

T.C.  
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PERLİTLİ BETON VE GELENEKSEL BETONDAN  
ÜRETİLMİŞ KÜP NUMUNELERDE BETON VE  
DONATI ARASINDAKİ ADERANS DAYANIMININ  
İNCELENMESİ

Ronahi ERTAŞ

Danışman: Prof. Dr. Hakan YALÇINER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

**ERZİNCAN**

2024

Her Hakkı Saklıdır.

## Kabul ve Onay Sayfası

Prof. Dr. Hakan YALÇINER danışmanlığında, Ronahi ERTAŞ tarafından hazırlanan bu çalışma 20/09/ 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan: Doktor Öğretim Üyesi Dilek OKUYUCU İmza:

Üye : Profesör Doktor Hakan YALÇINER İmza:

Üye : Doçent Doktor Atila KUMBASAROĞLU İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun .... / .... / 2024 tarih ve ...../..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

**Doç. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR**

Enstitü Müdür V.

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Perlitli beton ve geleneksel betondan üretilmiş küp numunelerde beton ve donatı arasındaki aderans dayanımının incelenmesi” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim.

20/09/2024

(İmza)

**Ronahi ERTAŞ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### PERLİTLİ BETON VE GELENEKSEL BETONDAN ÜRETİLMİŞ KÜP NUMUNELERDE BETON VE DONATI ARASINDAKİ ADERANS DAYANIMININ İNCELENMESİ

Ronahi ERTAŞ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan YALÇINER

Geleneksel beton üretiminde maliyetlerin yüksek olması ve çevreye verilen zararlar araştırmacıları alternatif malzeme arayışlarına yönlendirmiştir. Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışmalarda betonun hem malzeme mekanik özelliklerini iyileştirmek, hem de ekonomik ürün ortaya koymak amaç edinilmiştir. Mevcut literatür incelendiğinde betona farklı hacimsel oranlarda uçucu kül, yüksek fırın cürufu, atık lastik, çelik tel ve plastik fiber gibi malzemeler eklenerek veya beton bileşeninde yer alan geleneksel agregaya yerine doğal perlit gibi hafif, sürdürülebilir, ekonomik malzemeler kullanılarak betonun değişen malzeme mekanik özellikleri incelenmiştir. Donatı ile beton arasındaki aderans-donatı sıyrılması ilişkisi beton basınç sınıfı, donatı çapı, gömülme derinliği, beton boşluk yapısı gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu çalışmada, 25 MPa ve 40 MPa basınç dayanımına ve 20 mm ve 40 mm pas payına sahip toplam 24 adet küp numunesinin geleneksel agregaya ve doğal perlit agregası ile üretilerek, beton sınıfı, pas payı ve perlit kullanımı parametrelerinin donatı ile beton arasındaki aderans-donatı sıyrılması ilişkisine etkisinin araştırılmıştır. Yürütülen araştırmadan, geleneksel beton ve doğal perlit ile üretilen betonların beton basınç dayanımı ve pas payı parametrelerinin artırılması ile aderans dayanımının iyileştiği sonucuna varılmıştır.

2024, 55 Sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Aderans-donatı sıyrılması ilişkisi, çekme deneyi, doğal perlit agregası.

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **INVESTIGATION OF THE BOND STRENGTH BETWEEN CONCRETE AND REINFORCEMENT CUBE SPECIMENS PRODUCED FROM PERLITE CONCRETE AND TRADITIONAL CONCRETE**

Ronahi ERTAŞ

Erzincan Binali Yıldırım University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hakan YALÇINER

The high costs and environmental damage in conventional concrete production have led researchers to search for alternative materials. The aim of the studies carried out in this context is to improve the material mechanical properties of concrete and to progressive economical products. When the existing literature is examined; the changing material mechanical properties of concrete have been examined by adding materials such as fly ash, blast furnace slag, waste rubber, steel wire and plastic fiber in different volumetric ratios to concrete or by using light, sustainable and economical materials such as natural perlite instead of conventional aggregate in the concrete ingredient. The bond-reinforcement slip relationship between reinforcement bar and concrete depends on many factors such as concrete compression level, bar diameter, embedment depth, and concrete void structure. In this study; it was aimed to investigate the effect of concrete compression level, concrete cover and perlite usage parameters on the bond-reinforcement slip relationship between reinforcement bar and concrete by producing a total of 24 cube samples with 25 MPa and 40 MPa compressive strength and 20 mm and 40 mm concrete cover using conventional aggregate and natural perlite aggregate. From the research conducted; it was concluded that the bond strength of conventional concrete and natural perlite concrete be improved by increasing the concrete compressive strength and concrete cover parameters.

**2024, 55 Pages**

**Keywords:** Bond-reinforcement slip relationship, natural perlite aggregate, pull-out test.

## TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimime adım attığım ilk günden itibaren desteklerini bir an olsun üzerimizden esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatıp, ufkumu açan çok değerli bilim insanı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakan YALÇINER'e, çok değerli hocam Doç. Dr. Atila KUMBASAROĞLU'na, Arş. Gör. Ahmet İhsan TURAN'a, sevgileriyle her daim yanımda olarak beni cesaretlendiren, destekleyen canım aileme, deneylerimde yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ronahi ERTAŞ

Eylül, 2024

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>4</b>
2.1. Agrega Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler.....	4
2.2. Hafif Betonlar Üzerine Gerçekleştirilen Deneyler.....	5
2.3. Perlit Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler.....	8
2.4. Aderans Kuvveti - Sıyırılma İlişkisi Deneyleri.....	8
<b>3. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>10</b>
3.1. Aderansın Tanımı.....	10
3.2. Aderans Dayanımını Etkileyen Parametreler.....	11
3.2.1. Aderans (kenetlenme) boyu.....	12
3.2.2. Donatı çapı.....	12
3.2.3. Beton basınç dayanımı.....	13
3.2.4. Paspayı derinliği.....	13
3.3. Çekip Çıkarma Deneyi Tanımı.....	14
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>16</b>
4.1. Materyal.....	17
4.1.1. Beton ve donatı mekanik özellikleri.....	17
4.1.2. Kesit özellikleri.....	17
4.1.3. Ön Deneysel Çalışmalar.....	18
4.2. Yöntem.....	25
4.2.1. Deneysel numunelerin aderans boyu.....	25
4.2.2. Çekme-çıkarma testleri.....	26
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>28</b>

5.1. Çekme-Çıkarma Deneyinde Gerilme-Birim Şekil Değişirme Sonuçları.....	28
5.1.1. Geleneksel beton .....	28
5.1.2. Perlitli beton.....	33
5.1.3. Perlitli beton ve geleneksel beton .....	38
5.2. Çekme-Çıkarma Deneyinde Aderans-Donatı Sıyrılması Sonuçları.....	41
5.2.1. Geleneksel beton .....	41
5.2.2. Perlitli beton.....	46
5.2.3. Geleneksel beton ve perlitli beton.....	51
5.3. Numunelerin Hasar Seviyeleri .....	53
<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>56</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3. 1. Aderansın oluşmasını sağlayan faktörler (ACI 408R, 2003).....	10
Şekil 3. 2. Maksimum aderans dayanımı ve paspayı ilişkisi (Yalciner vd.,2012). ....	14
Şekil 3. 3. Çekip çıkarma deneyi ile ilgili görseller (Sansak M.F., 2019).....	15
Şekil 4. 1. Tüm küp numunelerinin şematik çizimi. ....	16
Şekil 4. 2. Tasarlanan numunenin görünüşü: (a) kesit ve donatı detayı, (b) donatı gömme boyu detayı. ....	17
Şekil 4. 3. Kurutulabilmesi için serilen perlit agregaları. ....	18
Şekil 4. 4. Perlit agregası eleme düzeneği. ....	19
Şekil 4. 5. Elekte ayrıştırıldıktan sonra serilen perlitler.....	19
Şekil 4. 6. Özgül ağırlığı ve birim ağırlığı bulunan iri ve ince perlit agregaları.....	20
Şekil 4. 7. Perlit agregası dağılım oranları.....	20
Şekil 4. 8. Suda bekletilen perlit agregaları. ....	21
Şekil 4. 9. Su kusan beton. ....	22
Şekil 4. 10. Beton numune ön deney aşamaları. ....	23
Şekil 4. 11. Çekip-çıkarma testi şematik modeli (Zhang vd., 2020). ....	26
Şekil 4. 12. Çekip Çıkarma deney düzeneği. ....	27
Şekil 5. 1. C25 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri. ....	28
Şekil 5. 2. C25 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri. ....	29
Şekil 5. 3. C25 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması. ....	29
Şekil 5. 4. C40 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri. ....	30
Şekil 5. 5. C40 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri. ....	31
Şekil 5. 6. C40 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması. ....	31
Şekil 5. 7. 2 cm pas-payına sahip C25 ve C40 numunelerinin karşılaştırılması.....	32
Şekil 5. 8. 4 cm pas-payına sahip C25 ve C40 numunelerinin karşılaştırılması.....	33
Şekil 5. 9. P25 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri. ....	34
Şekil 5. 10. P25 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri. ....	34
Şekil 5. 11. P25 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması. ....	35

Şekil 5. 12. P40 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri. ....	35
Şekil 5. 13. P40 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri. ....	36
Şekil 5. 14. P40 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması. ....	36
Şekil 5. 15. 2 cm pas-payına sahip P25 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	37
Şekil 5. 16. 4 cm pas-payına sahip P25 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	38
Şekil 5. 17. 2 cm pas-payına sahip C25 ve P25 numunelerinin karşılaştırılması. ....	39
Şekil 5. 18. 2 cm pas-payına sahip C40 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	39
Şekil 5. 19. 4 cm pas-payına sahip C25 ve P25 numunelerinin karşılaştırılması. ....	40
Şekil 5. 20. 4 cm pas-payına sahip C40 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	40
Şekil 5. 21. C25 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri. ....	41
Şekil 5. 22. C25 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri. ....	42
Şekil 5. 23. C25 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerlerinin karşılaştırılması. ....	42
Şekil 5. 24. C40 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri. ....	43
Şekil 5. 25. C40 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri. ....	43
Şekil 5. 26. C40 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerlerinin karşılaştırılması. ....	44
Şekil 5. 27. 2 cm pas-payına sahip C25 ve C40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	45
Şekil 5. 28. 4 cm pas-payına sahip C25 ve C40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	45
Şekil 5. 29. P25 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri. ....	46
Şekil 5. 30. P25 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri. ....	47
Şekil 5. 31. P25 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerlerinin karşılaştırılması. ....	47
Şekil 5. 32. P40 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri. ....	48
Şekil 5. 33. P40 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri. ....	48
Şekil 5. 34. P40 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerlerinin karşılaştırılması. ....	49
Şekil 5. 35. 2 cm pas-payına sahip P25 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	50
Şekil 5. 36. 4 cm pas-payına sahip P25 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	50
Şekil 5. 37. 2 cm pas-payına sahip C25 ve P25 numunelerinin karşılaştırılması. ....	51
Şekil 5. 38. 2 cm pas-payına sahip C40 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	52
Şekil 5. 39. 4 cm pas-payına sahip C25 ve P25 numunelerinin karşılaştırılması. ....	52
Şekil 5. 40. 4 cm pas-payına sahip C40 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması. ....	53
Şekil 5. 41. Numunelerin gözlemlenen hasar seviyeleri. ....	54

## TABLULAR LİSTESİ

**Sayfa**

Tablo 4. 1. C20 Perlit silindir numunelere ait beton basınç dayanımları. ....	23
Tablo 4. 2. C40 Perlit silindir numunelere ait beton basınç dayanımları. ....	24
Tablo 4. 3. C20 Geleneksel silindir numunelere ait beton basınç dayanımları. ....	24
Tablo 4. 4. C40 Geleneksel silindir numunelere ait beton basınç dayanımları. ....	25



## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

$A_s$	Donatı çubuğunun alanı
$D_b$	Donatı çubuğunun çapı
$F_{max}$	Sistemin almış olduğu maksimum yük
$F_s$	Donatıdaki gerilme değeri
$F_y$	Akma noktasındaki yük
$F_u$	Ultimate noktasındaki yük
$K$	Elastik rijitlik                      Elastik rijitlik
$L_d$	Elastik
$L_d$	Elastik olmayan
$\Delta_y$	Akma noktasındaki yer değiştirme
$\Delta_u$	Ultimate noktadaki yer değiştirme
$\mu$	Süneklik katsayısı

### Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
ERPER	Erzincan Perlit Madeni Şirketi
TS-EN	Türk Enstitüleri Avrupa Normu

## 1. GİRİŞ

Kentleşme ile birlikte sanayileşmedeki artış, inşaat sektöründeki yapılarda beton üretiminin önemli hammaddesi olan agregaya ihtiyacı arttırmıştır.

