri ile üretilen tüm karışımlardan TS 206-1 (2002)'ye uygun şekilde numuneler alınmıştır. Alınan bu sertleşmiş beton numuneleri üzerinde mukavemet tayini amacıyla tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapılmıştır.

Bu aşamada tahribatsız deneylerin yapılma gerekçesinin açıklanmasında yarar görülmektedir. Lento türü yapı elemanların fabrikada üretilmesinin hemen ardından çok kısa süre içerisinde ki; bu süre maksimum 3-4 gün olarak kabul edilebilir, sevkiyatının yapılması gerekmektedir. Zira, fabrika alanında üretilen lento türü elemanların uzun

süre istifleneceği depo, vb. alan bulunmaması ihtimal dahilindedir. Bu nedenle, hızlı bir üretim sürecinden çıkan lento elemanlar için ultra ses geçiş hızı, Schmidt sertlik çekici gibi uygulamaların hızlı bir dayanım kontrolü yöntemi olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğin irdelenmesi gerekli görünmüştür. Bu nedenle, sertleşmiş beton numuneleri üzerinde öncelikle tahribatsız dayanım tayini amacıyla ultra ses geçiş hızı deneyi ve Schmidt sertlik çekici uygulaması yapılması uygun görülmüştür. Sonrasında aynı numuneler üzerinde tahribatlı yöntemlerle basınç dayanımı tayini işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu konudaki deneysel çalışmalar 7 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

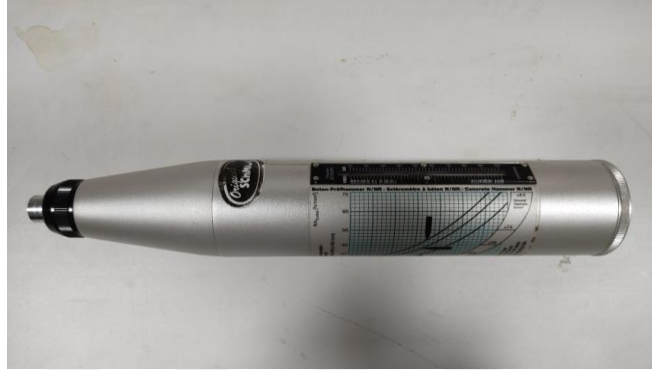
Bu başlık altında üretilen sertleşmiş hafif beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda takip edilen yöntem hakkında bilgi sunulmaktadır.

- **Schmidt sertlik çekici deneyi**

Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan ilk tahribatsız dayanım testi Schmidt sertlik çekici uygulaması olmuştur. Yöntem betonun basınç dayanımını yaklaşık olarak bulmada kullanılan tahribatsız bir yöntemdir. Karot alma işleminin pahalı ve zaman alıcı olması, beton basınç dayanımı bulunacak yapı elemanlarının çok sayıda olması, tahribatlı yöntemlerle dayanım tespiti için laboratuvar imkânlarının olmaması, vb. sebeplerden dolayı daha pratik bir yöntem olan Schmidt çekici yöntemine başvurulmaktadır. Schmidt çekici yöntemi ile yeterli yaklaşıktaki bir beton basınç dayanımı sonucu elde edilebildiği ifade edilmektedir (Anonim 2021).

Yöntemin detaylı bir şekilde tartışıldığı Kolek (1958), Schmidt çekici ile tahribatsız bir şekilde beton dayanımı eldesi beton yüzeyinin sertliği kullanılarak basınç dayanımının kestirimi esasına göre çalıştığı ifade edilmektedir. Çalışmasında çekiç üzerinde betonun basınç dayanımı ve Schmidt çekicinin içerisindeki yayın geri sıçraması değerleri arasındaki korelasyonu gösteren grafikler bulunmaktadır. Bu korelasyonlarda, Schmidt çekicinin beton elemana vuruş yönü de belirtilmektedir. Yöntem ile elde edilen beton basınç dayanımının kırım sonuçlarına göre doğruluğunun % 60 ile % 70 arasında değiştiği ifade edilmektedir (Anonim 2021).

Bu çalışma kapsamında beton için üretilmiş Şekil 3.18’de verilen Proceq N Tipi Schmidt çekici yardımıyla silindirik numunelerin yüzeylerine uygulanarak yüzey sertlikleri bulunmuştur. Elde edilen yüzey sertliği değerleri kullanılarak Schmidt çekici üzerindeki grafikler üzerinden tahmini basınç mukavemeti değerleri elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.18. Çalışmada kullanılan Proceq marka N tipi Schmidt çekici cihazı

- **Ultra ses geçiş hızı deneyi**

Çalışma kapsamında sertleşmiş beton numuneler üzerinde basınç dayanımı tayini amacıyla yapılan ikinci tahribatsız deney ultra ses geçiş hızı deneyi olmuştur. Bilindiği gibi titreşim frekansı 20 Khz’den fazla olan ses dalgalarına ultra ses denilmektedir (Tangüner 2007). Yöntemin temel çalışma prensibi; incelenecek numunenin karşılıklı iki yüzeyi arasında; bir yüzden gönderilen ultra ses dalgalarının diğer yüzeye ulaşma süresi üzerinden ultra ses dalgalarının numune içerisinde yayılma hızının tayini ve buna bağlı olarak geliştirilmiş kalibrasyon bağıntıları kullanılarak malzemenin basınç dayanımı ve elastik modül gibi mekanik özelliklerinin tespit edilmesi üzerine kuruludur.

Çalışma kapsamındaki ultra ses hızı tayini deneyleri için Proceq marka ultra ses hızı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın çalışma öncesi kontrolleri yapıldıktan sonra temas eden yüzeylerde boşluk olmaması için jel sürülerek beton numunenin karşılıklı olacak şekilde bir yüzeyine ultra sesi oluşturan prob, diğer yüzeyine malzeme içinden geçen ses dalgalarını alan bir prob yerleştirilmiştir. Numune içinden geçen sesin geçiş zamanı ve buna bağlı olarak ultra ses dalgası geçiş hızı tespit edilmiştir. Cihaz hafızasına kayıtlı muhtelif kalibrasyon bağıntıları üzerinden incelenen numunenin

basınç dayanımı tahribatsız olarak elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 3.19’da deney uygulaması görüntüsü verilmiştir.

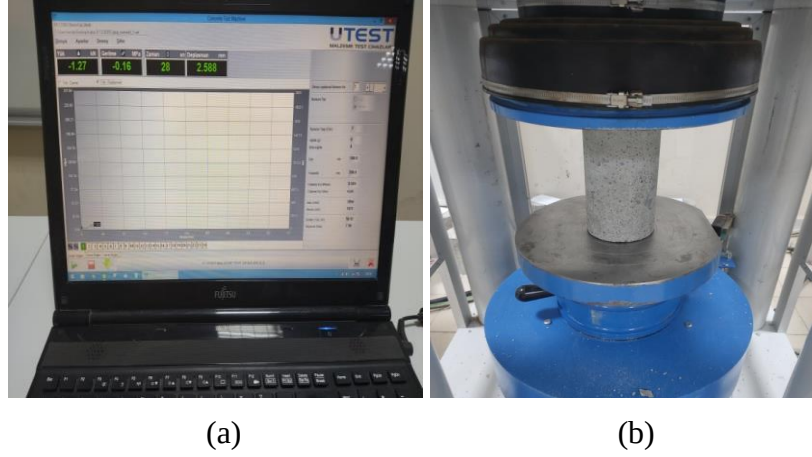


Şekil 3.19. Ultra ses geçiş hızı deney uygulama görüntüsü

- **Eksenel basınç dayanımı tayini deneyi**

Hafif agregalı taşıyıcı beton numuneleri üzerinde öncelikle Schmidt sertlik çekici ve ultra ses hızı tayini deneyleri yapıldıktan sonra numune eksenel basınç dayanımı tayini testine alınmıştır. Numunenin eksenel basınç dayanımına ulaştığı yük/gerilme seviyesine kadar eksenel basınç kuvvetine maruz bırakıldığından numune deney sonrası hasarlı bir hale gelmektedir. Bu nedenle bu deney, tahribatlı bir deneysel yöntemdir.

Üretilen numuneler UTEST firması tarafından üretilmiş 3000 kN eksenel basınç kuvveti uygulama kapasiteli cihaz kullanılarak eksenel basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Cihazın teknik özelliklerine bağlı olarak deneyler yük kontrollü olarak yapılmıştır. Basınç dayanımına etkisinden dolayı yükleme hızı tüm numunelerde aynı değerde ayarlanmış olup; 0.589 MPa/sn hızı ile yükleme yapılmıştır. Yük kontrollü bir deney olması nedeniyle yükleme beton numunelerin kırılma anına kadar yapılmış; bu noktadan itibaren cihaz kontrol yazılımı deneyi otomatik olarak sonlandırmıştır. Bu nedenle, gerilme-birim şekil değiştirme diyagramının basınç dayanımı sonrasındaki kuyruk kısmı olarak tabir edilen bölge deneysel olarak elde edilememiştir. Şekil 3.20’de bu deneysel çalışmaya ilişkin görüntüler sunulmaktadır.



Şekil 3.20. Eksenel basınç dayanımı deneyi, (a) kontrol yazılımı ekran görüntüsü, (b) numunenin pres cihazına yerleştirilmesi.

3.2.3. Lento imalatında kullanılacak hafif beton karışım oranlarının tespiti

Mekanik davranışları deneysel olarak incelenecek olan lento türü taşıyıcı elemanların maruz kalabilecekleri düzgün yayılı yük değerleri ile piyasada genel olarak talep edilen düzgün yayılı yük taşıma kapasiteleri dikkate alınarak TS 206-1 (2002) uyarınca LC8/9 sınıfı hafif taşıyıcı beton imalatı yapılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Bu nedenle, çalışmalar LC8/9 sınıfı hafif taşıyıcı beton eldesine yönelik yapılmıştır.

Önceki bölümlerde de ifade edildiği üzere, hafif taşıyıcı beton üretiminde kullanılacak temel agrega pomzadır. Bununla birlikte, pomza ocaklarından fabrika imalat alanına gelen hammadde içerisinde bulunan obsidyen türü agrega ayrıştırılmakta ve sahada biriktirilmektedir. Bu aşamada yapılan beton karışımı tayini çalışmalarında, atık durumdaki ince (1-4 mm) obsidyen agregasının da lento imalatında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu nedenle, genel olarak %100 pomza içerikli ve belirli oranlarda obsidyen içerikli agrega birleşimleri kullanılarak muhtelif beton karışımları hazırlanmış ve basınç dayanım değerleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

Obsidyen içeren ve içermeyen hafif beton karışımlarının hesapları TS 802 (2009) mevzuatı esas alınarak yapılmıştır. Çizelge 3.6'da imalatı yapılan hafif beton karışımları ile bu karışımlardan üretilen numunelerin birim hacim ağırlıkları ve 7 günlük eksenel basınç dayanımı değerleri sunulmaktadır. Burada beton birim hacim ağırlığı terimi üzerinde durulmasında yarar görülmektedir. İmalat sonrası lento

3. MATERYAL ve YÖNTEM

elemanlarının nakliyesi önemli bir husustur ve nakliye maliyetlerinin azalması; daha hafif lento imalatı ile mümkündür. Daha hafif lento imalatı, hacim aynı kalmakla birlikte taşıyıcı aracın ağırlığının daha az olması bu da yakıt giderlerinin daha az olması anlamına gelmektedir. Bu nedenle, üretime geçilmesi planlanan bir lento elemanı için birim hacim ağırlığın mümkün olduğu kadar düşük olması önemli olduğundan hafifi beton ile ilgili olarak sunulan sonuçlar da genel olarak birim hacim ağırlık değeri de sunulmuştur.

Çizelge 3.6. Hafif taşıyıcı beton üretimi amacıyla çalışma yapılan beton birleşimleri

Karışım Oranları (%)				Çimento/Agrega oranı	Birim Hacim Ağırlık (Kg/m ³)	7 Günlük Eksenel Basınç Dayanımı (MPa)
Obsidyen (1-4 mm)	Pomza (1-4 mm)	Pomza (4-8 mm)	Pomza (8-12mm)			
0	60	20	20	0,32	1117	6
0	40	40	20	0,22	1003	3
0	40	40	20	0,32	1114	5
100	0	0	0	0,25	1810	7
40	0	40	20	0,25	1545	9
30	10	40	20	0,22	1319	9
30	10	40	20	0,32	1385	11
20	20	40	20	0,22	1162	4
20	20	40	20	0,32	1361	12
10	30	40	20	0,22	1206	7
10	30	40	20	0,32	1230	10
20	20	40	20	0,22	1081	5
0	50	40	10	0,22	897	3
0	30	50	20	0,32	1030	5
0	30	50	20	0,22	941	3

Çizelge 3.6'daki basınç dayanımı değerleri dikkate alınarak lento üretiminde kullanılacak obsidyenli ve obsidyensiz hafif beton karışımları arasından birer karışım lento imalatlarında kullanılmak üzere seçilmiştir. Lento imalatında kullanılacak beton karışım oranlarının seçilmesi çalışması Kaleblok Bims A.Ş. firma yetkilileri ile birlikte yapılmıştır. Deney sonuçları incelenerek obsidyen oranının %10'da kalması uygun bulunmuştur. Bu kararın alınmasında fabrika sahasındaki atık obsidyen birikme hızı

3. MATERYAL ve YÖNTEM

etkili olmuştur. Lento üretiminde kullanılmasına karar verilen beton reçeteleri Çizelge 3.7’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.7. Nihai lento üretiminde kullanılmasına karar verilen hafif beton karışım oranları.

Karışım Oranları (%)				Çim/Agr %
Obsidyen (1-4 mm)	Pomza (1-4 mm)	Pomza (4-8 mm)	Pomza (8-12 mm)	
0	60	20	20	0,32
10	30	40	20	0,22

Karar aşamasından sonra seçilen karışımların 1 m³’ü için malzeme miktarları Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.8. %100 pomza agregasından imal edilecek olan betonun 1m³ için ağırlıkça malzeme miktarları.

Malzeme	Ağırlık (gr)
Çimento	250
İri agrega	147,4
Orta iri agrega	152,2
İnce agrega	489,6
Net su	217

Çizelge 3.9. %10 obsidyen ve %90 pomza agregasından imal edilecek olan betonun 1m³ için ağırlıkça malzeme miktarları.

Malzeme	Ağırlık (gr)
Çimento	190
İri agrega	143,5
Orta iri agrega	335,2
İnce agrega(pomza)	243,5
İnce agrega(obsidyen)	134,9
Net su	193,6

Lento imalatında %100 pomza içerikli bir karışım ile %10 obsidyen + %90 pomza içerikli bir karışım kullanılmasına karar verilmiştir. Burada obsidyen miktarının %10’da tutulmasının temel nedeni fabrika sahasındaki atık obsidyen birikme hızı

olduğu ifade edilmelidir. Seçilen %100 pomza içerikli hafif beton ile %10 obsidyen + %90 pomza içerikli beton karışımları incelendiğinde; obsidyen kullanımının aynı basınç dayanımına ulaşmak için kullanılan çimento miktarını azalttığı ancak; birim hacim ağırlığı 1117 kg/m^3 'ten 1206 kg/m^3 'e çıkardığı görülmektedir. Obsidyenin pomzadan daha ağır bir agrega oluşunun bunun temel sebebi olduğu sonucuna varılmıştır.

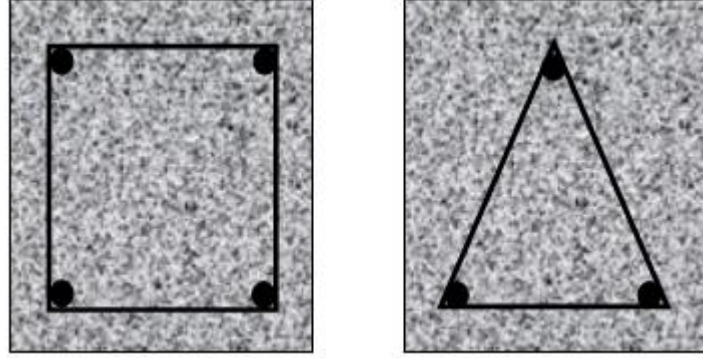
3.2.4. Lento donatısı olarak kullanılacak çelik donatı ve donatı bağlantı şeklinin araştırılması

Lento imalatında kullanılacak çelik donatı ve bağlantı şekli üzerinde ön çalışma yapılması gerekli görülmüş ve bu kapsamda bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında enine ve boyuna donatının bağlantı şekilleri olarak kaynaklı ya da telli mekanik bağlantı seçenekleri üzerinde durulmuş; çekme bölgesindeki boyuna donatı sabit tutulurken basınç bölgesinde tek ya da çift donatı kullanılması alternatifleri deneysel olarak incelemeye alınmıştır. Bu başlık altında boyuna basınç donatısı miktarı ile enine/boyuna donatı bağlantı şeklinin deneysel olarak incelenmesine ilişkin çalışmanın detayları sunulmaktadır.

- **Lento numunesi imalatı**

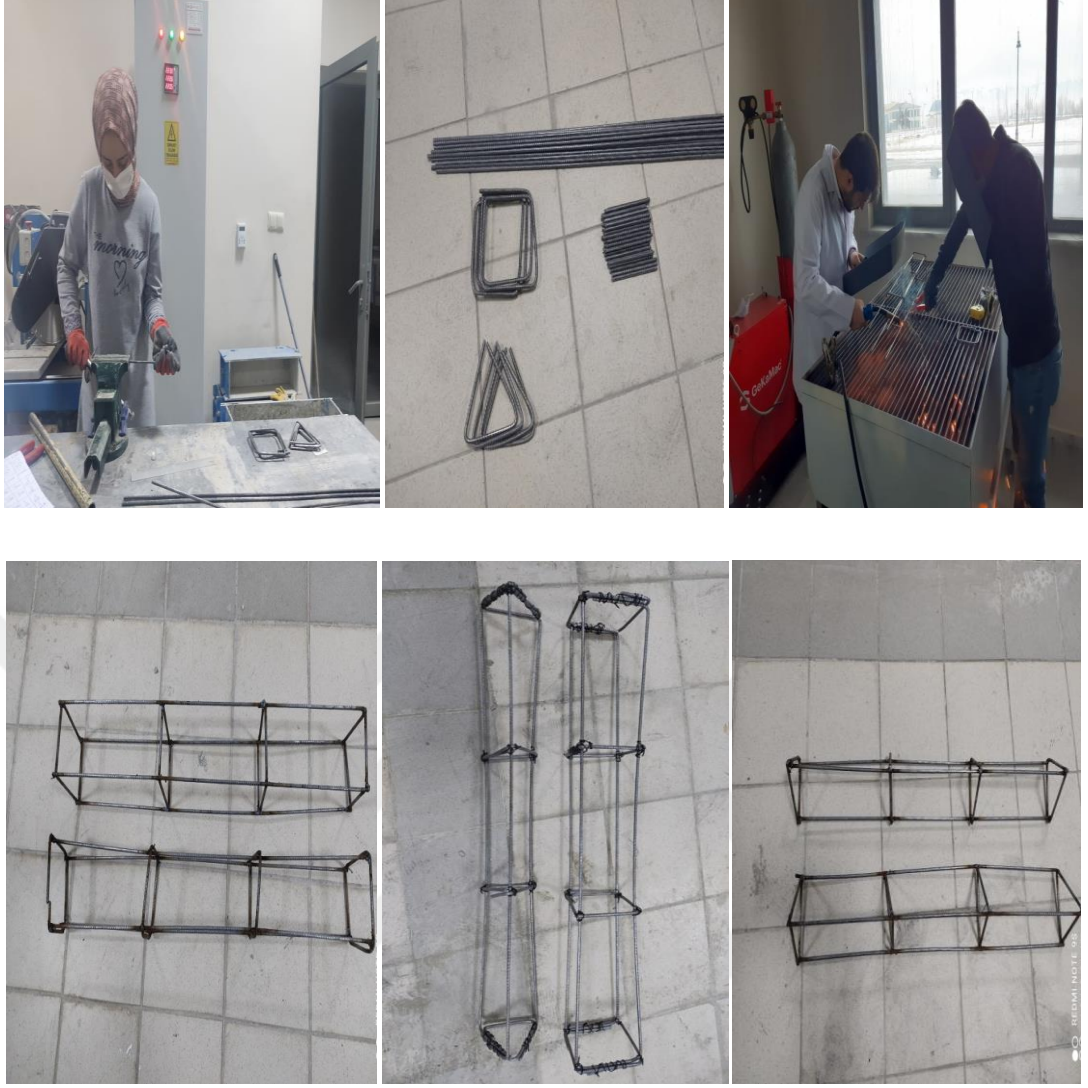
Lentolar sadece çerçeve türü yapılarda değil aynı zamanda yığma yapılarda duvar içerisinde boşluk oluşturma amacıyla kullanılan taşıyıcı elemanlardır. Bu nedenle, maruz kalacağı düzgün yayılı yük lento üzerindeki duvar parçasının ağırlığından ibaret olacaktır. Uygulamada kullanılan duvar malzemeleri (tuğla, blokbims, taş blok, gazbeton blok, vb.) dikkate alındığında lento elemanın zorlanacağı eğilme momentinin tek donatılı bir betonarme kesit ile karşılanabileceği açıktır. Bu nedenle, basınç bölgesinde enine donatının bağlanması için montaj donatısı bulunması yeterli olacaktır. Yine uygulamada sıklıkla kullanılan lento açıklıkları dikkate alındığında lentoları zorlayacak birincil iç kuvvetin eğilme momentleri olduğu, tasarımın eğilme momenti dikkate alınarak yapılması gerektiği açıktır. Bu tür elemanlarda kesme güvenliğini sağlamak için minimum enine donatı kullanılması yeterli olacaktır.

Yukarıda sıralanan hususlar dikkate alınarak Şekil 3.21’de gösterilen kesitler bu bölümdeki deneysel çalışma için tasarlanmıştır. Enine ve boyuna donatı olarak Ø4 çelik çubuk kullanılması öngörülmüştür. Türkiye’de Ø4 çelik çubuk imalatı yapılmakta olmakla birlikte; yerel firmalar üzerinden çalışma için gerekli miktarda bu çapta donatı sağlanamamıştır. Bu nedenle, çalışmada enine ve boyuna donatı olarak Ø5 çelik çubuk kullanılması yoluna gidilmiştir.



Şekil 3.21. Lento imalatı için kullanımı tasarlanan kesitler

Şekil 3.21’de sunulduğu şekilde çekme donatısı 2Ø5 olarak sabit tutulmuş ve basınç donatısı sırasıyla 2Ø5 ve 1Ø5 olarak değiştirilmiştir. 1Ø5 basınç donatısı kullanılan kesitte üçgen etriye kullanılmıştır. Enine donatılar 3 farklı şekilde hazırlanmıştır. Birinci uygulamada tek parça etriye bağ teli ile boyuna donatıya bağlanmıştır. İkinci uygulamada tek parça etriye kaynak ile boyuna donatıya bağlanmıştır. Üçüncü uygulamada ise, kısa çubuklar etriye oluşturacak şekilde kaynakla boyuna donatıya tutturulmuştur. Bu uygulamalara sırasıyla; tel bağlamalı, bükme kaynaklı ve parça kaynaklı etriye isimleri verilmiştir. Enine donatı aralığı 250mm olacak şekilde çalışma yapılmıştır. Donatı hazırlık çalışmalarına ilişkin görsel materyal Şekil 3.22’de sunulmaktadır.



Şekil 3.22. Çelik donatı birleşim türünün belirlenmesi amacıyla kullanılacak lento donatısı hazırlığından görüntüler.

Lento kalıbı olarak Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda bulunan 15x15x75 cm ölçülerindeki çelik kalıplar kullanılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında, henüz, piyasada en çok talep edilen lento boyutları firma tarafından bildirilmediğinden ve kalıp temini yapılmadığından laboratuvarında mevcut olan en geniş açıklıklı kalıp kullanılmıştır.

Donatı hazırlığından sonra Çizelge 3.7'de detayları sunulan ve nihai lento üretiminde kullanılmasına karar verilen hafif beton karışımları kullanılarak donatılı lento imalatları yapılmıştır. Tüm malzemeler ± 1 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır. Daha sonra malzemeler 45 dm³ hacimli laboratuvar tipi betoniyerde kuru karışım

3. MATERYAL ve YÖNTEM

yapılarak yaklaşık 1 dakika karıştırıldıktan sonra karışım suyu eklenmiştir. Su eklendikten sonra karıştırma işlemine devam edilerek taze beton karışımı elde edilmiştir. Bu çalışmaya ilişkin bir görsel Şekil 3.23'te sunulmaktadır.



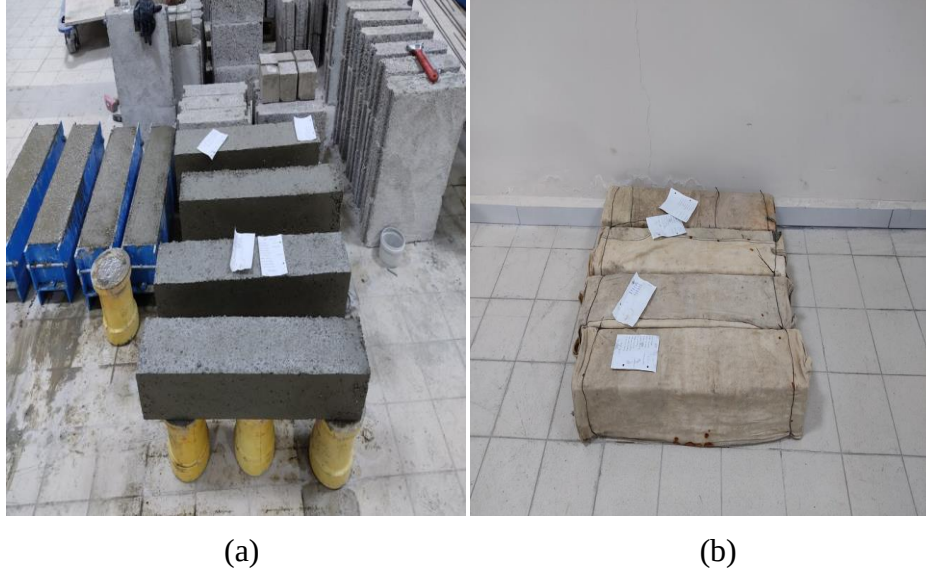
Şekil 3.23. Laboratuvar tipi betoniyerde hafif beton hazırlanması

Hazırlanan 15*15*75 cm kalıplar betoniyerden mala yardımıyla alınan malzemelerle üç aşamada doldurulmuştur. Her üç aşamada da beton karışımı şişlenip tokmaklanmıştır. Şekil 3.24'te aşamalar verilmiştir.



Şekil 3.24. Beton karışımının lento kalıplarına yerleştirilmesi

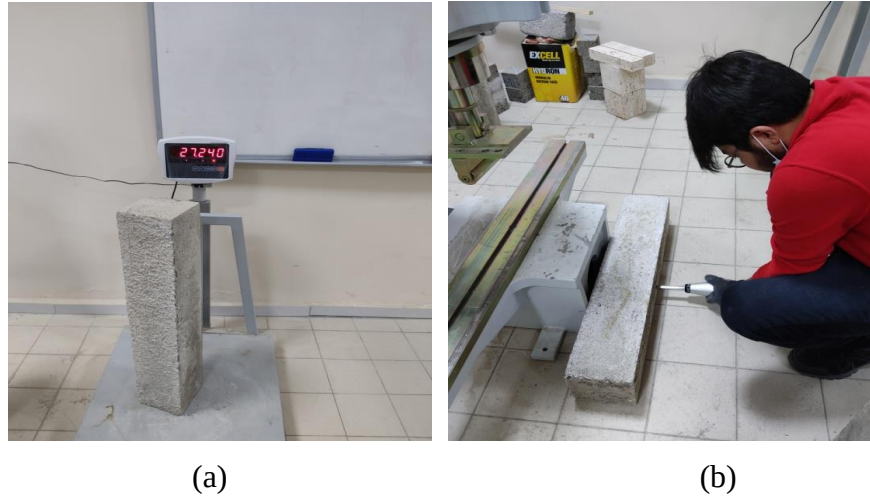
Priz alan numunelere Şekil 3.25'te görüldüğü gibi kalıplardan çıkarılarak ıslak çuval ile sarılarak kür yapılmıştır.



Şekil 3.25. (a) Priz alan numunelerin kalıptan çıkarılması (b) ıslak çuvalla sarılarak kür yapılması.

- **Lento numunelerin deneye tabi tutulması ve çelik donatı bağlantı türüne karar verilmesi**

Donatı bağlantı şeklinin tayini amacıyla üretilen lentolar tek noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuş; yük-orta nokta deplasmanı grafikleri elde edilmiştir. Lentolar eğilme deneyine tabi tutulmadan önce Şekil 3.26’da gösterildiği şekilde birim hacim ağırlıklarını belirlemek amacıyla tartılmış ve Schmidt sertlik çekici deneyi yapılmıştır.



Şekil 3.26. (a) Lentoların birim hacim ağırlığını belirlemek için tartılması, (b) Schmidt sertlik çekici deneyi uygulaması.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu grupta donatı bağlantı şeklinin tayini amacıyla imal edilen lentoların birim hacim ağırlıkları ve 7 günlük beton basınç dayanımları Çizelge 3.10’da sunulmaktadır. %100 pomza içerikli hafif betonun 7 günlük basınç dayanımı 6 MPa, %10 obsidyen içerikli hafif betonun 7 günlük basınç dayanımı ise 9 MPa olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, beton dayanımının düşük olması nedeniyle Schmidt sertlik çekici deneyinden sertlik okuması alınamamış ve basınç dayanımı tayin edilememiştir.

Çizelge 3.10. Donatı bağlantı şeklinin tayini amacıyla imal edilen lentoların birim hacim ağırlıkları ve beton basınç dayanımları.

Lento Enine Donatı Özellikleri	Obsidyen (1-4) mm	Pomza (%)			Silindir Beton Numune Birim Hacim Ağırlık (Kg/m ³)	Lento Birim Hacim Ağırlık (Kg/m ³)	Çimento /Agrega Oranı (%)	Eksenel Basınç Dayanımı (MPa)	Schmidt Basınç Dayanımı (MPa)
		İnce (1-4) mm	Orta (4-8) mm	İri (8-12) mm					
Parça Kaynaklı kare etriyeli	0	60	20	20	1117	1476	32	6	-
Parça Kaynaklı üçgen etriyeli	0	60	20	20		1434	32		-
Tel Bağlamalı Kare etriyeli	0	60	20	20		1459	32		-
Tel Bağlamalı üçgen etriyeli	0	60	20	20		1479	32		-
Bükme kaynaklı kare etriyeli	10	30	40	20	1211	1530	32	9	-
Bükme kaynaklı üçgen etriyeli	10	30	40	20		1493	32		-
Tel Bağlamalı Kare etriyeli	10	30	40	20		1614	32		-
Tel Bağlamalı üçgen etriyeli	10	30	40	20		1519	32		-

Çizelge 3.10 incelendiğinde, %100 pomza agregalı betondan imal edilen lentoların ortalama birim hacim ağırlığının 1462 kg/m^3 ; %10 obsidyen + % 90 pomza agregalı betondan imal edilen lentoların birim hacim ağırlığının 1539 kg/m^3 olarak tayin edildiği görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi lentoların birim hacim ağırlığı fabrika imalat ve sevkiyat prosesleri bakımından önemli bir parametredir ve bu nedenle tüm lentolar deney öncesi tartılarak birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

Obsidyen agregalı hafif betonların basınç dayanımının %100 pomza agregalı lentolara göre %50 daha yüksek olmakla birlikte; birim hacim ağırlıklarının da %100 pomza agregalı betondan imal edilen lentolardan %5,3 oranında daha fazla olduğu görülmektedir. İlaveten, obsidyen agregası kullanılması durumunda daha az çimento kullanıldığı da görülmektedir.

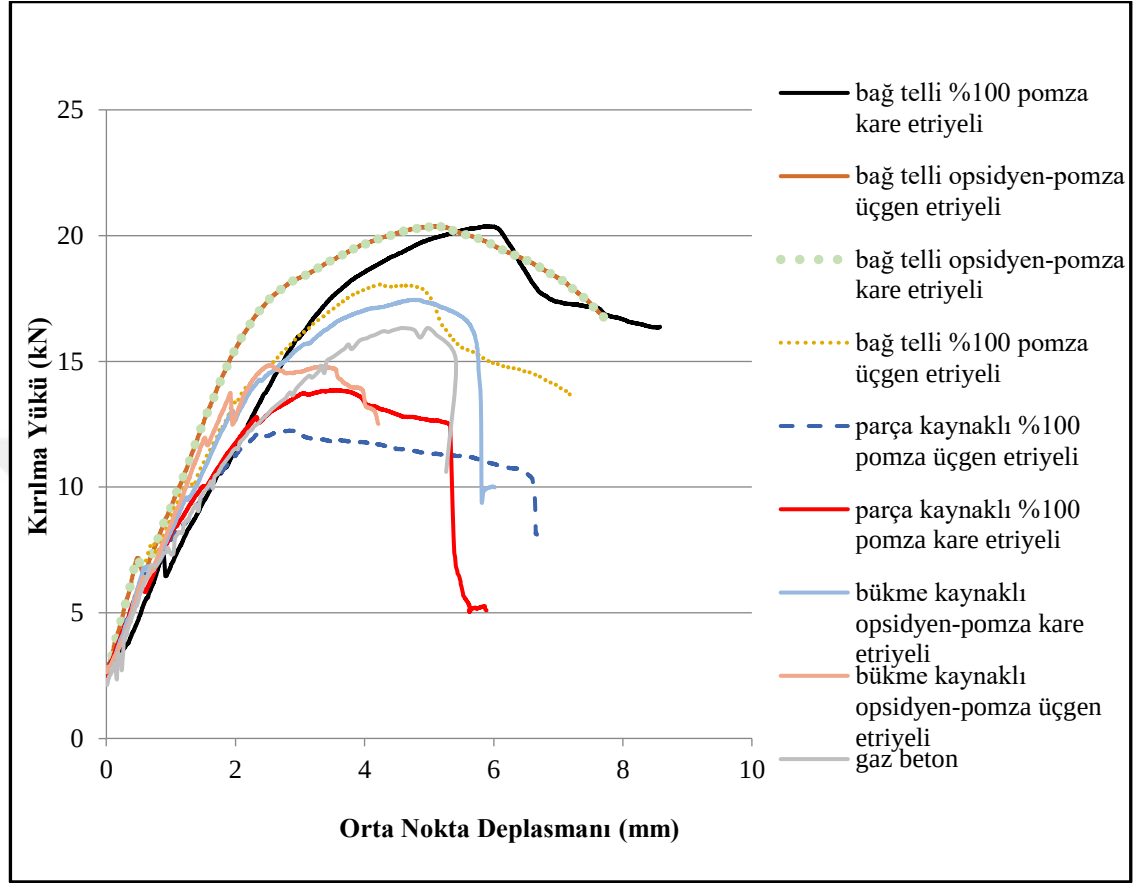
Bu aşamada üretilen lento numuneleri Şekil 3.27’de genel bir görünümü sunulan düzenekte tek noktali eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Üretilen tüm numuneler için yük-orta nokta deplasmanı grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 3.27. Donatı bağlantı tayini amacıyla yapılan lento eğilme deneyine ait genel bir görüntü.

Laboratuvar koşullarında hafif agregalı betondan üretilen lentolara ek olarak; piyasadan temin edilmiş gazbetondan mamul bir lento da benzer şekilde deneye tutulmuş ve yük-orta nokta deplasmanı grafiği elde edilmiş ve donatı bağlantı detayının

taini amacıyla imal edilen tüm lentolara ait grafiklerle birlikte Şekil 3.28’de toplu olarak sunulmuştur.



Şekil 3.28. Donatı bağlantı detayının tayini amacıyla imal edilen tüm lento numunelerine ait yük – orta nokta deplasman grafikleri.

Şekil 3.28 telli bağlantılara sahip dikdörtgen etriyeli lentoların diğer gruplara göre üstün davranışını açıkça göstermektedir. Bahsedilen numunelerin her ikisi de gerek obsidyen katkılı gerekse saf pomza betonu ile 20,3 kN’lik aynı yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Kısa parçaların kısmen kaynatılmasıyla üretilen üçgen etriyelere sahip lento 12,2 kN ile en düşük yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İncelenen grafikler kaynaklı bağlantılara sahip lentoların tel bağlantılı lentolara göre daha düşük yük taşıma kapasitesine sahip olduklarını göstermektedir. İlaveten, çelik tel ile bağlanmış donatıya sahip numunelerin maksimum yüke ulaştıktan sonraki aşamada ani yük düşüşleri yaşamadığı, kaynaklı birleşime sahip lentolara göre daha sünek bir davranış sergilediklerini ifade etmek mümkündür.

Bu aşamadaki çalışmaların neticesinde, Çizelge 3.10 ve Şekil 3.28 birlikte değerlendirilerek, fabrika tarafından üretilmesi muhtemel lentoların imalatında çelik tel ile bağlanmış dikdörtgen etriyeli donatı kafeslerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.2.5. Piyasa talebine bağlı olarak belirlenen boyutlarda lento numunelerinin üretilmesi

Piyananın lento talebi üzerine yapılan araştırma ve Kaleblok Bims A.Ş. firmasına gelen lento siparişleri incelenerek en çok talep edilen lento açıklıklarının 1,30 m, 1,80 m ve 2,40 m olduğu görülmüştür. 1,30 m açıklığındaki lentoların genel olarak oda kapısı imalatında kullanılan lentolar olduğu ve diğer lentolar arasında en çok talep gören lento olduğu belirlenmiştir. Lento kesit boyutlarına ise TS EN 845-2 (2016) koşulları ve lento talepleri birlikte değerlendirilerek 15x18 cm olarak karar verilmiştir.

Belirlenen boyutlardaki lentoların, TS EN 845-2+A1 (2016) imalat kurallarına uygun olarak, çekme ve basınç bölgesinde ayrı ayrı 2Ø5 boyuna donatı ve 250 mm aralıklarla bağ teli ile boyuna donatıya tutturulmuş Ø5 etriye kullanılarak, %100 pomza ve %10 obsidyen + %90 pomza içerikli iki farklı hafif beton reçetesi kullanılarak imal edilmelerine karar verilmiştir. İmal edilen lentoların eğilme ve kayma dirençlerinin tayini için TS EN 846-9 (2016) standardı uyarınca deneyler yapılmıştır.

Bu bölümde piyasada çokça talep gören 3 farklı açıklıkta hafif lento üretimi ve mekanik testlerinin yöntemi hakkında bilgi sunulmaktadır.

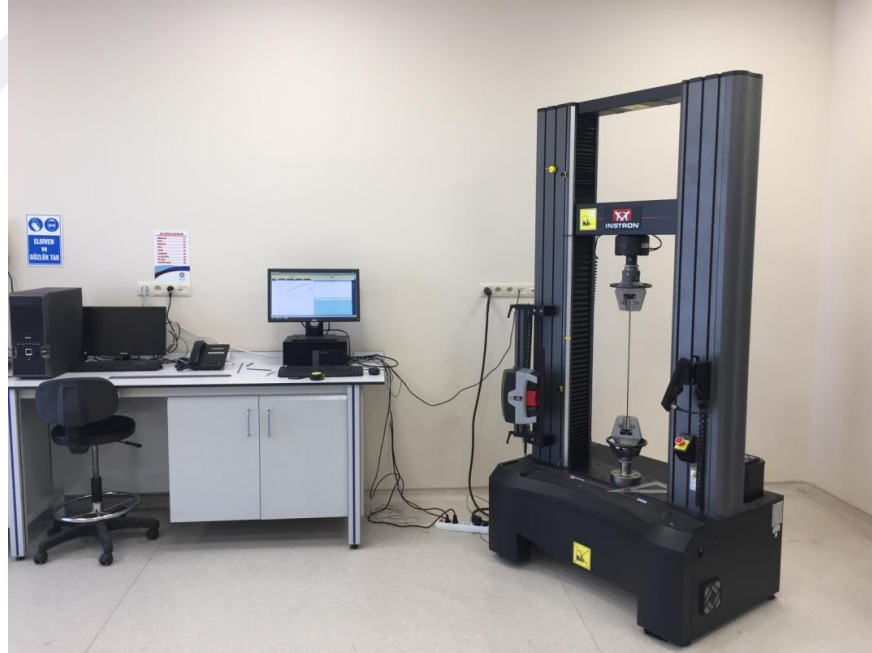
- **Lento hazırlama süreci**

Tez çalışmasının amacına uygun olarak hafif lentoların eğilme ve kayma dayanımlarının belirlenmesi için farklı iki karışım kullanılarak, Çizelge 3.11’de özetlendiği şekilde farklı boyutlarda lentolar üretilmiştir. Lento adetleri TS EN 845-2 (2016) ve TS EN 846-9 (2016)’ya göre belirlenmiştir. Her boyuttaki lento için, iki farklı beton karışımı kullanılarak, toplam 12’şer adet numune üretilmiştir. Bunların yarısı eğilme yarısı da kayma direncinin tayini amacıyla imal edilmiştir.