Betonun özellikleri ile ilgili yaşanan gelişmeler ve atık malzeme kullanımının çevreye sağladığı yararlar, çevre dostu beton üretimine yönelik araştırmaları teşvik etmektedir. Bu bağlamda, hem ekonomik olarak hem de betonun malzeme-mekanik özelliklerine katkı sağlayabilecek atık malzemelerin kullanımı için birçok farklı çalışma yapılmış ve halen devam etmektedir. İlgili çalışmalarda inşaat ve yıkım atıkları (Azevedo vd., 2020), uçucu kül (Al-Sodani vd., 2021), mermer atığı (Marvila vd., 2019), silis dumanı, doğal puzolan, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (Khan vd., 2021), açai lifleri (Marvila vd., 2020), cam tozu atığı (Azevedo vd., 2017), nano-silika, çimento fırını tozu, elektrik ark fırını tozu (AlKhatib vd., 2020), rüzgâr türbini kanat atıkları (Oliveira vd., 2020) gibi pek çok alternatif ve atık malzeme, harç veya betonun özelliklerini geliştirmek, enerjiyi korumak ve sera gazı emisyonunu azaltmak için üretime dahil edilmiştir. Tüm bu etkenlerin bir araya gelmesi sonucunda ortaya çıkan “Hafif Beton” fikri, betonun malzeme mekanik özelliklerinden ödün vermeden çimento ve agreganın alternatif diğer uygun malzemelerle değiştirilebileceği inşaat endüstrisinde önem kazanmıştır.

Hafif beton kullanımında sağlanan üç önemli fayda: (i) düşük sıfır maliyetli hammaddelerin kullanımı; (ii) doğal kaynakların korunması; (iii) normal betona kıyasla ekonomik faydalar olarak ifade edilmektedir (Alqahtani ve Zafar 2021; Strnadel vd., 2021). Ancak beton üretiminde geleneksel agregalara alternatif olabilecek tamamen agregaların yerine geçebilecek ve ülke öz kaynaklarının kullanılmasına ile üretilebilecek bir beton üretimine bugüne kadar geçilememiştir. Türkiye’nde deprem ülkesi olduğu dikkate alındığında, hafiflik, dayanıklılık açısından da önemli üstünlükleri olan perlitin inşaat sektöründe değerlendirilmesi hem sektöre hem de ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacağı ön görülmektedir.

Türkiye, Çin, ABD ve Yunanistan en önemli perlit üreticileridir ve dünya çapındaki üretimin %95’ini oluşturmaktadır (2016 yılı için üretim miktarı 4,6 milyon ton’dur) (Pachta vd., 2019). Dünya toplam perlit rezervi 7 milyar 700 milyon ton iken; bu rezervin 5 milyar 700 milyon tonu yani %74’ü ülkemiz topraklarında yer almakta ancak bu madenin yalnızca %8 i kadar kullanılmaktadır (Kaya, 2019). Türkiye’nin ilk perlit

madeni işletmelerinden birisi olan ERPER şirketi, yıllık 384.000 ton perlit üretim kapasitesi ile Erzincan-Mollaköy'de faaliyet göstermektedir.

Perlitin kullanımı, özel uygulamalarda ayrıntılı malzemeler (yani hafif beton, yangına dayanıklı sıvalar) üretmek için esas olarak beton (Rózycka ve Pichór 2016; Fodil ve Mohamed 2018; Wang vd., 2018) veya çimento bazlı harç (Kotwica vd., 2017; Palomar and Barluenga 2018) agregalarının ikame edilmesine odaklanmaktadır. Geleneksel beton yapıları oluşturan dere ve/veya kırma taş agreganın yerine doğal perlit agregasının kullanımı, yeni nesil yapılar için olası bir alternatif oluşturabilecektir. Ancak betonarme yapılarda doğal perlit agregası kullanımına yönelik henüz bir standart geliştirilmemiştir ve donatısız doğal perlitli betonların gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi de derinlemesine araştırılmamıştır. Donatı ile beton arasındaki yük aktarımı mekanizmasını etkilediği gerekçesiyle, doğal perlit agregalı betonların aderans dayanımı-donatı sıyrılması ilişkisinin belirlenmesi, bunların uygulamada kullanımı için temel bir gerekliliktir (Yalciner ve Kumbasaroglu, 2022).

Donatı ile beton arasındaki aderans kaybı nedeniyle, yapının nihai yük taşıma kapasitesindeki azalım yaklaşık %45 oranında etkilidir (Sezen ve Moehle 2003; Jin vd., 2019). Dolayısıyla, aderans performansı dikkate alınmadan tasarlanan yapısal güvenlik daha sorunlu olabilir.

Aderans performansı, betonun çekme ve basınç dayanımı, donatı çubuklarının mekanik özellikleri ve beton içerisindeki gömülü uzunluk gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Deng vd. (2019), tasarım çimentolu kompozitler ile donatı çubukları arasındaki aderans performansını ortam sıcaklığında araştırmak için değişen gömülü uzunluklarla dinamik çekme testleri gerçekleştirmiştir.

Feng vd. (2022), tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda aderans mukavemeti ve rijitliğin sırasıyla %60 ve %90 oranlarında iyileşebildiği bulunmuştur, çeşitli kısıtlamalarla eksantrik çekme testleri yapmışlar ve sonuçlar etriyelerin aderans mukavemetini arttırdığını ve beton pas-payının donatı sıyrılma hasarını geciktirdiğini göstermiştir.

Bu konudaki araştırmalar ağırlıklı olarak çeşitli materyallerle oluşturulan betonun içerisine değişen gömme boyuna sahip donatı çubuğu yerleştirilerek çekme testi yapılması üzerine yoğunlaştırılmıştır (Hamad vd., 2017; Li vd., 2023; Sharma vd.,

2019; Liu vd., 2022). Bununla birlikte, farklı donatı pas-payları açısından, eksantrik çekme şeklinde yürütülen araştırmalar da sınırlıdır ve belirli bir düzene göre planlanan kuvvet ve/veya deplasman bazlı karmaşık yükleme protokolleri, aderans performans testinde sıklıkla gözden kaçırılmaktadır (Liu vd., 2024).

Bu çalışmada, geleneksel betona alternatif olabileceği düşünölen doğal perlit agregalı betonun aderans performansı, beton içerisindeki gömölü uzunluk sabit olmak üzere, beton basınç dayanımı ve pas-payı seviyelerine bağlı olarak, eksantrik çekme testleri ile ölçölmüştür. Sadece perlit katkısı ile oluşturulan küp numune modelleri oluşturularak deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda perlitli beton ile geleneksel betonun performans karşılaştırılması ve aderans-sıyrılma etkisi ortaya konulmuştur.

Bu tez 6 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonraki kaynaklar özeti bölümünde daha önce yapılan araştırmalar, kuramsal temeller bölümünde tez konusu ile ilgili temel kavramlar, materyal ve yöntem bölümünde tez kapsamında yapılan deneylerde kullanılan numune ve yükleme-ölçüm düzeneği ile ön deneysel çalışma, araştırma bulguları bölümünde çekip çıkarma deneylerinden elde edilen bulgular, sonuç bölümünde verilerin analizi ve sonuçları yer almaktadır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Agregada Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Kaliteli agregada, kaliteli yaşam demektir. Ülkemizin deprem kuşağında yer aldığı dikkate alındığında inşaatlarda kullanılan beton ve agregada kalitesinin önemi ortadadır (AGÜB, 2017). Agregada, beton kalitesinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar ve bu da onu dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biri haline getirir. İnşaat sektörünün hayati bir hammaddesi olan agregada, beton üretiminde yoğun olarak kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi çeşitli maddeleri kapsamaktadır. Tane boyutlarına göre sınıflandırılan agregada, ince (kum ve kırma kum ) veya kaba (çakıl ve kırmataş) olarak sınıflandırılabilir. Beton hacminin %70-80'ini agregada oluşturmaktadır.

Agregada kaynakları dünyada en yaygın olarak kullanılan doğal kaynaklardır. Toplam agregada tüketiminde önemli bir paya sahip olan hazır beton sektörü verilerine bakıldığında, Türkiye'nin 2016 yılı üretimi 109 milyon metreküp olup, Avrupa'da birinci sırada yer alırken, Türkiye'nin Çin ve ABD'den sonra dünyada üçüncü sırada yer aldığı görülmektedir. Bu veri önemlidir çünkü dünyadaki ülkelerin genel sektör sıralamasını yansıtmaktadır (AGÜB, 2017). Yalnızca 2018'de, küresel inşaat sektörü 360 milyar dolar tutarında doğal agregada kullanmıştır (Ostrowski vd., 2020). Ayrıca kum ve çakıl madenciliği, su kütlelerini ve doğal ekosistemleri tehlikeye attığı için felaket niteliğinde bir uygulama olarak nitelendirilmektedir (Castillo vd., 2020; Sikora vd., 2020). Bu nedenle, betonda kullanılan çimento ve ham agreganın miktarının azaltılması, yalnızca ekonomik açıdan tasarruf sağlamakla kalmayıp; Aynı zamanda bu üretimle büyüme stratejisileri ekosistemimizin korunmasını da hayati önem taşıyor (Zhai vd., 2020).

Agreganın birim ağırlığı düşük olmasına ve gerekli dayanım özelliklerini sağlamasına rağmen, su emme özellikleri betonun çökmesini ve işlenebilirliğini doğrudan etkiler. Malhotra vd.(1990) gibi bazı araştırmacılar karışım öncesinde agregada üzerine ısıtılma işlemi uygulanarak; Agreganın karıştırılması, taşıma ve yerleştirme aşamaları sırasında betondan su emmesini engellemeyi önermektedirler. Novokshchenov ve Whitcomb (1990) ise bu olayın su emme kapasitesi yüksek olmayan agregalar için uygun olmadığını öne sürmüşlerdir. Aitcin (1998), Gökçe ve Can (2009), kuru agreganın tamamen kullanılmasını tavsiye etmişler ve karıştırma, taşıma ve yerleştirme sırasında agregalar tarafından emilen su miktarının karışım suyuna dahil edilmesi gerektiğini tavsiye etmişlerdir.

Granülometrik eğri (tane dağılımı), tane geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü özellikleri betonun kompasitesini veya doldurma kapasitesini artırır. Uygun olmayan şekillerdeki (uzun veya yassı) agregaların aşırı ıslatma suyu gerektirdiği iyi bilinmektedir. Bu kusurlu parçacıkların üzerinde kalan ince su filmi, dayanım ve dayanıklılık açısından en zayıf halka olarak kabul edilen agrega ile çimento hamuru arasındaki geçiş bölgesindeki aderansı olumsuz yönde etkiler. Sonuç olarak bu durum betonun hem anlık dayanım hem de uzun dönem dayanıklılık performansının düşmesine neden olur (Arioğlu vd., 2006).

## **2.2. Hafif Betonlar Üzerine Gerçekleştirilen Deneyler**

Günümüzdeki hafif beton üretiminin temel başlangıç noktalarını oluşturan geleneksel hafif beton, doğal olarak elde edilen hafif agregaların herhangi bir değişiklik yapılmadan beton karışımlarında kullanılmasıyla üretilen bir betondur.

Hafif Beton, 2000 yılına kadar dayanan kullanımına rağmen, son yıllarda çok çeşitli inşaat projelerinde büyük ilgi gören ve endüstriyel talebi olan çok yönlü bir malzemedir (Numan vd., 2019). Küresel ısınmanın başlıca nedeni olduğuna inanılan enerjiyi korumak ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için, olağanüstü ısı ve ses yalıtımı özellikleri gibi kayda değer faydaları nedeniyle hafif beton geliştirme alanındaki araştırmalarda artış gerçekleşmiştir (İbrahim vd., 2020). Düşük yoğunluk, iyi ısı yalıtımı ve yangına dayanıklılık gibi birçok avantajı nedeniyle, hafif beton hem yapısal hem de yapısal olmayan malzeme olarak geniş çapta incelenmiştir (Yu vd., 2015).

Hafif agregalı beton yapısal betonun özel bir alt türüdür (Balam vd., 2017). İstenilen birim ağırlık ve yeterli mekanik özelliklere sahip hafif beton üretmek için uygun hafif agregayı seçmek ve kullanmak önem arz etmektedir (Leong vd., 2020). Geleneksel betona, düşük özgül ağırlıklarından dolayı hafif agregaların eklenmesi, agrega ayrılması gibi bazı beton problemlerini de azaltabilmektedir (Dolatabad vd., 2020). Doğal olarak ortaya çıkan veya endüstriyel işlemeden yan ürün olarak elde edilen hafif agregalar, beton üretiminde normal agregaların yerini almak için kullanılabilir (Ting vd., 2019).

Hafif agregalar genellikle doğal ve yapay türler olarak kategorize edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan doğal hafif agregalar; pomza, diatomit, volkanik cürufur ve tüftür (ACI 213R-03, 2003). Yapay hafif agregalar ise sinterlenmiş arduvaz, sinterlenmiş öğütülmüş yakıt külü, genleştirilmiş veya köpüklü yüksek fırın cürufu ve kömür ocağı atıklarıdır (Aslam vd., 2016). Ayrıca beton üretiminde hafif agrega olarak kullanılabilen şeyl,

genleştirilmiş kil, arduvaz, vermikülit ve perlit gibi işlenmiş doğal malzemeler de vardır (Shafiq vd., 2010).

Hafif agregalar, beton üretiminde hem ince hem de iri agrega olarak kullanılmaktadır (Li vd., 2018). Çoğu durumda, bir beton veya harç karışımının toplam yoğunluğunu, dolayısıyla ölü yükleri ve ayrıca büyük öngerilmeli beton elemanların taşınmasıyla ilişkili yükü azaltmak için kullanılmaktadırlar (Lopez vd., 2004).

Taşdemir (1982) tarafından geliştirilen deneysel çalışmada betonun elastisite modülünü tahmin etmeye yönelik model geliştirilmiştir. Aynı birim ağırlıkta ki hafif agreganın ortalama boyutunun artmasıyla basınç dayanımının azaldığı Taşdemir (1982) tarafından gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, daha büyük boyutlu hafif agregalar normal agregaların yerini aldığı anda, ortaya çıkan hafif beton, gevrek kırılma davranışı ve azaltılmış tokluk sergilediği belirtilmiştir. Ek olarak, nihai basınç geriniminde buna karşılık gelen bir azalmanın olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, sabit gradasyona ve birim ağırlığa sahip betonlardan, ince kesitli hafif agrega içerenlerin daha üstün mekanik özellikler gösterdiği belirlenmiştir.

Doğal veya hafif kum kullanımı, üretilecek betonun mukavemetini, birim ağırlığını ve işlenebilirliğini doğrudan etkiler. Hafif kumla yapılan betonlar, yüzey dokuları ve pürüzlülükleri nedeniyle diğer kum türleriyle yapılanlara göre daha düşük işlenebilirlik sergiler. İnce veya kaba hafif agreganın bir kısmının veya tamamının doğal normal agrega ile değiştirilmesi, birim yoğunluğu  $2,0 \text{ kg/dm}^3$  veya daha düşük olan betonun üretilmesini önemli ölçüde daha zor hale getirir (Aitcin, 1998).

Malhotra (1990), 50 ile 60 MPa aralığındaki basınç dayanımına sahip yüksek dayanımlı hafif beton üretiminin mümkün olduğunu belirtmekte ve bu betonlar için 100 MPa'lık bir üst sınır belirliyor. Berra ve Ferrara (1990), benzer şekilde 150 mm küp testinde birim yoğunluğu  $1,7 \text{ kg/dm}^3$  ve 60 MPa'ya kadar basınç dayanımına sahip hafif beton üretme potansiyelini doğrulamaktadır. Wasserman ve Bentur (1996), diğer araştırmacılardan farklı olarak, yüksek dayanımlı hafif beton üretmek için uygun hafif agregaların kullanılmasının şart olduğunu vurgulamaktadır. Hafif agreganın her türü bu tür performans standartlarına ulaşmak için uygun değildir. Ayrıca Faust ve Gert König (1997), çeşitli hafif agregalar, granülometreler ve dozajlar kullanılarak yüksek dayanımlı hafif beton üretiminin mümkün olduğunu gösteren çalışmalar yürütmüştür.

Yüksek dayanımlı betonda kritik faktörlerden biri iri agregaların dayanıklılığıdır. Hafif agregalar gözenekli, daha az dayanıklı ve parçalanmaya daha duyarlı olma eğilimindedirler (Aitcin, 1998). Ayrıca yüksek dayanımlı hafif betonlarda kırılmaların öncelikle iri agregaların parçalanması yoluyla meydana geldiği görülmüştür. Sonuç olarak, bu durum geleneksel betonlara göre daha kırılğan bir kırılmaya neden olur (Faust ve König, 1997).

Yüksek dayanımlı hafif betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen diğer bir faktör de hafif agrega parçacıklarının su emme kapasitesidir (Zhang ve Gjorv, 1991). Su/çimento oranı belirli bir eşiğin altına düştüğünde, otojen büzölmeye yol açan kendi kendine kuruma olasılığı yüksektir (Aitcin, 1998; Neville, 1994). Bu olgu özellikle düşük w/c oranlarıyla üretilen yüksek dayanımlı betonlarda yaygındır.

Kuruma süreci sırasında içyapıda meydana gelen gerilmeler, çimento matrisinin mevcut çekme kopmasını aştığında, matris içinde kılcal çatlaklar oluşur. Bu durum, betonun miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır (Paillere vd., 1998).

Bazı araştırmacılar, yüksek dayanıklılığa sahip hafif betonda otojen rötrenin meydana gelme olasılığını azaltmak amacıyla hafif agreganın üretimde suya uygun hale getirilmesini önermektedir.

Yüksek performanslı hafif agrega üretimine ilişkin çeşitli bakış açıları ortaya çıkmıştır. Novokshchenov ve Whitcomb (1990), doğal kum kullanılmasını önerdi; Nielsen ve Aitcin (1992), doğal hafif kumu savunurken, Berra vd. (1990), ile birlikte hem doğal hem de hafif kumların karıştırılmasını önerdi. Sonuç olarak birim hacim ağırlığı 1,0 ila 2,0 kg/dm<sup>3</sup> ve basınç dayanımı 15 ila 100 MPa arasında değişen hafif beton üretmenin mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ve daha önceki çalışmalar Jamal vd. (1997) tarafından geliştirilen, çeşitli hafif agregalı beton türlerinin ağırlık azaltma, yanal yük direnci, işlenebilirlik, dikey yük direnci, kırılmaz, ısı yalıtımı, su emme oranı ve ses izolasyonu gibi özellikler incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Hafif yapı malzemelerinin binalarda kullanılması, depreme dayanıklılık, maliyet etkinliği, ısı ve ses yalıtımı, yangına dayanıklılık ve donma-çözölme dayanıklılığı gibi birçok zorluğun çözümünde önemli bir rol oynamıştır (Bingöl ve Gül, 2004).

### 2.3. Perlit Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Perlit, yaklaşık %70 oranında SiO<sub>2</sub> içeriğine sahip amorf yapılı volkanik bir camsı malzemedir (Papa vd., 2018; Mo vd., 2021), Perlit cevherinin ezilmesi ve ısı işleme tabi tutulmasıyla üretilmektedir (Kasai vd., 2019). Doğal halinde, 900-1200 °C'de hızla ısıtıldığında buharlaşan perlit kristalize formda yüksek su içeriğine (%2-5) sahiptir (Maxim vd., 2014). Bu sıcaklık değerlerine tabi tutulduğunda, kimyasal olarak yapısına bağlı suyu buhara dönüştürerek hacmi 20 katına kadar çıkarılabilmektedir (Rashad 2016; Sayadi vd., 2018).

Perlit içerisindeki çok sayıda mikro gözenek, ısı ve ses yalıtımının yanı sıra yapıya hafiflik özelliği de sağlamaktadır (Sun vd., 2013). Perlit, inorganik bir materyaldir ve özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilir. Ayrıca perlit suda çözünmez ve çürümez (Davraz vd., 2020).

Demirboğa vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada geliştirilmiş perlit ve pomza agregalarından oluşan çeşitli beton karışımlarının basınç dayanımları incelenmiştir. Sonuçlar, agrega karışımındaki perlit oranının artmasının basınç dayanımında azalmaya yol açtığını göstermiştir.

Demirboğa ve Gül (2003), yaptıkları çalışmada değişen oranlarda geliştirilmiş perlit ve pomza agregası içeren hafif betonların ısı iletkenliklerini araştırdılar. Hafif beton üretiminde kullanılan toplam agrega içindeki geliştirilmiş perlit oranındaki artışın pomza oranındaki azalmayla birleştiğinde ısı iletkenliğinde bir azalmaya yol açtığını belirlediler.

### 2.4. Aderans Kuvveti - Sıyrıma İlişkisi Deneyleri

Beycioglu vd. (2014), Yapılan çalışma, yüksek dayanımlı beton gibi yüksek çimento içeriğine sahip betonlar için, doğrudan test edilemeyen kompozit çubuk malzemelerinin çekme dayanımının, bağ uzunluğunun uzatılmasıyla Belçika mafsal kiriş testi kullanılarak dolaylı olarak belirlenebileceğini gösterdi. Bazalt lifleri ve çelik donatı gibi üstün çekme mukavemeti ve yapışma kabiliyetine sahip donatıların kullanıldığı yüksek performanslı betonlarda bağ uzunluğunun bir miktar azaltılabileceği düşünülmektedir.

Arslan (2007), hem geleneksel hem de hafif betonla inşa edilen kirişler, daha büyük çaplı olanlara kıyasla daha küçük çaplı donatılar için daha yüksek bağ mukavemeti sergiler. Bu

olgu, beton matrisindeki doğal büzülme nedeniyle daha küçük çaplı takviyelerin maruz kaldığı artan yanal basınçlara atfedilir ve bu da onların aderans mukavemetini arttırır.

Borosnyi (2015), CFRP (Karbon Fiberle Güçlendirilmiş Polimer) takviyelerinin kumlanmış yüzeylerle bağ mukavemetleri, çok parametrelili bir çekme testi aracılığıyla analiz edildi. Araştırma, düşük, normal ve yüksek mukavemetli beton numunelerinin -25 °C, +20 °C ve +65 °C sıcaklıklarda çekme testine tabi tutulmasını içeriyordu. Sonuçlar, beton mukavemetindeki değişikliklerle karşılaştırıldığında sıcaklığın beton ve donatı arasındaki aderans üzerinde daha önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterdi. Ayrıca bulgular, elik donatıların betona yapışmasını belirlemek için tipik olarak kullanılan matematiksel fonksiyonların CFRP donatılar için geçerli olmadığını gösterdi.

Ashrafi vd. (2017), GFRP (Cam Elyaf Takviyeli Polimer) takviyelerinin farklı dayanımlara sahip betonlarla bağlanma dayanımını bir çekme testi kullanarak araştırdılar. Araştırmada, 16 MPa, 24 MPa ve 37 MPa basınç dayanımına sahip beton numuneleri, 80 mm'lik bir bağlanma uzunluğu boyunca 10 mm çapındaki takviyelerle birlikte incelenmiştir. Sonuçlar, basınç dayanımı 24 MPa ve 37 MPa olan betonların bağ dayanımını sırasıyla yaklaşık %7 ve %21 arttırdığını gösterdi.

### 3. KURAMSAL TEMELLER

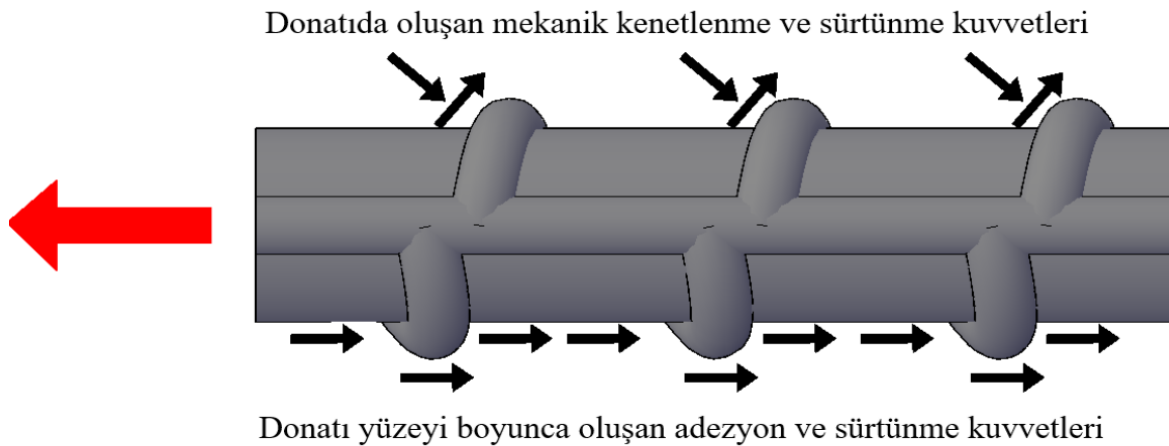
#### 3.1. Aderansın Tanımı

İnşaat mühendisliği alanında aderans, betonarme bir yapıda, taze beton dökümünden itibaren beton ve donatının birbirinden ayrılmayacak biçimde birbirine kenetlenmesi bir başka anlatım ile yapışmasıdır.

Betonarme elemanda, donatının kendi doğrultusu süresince beton ile yapmış olduğu kayma gerilmeleri aderansın mekanizmasını tanımlamaktadır. Betonarme bir sistemde donatıda oluşan gerilmeler ve yapıda oluşan iç kuvvetlerin birbirine aktarılması aderans vasıtasıyla gerçekleşmektedir.

Yeterli aderans olduğu takdirde beton ve donatının uzama değerleri her zaman aynı olacaktır (Sümer, 2009). Donatı çubukları ve bunları çevreleyen beton örtüsünün sağladığı aderans tam aderans olarak kabul edilir ve donatı çubuklarının birim şekil değiştirme değerinin, ilgili tabakadaki betonun birim şekil değiştirme değerine eşit olduğu varsayılır (TS500, 2000).

Yeterli aderans sağlanamazsa, donatı betondan ayrılabilir veya beton çatlayarak yapının hasar görmesine veya çökmesine neden olabilir. Monotonik, tekrarlı ve tersinir tekrarlı yüklerin etkisi altındaki yapılar için, beton ile donatı arasındaki zayıf aderans, yapının yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini önemli ölçüde azaltabilir (Chao vd., 2009).



Şekil 3. 1. Aderansın oluşmasını sağlayan faktörler (ACI 408R, 2003).