Çizelge 3.11. Karar verilen lento boyutları ve adetleri

Lento Uzunluğu (cm)	Lento Kesit Yüksekliği (cm)	Lento Kesit Genişliği (cm)	Adet			
			%100 Pomza Agregalı Beton		%10 Obsidyen+%90 Pomza Agregalı Beton	
			Eğilme Direnci Deneyi	Kayma Direnci Deneyi	Eğilme Direnci Deneyi	Kayma Direnci Deneyi
130	18	15	3	3	3	3
180	18	15	3	3	3	3
240	18	15	3	3	3	3

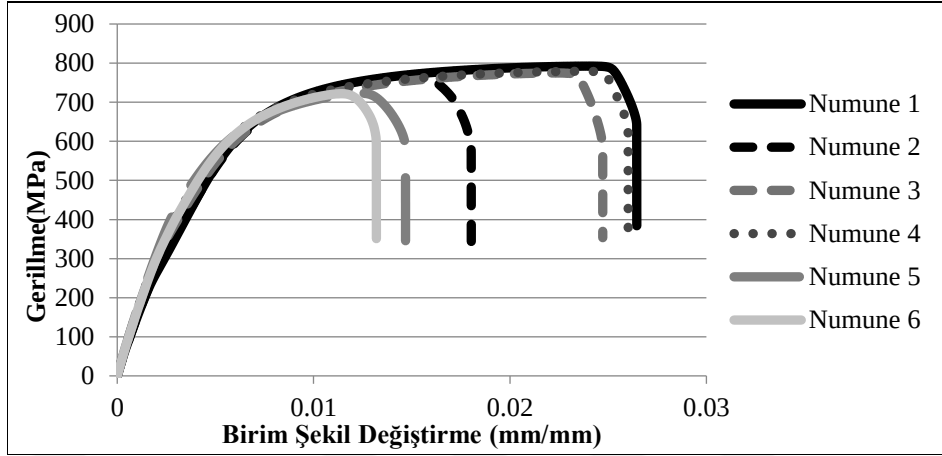
Lento boyut ve adetlerine karar verildikten sonra, donatı kafesi imalatında kullanılacak Ø5 çelik donatı temin edilmiştir. Donatının mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan numuneler, Şekil 3.29’da görüldüğü üzere, Erzurum Teknik Üniversitesi Yüksek Teknoloji Araştırma Laboratuvarı’nda 5 mm/dakika yükleme hızı ile deplasman kontrollü çekme deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.29. Deplasman kontrollü Ø5 çelik donatı çekme deneyi

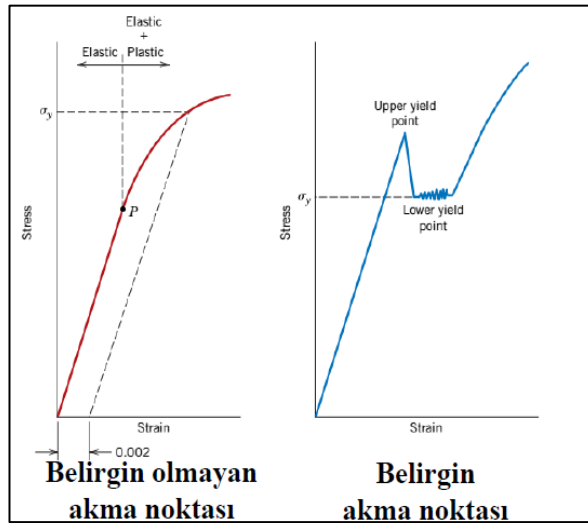
Toplam 6 adet Ø5 çelik çubuk numune üzerinde gerçekleştirilen çelik çekme deneyi sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.30’da ve bu deneylerden elde edilen donatı mekanik özellikleri ise Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Test edilen Ø5 çelik donatı mekanik özelliklerinin TS 708 (2016) standardına uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 3.30. Eksenel çekme deneyine tabi tutulan Ø5 donatıların gerilme- birim şekil değiştirme grafikleri.

Şekil 3.30 incelendiğinde donatıların akma bölgelerinin belirgin olmadığı görülmektedir. Akma, plastik deformasyonun başladığı nokta olarak ifade edilirken bu noktaya karşılık gelen gerilme değerine de akma dayanımı adı verilmektedir ve Anonim 2008 kaynağına referansla Şekil 3.31 akma bölgesi belirgin olan ve olmayan çelik numuneler için örnek gerilme-birim şekil değiştirme diyagramları sunulmaktadır. Akma bölgesinin belirgin olup olmamasına bağlı olarak malzeme elastik modülü tayin edildiğinden bu husus mekanik davranış bakımından önem arz etmektedir.



Şekil 3.31. Akma noktası belirgin olan ve belirgin olmayan çelik malzeme için örnek gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Anonim 2008).

Şekil 3.30 ve Şekil 3.31 birlikte değerlendirildiğinde imalatı kullanılacak donatı çeliğinin akma noktasının belirgin olmadığı görülmektedir. Bu nedenle, akma dayanımının hesaplanması için 0,002 birim şekil değiştirme noktasından gerilme ve birim şekil değiştirme grafiğinin orantılı olarak arttığı bölgeye bir paralel çizilmiş ve bu çizginin grafiği kestiği nokta malzemenin akma dayanımı olarak tayin edilmiştir. Çizelge 3.12’de sunulan veri toplam 6 adet çelik çekme deneyinden ortalama olarak elde edilen akma ve çekme dayanımı değerlerini ifade etmektedir. Bu durumda kullanılan çelik donatının akma dayanımı 295 MPa, çekme dayanımı ise 758 MPa olarak belirlenmiştir. Ancak, kopma birim uzamaları arasında önemli farklılıklar olduğundan ortalama değer verilmesi yerine 0,013-0,026 mm/mm şeklinde aralık değerleri sunulması uygun bulunmuştur.

Çizelge 3.12. Lento imalatında kullanılan Ø5 çelik donatı mekanik özellikleri

Donatı çapı (mm)	0,002 Birim Şekil Değiştirme İçin Akma Dayanımı (MPa)	Akma Birim Uzaması (mm/mm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Birim Uzaması (mm/mm)
5	~295	~0,002	~758	0,013~0,026

Donatı mekanik özellikleri tayin edildikten sonra, imalat için çelik donatı kafesi hazırlıklarına geçilmiştir. Hizmet alımı yoluyla, profesyonel soğuk demir işçileri tarafından donatı kafesleri hazırlanmıştır. Bu imalat Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Çelik Yapılar Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. Bu imalata ilişkin genel görüntüler Şekil 3.32 ve 3.33’te sunulmaktadır.



Şekil 3.32. Lentolar için donatı kafeslerinin hazırlığı



Şekil 3.33. Tüm boyutlar için hazırlanan donatı kafesleri

TS EN 845-2 (2016) standardı korozyona sebep olabilecek ortam koşullarında kullanılacak lentolar için paslanmaz donatı çeliğİ kullanılması ya da uygun bir şekilde korozyon için önlem alınmasını şart koşmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurularak her boyuttaki lento grubundan ikişer adet elik donatıya antipas uygulaması yapılmıştır. Uygulama detayı Şekil 3.34'te sunulan çalışma neticesinde donatı yüzeyinde antipas kullanımının, aynı beton ile imal edilmiş antipas uygulaması olmayan lento ile kıyaslanarak, mekanik dayanım ve davranış üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.34. Lento donatısına antipas uygulaması

Donatı imalatının tamamlanmasının ardından firma tarafından temin edilen ahşap kalıpların hazırlığına geçilmiştir. Kalıplar yağlanmış ve plastik pas payı aparatları yerleştirildikten sonra donatı kafesi kalıba oturtulmuştur. Bu aşamada, donatının kalıp

3. MATERYAL ve YÖNTEM

yağı ile temas etmemesi ve bu şekilde bir donatı-beton aderans kaybı yaşanmaması için azami dikkatle çalışma yapılmıştır. Donatı kafeslerinin döküm öncesi kalıp içerisindeki genel görünümü Şekil 3.35’te sunulmaktadır.



Şekil 3.35. Beton dökümü öncesi kalıp içerisine yerleştirilen donatı kafesleri

Tüm hazırlıklar tamamlandıktan sonra karışım için hazırlanan malzemeler tartılarak Şekil 3.36’da gösterilen 250 dm³ hacimli betoniyerde karıştırılarak beton üretimi yapılmıştır.



Şekil 3.36. Son dökümlerde kullanılan betoniyer görüntüsü

Betoniyerde hazırlanan hafifi agregalı beton hızlı bir şekilde kalıplara alınmış ve betonun kalıba yerleşmesi için şişleme ve tokmaktama yapılmıştır. Bu çalışmaya

ilişkin genel bir görüntü Şekil 3.37’de sunulmaktadır. Tüm beton karışımlarından basınç dayanımı tayini için 15x15x15 cm ölçülerinde küp numuneler alınmıştır.



Şekil 3.37. Lentolar için beton dökümü çalışmalarından görüntüler

Kaleblok Bims A.Ş. firmasının blokbims imalatı yapılan fabrikalarında üretim sonrası numunelerin hızlı dayanım kazanması ve mümkün olan en kısa sürede piyasaya sevkیاتlarının yapılabilmesi temel olarak iki husus dikkate alınarak çalışma yapılmaktadır. Bunlardan ilki 42,5 R tipi hızlı priz alan yüksek dayanımlı çimento kullanılması, diğeri ise imalat sonrası sıcaklık ve nemin ayarlanabildiği oldukça büyük hacimli bekletme/kür depolarında ürünlerin muhafaza edilmesidir. Benzer durum lento imalatı için de geçerli olacağından lentoların hızlı priz alması için kalıpta bekledikleri sıcaklığın 24 °C - 25 °C aralığında sabit tutulduğu, Şekil 3.38’de genel görünümü verilen, bir bakım çadırı ortamı oluşturulmuş ve numuneler bu koşullarda 48 saat süre ile bekletildikten sonra kalıptan çıkarma işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.38. Lentoların priz alması için hazırlanan ortam

Şekil 3.39'daki gibi kalıptan çıkarılan lentolara ve küp numunelere nemli kür uygulanmıştır. Küp numuneler 3, 7, 28 ve kırım günü olacak şekilde eksenel basınç deneyine tabi tutulurken lentolara 28 gününden sonra eğilme ve kesme deneyi yapılmıştır.



Şekil 3.39. Kalıptan çıkarılan lentolara nemli kür uygulanması

Burada önemli bir noktanın açıklanmasında yarar görülmektedir. Tez çalışması bir bilimsel araştırma olduğundan hafif agregalı beton basınç dayanımları literatüre uygun bir şekilde 3, 7 ve 28. günlerde tayin edilmiştir. İlaveten, kırım günü olarak tabir edilen lento eğilme/kesme direnci deneyinin yapıldığı gün de basınç dayanımı tayin

edilmiştir. Fabrikasyon üretimde lentonun mümkün olan en kısa sürede hasarsız bir şekilde piyasaya arz edilmesi esastır. Ancak, hafif agregalı beton basınç dayanımının zaman içerisindeki gelişiminin takibi bu tez çalışması kapsamında olduğundan lentolar üzerindeki mekanik deneyler imalattan 28 gün sonraki zaman dilimi içerisinde yapılmıştır. Lentolar yük taşıma mekanizmaları bakımından birinci derecede eğilme momentleri ile zorlanan taşıyıcı elemanlardır. Eğilme etkisi altında çalışan betonarme kesitlerde davranış üzerinde etkisi en fazla olan malzeme boyuna donatıdır; betonun moment taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi oldukça azdır (Ersoy 1998). Bir başka ifadeyle, betonun basınç dayanımından ziyade kullanılan donatı çeliğinin mekanik özellikleri lentonun eğilme momenti taşıma kapasitesi üzerinde baskındır. Bu nedenle, fabrika imalatı sonrası lentoların 28 gün öncesi bir dönemde kullanılmasının çatlak oluşumu, vb. bakımından yorumlanabilmesi adına betonun 3, 7 ve 28 günlük dayanımları standart olarak takip edilmiştir.

- **Küp numuneler üzerinde tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerle basınç dayanımı tayini**

Önceki bölümlerde hafif agregalı beton basınç dayanımı tayininde tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerin kullanılacağı belirtilmiş ve bu teknikler hakkında detaylı açıklama sunulmuştur. Tahribatsız dayanım tayini yöntemlerinden Schmidt çekici testi donatı bağlantı şekli tayini için yapılan çalışma sürecinde kullanılmış ancak LC8/9 sınıfı beton ile çalışma yapıldığı için sertlik okumaları alınamamıştır. Çalışmada kullanılan Proceq marka N tipi beton Schmidt çekici minimum 10 sertlik değeri için minimum 20 MPa basınç dayanımı verdiği için; bu gruptaki gerek lentoların ve gerekse lento betonlarının küp numuneleri üzerinde Schmidt sertlik çekici deneyleri yapılmamıştır.

Dökümü yapılan lentoların küp numuneleri için 3, 7, 28 ve kırım günlerinde eksenel basınç deneyi yapılmıştır. Basınç deneyine başlamadan önce her küp numune tartılıp birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Tahribatsız muayene yöntemi olarak ultra ses geçiş hızı deneyi Şekil 3.40'da gösterildiği şekilde uygulanmış ve sonrasında numuneler Şekil 3.41'de sunulduğu şekilde eksenel basınç tayini deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.40. Lentolara ait küp numunelere ultra ses geçiş hızı deneyi yapılması



Şekil 3.41. Lento imalatında kullanılan hafif beton numunelere eksenel basınç dayanımı testi uygulanması.

- **Lento numunelerin eğilme/kayma direnci tayini deneyleri**

3 farklı açıklıkta ve toplam 36 adet, iki farklı beton karışımı kullanılarak imal edilen hafif agregalı betonarme lentolar eğilme ve kayma dirençlerinin tayini amacıyla TS EN 846-9 (2016)'ya uygun bir şekilde yükleme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Bu amaçla, Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda bulunan 200 kN yük ve 100 mm piston hareket mesafesine sahip U tipi eğilme deney gövdesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu sistemde mesnetler arası mesafe 900 mm olduğundan ve TS EN 846-9 (2016) uyarınca lento numunenin mesnetlere en az 100 mm temas etmesi

3. MATERYAL ve YÖNTEM

gerektiğinden deney gövdesinin alt kısmına lentolar için çelik profiller kullanılarak yeni mesnet kirişleri imal edilmiştir. Bu imalata ilişkin görüntüler Şekil 3.42’de sunulmaktadır.

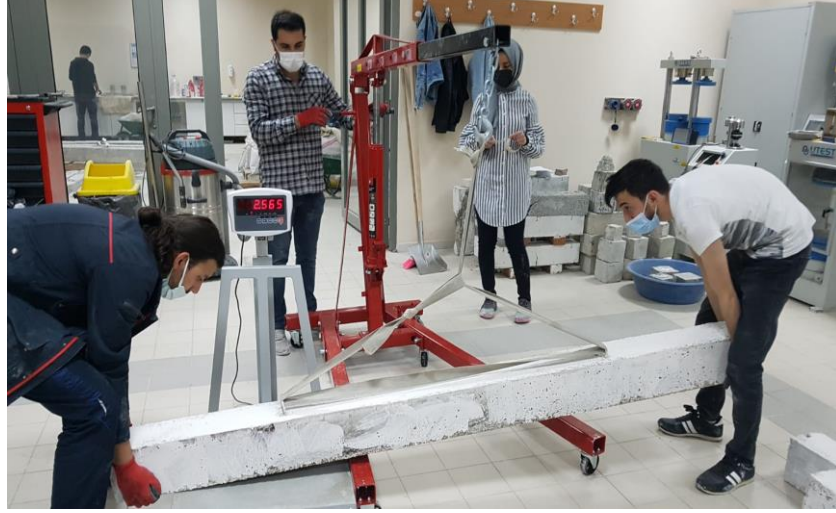


Şekil 3.42. Yükleme düzeneği için ilave çelik mesnet kirişi hazırlıkları

Lentolara yükleme gövdesine alınmadan önce çatlak takibi yapılabilmesi için Şekil 3.43’te gösterildiği şekilde kireç ile badana yapılmış ve birim hacim ağırlık tayini için deney öncesi Şekil 3.44’te gösterildiği şekilde tartım işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.43. Lentolara kireç badanası yapılması



Şekil 3.44. Lentoların deney öncesi tartılma işlemi

TS EN 846-9 (2016) uyarınca lentolar deney düzeneğinde her iki uçtan 100 mm genişliğindeki mesnetlere oturtulmalıdır. Basit mesnet koşullarının sağlanabilmesi amacıyla lentoların oturacağı 100 mm genişlikli mesnetlere ince bir sıra halinde alçı sürülmüş ve lento hızlı bir şekilde mesnet üzerine alınmıştır. Mesnetlere alçı uygulamasına ilişkin genel bir görüntü Şekil 3.45'te sunulmaktadır.



Şekil 3.45. Yükleme düzeneğinde mesnet parçaları üzerine alçı uygulaması

TS EN 846-9 (2016) uyarınca lentoların eğilme ve kayma dirençlerini belirlemek üzere yapılması gereken yüklemeler dikkate alınarak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Standard uyarınca gerek eğilme gerekse kayma direncinin tayininde yük, uzunluğu 50 mm ile 200 mm arasında olan kalın bir yayıcı levha üzerinden



Şekil 3.47. Lento kayma direnci tayini deneyi

Bu çalışma kapsamında hafif agregalı beton kullanılarak betonarme lento elemanlar üretilmiş ve mekanik davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu nedenle, hafif betondan mamul kesit ve elemanların iç kuvvet taşıma kapasitelerinin hesabının dikkate alınması gereklidir. Ancak, gerek betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarını içeren TS 500 (2000) ve gerekse depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerini içeren TBDY (2018) hafif betondan mamul taşıyıcı betonarme elemanların tasarımına ilişkin kurallara yer verilmemektedir. Bununla birlikte, normal ağırlıklı betondan mamul bir taşıyıcı elemanın kesme kuvveti taşıma kapasitesi TS 500 (2000) uyarınca Eşitlik 3.6 ile hesaplanmaktadır.

$$V_r = V_c + V_w = 0.52f_{ctd}b_wd(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c}) + \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd}d \quad (3.6)$$

Burada:

V_r : Betonarme elemanın kesme kuvveti taşıma kapasitesi

V_c : Betonarme elemanda beton tarafından taşınan kesme kuvveti

V_w : Betonarme elemanda enine donatı tarafından taşınan kesme kuvveti

f_{ctd} : Beton tasarım eksenel çekme dayanımı

b_w : Kiriş gövde genişliği

γ : Eksenel basınç durumunda $\gamma=0,07$, eksenel çekme durumunda ise $\gamma = - 0,3$ alınan bir katsayı

N_d : Kesite etkiyen eksenel kuvvet

A_c : Gövde kesiti beton alanı

A_{sw} : Kesme donatısı toplam kesit alanı

f_{ywd} : Enine donatı tasarım akma dayanımı

d : Kiriş faydalı yüksekliği' dir.

Eşitlik 3.6 incelendiğinde betonarme kirişlerin kayma dirençleri bir başka ifadeyle kesme kuvveti taşıma kapasiteleri kiriş açıklığından bağımsız; kesit özelliklerine, kullanılan malzeme dayanım(lar)ına, kesite etkiyen eksenel kuvvet değerine ve enine donatı detayına bağlı bir değer olarak hesaplandığı görülmektedir. Tüm lentoların aynı enine ve boyuna donatı detayıyla imal edilmiş olması ile lentoların çalışma prensibi bakımından kirişlere benziyor olması nedeniyle 1,30 m açıklıklı lentolar üzerinde yapılan kayma direnci tayini deneylerinin diğer grup lentoların da değerlendirilmesi bakımından yeterli olacağı düşünülmüştür. Ancak, Eşitlik 3.6 normal ağırlıklı betondan imal edilen betonarme elemanlar için geçerlidir. Bu nedenle, hafif agregalı betondan imal edilen elemanların kayma direnci hesabında kiriş açıklığı, vb. farklı parametrelerin kullanılıp kullanılmadığının netleştirilmesi amacıyla bir araştırma yapılmıştır.

Ulusal teknik mevzuatta hafif betondan imal edilmiş betonarme elemanların hesap ve tasarım ilkelerine dair bir bilgi bulunmayışı uluslararası geçerliliği olan teknik dokümanların araştırılmasına sebep olmuştur. Yapılan tarama neticesinde Amerikan Beton Enstitüsü tarafından yayınlanmış olan ACI 318-19 (2019) standardında hafif betonlarla imal edilen betonarme elemanların kesme direnci hesabında hafif beton kullanılması durumunun dikkate alındığı görülmüştür.