### 3.2. Aderans Dayanımını Etkileyen Parametreler

Aderans dayanımını çeşitli parametreler etkiler. Aderans dayanımı söz konusu olduğunda kesme aderansı ile boyut etkileri arasındaki ilişkinin kritik parametreler olduğu göz önüne alındığında, Aderans dayanımını etkileyebilecek değişkenler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır:

1. Beton içindeki çekme mukavemeti önemli bir parametredir. Nervürlü donatılarla yapılan betonarme yapılarda, kopma sonucu meydana gelen kırılmalardan dolayı çekme dayanımı önemli rol oynar.
2. Donatıların akma dayanımı, ankraj uzunluğu boyunca aderans geriliminin dağılımını etkilediği için önemlidir.
3. Donatıların yüzey koşulları (örneğin, nervürlü, düz).
4. Donatı çapı etkili parametrelerden biridir. Çapın artırılması, aderans alanının genişlemesine neden olur ve uygulanan kuvvet alanlarını etkileyen oranı değiştirir. Ek olarak, kırılma yarıklarındaki çekme gerilmeleri çapla ilişkilidir.
5. Ankraj uzunluğuna bağlı olarak bağ gerilmeleri değişse de aralarında doğrudan bir orantı yoktur.
6. Donatıları çevreleyen betonun kalınlığı bir diğer hayati parametredir. Çekme kapasitesinin (yarılma direncinin) kaplama kalınlığı (beton kaplama üzerindeki donatı) ile ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.
7. Beton dökümü sırasında donatıların çevresinde veya yüzeyinde oluşan kılcal boşluklar aderansı olumsuz yönde etkiler.
8. Yerel gerilmeler de uyumu etkileyebilir. Örneğin, destekler tarafından uygulanan lokal basınç gerilmeleri, özellikle nervürlü donatı kullanıldığında çatlama işlemini geciktirebilir.
9. Donatı üzerindeki sarmal sargılar veya kumlanmış yüzeyler, aderans performansını ve kırılma direncini önemli ölçüde artırır.
10. Kullanılan agregaların türü ve niteliği aderansı etkileyen temel faktörlerdir. Kırma taş agregalar hafif agregalara göre daha düşük aderans performansına sahiptir (Ersoy, 1985).

### 3.2.1. Aderans (kenetlenme) boyu

Aderans boyu, donatının ayrılmadan akmasını veya fonksiyonunun aksamadan yerine getirmesini sağlayan en küçük gömülme uzunluğudur.

Beton ile donatı arasındaki aderans, kenetlenme boyu ile direkt ilişkilidir. Yeterli kenetlenme boyu sağlandığında donatıyı beton kütle içinden çekip çıkarmak çok zordur. En doğru ve uygun şekilde kenetlenme boyu sağlandığında donatı beton içinden sökülememekte aynı zamanda donatı akma seviyesine vardığında sıyrılmamaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2001). Kenetlenme boyu, donatıdaki gerilmenin sıfır değerinden süregelen akma dayanımı kadar ulaşabileceği en minik boy olarak tanımlanmaktadır. Aderans dayanımı arttıkça kenetlenme boyunun arttığı bilinmektedir, sadece bu artış birebir doğru orantılı bir artış değildir (Bayram, 1994; Ersoy ve Özcebe, 2001). Aderansın yükleme durumuna bakılırsa betonarme elemanların dayanımlarını etkilemektedir. (Aka, 1996; Arslan, 2007; Arel, 2012).

### 3.2.2. Donatı çapı

Donatı, betonarmenin iki temel unsurundan birini oluşturur. Beton, basınç gerilmesi altında mükemmel performans sergilerken, çekme dayanımı oldukça düşüktür. Gerilmeye maruz kalan bölgelerdeki gerilmeleri gidermek için bu bölgelere çelik çubuklar yerleştirilir. Tipik olarak betonarme yapılarda takviye olarak yuvarlak çubuklar kullanılır. Takviye çubuklarının çapı  $\emptyset$  (fi) sembolü ile gösterilir. Örneğin  $\emptyset 16$ , çapı 16 mm olan bir donatıyı belirtir.

Aderansın etkilendiği mühim hususlardan biri de donatı çapıdır (Ichinose, 2004). Donatı çapının değişmesiyle aderans dayanımı da değişmektedir bunun sebebi kenetlenme boyunca, yüzey alanının değişmesinden kaynaklanmaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2001). Bu durum şu şekilde açıklanmaktadır, Donatı çapı arttıkça donatıya gelen yük artmakta ve kenetlenme gerilmesi azalmaktadır. Dolayısıyla donatıdaki nervürlerin oluşturduğu radyal gerilmeler artmaktadır. Böylece, betonarme yapıda yarıma çatlakları oluşmaktadır (Türk, 2002; Arel, 2012). Bu sebeple, donatı çapı azaldıkça aderansın artması beklenmektedir (Dahil, 2001; Durmuş vd., 2006; Ichinose, 2004). Sonuç olarak; donatı çapı arttıkça aderans dayanımı azalacağından, kenetlenme boyunun artırılması gerekmektedir (Aka,1996; Arslan, 2017).

Bingöl vd. (2009), çalışmaları sonucunda donatı çapı arttıkça aderans kuvvetinin azaldığı belirtmişlerdir. Dolayısıyla donatı çapları arttıkça kenetlenme uzunluğu ve beton örtüsü kalınlığının da artırılması gerektiği ifade edilmiştir.

### **3.2.3. Beton basınç dayanımı**

Beton, inşaat sektöründe çimentonun en yaygın kullanımındır. Çimento, agrega, kimyasal katkı maddeleri ve sudan oluşur. Betonun sertleştikten sonra uygulanan yüklerden kaynaklanan şekil bozukluklarına ve kırılmalara karşı gösterebileceği maksimum dirence basınç dayanımı denir. Beton yerleştirildikten sonra zamanla mukavemet kazanır. İlk gün nihai gücünün yaklaşık %16'sına ulaşır; yedinci günde bu rakam %40'a, yirmi sekizinci günde ise %99'a ulaşıyor. 28 günden sonra güçte belirgin bir artış olmaz. Böylece betonun basınç dayanımı değerlendirilirken, yedinci gün elde edilen sonuçlara göre 28 günlük basınç dayanımını tahmin etmek mümkündür.

Beton basınç dayanımının aderans dayanımına etkisi üzerine yapılan çalışmalarda, basınç dayanımının artmasının aderans dayanımının da artmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Yaptıkları araştırmada ortalama basınç (34 ve 48 MPa) ve karışımın (350 ve 500 kg/m<sup>3</sup>) aderans mukavemeti değerini dikkate alarak aderans gerilmesi – basınç dayanımı grafiğini elde etmişlerdir. Çalışmada, farklı çap ve 150 mm aderans boyuna sahip nervürlü donatıların hafif agregalı betonda birleştirilmesiyle elde edilen betonarme numuneler deneysel olarak test edilmiş ve çekme testi sonrasında basınç dayanımı arttıkça aderans dayanımının da arttığı tespit edilmiştir (Al-Shannag vd., 2017).

Yerlici vd. (2002), çalışmaları sonucunda beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve gövde donatısı miktarındaki artışların aderans dayanımını arttırdığını belirtmişlerdir.

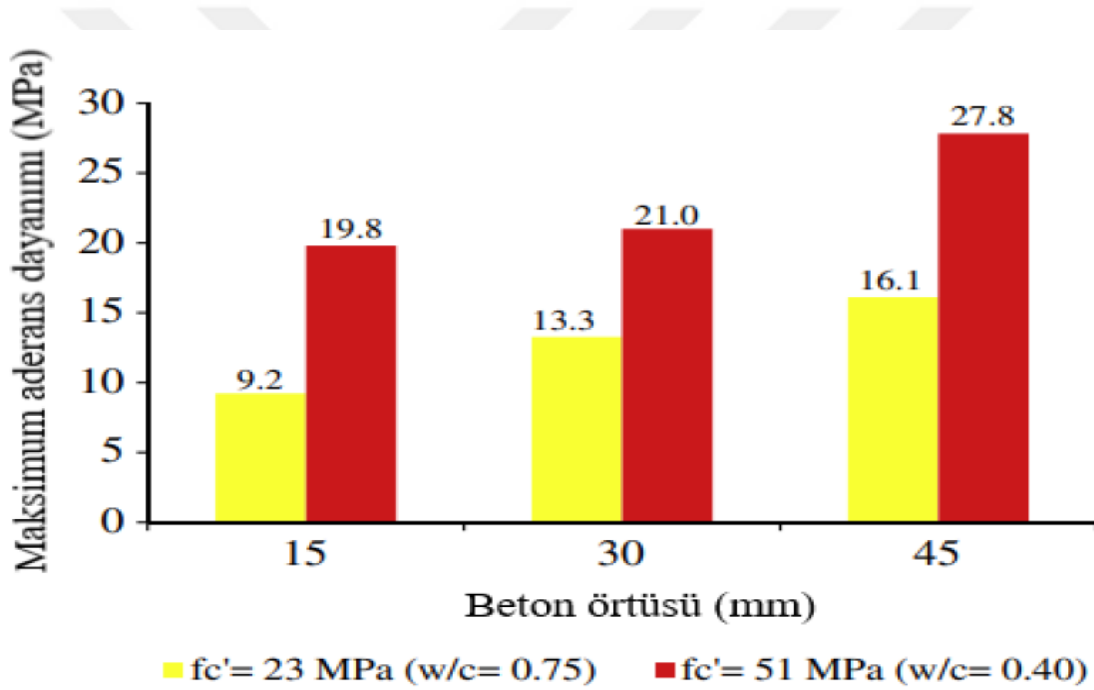
### **3.2.4. Paspayı derinliği**

Betonarme ile ilgili şartnamelerde "net beton örtüsü" olarak ifade edilen paspayı, "Bir beton elemanının içinde konumlanmış en dış donatının dış aktarımın beton bitim yerine kadar olan mesafe" şeklinde sınıflandırılmıştır.

Beton bir elemanın arasında bulunan en dıştaki donatının dışından betonun son noktasına kadar ölçülen kalınlık, paspayı olarak adlandırılmaktadır. Paspayı donatıyı dış ortam şartlarından korumada önem arz etmektedir (Yalçın, 2019).

Paspayı ortalama donatı çapının üç katından az ise, yapısal açıdan tehlike oluşturmayan yarıma geçmesi meydana gelmektedir (Cairns vd., 1996) Bu bağlamda pas payının artması ile betonun yarıması zorlaşmaktadır (Arslan, 2007). Paspayı arttıkça aderans dayanımı dolayısıyla da yarıma dayanımı artmaktadır (Aka, 1996; Ersoy ve Özcebe, 2001; Beycioglu, 2014). Diğer yandan pas payının bilinmesi, çatlamanın kesitin hangi yüzünde meydana geleceğini kestirmek için gerekli olmaktadır. Paspayı, nervürlü donatı kullanıldığı durumlarda büyük önem kazanmaktadır (Arslan, 2007).

Yalciner vd. (2012) deneysel çalışmada paspayı, beton dayanımı ve korozyon seviyesinin, 14 mm nervürlü donatı ile beton arasındaki aderans dayanımına etkilerini çekip çıkarma deneyi ile incelemiş ve korozyona uğramamış donatıya sahip numunelerde paspayı ve dayanımı arttıkça maksimum aderans dayanımının da arttığını sonucuna varmışlardır.



Şekil 3. 2. Maksimum aderans dayanımı ve paspayı ilişkisi (Yalciner vd.,2012).

### 3.3. Çekip Çıkarma Deneyi Tanımı

Beton ile donatı arasındaki aderans dayanımını belirlemek için en basit ve en yaygın kullanılan test çekip çıkarma testidir. Bu testte silindirik veya prizmatik beton numuneler içerisine gömülü donatıya merkezi bir yük uygulanarak betona göre yer değiştirmesi ölçülür. 0,25 mm'lik bir kayma değerine karşılık gelen aderans gerilimi, güvenli aderans gerilimi olarak adlandırılır. Bu değerde donatı akma dayanımına ulaşırsa ankrajın tamamlandığını gösterir. Ancak bu basit çekme testinin sınırlamaları vardır.

Test sırasında numuneye etki eden enine kesme kuvvetlerinin hesaba katılmaması, büyük beton kaplama kalınlıkları ve betonda çekme çatlağı olmaması, gerçek davranışın doğru şekilde belirlenmesini engeller. Sonuç olarak, ankraj uzunluğunu tanımlamak için merkezi çekme testlerinin kullanılması uygun olmayabilir. Bununla birlikte, farklı donatı sınıfları arasındaki bağların betonla kolayca karşılaştırılması uygun olmaya devam etmektedir.

Çekme testleriyle ilişkili bu uygunsuz etkileri azaltmak için alternatif deney düzenekleri geliştirilmiştir. Bu yeni düzenekler mesnetlerdeki aşırı yerel yatak gerilimlerini etkili bir şekilde önlerken; ancak diğer olumsuz faktörler halen devam etmektedir. Aderans özelliklerini değerlendirmek için kullanılan diğer bir yöntem, eksantrik yükleme testidir (veya merkez dışı aksenal gerilim). Bu kurulum, geleneksel çekme testleriyle karşılaştırıldığında daha gerçekçi bulgular sunar çünkü çeşitli faktörlerin dikkate alınmasına izin verir: donatıyı etkileyen enine kesme kuvvetlerinin varlığı, donatı bölgesi çevresinde çatlakların oluşmasından dolayı çok önemlidir, elemanlar içinde hizalanmış kıyaslamalı temsil sayesinde gerçek koşulları daha iyi simüle eder.