Betonarme elemanların kesme dayanımının betonun taşıdığı miktar ve enine donatı tarafından taşınan miktar olarak iki bileşenle hesaplandığı bu standart “Yapısal Beton İçin Yapım Şartnamesi Gereklilikleri” olarak çevrilebilen Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) adıyla yürürlüktedir. ACI 318-19 (2019)’de betonarme bir kesitte *betonun taşıdığı kesme kuvveti* miktarını, daha önceki versiyonu olan ACI 318-19 (2014)’te 8 farklı bağıntı ile hesaplanmaktayken, 3 farklı bağıntı ile hesaplanabilecek şekilde yeniden düzenlenmiştir. Bu üç denklem kesme kuvveti taşıma kapasitesi hesaplanmak istenen betonarme elemandaki kesme donatısı (enine donatı) miktarına göre kullanılacak şekilde sunulmaktadır. Eşitlik 3.7 ve Eşitlik

3.8, kesitte ACI 318-19 (2019)'a göre minimum ya da minimum miktarın üstünde kesme donatısına sahip betonarme elemanlarda betonun taşıyabileceği kesme kuvveti miktarının hesabında kullanılırken, Eşitlik 3.9, bu durumun dışında kalan (minimum miktar kesme donatısından daha az donatıya sahip) betonarme elemanlarda kullanılmaktadır. Kapasitenin ikinci bileşeni olan ve kesme donatısı tarafından taşınan miktarın hesabında kullanılan bağıntıdaki tüm parametreler bu çalışmada incelenen 1,30 m, 1,80 m ve 2,40 m açıklıklı lentolarda aynı olduğundan burada ayrıca yer verilmemiştir. Ancak, betonun taşıdığı kesme kuvveti hesabında kullanılan bağıntılarda yer verilen ve taşıyıcı betonun ağırlık sınıfını hesaba katan bir parametrenin kullanılıyor olması, bu çalışma bakımından, önemlidir. Eşitlik 3.7, Eşitlik 3.8 ve Eşitlik 3.9 aşağıdaki gibi sunulmaktadır.

$$V_{c,a} = [2\lambda\sqrt{f_c^t} + \frac{N_u}{6A_g}]b_w d \quad (3.7)$$

$V_{c,a}$: Tablo 22.5.5.1 Bağıntı a' ya göre betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi

λ : Standard ya da hafif beton için çarpan

f_c^t : Betonun basınç mukavemeti

N_u : Tasarım eksenel kuvveti

A_g : Kesit alanı

b_w : Kesit genişliği

d : Faydalı yükseklik

$$V_{c,b} = [8\lambda(\rho_w)^{1/3}\sqrt{f_c^t} + \frac{N_u}{6A_g}]b_w d \quad (3.8)$$

$V_{c,b}$: Tablo 22.5.5.1 Bağıntı b' ye göre betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi

λ : *Standard ya da hafif beton için çarpan*

ρ_w : Boyuna çekme donatısı oranı

f_c^t : Concrete compressive strength

N_u : Tasarım eksenel kuvveti

A_g : Kesit alanı

b_w : Kesit genişliği

d : Faydalı yükseklik

$$V_{c,c} = [8\lambda_s\lambda(\rho_w)^{1/3}\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g}]b_wd \quad (3.9)$$

- $V_{c,c}$: Tablo 22.5.5.1 Bağını c' ye göre betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi
 λ_s : Eleman yüksekliğini dikkate alan faktör ($\lambda_s = 21 + d_{10} \leq 1$)
 λ : Standard ya da hafif beton için çarpan
 ρ_w : Boyuna çekme donatısı oranı
 f'_c : Concrete compressive strength
 N_u : Tasarım eksenel kuvveti
 A_g : Kesit alanı
 b_w : Kesit genişliği
 d : Faydalı yükseklik

ACI 319-19 (2019) tarafından sunulan Eşitlik 3.7, Eşitlik 3.8 ve Eşitlik 3.9 incelendiğinde hiçbirinde eleman boyunun hesaba katılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada incelenen lentoların tamamının enine ve boyuna donatıları ve kesit geometrik ölçüleri aynıdır. Bu nedenle, 1,30 m açıklığındaki lentoların kesme direnci tayini deneyinin 1,80 m ve 2,40 m açıklıklı lentolar için de değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

ACI 318-19 (2019) uyarınca betonarme kesit/elemanlar için tüm betonarme hesaplarında, Eşitlik 3.7, Eşitlik 3.8 ve Eşitlik 3.9'da da görüldüğü üzere, beton ağırlık sınıfını dikkate almak amacıyla λ faktörü kullanılmaktadır. Literatürde tartışmalara konu olmuş λ faktörü üzerine yapılan çalışmalardan Yang ve Ashour (2015) çalışması hafif betondan mamul elemanların kesme direnci hesabında yeni faktör hesaplama metodu önermiş olsa da; ACI 318-19 (2019) λ faktörünü Çizelge 3.13 ve Çizelge 14'te sunulduğu şekilde beton yoğunluğuna ve agrega içeriğine bağlı olarak iki ayrı parametre üzerinden tekil değerler olarak sunmuştur.

Çizelge 3.13. Betonun denge yoğunluğuna bağlı olarak hafif beton için λ katsayıları ACI 318-19 (2019).

w_c (kg/m ³)	λ
≤ 1600	0.75
$1600 < w_c \leq 2160$	$0.0075w_c \leq 1.00$
> 2160	1.00

Burada;

w_c : Betonun denge yoğunluğu' dur.

Çizelge 3.14. Betonun agregâ bileşimine bağı olarak hafif beton için λ katsayıları ACI 318-19 (2019).

Beton agregası	λ
Tamamı hafif agregâ	0.75
İnce agregâ normal ve hafif agregânın karışımı; kaba agregâ tamamen hafif agregâ	0.75-0.85*
İnce agregâ tamamen normal kum – kaba agregâ tamamen hafif agregâ	0.85
İnce agregâ tamamen normal kum – kaba agregâ normal agregâ ile hafif agregânın karışımı	0.85-1.00**

*: Normal ağırlıklı ince agregânın mutlak hacmine bağı olarak, ince agregânın toplam mutlak hacminin bir fonksiyonu olarak 0,75 ile 0,85 arasında doğrusal interpolasyona izin verilir.

** : Normal ağırlıklı iri agregânın mutlak hacmine bağı olarak, ince agregânın toplam mutlak hacminin bir fonksiyonu olarak 0,75 ile 0,85 arasında lineer interpolasyona izin verilir.

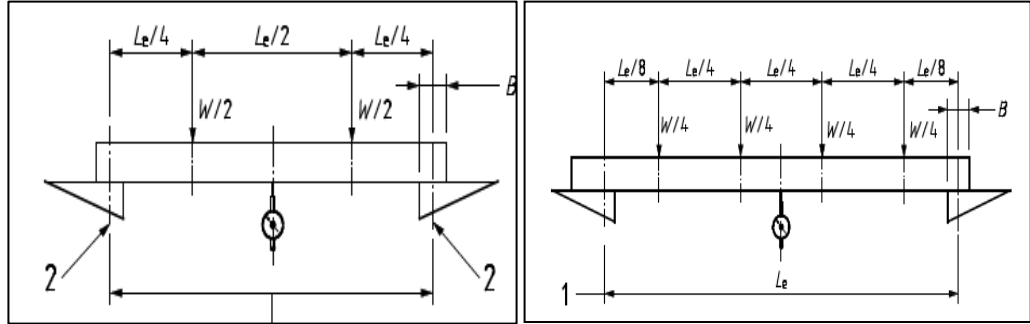
Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14’te sunulan λ faktörleri hafif betonun betonarme imalatla kullanılması durumunda dayanım aynı olsa bile donatı-beton arasındaki tutunmanın zayıf olabileceğı kabulünden hareketle, hafif betonun azaltılmış mekanik özelliklerini yansıtmak amacıyla işlemlerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, ACI 319-19 (2019) hafif taşıyıcı betonların tokluk ve dayanımlarının aynı dayanıma sahip normal betonla özdeş olduğu deneysel olarak gösterilmediğı süreç; 34,5 MPa (5000 psi)’dan daha yüksek dayanımlı betonların özel moment taşıyıcı çerçevelerde, özel yapısal duvarlar ve temellerinde kullanımına izin vermemektedir.

Betonarme elemanların kesme kuvveti taşıma kapasitelerine ilişkin olan sunulan hesaplama yaklaşımları, TS 500 (2000) ve ACI 318-9 (2019), birlikte değerlendirildiğinde deneysel olarak 1,3 m açıklıklı lentoların kesme direncinin tayin edilmesinin diğer grupları da temsil edeceği sonucuna ulaşılmıştır. İlâveten, teorik kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin teorik olarak hesaplanması durumunda Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14’te sunulan faktörlerin kullanılabileceğı sonucunu da ayrıca varılmıştır.

Lentoların kesem direnci tayini haricinde yapılan ikinci mekanik davranış inceleme deneyi ise eğilme direncini tayini deneyleri olmuştur. TS EN 846-9 (2016) lentoların eğilme direncinin tayini amacıyla iki ya da dört noktalı yükleme deneylerinin

3. MATERYAL ve YÖNTEM

yapılmasını öngörmektedir. Bu yüklemelere ilişkin şematik çizimler Şekil 3.48’de sunulmaktadır.



Şekil 3.48. TS EN 846-9 (2016) uyarınca lento numunesinin eğilme direncinin belirlenmesi amacıyla yapılması gereken iki ve dört noktalı yükleme şemaları.

Şekil 3.49’da iki noktalı ve Şekil 3.50’de dört noktalı eğilme deneyi uygulamalarına ilişkin görsel sunulmaktadır.



Şekil 3.49. İki noktalı lento eğilme deneyi



Şekil 3.50. Dört noktalı lento eğilme deneyi

Burada önemli bir hususa açıklık getirilmesinde yarar görülmektedir. Lento genişliği arttıkça, özellikle 2,40 m açıklıklı lentolarda, iki noktalı eğilme deneyinde sisteme sonradan eklenen mesnet kirişlerinde deformasyonlar meydana gelmeye ve yükleme mekanik olarak sorunlu hale gelmeye başlamıştır. Bu nedenle, 2,40 m'lik lentolarda dört noktalı eğilme deneyine geçilmesine karar verilmiştir. Bu deneylerde yükleme başlığı olarak öncelikle, Şekil 3.50'de gösterildiği şekilde, 16 mm kalınlıklı bir aktarma plakası kullanılmışsa da ilerleyen yükler de bu plaka rijitliğinin de yeterli olmadığı görülmüştür. Bu durumda, Şekil 3.51'de gösterilen, daha rijit bir yükleme kirişi kullanılarak deneylere devam edilmiştir.



Şekil 3.51. Dört noktalı lento eğilme deneyi için yükleme kirişi değişimi

TS EN 846-9 (2016) eğilme direnci tayini deneyinde lento orta noktasının yüklemeye paralel yöndeki düşey yer değiştirmenin yanı sıra aynı noktadaki yatay deformasyonun da ölçülmesini şart koşturmaktadır. Buradaki amaç yüklemenin merkezi

olup olmadığının teyididir. Eksantrik bir yükleme doğal olarak yükleme dik doğrultuda bir yer değiştirmeye de sebep olacaktır. Bunun kontrolü amacıyla lento orta noktasının yatay yer değiştirme değerinin ölçülmesi şart koşulmuştur. Ancak, yükleme için kullanılan sistemde bu ölçümün yük ve orta nokta düşey deformasyonunu ölçen dahili sensörler haricinde sisteme ilave bir elektronik ölçüm sensörü bağlanması mümkün olmamıştır. Bu durumda, manuel olarak okuma yapılabilen ve 0.01 mm hassasiyetle ölçüm yapan bir deformasyon ölçüm saati Şekil 3.52’de sunulduğu gibi kullanılarak ölçüm alınmıştır. Yapılan deneylerin hiçbirinde kayda değer bir yatay yer değiştirme okuması alınmamıştır. Alınan okumaların tamamı 1 mm değerinin altında kalmıştır.



Şekil 3.52. Lento eğilme direnci deneyinde orta nokta yanal yer değiştirme ölçümü

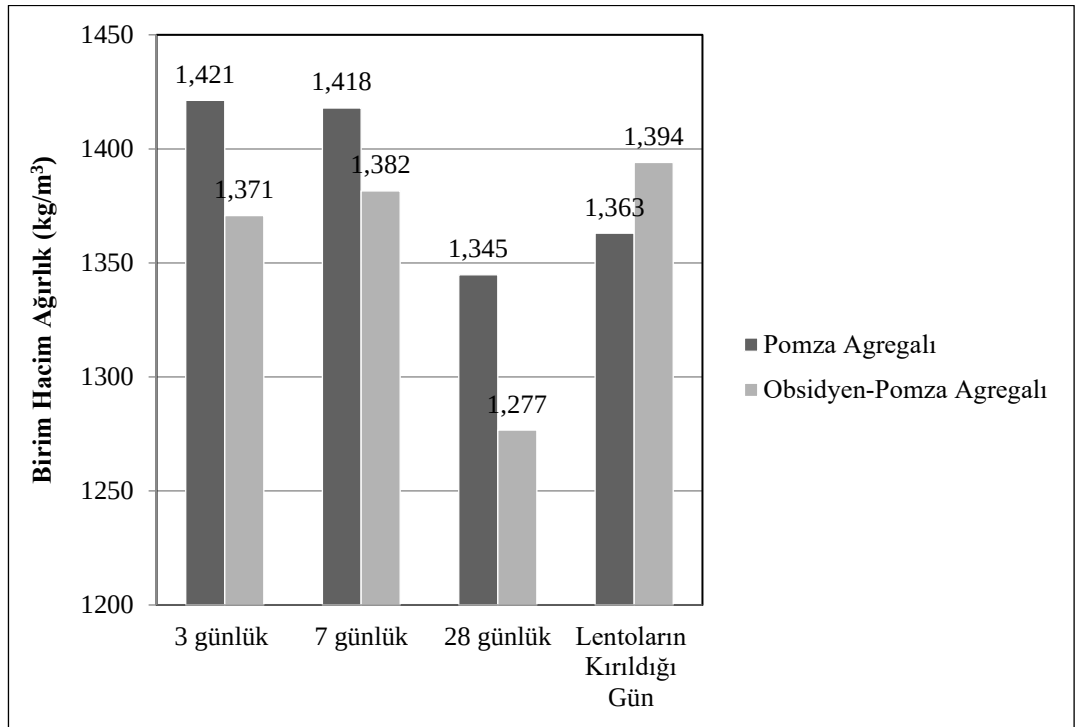
Kesme direnci tayini deneyinden farklı olarak, sistemde yapılan iyileştirmeler neticesinde tüm lento gruplarında imal edilen numunelerin eğilme dirençleri deneysel olarak elde edilmiştir. Eğilme elemanlarının teorik moment taşıma kapasiteleri TS 500 (2000)’de esas alınan Taşıma Gücü Yöntemi uyarınca hesaplanmaktadır. TS 500 (2000) uyarınca moment taşıma kapasitesinde esas alınan temel kabuller ACI 318-9 (2019) ile aynıdır. Ancak, ACI 318-9 (2019) hafif betonun eğilme dayanımına olan katkısının Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14’te sunulan λ değerlerinden uygun olanı ile modifiye edilmesine olanak sağlamaktadır. Eğilme elemanlarının moment taşıma kapasitesi öncelikle boyuna çekme donatısı oranına bağlı olup eleman göçme mekanizması dengeli donatı oranına bağlı olarak; çekme kırılması, dengeli kırılma ve basınç kırılması olarak meydana gelebilir. Lento tasarımında ise hafif beton kullanıldığından; teorik kesit moment taşıma kapasitesi hesaplarında Taşıma Gücü Yöntemi esas alınarak yapılan hesaplamalarda ACI 318-9 (2019) tarafından önerilen λ katsayılarının kullanılabileceği düşünülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında pomza türü hafif agrega ile hafif yapı elemanları üreten Kaleblok Bims A.Ş. firması tarafından temin edilen pomza agregası ile fabrika sahasında atık durumda bulunan ince obsidyen kullanılarak hafif lento türü eleman üretimi deneysel olarak incelenmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde ön çalışmalara ilişkin detaylar sonuçlar ile birlikte sunulmuştur. Bu bölümde, araştırmanın final aşamasında gerçekleştirilen lento üretimi sonucunda elde edilen sonuç ve diğer bulgular yapı malzemeleri ve yapı mekaniği ilkeleri ışığında ilgili literatürle karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

4.1. Lento İmalatında Kullanılan Hafif Agregalı Beton Numunelerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üretilen lentolara ait küp numuneler test %100 pomza agregalı hafif betonun 1270 kg/m^3 ve %10 obsidyen + %90 pomza agregalı karışımlar için karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 4.1’de birim hacim ağırlıkları verilmektedir.



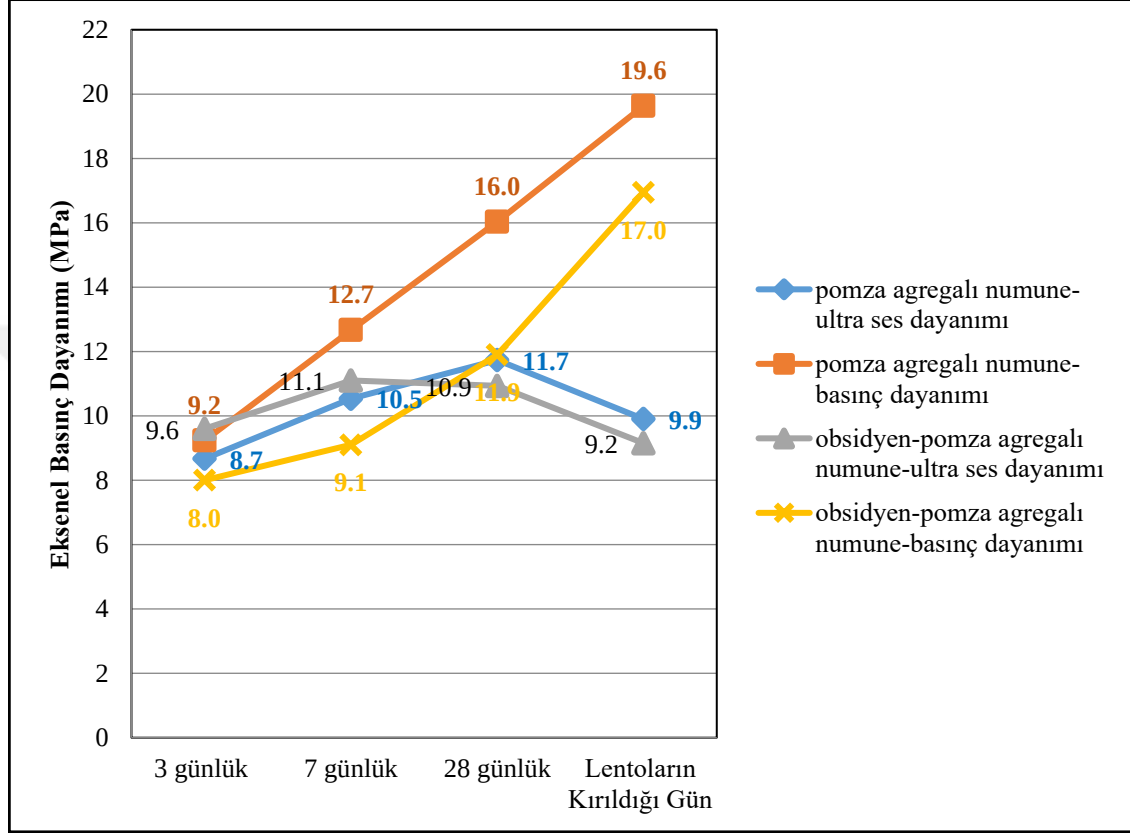
Şekil 4.1. Lentolara ait küp numunelerin farklı günlerdeki birim hacim ağırlıkları

Öncelikle, Şekil 4.1’de sunulan değerlerin o gün basınç dayanımı testine alınacak küp numuneler üzerinden elde edildiği ve sonrasında bu numuneler kırılarak eksenel basınç dayanımlarının belirlendiği ifade edilmelidir. Bir başka deyişle, süreç içerisindeki birim hacim ağırlığı takibi aynı numuneler üzerinde yapılmamıştır. Şekil 4.1’de sunulan verinin bu husus ışığında değerlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere ilk 28 günlük süreç içerisinde %100 pomza agregalı betonun birim hacim ağırlığının %10 obsidyen + %90 pomza agregalı betonun birim hacim ağırlığından daha yüksek seyrettiği görülmektedir. %100 pomza içerikli hafif beton imalatında daha fazla çimento kullanılmış olması ve çimentonun özgül ağırlığının karışımdaki en yüksek malzeme oluşunun bu bulgunun nedenlerinden birisi olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, boşluklu yapıdaki pomzanın taze beton imalarında bünyesine aldığı suyun da bu ağırlık farkına neden olması muhtemeldir. Bununla birlikte, deneyin yapıldığı gün her iki beton numunelerinin birim hacim ağırlıklarının birbirine çok yakın değerler aldığı görülmektedir. Deneylerin yapıldığı gün %100 pomza agregalı hafif betonun birim hacim ağırlığı 1363 kg/m^3 ve %10 obsidyen + %90 pomza agregalı betonun ise 1394 kg/m^3 olarak tayin edilmiştir. Aradaki fark ihmal edilebilecek düzeyde; %4 mertebesinde dir.

Literatürdeki ilgili çalışmalardan; Akkaş (2011) pomza ile üretilen hafif betonların birim hacim ağırlıklarını 1722 kg/m^3 bulurken Türkel ve Kadiroğlu (2011) çalışmasında hafif betonların birim hacim ağırlığını 1440 ile 1850 kg/m^3 aralığında elde etmiştir. Akyüncü (2017) ise hafif beton çalışmasında sadece pomza agregasını kullandığı üretimde birim hacim ağırlıkları ortalama $900\text{-}1400 \text{ gr/dm}^3$ elde etmiştir. Farklı kür koşullarının pomza agregasından üretilmiş hafif betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği Kotan (2009) çalışmasında, bu tez çalışmasında da kullanılan agreganın çıkarıldığı Erzurum – Pasinler bölgesi Demirdöven bölgesi pomzası ile 1039 ile 1272 kg/m^3 aralığında birim ağırlıklı hafif beton elde etmiştir. Erişilebilen literatürdeki ilgili değerlerin bu tez çalışmasında elde edilen 1363 ile 1394 kg/m^3 birim hacim ağırlık değerleri ile uyumlu olduğunu ifade etmek mümkündür. Ancak, pomza agregası son derece boşluklu ve heterojen yapıda bir malzemedir. Bu nedenle, pomza özelliklerine bağlı olarak hafif agregalı beton birim hacim ağırlıklarında önemli ölçüde değişkenlik görülmesi mümkündür.