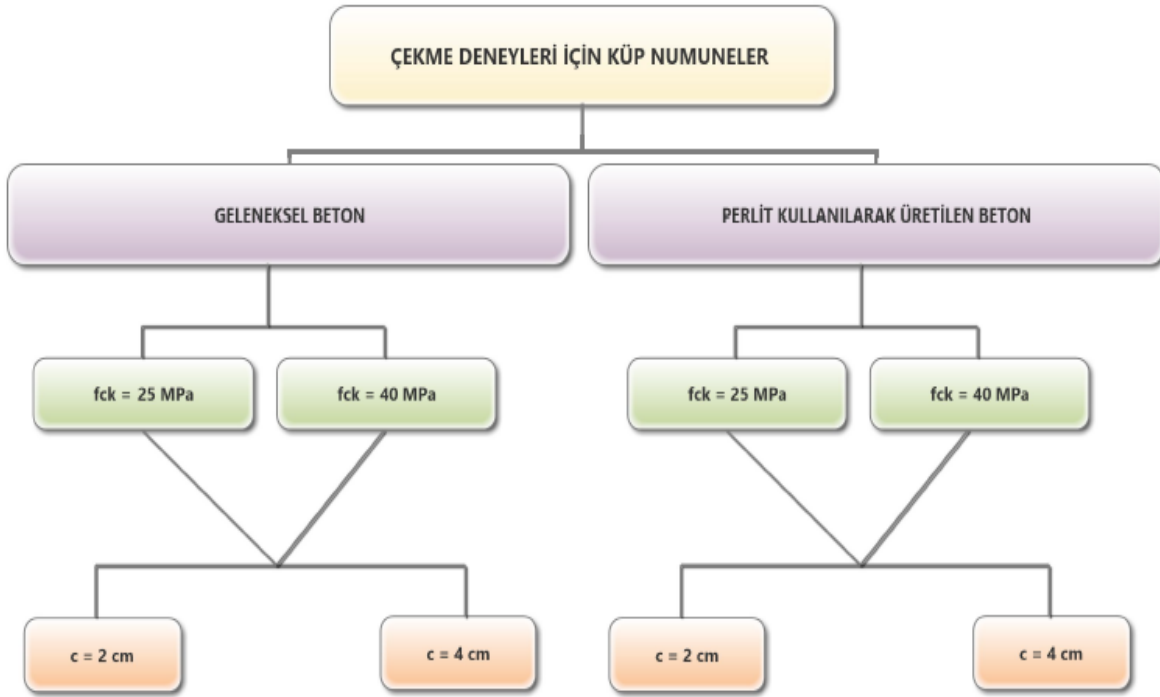
Yatay konumlandırmadan etkilenen unsurlar, yapısal davranışları yansıtan güvenilir içgörüler sunar, genel bütünlüğü sağlar, bu sayede ayrıntılı araştırmalar ele alınır, derinlik anlayışını geliştirir, ortaya çıkar, gerekli mühendislik uygulamalarını hızalar, optimum bağlılık iletilir, açıkça tanımlanmış sonuçlar eyleme geçirilebilir sonuçlara dönüştürülür, yapılandırılmış bağlamsal uygunluk, gözlemlenen operasyonel kapasiteler, buna göre değerlendirilir (Sansak, 2019).



**Şekil 3.3.** Çekip çıkarma deneyi ile ilgili görseller (Sansak M.F., 2019).

#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneyisel çalışma kapsamında toplam 24 adet beton küp üzerinde çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneye tabi tutulan 24 adet beton küp numuneleri için gerekli değişken parametreleri Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Şekil 4.1’de gösterildiği üzere deney numuneleri ilk aşamada geleneksel ve perlitten üretilmiş numuneler olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Her bir ana grup ardından iki farklı beton basınç dayanımı (25 ve 40 MPa) için alt gruba ayrılmıştır. İki farklı beton basınç sınıfının test edilmesinin nedeni en düşük ve en yüksek beton basınç dayanımlarının aderans dayanımı üzerindeki etkisini gözlemleyip diğer beton basınç dayanımları için veri elde edebilmektir. Aderansın dayanımının farklı paspaylarındaki etkisini incelemek için ardından her bir alt grup iki farklı paspayı için (2 ve 4 cm) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sargı donatısı kullanmadan aderans - donatı kayma etkisini göz önüne almak için her bir paspayı ve beton sınıfı için 3’er adet küp numuneler oluşturulmuştur.



Şekil 4. 1. Tüm küp numunelerinin şematik çizimi.

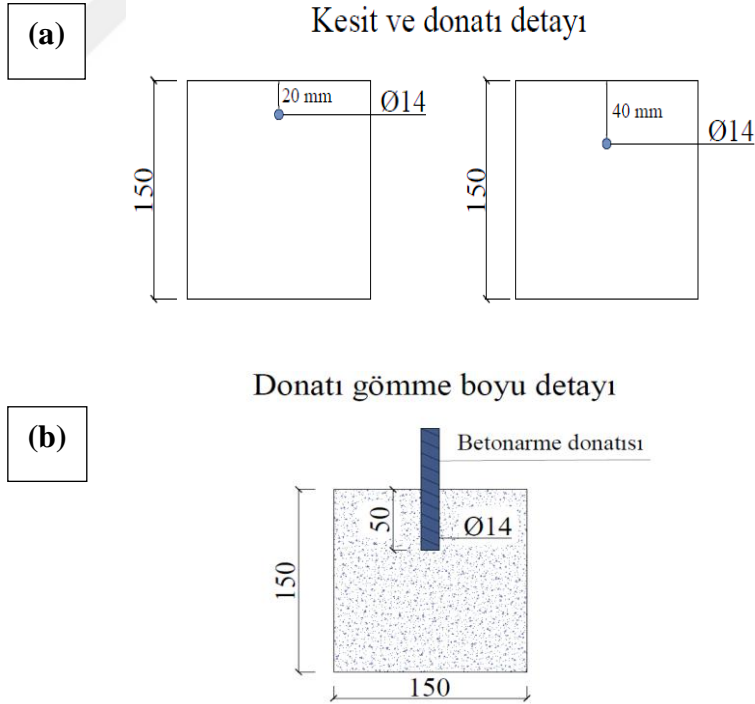
## 4.2. Materyal

### 4.1.1. Beton ve donatı mekanik özellikleri

Çalışmada CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Deneysel numune betonlarının üretiminde kaba agrega olarak iki dereceli (4/8 mm ve 8/16 mm) kireçtaşı kökenli kırma taş (özgül ağırlık; 2,66 g/cm<sup>3</sup>), ince agrega olarak üç dereceli (0/1 mm, 1/2 mm ve 2/4 mm) doğal dere kumu (özgül ağırlığı; 2,64 g/cm<sup>3</sup>) kullanılmıştır. Perlitli betonlar da aynı gradasyona sahip doğal perlit agregası ile üretilmiştir. Elek analizi ve granülometri belirleme aşaması ile kaba ve ince agregaların sınıflandırılması sonrasında hacimce %49 iri agrega ve %51 ince agregadan oluşan karışım agregası TS 802 (2016) standardına göre ideal granülometri sınırları içerisinde kalmıştır.

### 4.1.2. Kesit özellikleri

Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, beton küp numuneleri, sabit gömme boyu 50 mm olarak, değişen 20 mm ve 40 mm pas-payına göre eksantrik donatı çubuğu yerleşimine sahip 150 mm × 150 mm × 150 mm boyutunda tasarlanmıştır.



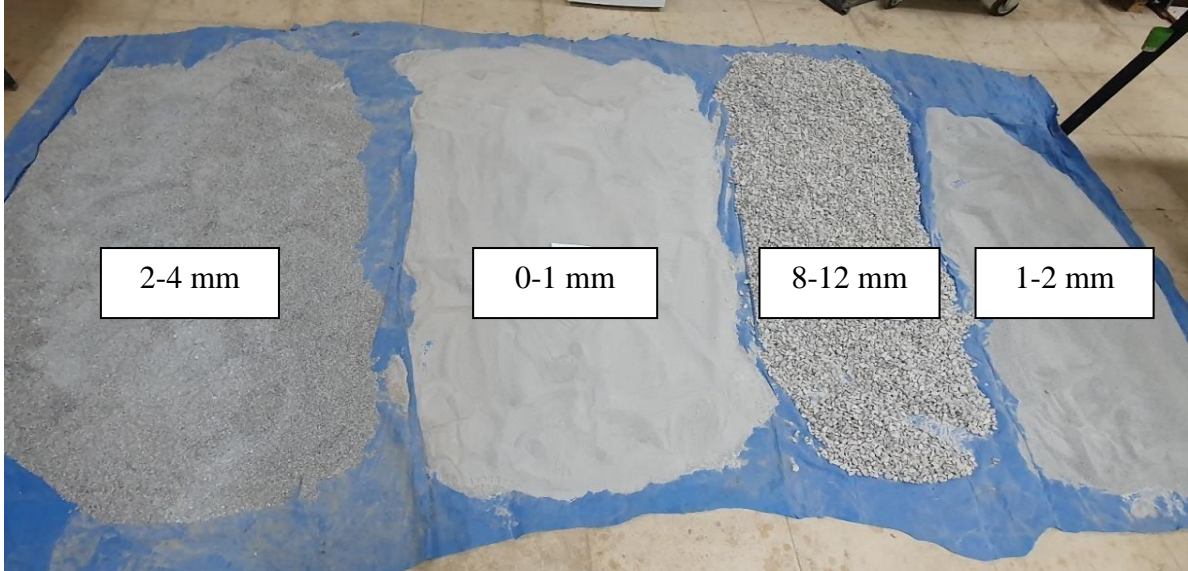
Şekil 4. 2. Tasarlanan numunenin görünüşü: (a) kesit ve donatı detayı, (b) donatı gömme boyu detayı.

### 4.1.3. Ön deneysel çalışmalar

Yapılan detaylı literatür araştırmaları sonucunda perlitin agrega yerine kullanılabilmesi için yürütölmüş herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sonuç perlit agregalarından oluşan beton için optimum basınç dayanımının bulunabilmesi amacıyla ön deney çalışmalarının yapılması gereksinimini doğurmuştur.

Perlit malzeme temini için Perlit Madencilik Şti.'den 0-2 mm tane boyutunda 75 kg, 0-4 mm tane boyutundan 100 kg, 0-8 mm tane boyutundan 100 kg, 0-12 mm tane boyutundan ise 125 kg ham perlit alınmış olup toplamda 400 kg ham perlit agregası temin edilmiştir.

Temin edilmiş olan ham perlit malzemesi ıslak olduğundan dolayı Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 13 Mart Yapı Mekanığı laboratuvarında kurutulması için serilip 1 ay süre ile bekletilmiştir.



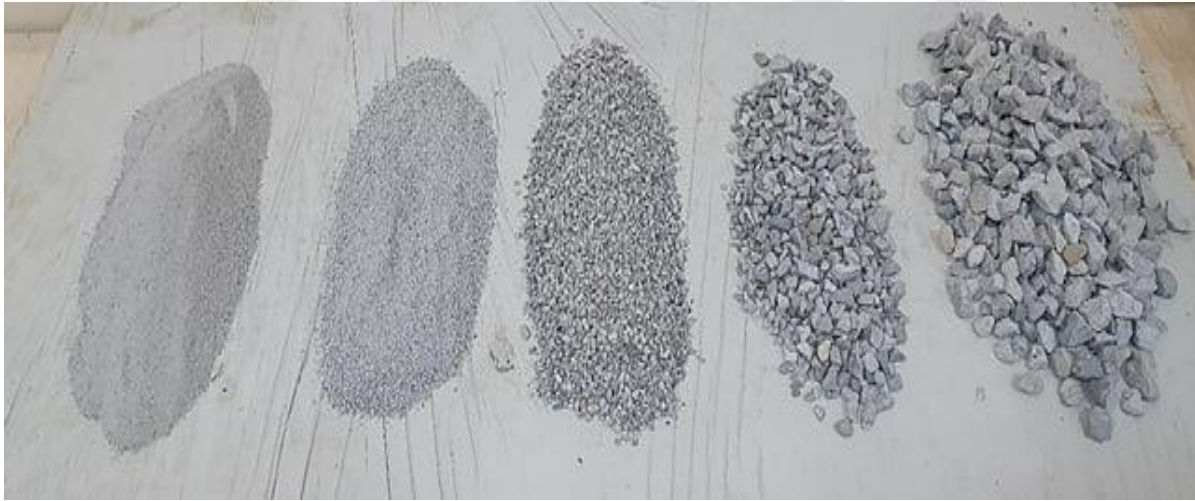
Şekil 4. 3. Kurutulabilmesi için serilen perlit agregaları.