Birim hacim ağırlık tayini sonrası hafif agregalı beton numuneleri üzerinde önce ultra ses geçiş hızı sonrasında ise eksenel basınç tayini deneyi yapılmıştır. Sırasıyla tahribatsız ve tahribatlı iki yöntemin uygulaması olan bu çalışma sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerleri ile oluşturulan grafik Şekil 4.2’de sunulmaktadır.



Şekil 4.2. Lentolara ait küp numunelerin ultra ses geçiş hızı deneyi ve eksenel basınç testi ile elde edilen basınç dayanımı değerleri.

Şekil 4.2’de sunulan grafik tahribatlı eksenel basınç testi sonuçları üzerinden incelendiğine, %100 pomza içerikli betonun 9,2 MPa ve %10 obsidyen + %90 pomza içeren betonun ise 8,0 MPa eksenel basınç dayanımı ile üretildiği görülmektedir. Çalışmada kullanılması hedeflenen beton sınıfının LC8/9 olduğu dikkate alındığında, hazırlanan karışımların gerek kür ve gerekse kullanılan 42,5 R tipi çimento etkisi ile erken dayanım aldığı ve hedef beton basınç dayanımına 3 günde ulaştıklarını ifade etmek mümkündür. Bununla birlikte, %100 pomza içerikli betonun 28 günlük basınç dayanımının 16,0 MPa ve %10 obsidyen + %90 pomza içeren betonun ise 11,9 MPa olduğu görülmektedir.

Deney düzeneğinin modifikasyon ihtiyacının ortaya çıkması nedeniyle 28. günde yapılamayan lento yükleme deneyleri imalattan yaklaşık 3 ay sonraki bir dönemde yapılabilmektedir. Bu nedenle, kırım günü olarak adlandırılan gündeki dayanım değerlerinin yaklaşık 90 günlük dayanım değerleri olduğunu kabul etmek mümkündür. Bu durumda ise %100 pomza içerikli betonun 19,6 MPa ve %10 obsidyen + %90 pomza içeren betonun ise 17,0 MPa eksenel basınç dayanımına ulaştığı görülmektedir.

Şekil 4.2’de sunulan grafik incelendiğinde her iki yöntemle elde edilen 3 günlük basınç dayanımı değerleri birbirine oldukça yakın iken beton dayanım aldıkça farklar oluştuğu ve ultra ses geçiş hızı değeri kullanılarak elde edilen basınç dayanımlarının kırım sonucu elde edilen değerlerden düşük olacak şekilde elde edildiği görülmektedir. Basınç dayanımları beton yaşı arttıkça artarken ultra ses hızı yöntemi ile daha düşük beton dayanımı değerleri elde edildiği görülmektedir. Zamanla pomza boşluklarındaki suyun buharlaşarak numune içerisinde madde içermeyen boşluk miktarında artışın meydana gelmiş olmasının bu bulgunun nedeni olabileceği düşünülmektedir.

Anımsanacağı üzere, ultra ses geçiş hızı deneyi gibi tahribatsız yöntemler kullanılarak hafif agregalı beton basınç dayanımının, fabrikasyon sürecinde bir erken kalite kontrol yöntemi olup olmayacağının araştırılması bu uygulamanın temel nedenidir. Görüldüğü üzere %100 pomza agregalı hafif betonun ultra ses geçiş hızı deneyi ile elde edilen beton basınç dayanımı 8,7 MPa, kırım sonucunda elde edilen basınç dayanımı ise 9,2 MPa olarak belirlenmiştir. Kırım sonucu elde edilen dayanım referans alındığında; ultra ses geçiş hızı deneyinin %5,4 farklı sonuç verdiği görülmektedir. Benzer şekilde, %10 obsidyen + %90 pomza agregalı hafif betonun ultra ses geçiş hızı deneyi ile elde edilen beton basınç dayanımı 9,6 MPa, kırım sonucunda elde edilen basınç dayanımı ise 8,0 MPa olarak belirlenmiştir. Bu gruptaki hafif agregalı betonlar için de kırım sonucu elde edilen dayanım referans alındığında; ultra ses geçiş hızı deneyinin %20,0 farklı sonuç verdiği görülmektedir. Bu durumda, %100 pomza agregalı betonlar için ultra ses yönteminin erken dönem basınç dayanımı tayini için kullanılabileceği, ancak obsidyen katkılı betonlar için önerilmeyebileceği sonucuna ulaşmakla birlikte; bu konuda daha sağlıklı bir değerlendirmenin daha fazla sayıda deneysel çalışmaya muhtaç olduğunu ifade etmek mümkündür.

Hafif agregalı beton dayanımlarının literatürle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amacıyla incelenen Beycioğlu vd (2014) çalışmasında hafif beton üretiminde silis numunesinin etkisinin incelendiği görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda % 0 silis olan üretimde ortalama basınç dayanımı 16,49 MPa, ultra ses geçiş hızı 3,34 km/s olarak rapor edilmiştir. Kabay (2009), çalışmasında hafif agregalı betonlarda 28 günlük ortalama basınç dayanımını yaklaşık 21 MPa ve ultra ses geçiş hızını 3,2 km/s elde edildiği görülmektedir. Akkaş (2011), çalışmasında numunelerinde 7 günlük basınç dayanımı 12,5 MPa iken 28 günlük eksenel basınç dayanımları ise 14,04 MPa'dır. Ultra ses geçiş hızı ise 2,95 km/s'dir. Akyüncü (2017), hafif beton çalışmasında hafif betonlarının 7 günlük basınç dayanımları ortalama 8,5 MPa iken 28 günlük basınç dayanımları ortalama 9 MPa'dır. Tüm bu çalışmalar birlikte ve birim hacim ağırlık değerleri de dikkate alınarak değerlendirildiğinde bu tez çalışmasında üretilen hafif agregalı betonlar için belirlenen eksenel basınç dayanımlarının literatürle uyumlu olduğunu ifade etmek mümkündür. Ancak, ultra ses geçiş hızı tayini üzerinden kalibrasyon bağıntıları kullanılarak eksenel basınç dayanımı tayininin hafif agregalı betonlarda tartışmalı bir uygulama olduğu görülmektedir. Özellikle pomza türü boşluklu agregalardan imal edilen beton numuneleri üzerinde ultra ses geçişi boşluklarda kesintiye uğradığından, bir başka deyişle daha yavaş geçiş hızları ölçüldüğünden, ölçülen hız üzerinden bir kestirim yapılarak elde edilen basınç dayanımı ve elastik modül değerlerinin tahribatlı deneylerden daha düşük sonuçlar verebildiği görülmektedir.

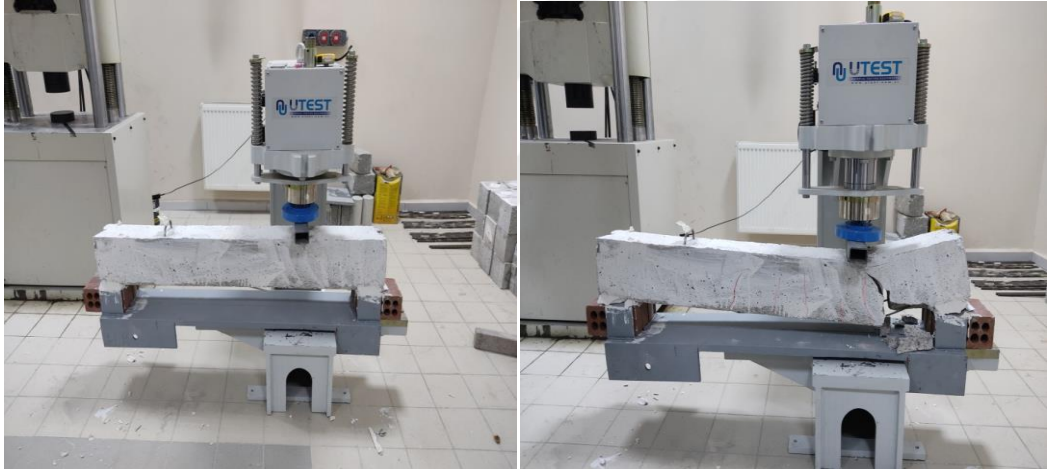
Literatürden örnek olarak alınan ve yukarıda sıralanan çalışmalarda 28 günlük hafif agregalı betonlardan ultra ses geçiş hızı değerinin ortalama 3 km/sa ve kırım sonucunda elde edilen eksenel basınç dayanımı değerinin ise 12 MPa mertebesinde olduğunun rapor edildiğini ifade etmek mümkündür. Normal ağırlıklı betonlar üzerinde yapılan Zebari vd (2017) çalışması ultra ses geçiş hızı ile basınç dayanımı arasında yeni bir kalibrasyon bağıntısı üretilmesi amacıyla gerçekleştirilen bir çalışma olarak literatürde yer almıştır. Bu çalışma kapsamında, ilgili literatürden önemli miktarda ultra ses geçiş hızı – basınç dayanımı verisi toplanmıştır. Söz konusu veri incelendiğinde, normal ağırlıklı betonlarda dayanım arttıkça boşluk miktarının azaldığı ve buna bağlı olarak ultra ses geçiş hızında artışlar olduğunu görmek mümkündür. İlâveten, kaba bir yaklaşımla normal ağırlıklı betonlarda 3,2 km/sa değerindeki bir ultra ses hızının

ortalama 25-30 MPa arasında basınç dayanımına sahip normal ağırlıklı beton numunler üzerinde ölçüldüğünü ifade etmek mümkündür. Bu durum, ultra ses geçiş hızı deneyinin pomza türü hafif agregalı betonlarda normal ağırlıklı betonlardan farklı sonuç verdiğini açıkça göstermektedir. Bu nedenle, hafif agregalı betonlarda ultra ses geçiş hızı deneyi ile malzeme mekanik özelliklerinin tayinine yönelik deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu ifade etmek mümkündür.

Bu konu kapsamında, tekrar Kotan (2009) çalışmasına bakmak yararlı olacaktır. Söz konusu yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan pomza agregası ile bu çalışmada kullanılan pomza agregası aynı ocaktan alınmıştır. Bu çalışmada, farklı kür koşullarına maruz bırakılan pomza agregasından mamul hafif beton numuneleri üzerinde ultra ses geçiş hızları ölçülmüştür. En yüksek ultra ses geçiş hızı değerlerinin su kürüne maruz bırakılmış numunelerde ölçüldüğü rapor edilmiştir. Beton içerisinde ultra ses geçiş hızının yüksek olmasının yüksek dayanım anlamına geldiğini ifade etmek mümkündür. Esasen, içyapıda boşluğun az olması ultra ses geçiş hızı üzerinden mekanik dayanım eldesini daha güvenilir kılmaktadır. Fakat, bu durumun sadece kompasite ile ilişkili olmayıp beton bileşimi ve deney şartları gibi faktörlere de bağlı olduğu Sağsöz (2007) çalışmasında da ifade edilmektedir. Beton iç yapısının nem durumu ultra ses geçiş hızını etkileyen önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Betonda ultrases hızına suyun etkisini iki şekilde incelemek mümkündür. Birinci durumda; çimentoyu oluşturan karmaşık bileşenlerin su ile yaptığı kimyasal reaksiyon olan hidrasyon olayının gelişmesi ve buna bağlı olarak betonun mikro çatlamasının önlenmesi, ikinci durumda ise; suyun beton bünyesindeki boşlukları; ki bu tez çalışması dahilinde özellikle yüksek poroziteli pomza agregası içerisindeki boşlukları, doldurması söz konusudur. Her iki durumda da nemli betonların içindeki ultra ses geçiş hızı, eşit dayanımlı kuru betonlara oranla yüksektir. Zira, Russel (1976) çalışmasında sudaki ses hızının havadaki ses hızının yaklaşık 4–5 katı olduğu ifade edilmektedir. Bu durum, zamanla bünyesindeki suyu kaybeden pomza agregalı betonlarda ultra ses geçiş hızı deneyiyle daha düşük geçiş hızları ve buna bağlı olarak daha düşük basınç dayanımı kestirimleri yapılmasını açıklamaktadır.

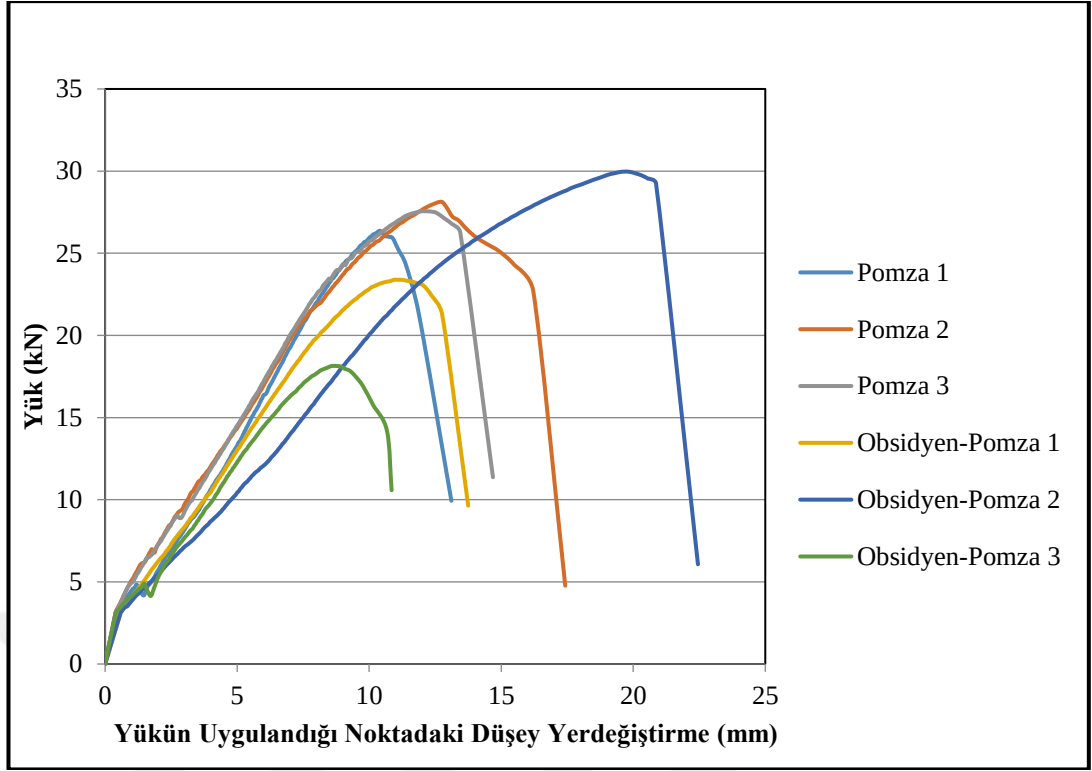
4.2. Lento Kesme Dayanımı Deney Sonuçları

Materyal ve Yöntem bölümünde detaylandırıldığı şekilde, lentoların TS EN 846-9 (2016)'ya uygun şekilde kesme direnci tayini deneyleri sadece 1,30 m açıklıklı lentolar üzerinde yapılmıştır. Bu kapsamda toplam 3 adet %100 pomzadan mamul hafif betondan imal edilen lento ile benzer şekilde 3 adet %10 obsidyen + %90 pomzadan mamul hafif betondan imal edilen lento kesme direncinin tayini amacıyla deneye tabi tutulmuştur. Bu grupta test edilen numunelerden birine ait deney öncesi ve sonrası görüntüler Şekil 4.3'te sunulmaktadır. Şekil 4.3 incelendiğinde, göçmenin kesme kuvvetinin maksimum olduğu bölgede, beklendiği şekilde, diyagonal çatlak oluşumu sonrası meydana geldiği görülmektedir. Bu grupta test edilen tüm lentoların göçme mekanizması aynı şekilde meydana gelmiştir.



Şekil 4.3. Kesme direnci tayini deneyine tabi tutulan 1,30 m açıklıklı lentonun deney öncesi ve sonrası görüntüleri.

1,30 m açıklıklı lentoların kayma direnci deneylerinden elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri Şekil 4.4'te toplu halde sunulmaktadır. Deneysel çalışmada yer yük uygulanan noktadaki düşey yer değiştirme ölçülmüş ve Şekil 4.4'te sunulan grafiklerin oluşturulmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.4. 1,30 m açıklıklı lentoların yük-yer değiştirme grafikleri

Şekil 4.4 incelendiğinde %100 pomzadan imal edilen lentoların kırılma anında taşıdıkları maksimum yük değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu (26,4 kN, 28,1 kN, 27,6 kN), bununla birlikte obsidyen içeren hafif agregalı betondan mamul lentolarda kırılma yükleri arasında önemli farklılıklar olduğu (18,4 kN, 23,4 kN, 30,0 kN) görülmektedir. Bu durumda, %100 pomza agregasından mamul hafif beton ile üretilen lentoların kesme direnci tayini deneyinde taşıyabildikleri maksimum dış yük ortalaması 27,4 kN, %10 obsidyen + %90 pomza içerikli lentoların taşıdığı ortalama dış yük ise 23,9 kN'dur. Obsidyen içerikli lentoların gerek kendi içerisindeki farklı maksimum dış yüklerde kesme göçmesi yaşamış olmaları ve gerekse tamamı pomzadan mamul numunelere göre %12,5 daha oranında daha düşük dış yük taşımış olmalarının, camsı yapıda olan ince obsidyen agregasının hafif betonun donatı ile tutunma özelliklerini zayıflatmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bununla birlikte, Şekil 4.4'te sunulan yük değerleri kırılma anında yük hücresinden okunan maksimum dış yük değeridir; lentonun maruz kaldığı en büyük kesme kuvveti değildir. 1,30 m açıklıklı lentonun matematik modeli üzerinde yapılan hesaplama sistemde oluşan maksimum kesme kuvveti P_{mak} olmak kaydıyla; $0,745P_{mak}$

olduğu belirlenmiştir. Bu durumda deneysel olarak elde edilen kesme kuvveti taşıma kapasitesi öncelikle TS 500 (2000)'de sunulan yöntem kullanılarak hesaplanan teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada ise TS 500 (2000) uyarınca yapılan kesme kuvveti taşıma kapasitesi hesabında betonun taşıdığı miktar ACI 318-19 (2019)'da önerilen ve Çizelge 3.14'ten hafif betonların agregası içeriklerine bağlı olarak tanımlanan λ faktörü ile çarpılmak suretiyle hafif beton etkisi hesaba yansıtılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 3.13'te betonun denge yoğunluğunun 1600 kg/m^3 'ten daha düşük olması durumunda λ faktörü sabit olarak 0,75 alınmaktadır. Bu çalışmada kullanılan her iki beton karışımı için de hafif agregalı betonların denge yoğunluğu 1600 kg/m^3 'ten düşüktür. Bu nedenle, her iki hafif agregalı beton karışımı için de Çizelge 3.14'te uyarınca λ faktörü sabit olarak 0,75 alınmak durumundadır. Oysa, obsidyen kullanımının kesme kuvveti taşıma kapasitesi üzerinde azaltan bir etkisi olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Çizelge 3.14'te sunulan λ faktörü değerlerinin tercih edilmesinin temel nedeni ince agregası olarak obsidyen ve pomzanın birlikte kullanıldığı bir karışımdan mamul betonun lento imalatında kullanılmış olmasıdır. Lentoların kesme direnci deneyi sonrası elde edilen deneysel sonuçlar ile teorik kapasite hesaplama sonuçları toplu bir şekilde Çizelge 4.1'de sunulmaktadır. Deneysel sonuçlar her grup için 3 ayrı testin ortalaması olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.1. 1,30 m açıklıklı lentoların kayma direnci tayini deneyi sonuçları

Agrega İçeriği	Lento Birim Hacim Ağırlığı (kg/m^3)	Deneysel		Teorik		
		Göçme Yüğü (kN)	Göçme Anında Taşınan Maksimum Kesme Kuvveti (kN)	Kesme Kuvveti Taşıma Kapasitesi (kN) TS 500 (2000)	λ faktörü ACI 318-19 (2019)	λ Faktörü Kullanılarak Hesaplanan Teorik Kesme Kuvveti Taşıma Kapasitesi (kN)
%100 pomza	1526	27,4	20,4	26,3	0,75	21,3
%10 obsidyen+ %90 pomza	1499	23,9	17,8	25,1	0,78	20,9

TS EN 846-9 (2016) uyarınca lentoların talep edilen yük taşıma kapasitesini sağlayacak şekilde tasarlanıp imal edilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle, imalat öncesi teorik olarak tasarım hesapları yapılmalıdır. Çizelge 3.14'te sunulan teorik kesme kuvveti taşıma kapasitelerin hesaplanma nedeni esasen bu husustur. Daha önce de belirtildiği gibi TS 500 (2000) hafif betonlarla betonarme tasarım ve analiz ilkelerini içermemektedir. Çizelge 4.1'de TS 500 (2000)'in normal ağırlıklı betondan mamul betonarme elemanlar için sunduğu Eşitlik 3.6 ile hesaplanan kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin deneysel değerlerden oldukça farklı olduğu görülmektedir. Deneysel kapasiteye referansla; bu farklar %100 pomza ve %10 obsidyen + %90 pomza içerikli betondan mamul lentolar için sırasıyla %29,0 ve %40,5'tir. Ancak, ACI 318-19 (2019)'da sunulan λ faktörü kullanılarak hesaplanan değerler ise aynı sırayla %4,5 ve %17,2 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 bütüncül olarak değerlendirildiğinde, obsidyen kullanımının daha az çimento kullanımı nedeniyle tamamı pomzadan mamul lentolara göre birim hacim ağırlıkta anlamlı bir fark oluşturmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, obsidyenin camsı yapısının donatı-beton arasındaki tutunma özelliklerini yer yer zayıflatmak suretiyle kesme kuvveti taşıma kapasitesinde azalmaya yol açtığını ifade etmek mümkündür. Bununla birlikte, hafif agregalı lentoların teorik yük taşıma kapasiteleri hesabında TS 500 (2000)'de normal ağırlıklı betonlar için sunulan hesaplama yönteminin uygun olmadığı; ACI 318-19 (2019)'de önerilen λ faktörü kullanımı benzeri bir yaklaşımın benimsenmesinin daha doğru sonuçlar vereceği ifade edilebilmektedir. Hafif agregalı lentoların teorik kesme kuvveti taşıma kapasitesi hesapları için önerilecek yöntemin doğrulanmasının daha fazla sayıda deneysel çalışma ile mümkün olduğu açıktır.