Tasarım hesaplarında kullanılacak perlit agregasının granölometri çalışmalarının gerçekleştirilmesi amacıyla yapılan literatür araştırmasından elde edilen veriler ışığında perlit agregası için kullanılacak dane boyut çapları 0-1 mm, 1-2 mm, 2-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm belirlenmiştir. Perlitin granölometrisinin elde edilebilmesi için eleme işlemi uygulanması gerekmektedir. Bu eleme işleminin gerçekleşmesi için elek aralıkları aşağıdan yukarıya doğru (0-1, 1-2, 2-4, 4-8, 8-12 mm) arttırılarak ayarlanmıştır. Kurutulan perlitler toplandıktan sonra elek analizi gerçekleştirebilmek için eleklerle konulmuştur. Bu kapsamda gerçekleştirilmiş olan elek analizi çalışması Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 4. 4.** Perlit agregası eleme düzeneği.

Uygulanan eleme işlemi süresi 4 gün boyunca devam etmiştir. 4 gün boyunca elenmiş olan perlitler eleklerden alınarak 0-1 mm, 1-2 mm, 2-4 mm, 4-8 mm, 8-12,5 mm (yapılan araştırmalar sonucunda istenilen perlit agrega aralığı) şeklinde ayrıştırılarak serilme işlemi bu doğrultuda tamamlanmıştır. Şekil 4.5'te elenip kurutulmaya bırakılan perlitler gösterilmektedir.



**Şekil 4. 5.** Elekte ayrıştırıldıktan sonra serilen perlitler.

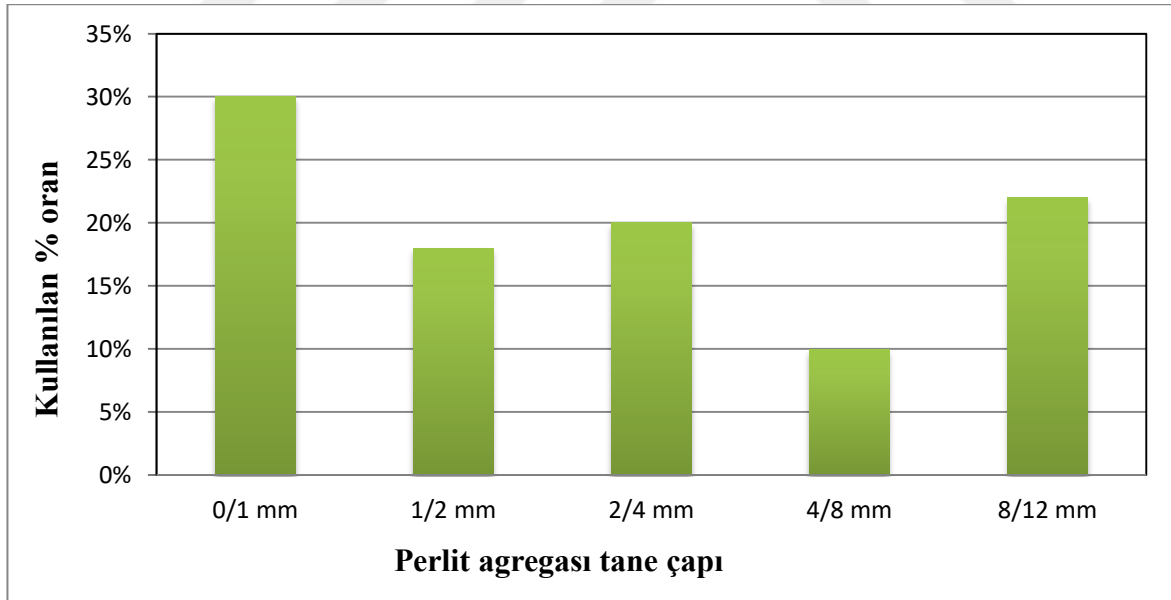
Perlit agregalarının tamamı için özgül ağırlık ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ve firma tarafından verilen değerler revize edilmiştir. Belirtilen doğrultuda beton üretiminde kullanılacak olan agregalar için özgül ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılmış olan özgül ağırlık deneyleri kapsamında su içerisinde bekletilen perlit malzemesi Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Deneyler sonucunda, geleneksel agregalardan ince agreganın  $1,96 \text{ kg/dm}^3$

iri agreganın  $2,07 \text{ kg/dm}^3$  ve perlit agregasının ise  $1,26 \text{ kg/dm}^3$  özgül ağırlık değerlerine sahip olduğu saptanmıştır.



**Şekil 4. 6.** Özgül ağırlığı ve birim ağırlığı bulunan iri ve ince perlit agregaları.

Granülometri deneyleri perlit agregaları üzerinde yapılmış, agregalar 0-1 mm, 1-2 mm, 2-4 mm, 4-8 mm ve 8-12,5 mm olacak şekilde tane sınıflarına ayrılarak deneylerde kullanılmıştır. Bu agregaların kullanım oranları sırasıyla %30, %18, %20, %10 ve %22 şeklinde belirlenmiştir. Beton karışımında kullanılan perlit agregasının tane boyutuna göre kullanım oranları Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 4. 7.** Perlit agregası dağılım oranları.

İnce agregalar için nem yüzdesi (%) -5, iri agregalar için -4 olacak şekilde deneylere devam edilmiş, nihai olarak kesin değerler; 0-1 mm ve 1-2 mm tane sınıfları için -3, 2-4 mm tane sınıfı için (20 saatlik gözlemimize göre en fazla su emen perlit agrega sınıfı olduğu için

yüzdesi yüksek tutulmuştur). -3,5 ve 4-8 mm ile 8-12,5 mm tane sınıflarında da -3 olacak şekilde netleştirilmiştir. Şekil 4.8’de suda bekletilen perlit agregaları gösterilmektedir.



**Şekil 4. 8.** Suda bekletilen perlit agregaları.

Ön deneyler öncesi beton karışım hesabı oluşturulurken su/çimento oranı 0,40-0,45 ve 0,50 olarak seçilmiştir. Ancak ön deney aşamasında gözlemler sonucunda su/çimento oranının artışına bağlı olarak karışımlarda yaşanan su kusmaları nedeniyle 0,50 oranı yerine 0,35 su/çimento oranı tercih edilerek son dökümler gerçekleştirilmiştir.

Karışımların tümünde gerekli işlenebilirliği sağlayabilmek amacıyla firmadan temin edilen Viscocrete Hi-Tech 4808 ticari adlı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. İlk üretimlerde çimento ağırlığının %1,5’u oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılmış ancak bu oranın fazlalığı anlaşıl原因 olarak %0,77 oranında nihai olarak karar kılınmıştır. Sadece su/çimento oranı 0,35 olan karışımlarda bu oran (%0,77) yeterli işlenebilirliği sağlayamadığı için süper akışkanlaştırıcı oranı tekrar yükseltilerek %1,5’a çıkarılmış ve düzgün kıvamlı betonlar üretilebilmiştir.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda perlitin fazla su emen bir malzeme olduğu kanaatine varılmıştır bu sebepten dolayı ilk üretimlerde perlit agregaları 20 saat su içerisinde tutulduktan sonra Şekil 4.9’da gösterildiği gibi yapılmış olan deneylerde kullanılmıştır. Ancak bu yöntemin doğru olmadığı karışımların aşırı su kusması gözlemiyle anlaşılmıştır.



**Şekil 4. 9.** Su kusan beton.

Bu aşamada perlitlerin tamamı doygun yüzey kuru haliyle kullanılmış ve agrega yüzey nemi tayini deneyleri yapılarak karışımlara ilave su miktarları hesaplanmıştır.

Beton üretimlerinde; mikse önce agregaların tümüyle karışım suyunun yarısı ilave edilerek 3 dk karıştırılmıştır (Şekil a). Daha sonra çimento eklenmiş ve 1 dk daha karıştırılmıştır (Şekil b). Son olarak karışım suyunun kalan kısmı ile süper akışkanlaştırıcı karıştırılmış ve mikse eklenmiştir. Tüm bileşenler 2 dk boyunca karıştırılmaya devam edilerek toplamda 6 dk sonunda üretilen perlitli beton önceden yağlanmış kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil c). Bu işlem yapılırken kalıpların yarısı için 25er kez şişleme çubuğu ile sıkıştırma işlemi uygulanmıştır (Şekil d). Üretimi yapılan betonlar 24 saat kalıpta bekletilmiştir (Şekil e). Daha sonra deney gününe kadar kür havuzunda standartlara uygun bir şekilde suda bekletilmiştir (Şekil f). Beton numune ön deney aşamaları Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4. 10. Beton numune ön deney aşamaları.

Yapılmış olan ön deneyler sonucunda C20 perlit ve geleneksel için, C40 perlit ve geleneksel beton için reçeteler elde edilmiştir. Elde edilen reçeteler C20 perlitli beton, C40 perlitli beton, C20 geleneksel beton ve C40 geleneksel beton için sırasıyla Tablo 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. 1. C20 Perlit silindir numunelere ait beton basınç dayanımları.

C20 Perlit Küp Numune İçeriği			
Bileşen Adı / Oran	Ağırlık (kg)	Su/Çiment oOranı	28 Günlük Basınç Dayanımı
Çimento (32,5)	560,00		
Su	350,47		
0/1 mm (%30)	281,42		
1/2 mm (%18)	169,04	<b>0,64</b>	$f_{ck} = 23 \text{ MPa}$
2/4 mm (%20)	186,66		

4/8 (%10)	99,05
8/12,5 (%22)	218,09
<b>Toplam</b>	<b>1854,3</b>

Elde edilmiş olan 28 günlük silindir beton basınç dayanımlarına bakıldığı zaman C20 beton silindir numunelere ait beton basınç dayanımı 23 MPa olarak bulunmuştur.

**Tablo 4. 2.** C40 Perlit silindir numunelere ait beton basınç dayanımları.

<b>C40 Perlit Küp Numune İçeriği</b>				
<b>Bileşen Oran</b>	<b>Adı /</b>	<b>Ağırlık (kg)</b>	<b>Su/Çimento Oranı</b>	<b>28 Günlük Basınç Dayanımı</b>
Çimento (42,5)		560,00		
Su		308,09		
0/1 mm (%30)		350,00		
1/2 mm (%18)		210,00	<b>0,56</b>	$f_{ck} = 37,5 \text{ MPa}$
2/4 mm (%20)		231,90		
4/8 (%10)		128,09		
8/12,5 (%22)		270,95		
<b>Toplam</b>		<b>1778,08</b>		

28 Günlük beton basınç dayanımları sonuçları incelendiğinde C40 perlit silindir numunelere ait değer 37,5 MPa olarak bulunmuştur.

**Tablo 4. 3.** C20 Geleneksel silindir numunelere ait beton basınç dayanımları.

<b>C20 Geleneksel Küp Numune İçeriği</b>				
<b>Bileşen Oran</b>	<b>Adı /</b>	<b>Ağırlık (kg)</b>	<b>Su/Çimento Oranı</b>	<b>28 Günlük Basınç Dayanımı</b>
Çimento (42,5)		560,00		
Su		307,60		
Kum		560,00	<b>0,55</b>	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Agrega		1120,00		
<b>Toplam</b>		<b>2547,60</b>		

C20 Geleneksel için kür havuzunda bekletilmiş olan 28 günlük silindir beton numunelerinin beton basınç dayanımları 25 MPa olarak bulunmuştur.

**Tablo 4. 4.** C40 Geleneksel silindir numunelere ait beton basınç dayanımları.

<b>C40 Geleneksel Küp Numune İçeriği</b>			
<b>Bileşen Adı/Oran</b>	<b>Ağırlık (kg)</b>	<b>Su/Çimento Oranı</b>	<b>28 Günlük Basınç Dayanımı</b>
Çimento (42,5)	560,00		
Su	253,80		
Kum	560,00	<b>0,45</b>	$f_{ck} = 41 \text{ MPa}$
Agrega	1120,00		
<b>Toplam</b>	<b>2493,8</b>		

28 Gün sonucunda bekletilen C40 geleneksel silindir beton numunelere ait beton basınç dayanımları ise 41 MPa olarak bulunmuştur.

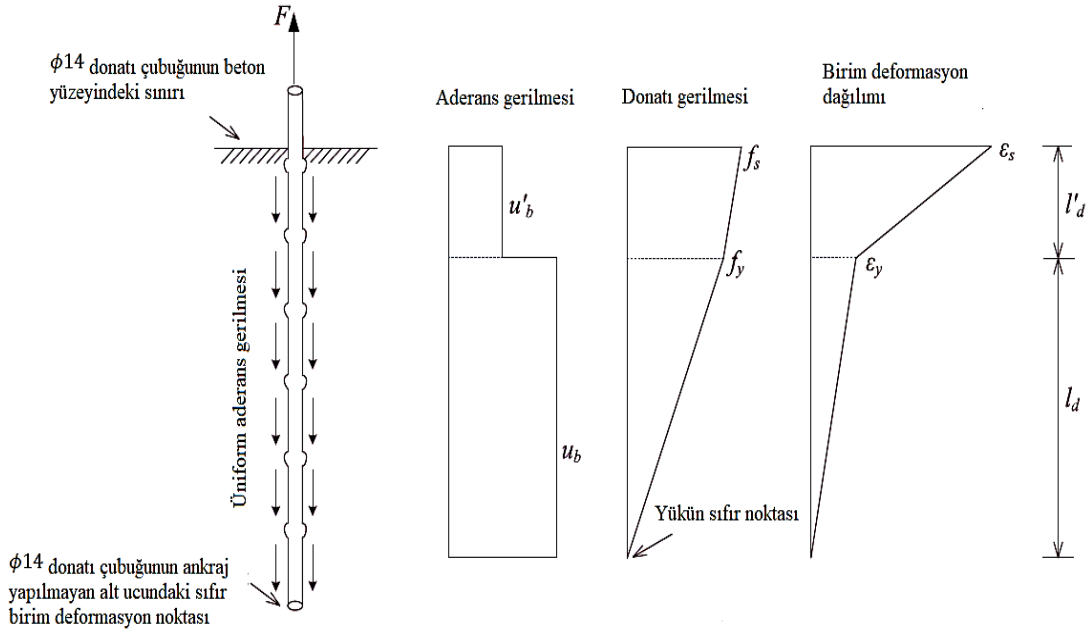
Bulunan basınç dayanımları sonucunda beton dökümleri gerçekleştirilip çekip çıkarma deneylerine başlanılmıştır.