Erişilebilen literatürde hafif beton kullanılarak imal edilen lento davranışını konu edinen çalışmalarla ilgili olarak yapılan taramada sadece bir çalışmaya erişim sağlanmıştır. Mazur vd (2017) çalışmasında 650 kg/m^3 birim hacim ağırlığına ve 4 MPa eksenel basınç dayanımına sahip gaz beton kullanılarak çelik donatılı olarak imal edilen 2,0 m açıklıklı lentoların 4 noktalı yükleme etkisi altındaki eğilme davranışları incelenmiştir. Deneysel kapasite değerlerinin sonlu eleman modeli üzerinden hesaplanan teorik kapasite değerleri ile kıyaslandığı çalışmada kesme direnci tayinine dair bir

çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle, Mazur vd (2017) çalışması bu tez çalışması kapsamında yapılan kayma direnci tayini çalışmaları ile karşılaştırmalı bir inceleme amacıyla kullanılamamıştır.

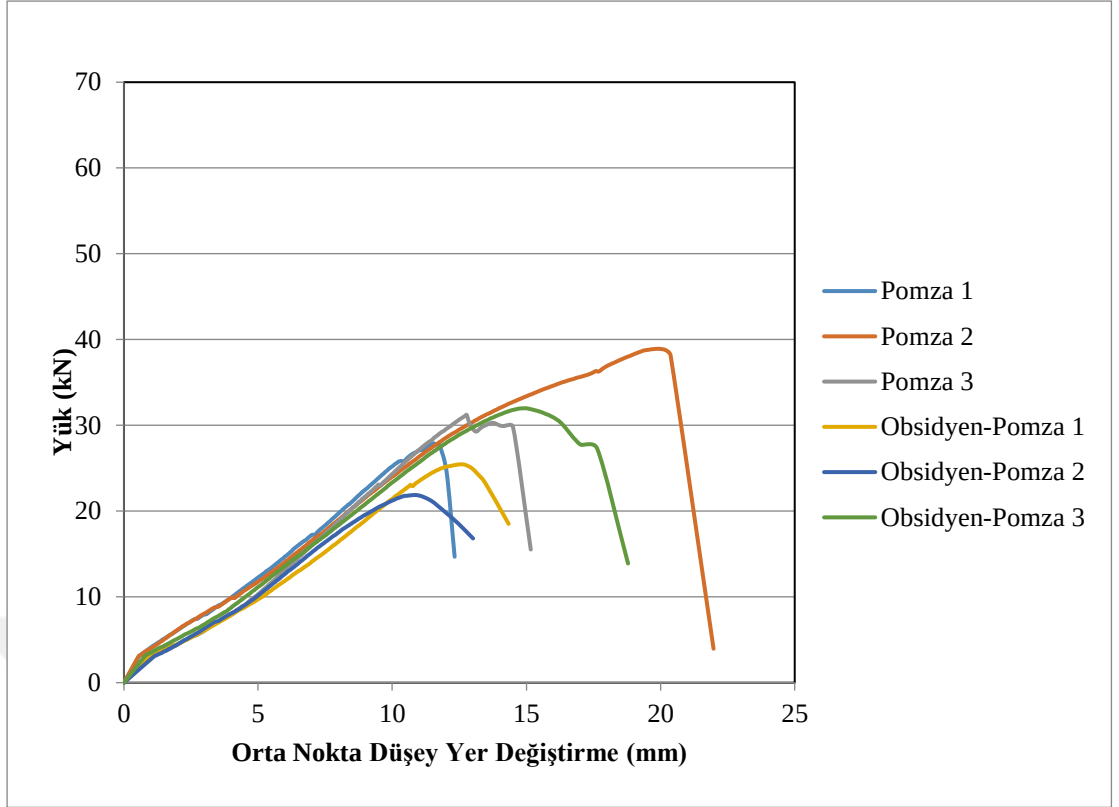
4.3. Lento Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Bu bölümde ise agregası %100 pomza ve %10 obsidyen + %90 pomza olan hafif agregalı beton karışımı ile üretilen lentolardan 1,3 m uzunluklu lentoların kesme direnci deneyi sonrası kalan üçer tanesi, 1,8 m ve 2,4 m açıklıklı lentoların tamamı (her açıklıkta toplam 12 numune) eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Bu gruptaki çalışmalarda kullanılan tüm lentolar eğilme dayanımı deneyi öncesinde tartılarak birim hacim ağırlıkları tayin edilmiştir. 1,80 m açıklıklı bir lentonun eğilme momenti taşıma kapasitesi tayini deneyi öncesi ve sonrasındaki görüntüleri Şekil 4.5'te sunulmaktadır.

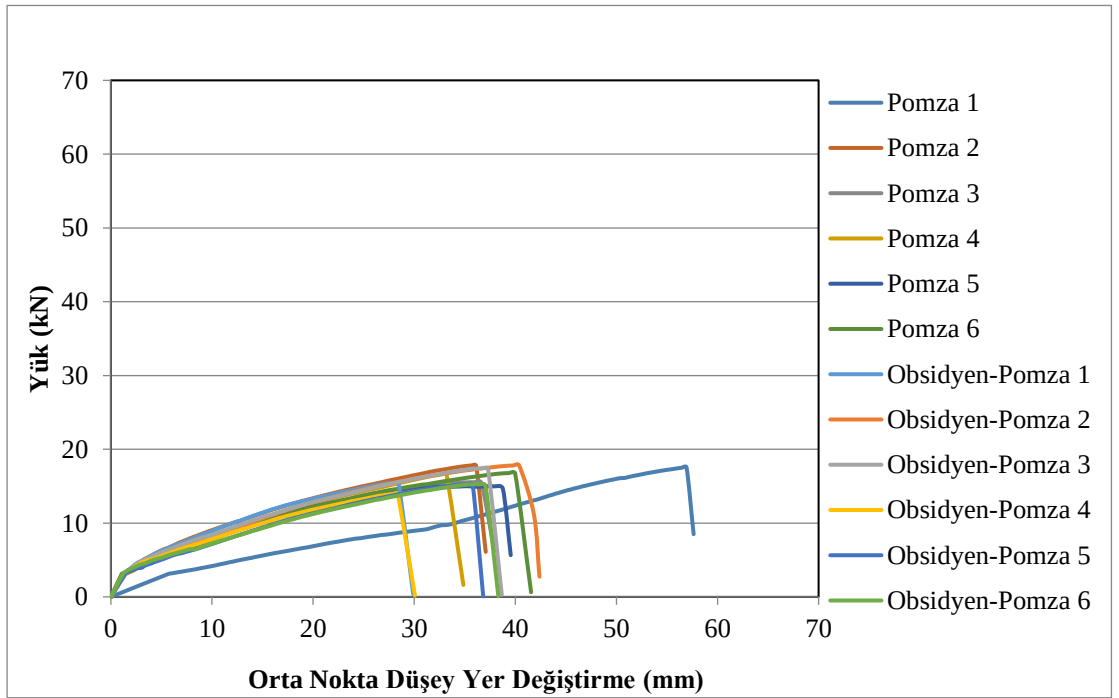


Şekil 4.5. Eğilme momenti taşıma kapasitesi deneyine tabi tutulan 1,8 m açıklıklı lentonun deney öncesi ve sonrası görüntüleri.

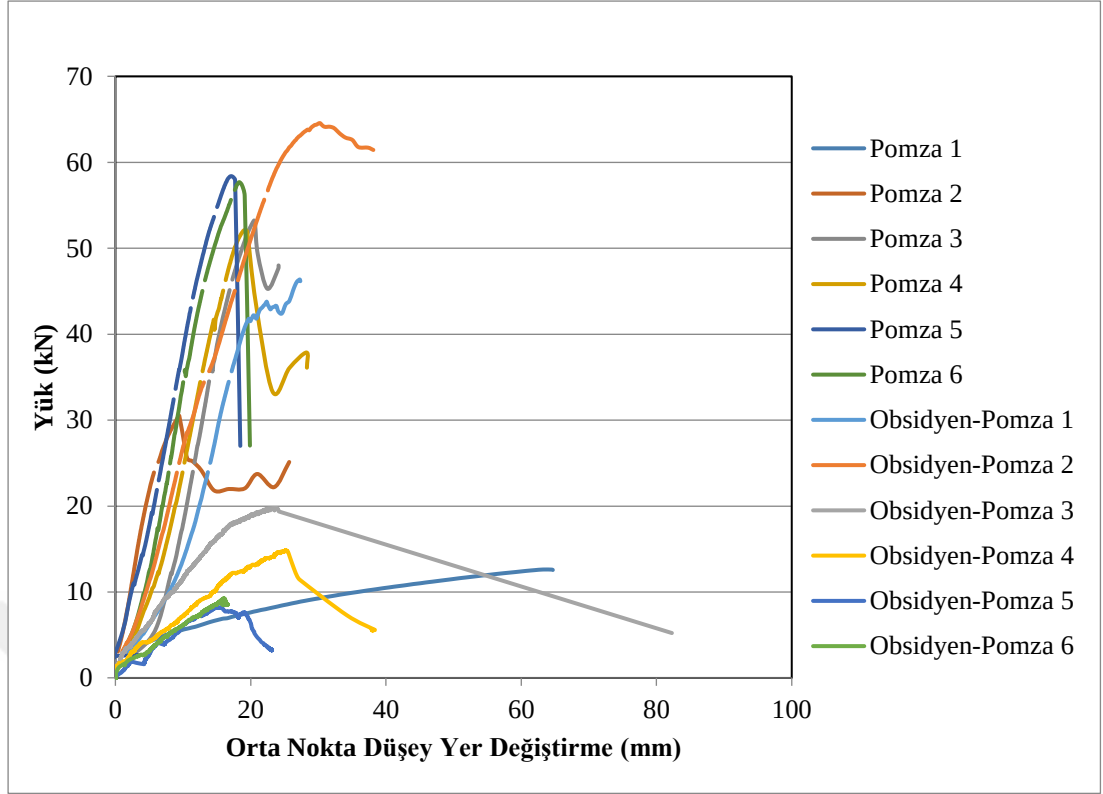
Bu kapsamdaki deneylerin yapıldığı U tipi eğilme gövdesinin teknik özellikleri doğrultusunda, yükleme esnasında uygulanan toplam bileşke tekil yüke karşılık orta noktada meydana gelen düşey yer değiştirme verisi kaydedilmiş ve grafik halinde çizimleri yapılmıştır. Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de sırasıyla 1,3m, 1,8m ve 2,4m açıklıklı lentoların bileşke tekil yük-orta nokta düşey yer değiştirme grafikleri toplu halde sunulmuştur. Burada, 1,3m açıklıklı lentoların tamamı ile ve 1,8 m açıklıklı lentoların yarısı iki noktalı eğilme; 1,8 m açıklıklı lentoların kalan diğer yarısı ile 2,4 m açıklıklı lentoların tamamı dört noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır.



Şekil 4.6. Eğilme direnci deneyine tabi tutulan 1,30 m açıklıklı lentoların yük-orta nokta yer değiştirme grafikleri.



Şekil 4.7. Eğilme direnci deneyine tabi tutulan 1,8 m açıklıklı lentoların yük-orta nokta yer değiştirme grafikleri.



Şekil 4.8. Eğilme direnci deneyine tabi tutulan 2,4 m açıklıklı lentoların yük-orta nokta yer değiştirme grafikleri.

Şekil 4.8 incelendiğinde obsidyen içerikli hafif betondan imal edilen lentolardan 4 tanesinin oldukça düşük yüklerde göçme yaşadığı görülmektedir. Bu durum teknik olarak incelendiğinde, yükleme gövdesindeki yük ölçüm sisteminde meydana gelen bir arıza nedeniyle bu deneylerde yükün oldukça düşük değerlerde ölçüldüğü tespit edilmiştir. Yük hücresi kalibrasyonunda yapılacak bir düzeltme ile verinin düzeltilmeyeceği anlaşıldığından bu deneyler prematüre deney olarak kabul edilmiş ve sonraki hesaplamalarda kapsam dışı bırakılmıştır. Deneysel çalışmalarda bu tür hataların meydana gelebileceğine vurgu yapılması amacıyla bu hususun açıklanmasında yarar görülmüştür.

Eğilme deneyine tabi tutulan lentoların birim hacim ağırlıkları, kırılma anında taşıdıkları yük ve bu yük etkisi altındaki moment taşıma kapasiteleri Çizelge 4.2’de sunulmaktadır. Burada sunulan değerlerin tamamı her lento grubu için hesaplanan ortalama değerlerdir. Lento boyutları ve yükleme şekilleri (iki noktalı ya da dört noktalı) farklılık gösterdiğinden deneysel performansın moment taşıma kapasitesi

üzerinden değerlendirilmesi doğru bir yaklaşım olacaktır. Zira, kuvvete dayalı tasarım/analiz yaklaşımında betonarme kesitler iç kuvvet taşıma kapasitelerine ulaştıkları zaman mekanizma oluşur ve göçme meydana gelir.

Çizelge 4.2. Lentoların eğilme momenti taşıma kapasitesi deneyi sonuçları

Lento Açıklığı (mm)	Lento Agregası İçeriği	Lento Birim Hacim Ağırlıkları (kg/m ³)	Göçme Anındaki Bileşke Tekil Yük (kN)	Göçme Anındaki Moment Taşıma Kapasitesi (kN.m)
1,3	% 100 Pomza	1513	32,7	4,9
	% 10 Obsidyen+% 90 Pomza	1511	26,4	4,0
1,8	% 100 Pomza	1517	16,6	3,5
	% 10 Obsidyen+% 90 Pomza	1580	15,9	3,4
2,4	% 100 Pomza	1502	14,8	4,3
	% 10 Obsidyen+% 90 Pomza	1474	13,9	4,0

Çizelge 4.2 incelendiğinde tüm lentoların birim hacim ağırlıklarının 1600 kg/m³’ ten az olduğu; tüm grupları için ortalama değerin 1516 kg/m³ olduğu görülmektedir. %100 pomzadan imal edilen hafif betondan mamul lentoların ortalama birim hacim ağırlığı 1511 kg/m³; %10 obsidyen + %90 pomzadan imal edilen hafif betondan mamul lentoların ortalama birim hacim ağırlığının ise 1522 kg/m³ olduğu görülmektedir. Bu değerlerin deney günü elde edilen değerler olduğu dikkate alındığında; daha az miktarda çimento ile obsidyen kullanımının beton birim hacim ağırlığında tamamı pomza agregalı hafif betonarme lentoya kıyasla fark oluşturmadığı görülmektedir.

Şantiye sahasında normal ağırlıklı betondan imal edilen lentoların 2500 kg/m³ mertebesinde birim hacim ağırlığına sahip olduğu kabulüyle; imal edilen hafif agregalı lentoların normal ağırlıklı betondan imal edilen lentolara referansla %40 daha hafif oldukları hesaplanmıştır. Taşıyıcı hafif betonlarda havada kurumuş haldeki birim hacim ağırlığının 2000 kg/m³’ten ve silindir basınç dayanımının 17 MPa’dan, yalıtım amacıyla kullanılacak olan blokların birim hacim ağırlıklarının ise 800-1800 kg/m³ ve basınç dayanımlarının 0,7-7 MPa’dan az olmaması istenir (Neville 1975). Lentoların taşıyıcı

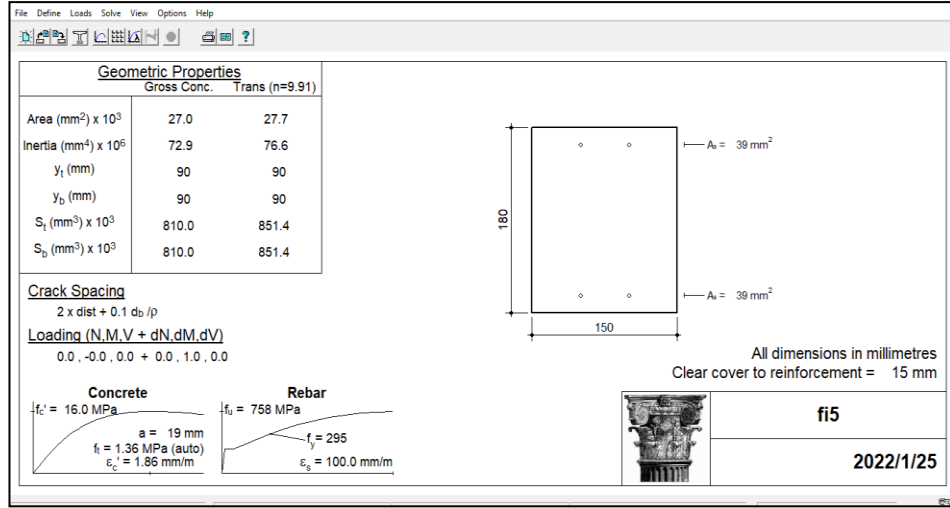
eleman oldukları dikkate alındığında yaklaşık 1500 kg/m^3 birim hacim ağırlıkla imal edilen lentoların hafif taşıyıcı beton sınıfında bir malzeme ile imal edildiklerini ifade etmek mümkündür. İlaven, ACI 318-19 (2019) hafif taşıyıcı betonların yapısal taşıyıcı sistemlerde kullanımına izin vermektedir. ACI 318-19 (2019) tasarımı hafif beton etkisinin işleme dahil edilmesi amacıyla bir modifikasyon katsayısı (λ) kullanılmasını öngörmektedir. Betonun iç kuvvet taşıma kapasitesini ağırlığına göre modifiye etme amacıyla kullanılan bu katsayının birim hacim ağırlık azaldıkça azaldığı; yani daha hafif betonun daha az taşıyıcı olduğu kabulü ile tasarım/analiz yapılmasına dair kurallar sunulmaktadır. ACI 318-19 (2019)'de betonun denge yoğunluğu 1600 kg/m^3 'ten düşük olması durumunda λ katsayısı 0,75 alınırken; yoğunluk değerinin 2160 kg/m^3 ve üstünde olması halinde λ katsayısı 1,00 alınmakta yani beton normal ağırlıklı beton olarak kabul edilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, lentolar için üretilen betonarme malzemenin hafif taşıyıcı betonarme malzeme olduğunu ifade etmek ve lento imalatı için uygun olduğunu belirtmek mümkündür. Söz konusu malzeme üzerinde yeterli deneysel ve teorik çalışma yapılması halinde, betonarme çerçeve türü taşıyıcı sistem imalatı amacıyla kullanılabileceği düşünülmektedir.

Eğilme momentine maruz betonarme kesitler moment taşıma kapasitelerine ulaştıkları zaman göçme meydana gelir. Kiriş, lento türü eğilme elemanlarında kesitte kullanılan boyuna donatı miktarının göçme mekanizmasını belirleyen parametre olduğu bilinmektedir. Beton dayanımının eğilme momenti taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi, boyuna çelik donatıya kıyasla son derece düşük mertebelerdedir (Ersoy vd 2021). Bu nedenle, lento imalatında yük taşıyıcı malzemenin çelik donatı olduğu; betonun ise eğilme momenti taşıma kapasitesine katkısının az olmakla birlikte çelik donatıyı korozyon ve yangından koruma gibi fonksiyonlar üstlendiğini ifade etmek mümkündür. Tüm bu hususlar ışığında, Çizelge 4.2'de sunulan tüm lentolar için deneysel moment taşıma kapasitelerinin ortalama 4 kN.m olduğu görülmektedir. Moment taşıma kapasitesi lento açıklığına bağlı olmayan; tamamen kesit özellikleri ve boyuna donatı ile ilgili bir parametredir. Tüm lentolarda kesit ölçüleri ve boyuna donatı miktarı aynı olduğundan bu şekilde bir ortalama hesabıyla değerlendirme yapmanın uygun olduğu düşünülmektedir.