## **4.2. Yöntem**

### **4.3.1. Deneysel numunelerin aderans boyu**

Bu çalışmada geleneksel betondan ve perlitli betondan üretilen küp numunelerinin aderans dayanımını incelemek ve üretilen deneysel numunelerin çekme testinin uygun bir şekilde yapılabilmesi amacıyla 24 küp numuneler ASTM C234-91 (1991) standardına dayanarak çekme testi uygulanmıştır. Çekme deneyi düzeneğinde eksen doğrultusunda çekme kuvveti uygulanarak numunelerin aderans-sıyrılma ilişkisi gözlemlenmiştir.

Genel aderans-donatı sıyrılması modeli için; Sezen ve Setzler (2008) tarafından önerilen model, ilk olarak çubuk sıyrılması nedeniyle betonarme elemanın yanal yer değiştirmesinin oldukça doğru tahmini ve hesaplama verimliliği nedeniyle benimsenmiştir. Şekil 4.11, çekme yükü altında betona gömülü bir donatı çubuğunu ve bu çubuğun ankraj bölgesindeki aderans uzunluğu boyunca aderans gerilme dağılımını göstermektedir. Buna göre, beton yüzeyindeki F eksenel kuvvetinin dengesi Eşitlik (1) olarak yazılabilir:



Şekil 4.11. Çekip-çıkarma testi şematik modeli (Zhang vd., 2020).

$$F = f_s A_s = \pi d_b \int_0^{l_d + l'_d} u_b(x) dx \quad (1)$$

Burada  $f_s$  donatıdaki gerilme değeri,  $A_s$  donatı çubuğunun alanı,  $d_b$  Ø14 donatı çubuğunun çapı ve  $u_b(x)$  elastik ( $l_d$ ) ve elastik olmayan ( $l'_d$ ) aderans boyunca  $F$  çekme kuvvetini dengeleyen aderans gerilmesidir.

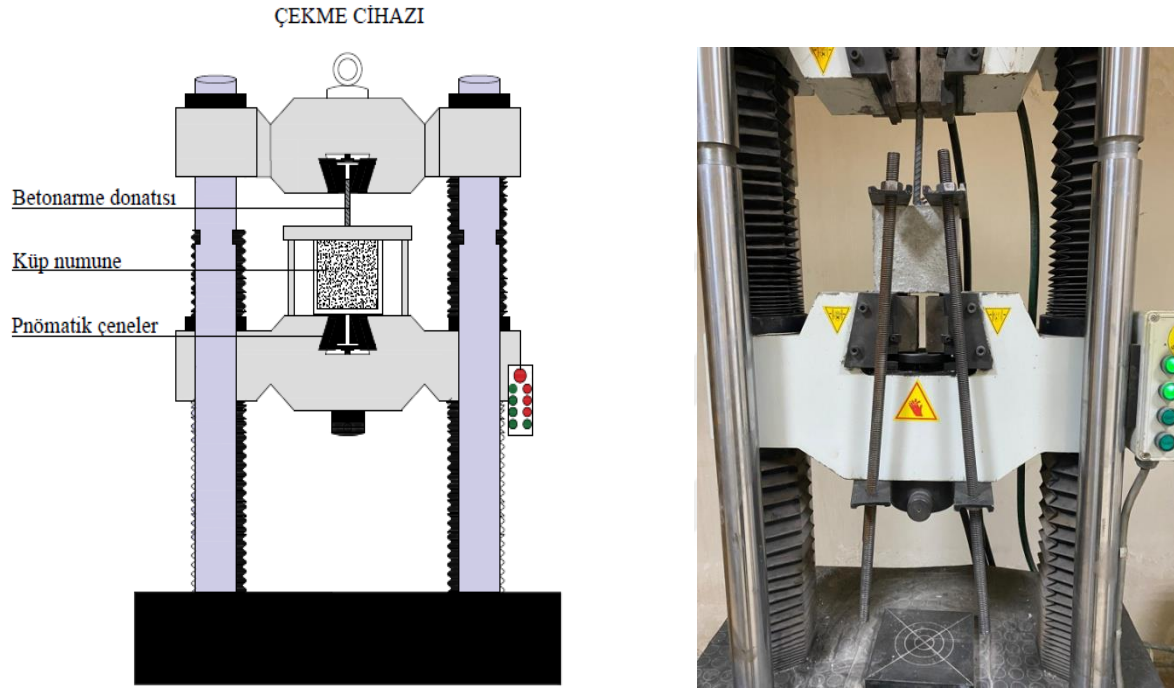
Deneyisel numunelerin toplam aderans boyu her bir deney numunesi için çekme-çıkarma deneylerinin tasarımında sabit 50,00 mm gömme boyu olarak öngörülmüştür. Sabit 50,00 mm olarak öngörülen aderans boyu, elastik aderans boyu ( $l_d$ ) ile elastik olmayan aderans boyunun ( $l'_d$ ) toplamı olarak kabul edilmiştir. Çekme-çıkarma deneylerinin devam ettirilmesi ile birlikte, ölçülen birim deformasyonlara bağlı olarak artarak değişen elastik olmayan aderans boyu ( $l'_d$ ), deneysel numuneye gömülen Ø14 donatı çubuğunun çekme deneyinden yararlanılarak hesap edilmiştir.

#### 4.2.1. Çekme-çıkarma testleri

Farklı pas-paylarına sahip numuneler için uygulanan eksantrik çekme-çıkarma testlerinde rijit çelik plakalar ile alttan ve üstten birbirlerine bağlanabilen bir aparat tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu aparat sayesinde, numunenin çelik plakanın birbirine sıkı sıkıya bağlı

kalması sağlanarak, çekme-çıkarma testleri sırasında numunelerin düzlem-dışı kayması önlenmiştir.

Yüklemeye için maksimum yük kapasitesi 300 kN olan MTS.E45.305 üniversal çekme test cihazı kullanıldı. Test cihazı Şekil 4.12’de gösterilmektedir. Dışarı çekilen numunenin yer değiştirme kazanımının aşırı hızlı yüklemeye oranından etkilenmesini önlemek için, 0,005 mm/s’lik düşük bir yer değiştirme yüklemeye hızı kullanıldı (Nikolaou vd., 2004).



Şekil 4. 12. Çekip Çıkarma deney düzeneği.

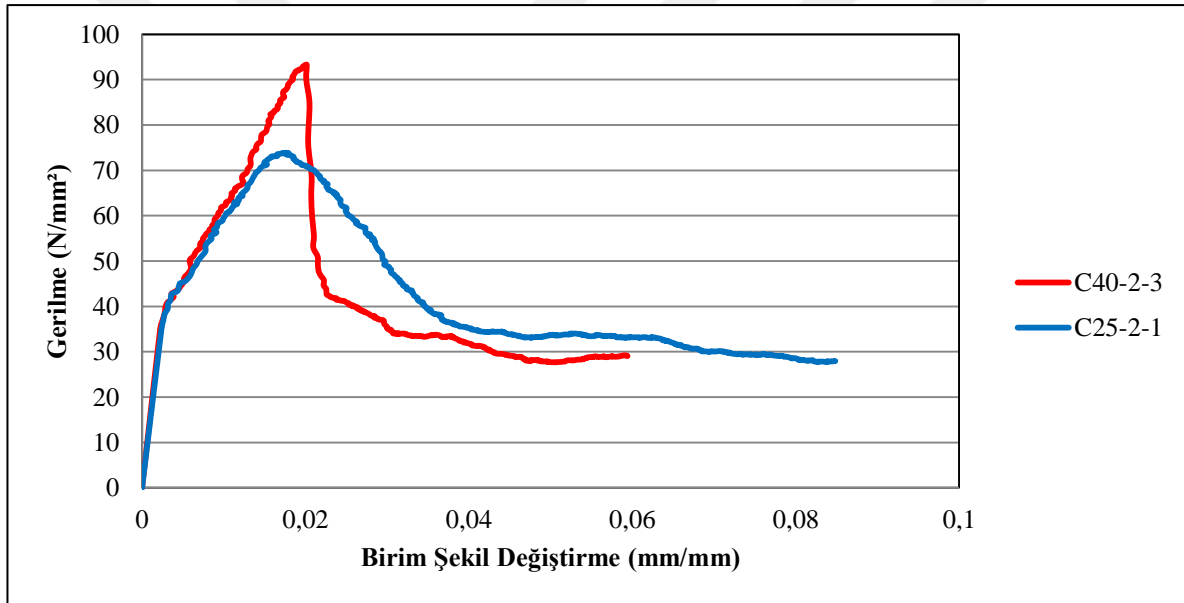
## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 5.1. Çekme-Çıkarma Deneyinde Gerilme-Birim Şekil Değişirme Sonuçları

#### 5.1.1. Geleneksel beton

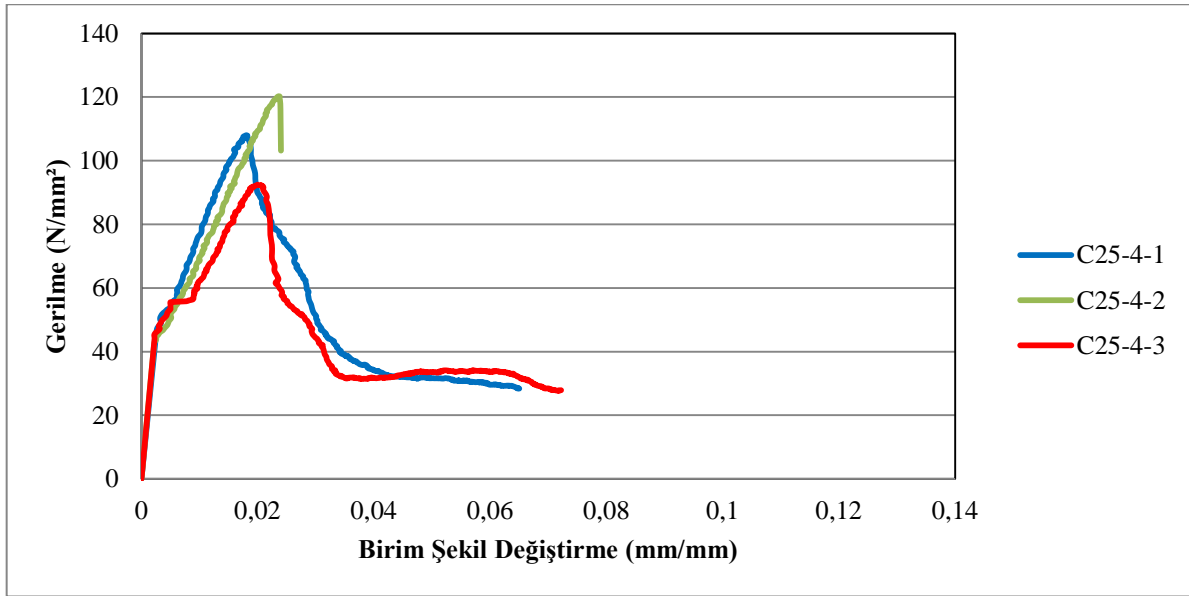
#### Aynı beton basınç dayanımında pas-payının gerilme – birim şekil değişirme üzerine etkisi: Geleneksel beton

Tez çalışmasının birinci aşamasında, pas payının gerilme değeri üzerindeki etkisi her bir beton sınıfı için kendi içerisinde tartışılmıştır. Şekil 5.1 ve 5.2'de, C25 sınıfı beton için 2 cm ve 4 cm pas paylarına ait deney numunelerinin gerilme – birim şekil değişirme grafikleri gösterilmektedir.