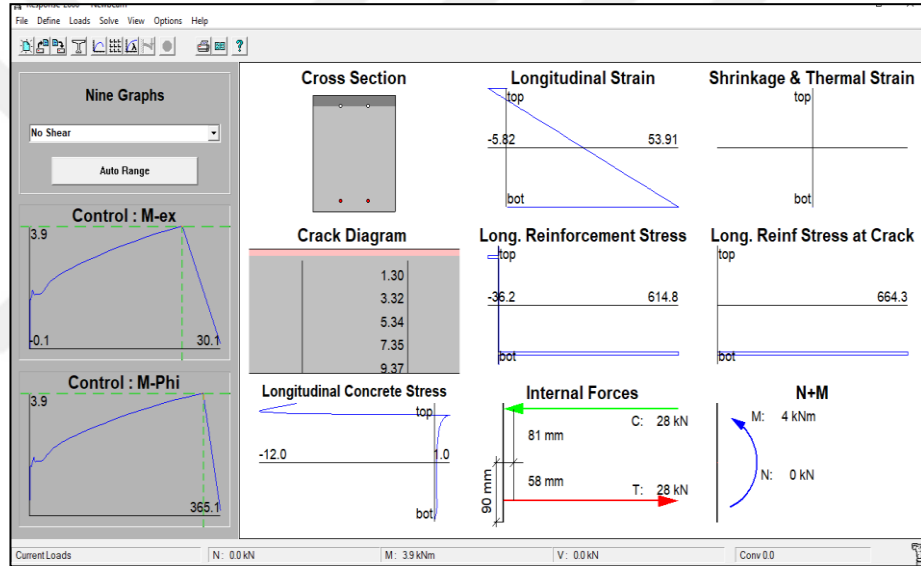
Eğilme momenti taşıma kapasitesinin tayini amacıyla yapılan tüm deneylerde yüklemenin ilk aşamalarında maksimum moment bölgesinden başlamak üzere eğilme çatlakları oluşmaya başlamış, zamanla önce çatlak sayısı artmış, sonra çatlak uzunluğu ve genişlikleri artarak kiriş sehim yapmıştır. Donatının akmasının göstergesi olan bu davranış sonrasında, artan düşey sehimle beraber basınç bölgesindeki beton ezilerek lento moment taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu şekildeki bir davranış çekme kırılması olarak değerlendirilmektedir. Kullanılan boyuna donatı miktarı ile kirişin denge altı bir kiriş olarak davrandığını ifade etmek mümkündür. Betonun hafif agregalı beton olması nedeniyle TS 500 (2000) uyarınca dengeli donatı oranı hesaplama ve mevcut donatı oranının bu kesitler için değerlendirilmesinin hatalı olabileceği açıktır. Ancak, kullanılan beton (normal ağırlıklı beton kabulü ile) ve çelik donatı için dengeli donatı oranının 0,0135; kesitteki boyuna çekme donatısı oranının 0,0016 olması nedeniyle çekme kırılması yaşanmasının mekanik olarak beklenen durum olduğunu ifade etmek mümkündür. Ancak, dengeli donatı oranının hafif agregalı beton için yapılmadığının ve bu amaçla hem deneysel hem de teorik çalışmalar yapılmasına ihtiyaç duyulduğunun altı çizilmelidir.

Deneysel olarak ortalama 4,0 kN.m maksimum eğilme momenti etkisi altında lentoların göçme yaşadığı Çizelge 4.2'den görülmektedir. Lento tasarımı için teorik hesaplamalar gereklidir. Bu nedenle, lento kesitleri Bentz (2000) tarafından doktora tezi çıktısı olarak üretilmiş olan Response2000 yazılımı kullanılarak teorik moment taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken veri girişinde TS 500 (2000)'de sunulan Taşıma Gücü Yöntemi kabulleri esas alınmıştır. Kesit analizi amacıyla kullanılan yazılımın bir ara yüz görüntüsü Şekil 4.9'da, analiz sonucu elde edilen veri ise Şekil 4.10'da sunulmaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.9. Response2000 yazılımı ara yüz görüntüsü



Şekil 4.10. Response2000 yazılımı ile yapılan kesit analizi sonucu elde edilen veri örneği.

Response2000 yazılımı kullanılarak öncelikle deneye tabi tutulan, çekme ve basınç bölgesinde 2Ø5 donatılı, lento kesiti modellenmiş ve kesit analizi yapılmıştır. Her lento grubu için beton basınç dayanımı farklı son derece az da olsa, ayrı ayrı beton özellikleri tanımlanarak analizler tekrarlanmıştır. Response2000 yazılımı ile yapılan kesit analizinde elde edilen teorik moment taşıma kapasiteleri ile deneysel moment taşıma kapasiteleri toplu halde Çizelge 4.3'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.3. Lentoların teorik ve deneysel eğilme momenti taşıma kapasiteleri

Lento Açıklığı (m)	Lento Agrega İçeriği	Lento Deneysel Moment Taşıma Kapasitesi (kN.m)	Response2000 Yazılımı ile Hesaplanan Teorik Moment Taşıma Kapasitesi (kN.m)	Fark (%)
1,3	% 100 Pomza	4,9	4,1	16
	% 10 Obsidyen+ % 90 Pomza	4,0	4,0	0
1,8	% 100 Pomza	3,5	4,1	17
	% 10 Obsidyen+ % 90 Pomza	3,4	4,0	18
2,4	% 100 Pomza	4,3	4,1	5
	% 10 Obsidyen+ % 90 Pomza	4,0	4,0	0

Çizelge 4.3 incelendiğinde lento kesitlerinin teorik ve deneysel moment taşıma kapasiteleri arasında, deneysel kapasiteye referansla, %0-%18 arasında farklar hesaplanmıştır. Normal ağırlıklı betondan imal edilen betonarme kesitlerde bu mertebede farkların yüksek olduğunu ifade etmek mümkündür. Söz konusu farkların, teorik modellemede hesaplamalar için esas alınan beton modeli (burada betonun maksimum birim kısalma değeri önemlidir) için yapılan kabullerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Zira, kesit analizinde normal ağırlıklı beton için donatı-beton arasında tam tutunma kabulü yapılmaktadır. Ancak, ACI 318-19 (2019)'de olduğu gibi hafif betonun, her ne kadar basınç dayanımı aynı olsa da, benzer tutunma özellikleri göstermeyebileceği kabulü ile kesit dayanımına olan beton katkısının azaltılması amacıyla bir modifikasyon yapılmasını şart koştuğu bilinmektedir. Bu nedenle, teorik ve deneysel moment taşıma kapasiteleri arasındaki farklardan hareketle hafif agregalı betondan mamul betonarme kesitlerin kapasite hesapları için yeni yöntem ya da yöntem değişiklikleri yapılması gerektiği sonucu çıkarılmıştır.

Deneysel çalışma sürecinin başlangıcında piyasada mevcut lentolar incelenmiş ve büyük çoğunluğun Ø4 çaplı donatı ile imal edildiği görülmüştür. İlaveten lentoların taşıyacakları duvar ağırlığı nedeni ile maruz kalabilecekleri yükler de dikkate alındığında çekme bölgesinde Ø3- Ø4 çaplı çelik çubukların yeterli olabileceğine karar verilmiştir. Yapılan araştırmada Ø3 çaplı çubuklardan genel olarak hasır donatı imal

edildiği, Ø4 çaplı çelik çubukların ise rulo halinde imal edildiği ve istenen boyutta kesilerek üretim yapılabileceği öğrenilmiştir. Bu nedenle deneysel çalışmada Ø4 çaplı çelik çubuklar kullanılmak istenmiş, ancak çalışma döneminde piyasadan temin edilemediğinden Ø5 çaplı çelik çubuklar kullanılarak lento imalatı yapılmıştır. Deneysel olarak moment taşıma kapasitesi tayini yapılamayan Ø4 çaplı çelik çubukların moment taşıma kapasitesi teorik olarak Response2000 yazılımı ile hesaplanmıştır. Her iki kesit analizinde de çekme ve basınç bölgelerinde ikişer adet boyuna donatı bulunacak şekilde kesit modellemesi yapılmıştır. Bununla birlikte, basınç bölgesindeki donatısı esasen montaj donatısı görmektedir. Buradaki donatının azaltılması, daha ekonomik bir üretim anlamına gelmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen teorik moment taşıma kapasitesi değerleri Çizelge 4.4'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.4. Response2000 programında yapılan kesit analizi sonucunda farklı boyuna donatı kombinasyonları için elde edilen teorik moment taşıma kapasiteleri.

Lento Açıklığı (m)	Lento Agrega İçeriği	Response2000 Programı İle Hesaplanan Moment Taşıma Kapasitesi (kN.m)			
		Çekme Donatısı 2Ø5	Çekme Donatısı 2Ø5	Çekme Donatısı 2Ø4	Çekme Donatısı 2Ø4
		Basınç Donatısı 2Ø5	Basınç Donatısı 1Ø5	Basınç Donatısı 2Ø4	Basınç Donatısı 1Ø4
1,3	% 100 Pomza	4,1	4,1	2,8	2,8
	% 10 Obsidyen+ % 90 Pomza	4,0	4,0	2,7	2,7
1,8	% 100 Pomza	4,1	4,1	2,8	2,8
	% 10 Obsidyen+ % 90 Pomza	4,0	4,0	2,7	2,7
2,4	% 100 Pomza	4,1	4,1	2,8	2,8
	% 10 Obsidyen+ % 90 Pomza	4,0	4,0	2,7	2,7

Çizelge 4.4'te sunulan veri incelendiğinde, beklendiği şekilde, basınç donatısı miktarındaki değişimin eğilme momenti taşıma kapasitesi üzerinde önemli ölçüde etkisi olmadığı, hatta hiç etkilemediği görülmektedir. Eğilme momenti kapasitesi tayini için yapılan yükleme deneyi sonuçları, lentoların tamamının çekme kırılması sonucu göçme yaşadığını; bu durumda kesitlerin denge altı kesitler olduğunu göstermiştir. Denge altı kesitler tasarlandıkları eğilme momentlerini basınç donatısı gereksinimi olmadan taşıyan kesitlerdir. Bu kesitlerde, basınç bölgesinde bulunan donatılar, enine donatı için

montaj donatısı fonksiyonunu üstlenmektedirler (Ersoy vd 2021). Bu nedenle, basınç bölgesindeki donatı miktarındaki değişimin teorik moment taşıma kapasitesi üzerinde etkili olmaması beklenen bir sonuçtur.

Yine Çizelge 4.4 incelendiğinde boyuna donatı olarak Ø5 yerine Ø4 çaplı donatı kullanılması durumunda moment taşıma kapasitesinin azaldığı görülmektedir. Bu azalmanın, Ø5 donatılı kesite referansla, %32 oranında olduğu görülmektedir. Bu azalmanın aynı zamanda dış yük taşıma kapasitesindeki azalma ile eşdeğer olduğunu ifade etmek mümkündür. Bu kesit analizi çalışmasının yapılmasındaki temel amaç, kesiti moment taşıma kapasitesine ulaştıran düzgün yayılı yük değerinin kestiriminin yapılması ve piyasa talebiyle karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla yapılan çalışmanın sonuçları takip eden alt bölümde sunulmaktadır.

4.4. Lentoların Yükleme Şekline Bağlı Olarak Düzgün Yayılı Yük Taşıma Kapasiteleri

Lentolar duvar imalatında kullanılan malzemenin birim hacim ağırlığına bağlı olarak düzgün yayılı yüklere maruz kalmaktadırlar. Piyasada lentolar için talep edilen yük taşıma kapasitesi 200 ile 300 kgf/m arasındadır. Daha teknik bir yaklaşımla, lento elemanların birim boy için farklı duvar malzemeleri kullanımı dikkate alınarak maruz kalabilecekleri düzgün yayılı yük değerleri Anonim (2019) kaynağında yayımlanmış olan yapı malzemeleri birim hacim ağırlıkları dikkate alınarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.5'te sunulmaktadır. Burada duvar kalınlığı lento kesit genişliğine eşit olacak şekilde 15 cm, lento üzerinde kalan duvar yüksekliği ise 50 cm alınmıştır. Çizelge 4.5'in son sütunundaki değerler ölü yük için 1,4 yük faktörü kullanılarak artırılmış değerlerdir.

Çizelge 4.5. Muhtelif duvar malzemeleri için lentoların birim boy için maruz kalabilecekleri yükler.

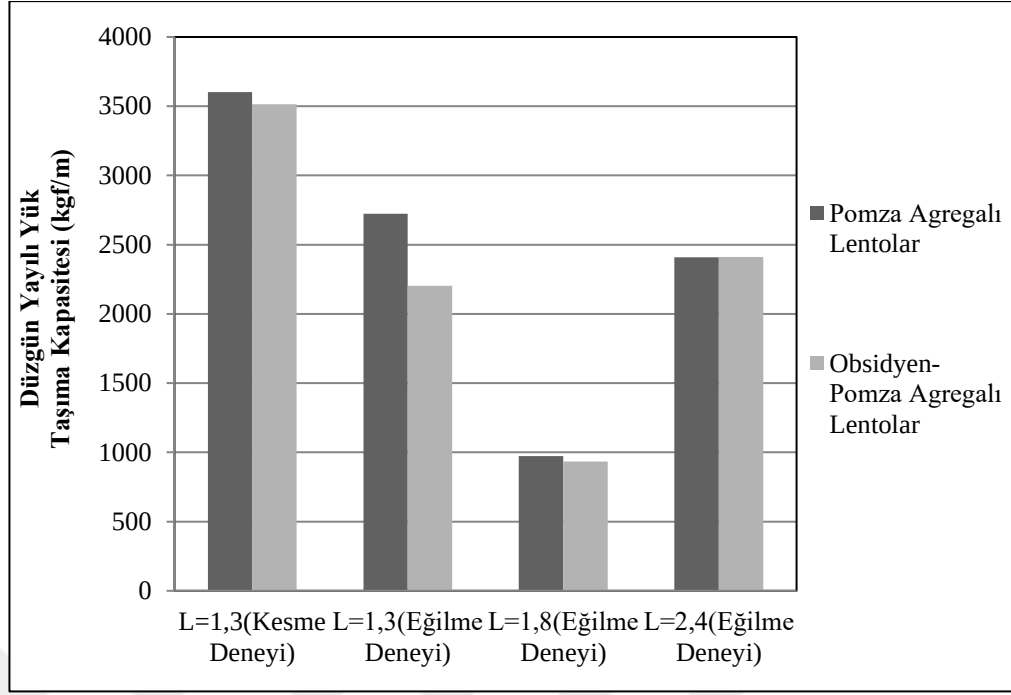
Duvar Malzemesi	Birim Hacim Ağırlık (kgf/m ³)	Duvar Kalınlığı (m)	Lento Üzerinde Kalan Duvar Yüksekliği (m)	Birim Boy için Maksimum yük (kgf/m)	1,4*Birim Boy İçin Yük (kgf/m)
Moloz taş duvar	2400	0,15	0,5	180	252
Beton taş duvar	2200	0,15	0,5	165	231
Hafif taş duvar	800	0,15	0,5	60	84
TS 704, TS 705'e uygun tuğlalarla yapılan kagir duvarlar, dolu klinker, düşey delikli klinker, (TS 4562) seramik ve klinker (TS 2902)	1800 - 2200	0,15	0,5	165	231
TS 704, TS 705'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	1200 - 2000	0,15	0,5	150	210
Düşey delikli tuğlalarla duvarlar (TS 4377 ve TS 4916'ya uygun harç kullanılarak AB ve W sınıfı tuğlalarla, normal derz veya haç cepli)	700 - 1000	0,15	0,5	75	105
Yatay delikli tuğlalarla duvarlar (TS 4563)	1000	0,15	0,5	75	105
Kireç - kumtaşı duvarlar (TS 808'e uygun)	700 - 2200	0,15	0,5	165	231
Gazbeton duvar blokları ile duvarlar (TS 453'e uygun)	400 - 800	0,15	0,5	60	84
Hafif betondan dolu (TS 406), doğal bims betondan, TS 2823'e uygun, beton briket veya duvar blokları ile duvarlar	500 - 2000	0,15	0,5	150	210
Genleştirilmiş perlit betonundan dolu bloklarla (TS 3681)'e uygun yapılmış beton briket veya duvar blokları ile duvarlar	500 - 800	0,15	0,5	60	84
Hafif betondan boşluklu bloklarla duvarlar (TS 2823'e uygun)	500 - 1400	0,15	0,5	105	147
Normal betondan boşluklu briket ve bloklarla duvarlar (TS 406'ya uygun)	≤1800	0,15	0,5	135	189
Maksimum:				180	252
Minimum:				60	84
Ortalama:				119	166

Çizelge 4.5 incelendiğinde lentoların maruz kalabileceği, yük faktörü ile artırılmış, en büyük düzgün yayılı yükün 252 kgf/m en düşük değerin ise 84 kgf/m olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu durumda, piyasanın düzgün yayılı yük taşıma kapasitesi 200-300 kgf/m değerinde lento talep etmesinin teknik olarak makul olduğu ve ihtiyacı karşılar nitelikte olduğu görülmektedir.

Lentoların kesme ve eğilme momenti taşıma kapasitelerinin tayininde TS EN 846-9 (2016) uyarınca tek noktalı, iki noktalı ya da dört noktalı yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu yüklemelerde, kesit kapasitesine ulaşılmasını sağlayan düzgün yayılı yük değerleri hesaplanmış ve veri halinde toplu olarak Çizelge 4.6'da ve grafik olarak Şekil 4.11'de sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Lentoların deneysel olarak elde edilen düzgün yayılı yük taşıma kapasiteleri.

Lento Açıklığı (m)	Lento Agrega İçeriği	Yükleme Türü	Düzgün Yayılı Yük Taşıma Kapasitesi (kgf/m)
1,3	% 100 Pomza	Kesme Deneyi	3602
	% 10 Obsidyen-% 90 Pomza		3513
1,3	% 100 Pomza	Eğilme Deneyi	2724
	% 10 Obsidyen-% 90 Pomza		2203
1,8	% 100 Pomza	Eğilme Deneyi	974
	% 10 Obsidyen-% 90 Pomza		933
2,4	% 100 Pomza	Eğilme Deneyi	2408
	% 10 Obsidyen-% 90 Pomza		2412



Şekil 4.11. Lentoların deneysel olarak elde edilen düzgün yayılı yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırması.

Çizelge 4.6 ve Şekil 4.11 birlikte incelendiğinde her deney grubu için %100 pomza ve %10 obsidyen + %90 pomza içerikli agregadan imal edilen betondan mamul lentoların birbirlerine çok yakın değerlerde düzgün yayılı yük kapasitesine sahip oldukları görülmektedir. Bununla birlikte, lentolar için deneysel olarak tayin edilen en düşük düzgün yayılı yük taşıma kapasitesinin 933 kgf/m ve en yüksek değer ise 3602 kgf/m olduğu görülmektedir. Piyasa talebinin ve teknik olarak ihtiyaç duyulabilecek yük taşıma kapasitesinin 300 kgf/m ile en büyük değere ulaştığı dikkate alındığında bu kapasite değerlerinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda, lento boyuna çekme donatısı miktarının azaltılması yoluna gidilmesi mümkündür.

Çizelge 4.6 ve Şekil 4.11’de sunulan düzgün yayılı yük taşıma kapasitesi değerleri çekme ve basınç bölgesinde eşit miktarda donatı (2Ø5) boyuna donatı bulunan lento kesitleri için geçerlidir. Çekme donatısı miktarının 2Ø5’ten 2Ø4’e indirilmesi durumunda sağlanacak moment taşıma kapasiteleri teorik olarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.4’te sunulmuştur. Buradaki değerlerden hareketle, bu çalışmada kullanılan farklı lento açıklıkları için kesiti moment taşıma kapasitesine ulaştıracak düzgün yayılı yük değerleri teorik olarak hesaplanmış ve Çizelge 4.7’de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Boyuna donatı miktarına bağlı olarak lentoların taşıyabileceği teorik düzgün yayılı yük kapasiteleri.

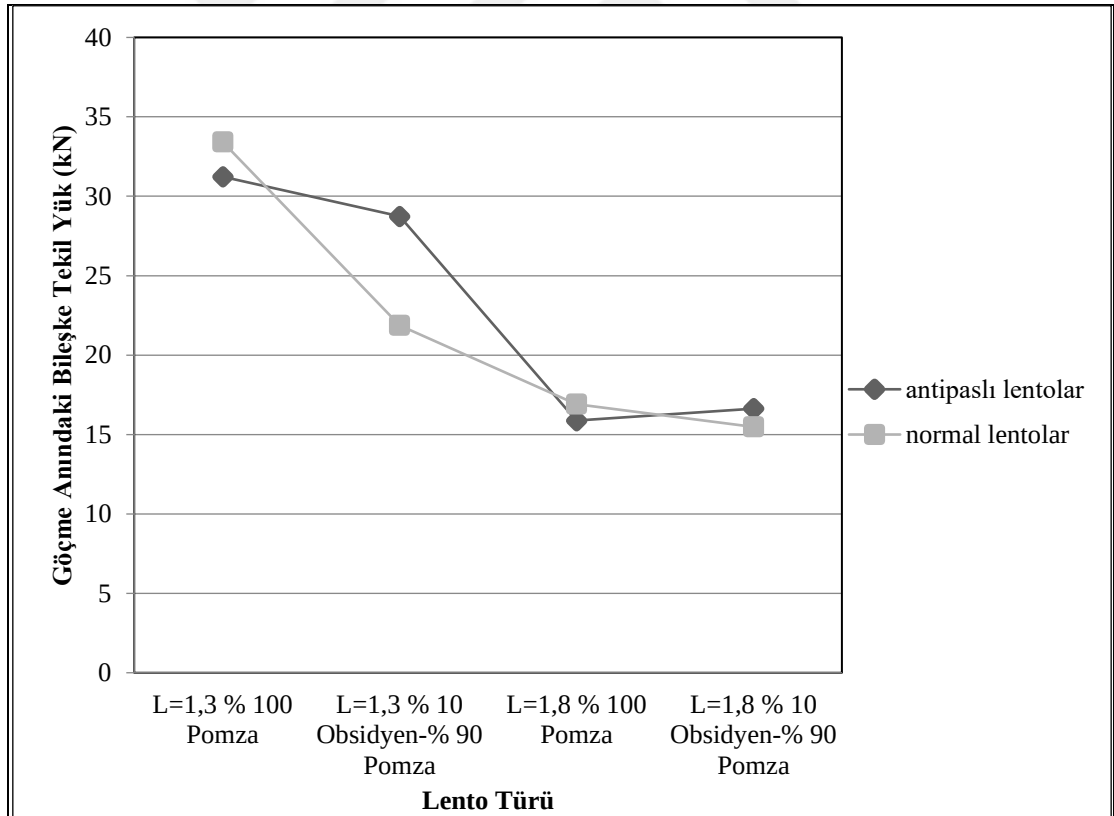
Lento Açıklığı (m)	Lento Agregre İçeriği	Teorik Moment Taşıma Kapasitesi (kN.m)		Teorik Düzgün Yayılı Yük Taşıma Kapasitesi (kgf/m)	
		Çekme Donatısı 2Ø5	Çekme Donatısı 2Ø4	Çekme Donatısı 2Ø5	Çekme Donatısı 2Ø4
		Basınç Donatısı 1Ø5	Basınç Donatısı 2Ø4	Basınç Donatısı 1Ø5	Basınç Donatısı 2Ø4
1,3	% 100 Pomza	4,1	2,8	1941	1325
	% 10 Obsidyen+ 90 Pomza	4	2,7	1893	1278
1,8	% 100 Pomza	4,1	2,8	1012	691
	% 10 Obsidyen+% 90 Pomza	4	2,7	988	667
2,4	% 100 Pomza	4,1	2,8	569	389
	% 10 Obsidyen+% 90 Pomza	4	2,7	556	375

Çizelge 4.7 incelendiğinde, aynı kesit kullanılarak imal edilen lento açıklığı arttıkça sistemin düzgün yayılı yük taşıma kapasitesinin, beklendiği üzere, düştüğü görülmektedir. Çekme ve bölgesinde 2Ø4 donatı kullanılması durumunda 2,4 m açıklı lentonun düzgün yayılı yük taşıma kapasitesinin 375 kgf/m olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu değer, piyasanın talep ettiği lento yük taşıma kapasitesini karşılamaktadır. Aynı kesitin 1,3 m açıklıklı lentoda kullanılması durumunda ise yük taşıma kapasitesinin obsidyen içerikli lento için 1278 kgf/m olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu değer piyasa talebinin çok üzerinde bir kapasite olduğunu ifade etmek mümkündür. Bu nedenle, daha kısa açıklıklı lentolar için çekme donatısı miktarının azaltılabileceği düşünülmektedir.

4.5. Antipas Kullanımının Lento Dayanımı Üzerindeki Etkisi

Korozyona maruz kalabilecek ortamlarda kullanılacak lentolar için TS EN 846-9 (2016) uyarınca önlem alınması gerektiği ifade edilmektedir. Bu önlemler paslanmaz donatı çeliği kullanılması ya da mevcut donatıya antipas uygulaması yapılması şeklinde sıralanabilir.

Antipas uygulamasının donatı-beton arasındaki tutunma kapasitesi üzerinde zayıflatıcı bir etki meydana getirmesi, lentonun yük taşıma kapasitesinde de azalmaya neden olacaktır. Bu hususun incelenmesi amacıyla, bu çalışma kapsamında 1,3 m ve 1,8 m açıklıklı lento donatılarına antipas uygulaması yapılmış ve bu uygulamanın dayanım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Eğilme deneyine tabi tutulan antipaslı ve antipassız donatı kafesi kullanımının göçme anındaki bileşke tekil yük üzerindeki etkisi Şekil 4.12’de sunulan grafik üzerinden incelenmiştir.



Şekil 4.12. Eğilme deneyine maruz bırakılan antipaslı ve antipassız lentoların göçme anındaki bileşke tekil yükleri.

Şekil 4.12 incelendiğinde antipas kullanımının %100 pomza içerikli hafif agregalı betondan mamul 1,3 m ve 1,8 m açıklıklı lentoların göçme yükü üzerinde anlamlı bir fark oluşturmadığı görülmektedir. Benzer durumun 1,8 m açıklıklı obsidyen içerikli hafif betondan mamul lentolar için de geçerli olduğunu ifade etmek mümkündür.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Erzurum ili Pasinler ilçesinde faaliyet gösteren Kale Blokbims A.Ş. firmasının hafif yapı elemanları üretiminde kullandığı ve çıkarıldığı bölgenin adına ithafen Demirdöven pomzası olarak adlandırılan pomza ve fabrika sahasında atık olarak biriken obsidyen agregaları kullanılarak üretilen betonarme lentoların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Öncelikle lento imalatında kullanılabilecek hafif agregalı beton birleşimleri ve çelik donatı bağlantı şekilleri üzerinde çalışılmış; sonrasında imal edilen lentolar üzerinde yükleme deneyleri yapılmıştır.

Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibidir.

- Hafif betonarme lentoların tasarımı için farklı karışım reçeteleri kullanılarak deneme dökümleri yapılmış ve 7 günlük eksenel basınç dayanımlarına bakılarak %100 pomza ve %10 obsidyen + %90 pomza agregalı karışımlar lento imalatı için seçilmiştir.
- Pomza agregası boşluklu ve su emme kapasitesi yüksek bir agrega türüdür. Bu nedenle, beton tasarım hesabından önce bu agreganın fiziksel özellikleri iyice araştırılmalı, ön deneyler birkaç kez tekrarlanmalıdır. Daha sonra beton karışım hesabı yapılmalıdır. Hafif agregalı taze betonun kalıba yerleştirilmesi esnasında uygun bir yöntemle vibrasyon yapılması önerilir.
- Çalışmada küp numunelerin 28 günlük birim hacim ağırlıkları sadece pomza agregalı karışımlarda 1345 kg/m^3 iken obsidyen ikameli karışımlarda 1280 kg/m^3 bulunarak aralarında yaklaşık %5'lik fark olduğu görülmüştür. İki karışımla da hafif taşıyıcı beton elde edilmiştir.
- %100 pomza içerikli hafif betonun agrega içeriğinin %60'ı tane büyüklüğü 1-4 mm aralığındaki ince agregadan oluşmaktadır. Miktarın yüksek tutulmasının amacı fabrika sahasında atık halde bulunan ve sürekli birikmekte olan 0-5 mm boyutundaki ince pomza agregasının yeni bir imalat ile kullanıma alınmasıdır. Çalışma neticesinde bunun mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.
- Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları ise pomzalı karışımda 16 MPa, obsidyenli karışımda 11,9 MPa bulunmuştur. Elde edilen bu değerler

TS 206'da yer alan hafif beton sınıflarından LC 12/13 ve LC 8/9 dayanım sınıflarını sağlamaktadır.

- Ultra ses geçiş hızı dayanımı ile basınç dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında ise 3 günlük dayanım sonuçlarının birbirine oldukça yakinken; zamanla aradaki farkın arttığı tespit edilmiştir. İlerleyen yaşlarda yapılan ultra ses geçiş hızı deneyinden elde edilen sonuçların kırım neticesinde elde edilen eksenel basınç dayanımı sonuçlarından önemli miktarda farklı olduğu görülmüştür. Bu nedenle, ultra ses geçiş hızı deneyi ile erken yaşta pomzadan mamul hafif agregalı beton dayanımı tayininde kullanılabileceği; ancak bu alanda daha çok sayıda deneysel doğrulamaya muhtaç bir bulgu olduğu sonucuna varılmıştır.
- Çalışmada lentolara uygulanan Schmidt deneyi sonuçları incelendiğinde anlamlı sonuçlar elde edilemediği görülmüştür. Böylece düşük dayanımlı hafif betonlar için bu deneyin uygun olmadığı düşünülmektedir.
- Üretilen lentolar imalattan yaklaşık 3 ay sonra yükleme deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu dönemde obsidyen içeren ve içermeyen pomza agregalı hafif betonarme lentoların ortalama 1500 kgf/m^3 birim hacim ağırlığa sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu değer, normal ağırlıklı betonarme elemanlardan %40 oranında daha hafif lento elemanı anlamına gelmektedir. İncelenen literatür ve teknik normlar uyarınca, bu ağırlık sınıfındaki hafif agregalı betonarme elemanlar taşıyıcı eleman sınıfında değerlendirilmektedir. Çalışma, bu bakımdan statik olarak imalata uygun taşıyıcı lento üretimi ile sonuçlanmıştır.
- Hafif agregalı lento üretiminde ince agrega miktarı azaltılarak daha hafif yapı elemanları üretilmesi mümkündür. Ancak, bu durumda fabrika sahasında biriken ince pomza tüketiminde nisbi olarak azalma meydana gelecektir. Talep durumuna bağlı olarak, daha hafif lento üretimi için deneysel çalışma yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.
- Atık obsidyenin ince agrega olarak kullanılması uzun vadede lento birim hacim ağırlığı üzerinde %100 pomza kullanılması durumundan farklı sonuçlar vermemiştir; sonuçlar aynı denebilecek mertebededir. Obsidyen kullanımı ile daha az çimento kullanıldığı da dikkate alındığında, bu tür bir

ikamenin hem atık malzemenin kullanıma alınarak hem de daha az çimento tüketerek çevreye katkı sağlamasının yanı sıra, daha ekonomik bir imalata neden olacağı sonucuna varılmıştır.

- Çekme ve basınç donatısı olarak 2Ø5 donatı ile obsidyen içeren ve içermeyen pomza agregalı beton kullanılarak imal edilen 1,3 m, 1,8 m ve 2,4 m açıklıklı lentoların tamamının piyasanın talebi olan ~300 kgf/m düzgün yayılı yük taşıma kapasitesini sağladığı görülmüştür. Hatta oldukça yüksek olan kapasite değerlerinin daha düşük çaplı çelik donatı kullanılarak azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır.
- Üretimi yapılacak lentoların hızlı bir şekilde piyasaya sürülebilmesi için erken dönemde sıcak ve nemli ortamda bekletilmelerinin hızlı dayanım kazanılması bakımından önerilebileceği sonucuna varılmıştır.
- Fabrikasyon olarak lento imalatına geçilmesi durumunda TS EN 846-9 (2016) uyarınca bir imalat takibi ve kalite kontrol dokümanı hazırlanması gerekmektedir. Söz konusu çalışmanın yapılması durumunda bu tez çalışması neticesinde elde edilen bulgu ve önerilerin dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akkaş, A. 2011. Pomza agregalı taşıyıcı hafif betonun taşıyıcılık özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 99, Isparta.
- Aktaş, B., Yalçın, Ş., Açıkgöz, A., Şerbetçi, R. 2019. Seryum oksit katkılı doğal obsidyen camların mekanik özellikleri. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(2), 165-173.
- Akyüncü, V. 2019. Pomza agregalı hafif beton blokların mekanik özelliklerinin ve yangın etkisi altındaki davranışının incelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(1), 147-157.
- Anonim, 2008. Web Sitesi: <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/malzemeisunu6malzemelerinmekanikozellikleri.pdf>, Erişim Tarihi: 26.11.2021.
- Anonim, 2019. Web Sitesi: https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f7deb880ca6b4b7_ek.pdf?tipi=84&turu=X&sube=0, Erişim Tarihi: 26.11.2021.
- Anonim, 2021. Web Sitesi: <https://www.mta.gov.tr>, Erişim Tarihi: 26.11.2021.
- Anonim, 2021. Web Sitesi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza>, Erişim tarihi: 14.02.2022.
- Anonim, 2021. Web Sitesi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/obsidyen>, Erişim tarihi: 14.02.2022.
- Anonim, 2021. Web Sitesi: <https://www.sanalsantiye.com/orneklerle-schmidt-cekici-beton-test-cekici-deneyi/>, Erişim tarihi: 14.02.2022.
- Arıcı, E. 1997. Van yöresindeki volkanik tüfün beton mukavemetine etkisi ve taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana bilim Dalı, 59, Elazığ.
- Arslan, M. E. 2007. Eğilmede taşıyıcı hafif beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 88, Trabzon.
- Aşık, M. 2006. Structural lightweight concrete with natural perlite aggregate and perlite powder. Master's Thesis, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, 80, Ankara.
- Bakırhan, B. 2019. Pomza ve perlit kullanılarak üretilen kompozit hafif beton tasarımı ve özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 57, Bitlis.

- Bentz, E. C. 2000. Sectional analysis of reinforced concrete members, Toronto University, 310, Toronto.
- Beycioğlu, A., Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş. 2010. Pomza agregalı hafif beton özelliklerine silis dumanının etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(2), 200-205.
- Bims Sanayiciler Derneği. 2006. Bims Alt Sektör Raporu, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Türkiye Toprak Sanayi Meclisi, 48, Ankara.
- Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19), 2014. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA.
- Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19), 2019. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA.
- Çiçek, Y. 2002. Pişmiş toprak tuğla, bimsbeton, gazbeton ve perlitli yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana bilim Dalı, 111, İstanbul.
- Dikici, T. 2010. Taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Malzemesi Ana bilim Dalı, 115, İzmir.
- Dinçer, R., Çağatay, İ. H. 2004. Pomza ile yapılan hafif betonların mekanik özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(2), 247-260.
- Erdoğan, T. Y. 2015. Beton. Odtü yayıncılık, 757, Ankara.
- Erdoğan, Y. 2007. Asidik ve bazik pomzadan üretilen yapı malzemelerinin mühendislik özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana bilim Dalı, 299, Adana.
- Ersoy, U., Canbay, E., Özcebe, G. 2021. Betonarme Cilt 1 Davranış ve Hesap İlkeleri. Evrim yayınları, 598.
- Ersoy, U. 1998. Betonarme kiriş ve kolonların moment kapasitesinin saptanması. Teknik Dergi, 9(44), 1781-1797.
- Gökçe, H. S., Şimşek, O., Durmuş, G., Demir, İ. 2010. Ham perlit agregalı hafif beton özelliklerine alternatif geliştirilmiş perlit kullanımının etkisi. Politeknik Dergisi, 13(2), 159-163.
- Hossain, K. M. 2004. Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. Cement and Concrete Research, 34(2), 283-291.

- Kabay, N. 2009. Hafif agregalı betonun boşluk yapısının mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 130, İstanbul.
- Kocaman, B., Okuroğlu, M. 2002. Dozaj ve agrega granülometrisinin hafif betonların ısı iletkenliğine/Effect of grading and cement contents on the heat conductivity values of lightweight concrete. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 33(3), 5, Erzurum.
- Kolek, J. 1958. An appreciation of the Schmidt rebound hammer. Magazine of Concrete Research, 10(28), 27-36.
- Kotan, T. 2009. Pasinler Demirdöven pomzası ile üretilen hafif betonların mekanik özelliklerine atmosferik basınçlı buhar kürünün etkisi / Effect of atmospheric pressure steam curing to mechanical properties of lightweight concrete produced with Pasinler Demirdöven pumice. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 133, Erzurum.
- Köse, H., Pamukçu, Ç., Yalçın, N., Seçer, T. 1997. Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, 9, İzmir.
- Mazur, W., Drobiec, L., Jasinski, R. 2016. Research of Light Concrete Precast Lintels, World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium. WMCAUS 2016, Procedia Engineering, 161, 611-617.
- Mazur, W., Drobiec, L., Jasinski, R. 2017. Research and numerical investigation of masonry – AAC precast lintels interaction, International Conference on Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures. AMCM 2017, Procedia Engineering, 193, 385-392.
- Mohammed, J. H., Hamad, A. J. 2014. Materials, properties and application review of lightweight concrete. Technical Review of the Faculty of Engineering University of Zulia, 37(2), 10-15.
- Neville, A. M. 1975, Properties of Concrete, Pitman Publishing, 606-607, London.
- Onaran, K. 1997. Malzeme Bilimi. Bilim Teknik yayınevi, 383, Eskişehir.
- Pekdemir, M. 2011. Hasankale pasinler pomzası ile üretilen betonların bazı mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 105, Erzurum.
- Response-2000, V., 1.0.5. Reinforced Concrete Sectional Analysis Using The Modified Compression Field Theory, Erzurum Teknik Üniversitesi.
- Russel, P. 1976. The curing of concrete. Cement and Concrete Association, 16, London.

- Sağsöz, A.E. 2007. Farklı kür şartlarının doğal perlit agregalı betonların mekanik özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 115, Erzurum.
- Sancak, E. 1998. Hafif agregalı beton blokların mekanik özellikleri üzerine çelik lif kullanımının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana bilim Dalı, 78, Isparta.
- Serin, G., Çankıran, O., Başıyigit, C., Taş, H. H., Fenkli, M. 2007. Normal, hafif ve yarı hafif beton blokların fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(1), 15-22.
- Şahin, R. 1996. Kocapınar pomzası ile üretilen hafif betonun mukavemetinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 108, Erzurum.
- Şimşek, O., Sancak, E., Erdal, M., Bolat, H. 2007. Bims agregası ile üretilen silis dumanı katkılı taşıyıcı hafif betonların konut üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. e-Journal of New World Sciences Academy, 2(4), 295-304.
- Tangüner, R. 2007. Uçucu küllü düşük ve yüksek mukavemetli betonların elastiklik modülünün incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 75, İstanbul.
- TBDY 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Ankara.
- Toklu, K. 2009. Pomza taşından üretilen bims blok kalitesinin artırılma olanaklarının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana bilim Dalı, 81, İstanbul.
- Tolğay, A., Yaşar, E., Erdoğan, Y. 2004. Nevşehir Pomzasının Agregatolarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs, 10, İzmir.
- TS 708. 2016. Çelik-Betonarme İçin-Donatı Çeliği, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1. 2012. Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802. 2009. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206-1. 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 500. 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 845-1+A1. 2016. Kagir-Yardımcı Bileşenler-Özellikler-Bölüm1: Bağlar, gergiler, askılar ve konsal tutucular, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 845-2+A1. 2016. Kagir-Yardımcı Bileşenler-Özellikler-Bölüm 2: Lentolar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 846-11. 2000. Méthodes d'essai des composants accessoires de maçonnerie - Partie 9: Détermination de la résistance à la flexion et de la résistance au cisaillement des linteaux Prüfverfahren für Ergänzungsbauteile für Mauerwerk - Teil 9: Bestimmung der Biege-und Schubwiderstandsfähigkeit von Stürzen, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 846-9. 2016. Kagir-Yardımcı Bileşenler-Deney Metotları-Bölüm 9: Lentoların Eğilme Direnci ve Kayma Direncinin Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Türkel, S., Kadiroğlu, B. 2011. Pomza agregalı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(3), 353-359.
- Yaddollahi, M. M. 2013. Hasankale pomzasından alkali aktivasyon yöntemiyle geopolimer çimentosunun üretilebilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 199, Erzurum.
- Yang, K. H., Ashour, A. F. 2015. Modification factor for shear capacity of lightweight concrete beams. ACI Structural Journal, 112(4), 485-492.
- Yanık, M. 2019. Farklı incelikte öğütülmüş obsidyen katkılı çimentoların puzolanik özelliklerinin tayini. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 55, Rize.
- Zandi, Y. 2012. Taşıyıcı hafif betonla üretilen yekpare ve prefabrike yapı elemanlarının davranışlarının incelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, 98, Trabzon.
- Zebari, Z., Bedirhanoğlu, İ., Aydın, E. 2016. Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi. Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 8(1), 43-52.