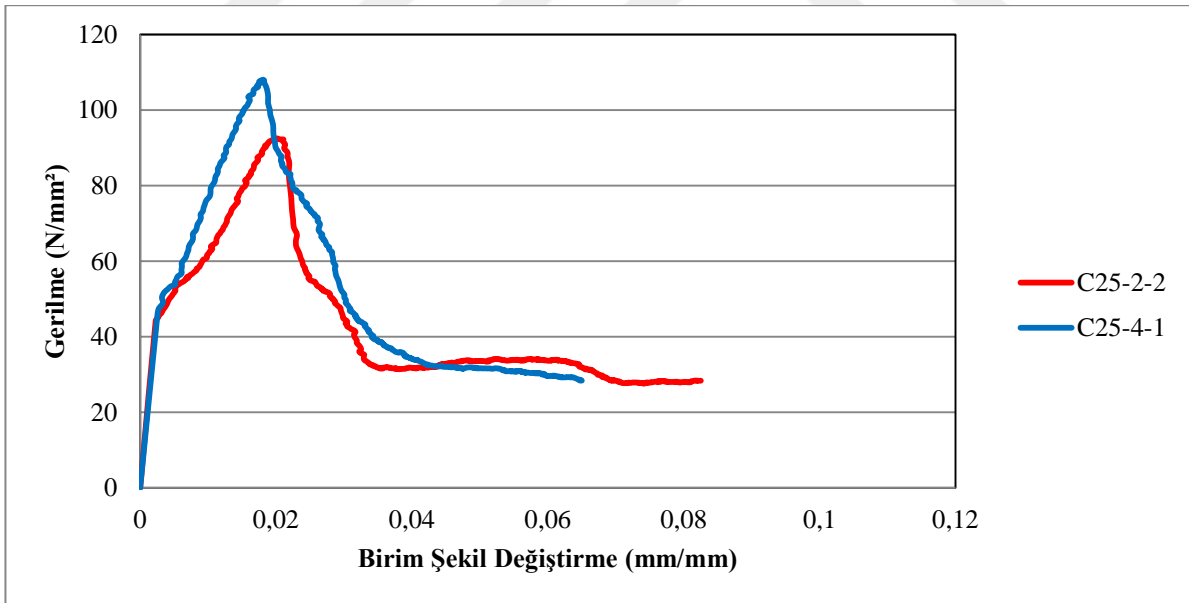
Şekil 5. 1. C25 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerinin gerilme – birim şekil değişirme değerleri.

Şekil 5.1'de C25 beton sınıfına ait ve 2 cm pas-payına sahip C25-2-1 ve C25-2-2 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum gerilme değeri sırası ile 73,86 ve 92,46 MPa olup ortalama değerleri ise 83,16 MPa'dır.



**Şekil 5. 2.** C25 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değıştirme değeri.

Şekil 5.2’de C25 ve 4 cm pas-payına sahip C25-4-1, C25-4-2 ve C25-4-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum gerilme değeri sırası ile 108,01; 120,25 ve 113,88 MPa olup ortalamaları 114,04 MPa’dır.

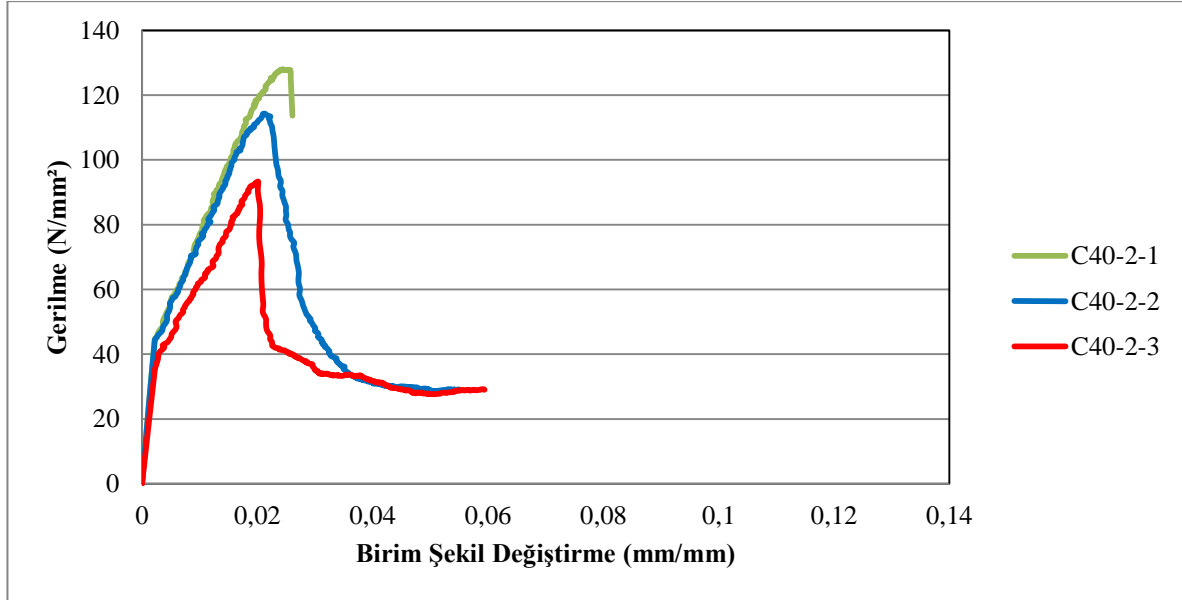


**Şekil 5. 3.** C25 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değıştirme değeri karşılaştırılması.

Şekil 5.3’de C25 2 cm ve 4 cm pas-paylarına sahip numuneler karşılaştırılmak üzere aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 5.3’de aynı beton basınç dayanımına sahip C25

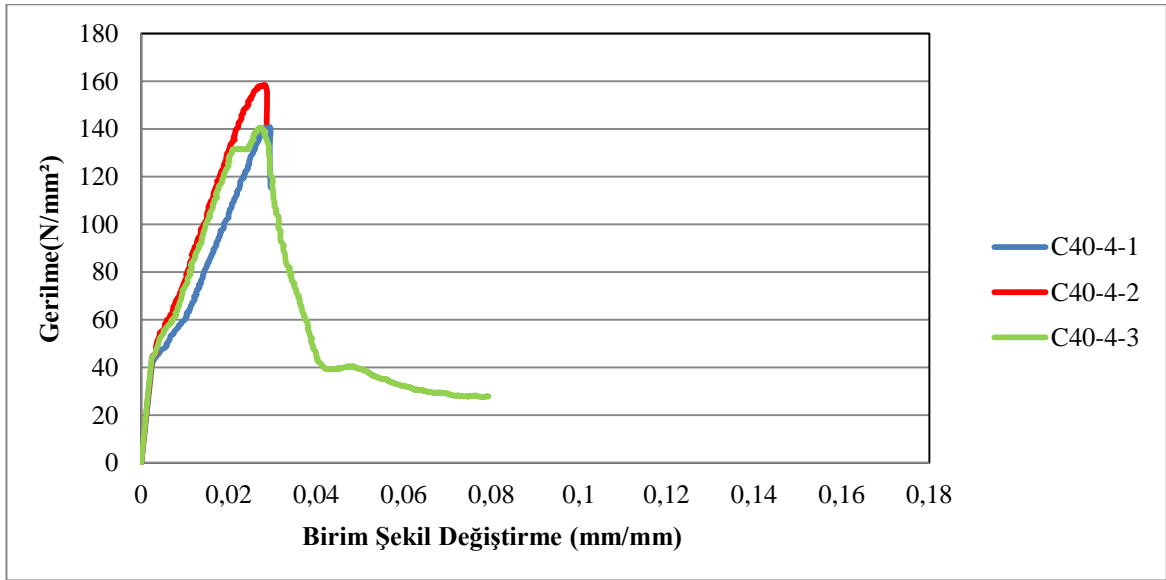
numunelerinin pas-payları 2 cm'den 4 cm'e çıkartıldığında elde edilen maksimum gerilme artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden %27,08 dir.

Beklenen bu durum C40 2 cm ve C40 4 cm pas-paylarına ait deney numuneleri içinde benzer davranış göstermiştir.



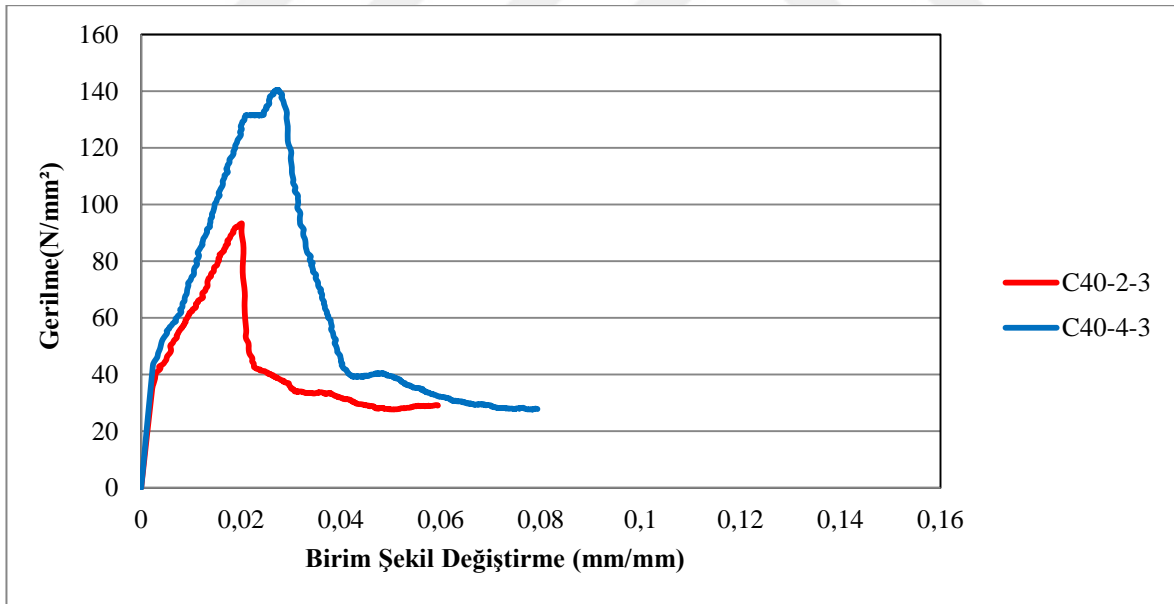
**Şekil 5. 4.** C40 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri.

Şekil 5.4'de C40 beton sınıfına ait ve 2 cm pas-payına sahip C40-2-1, C40-2-2 ve C40-2-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum gerilme değeri sırası ile 127,89; 114,29 ve 93,26 MPa olup ortalama değerleri 111,81 MPa'dır.



**Şekil 5. 5.** C40 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri.

Şekil 5.5’de ise C40 ve 4 cm paspayına sahip C40-4-1, C40-4-2 ve C40-4-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum gerilme değeri sırası ile 140,98; 158,22 ve 140,40 MPa olup ortalamaları 146,53 MPa’dır.



**Şekil 5. 6.** C40 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması.

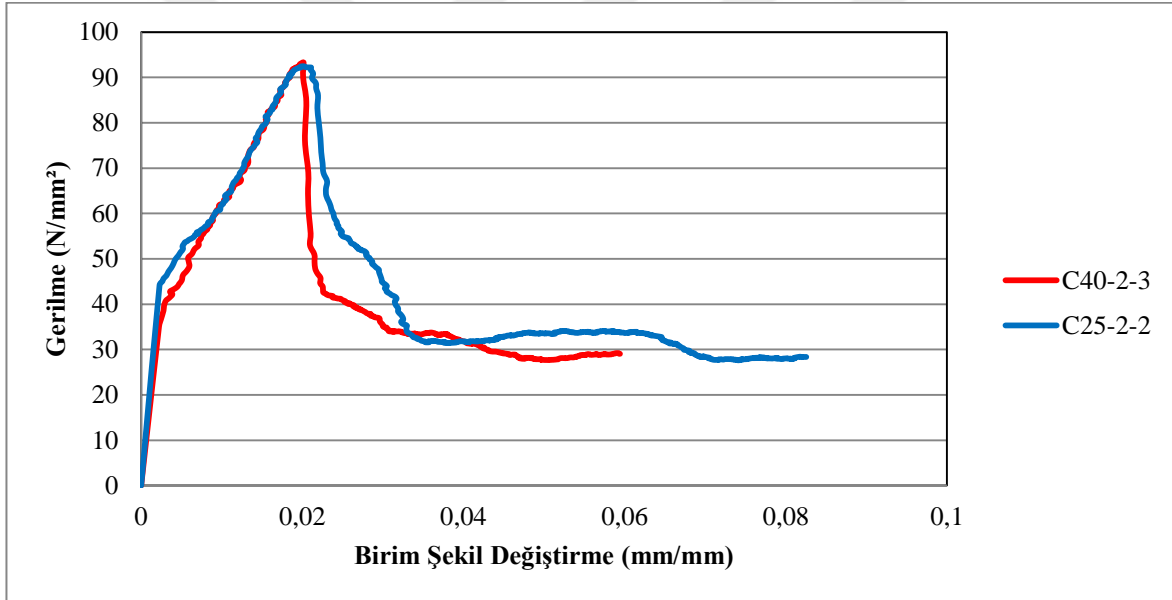
Şekil 5.6’da C40 ve 2 cm ve 4 cm paspaylarına sahip numuneler karşılaştırılmak üzere aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 5.6’da aynı beton basınç dayanımına sahip C40

numunelerinin pas-payları 2 cm'den 4 cm'e çıkartıldığında elde edilen maksimum gerilme artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden %23,7 dir.

Böylelikle aynı beton basınç dayanıma sahip C40 numunelerinin pas-payları 2 cm'den 4 cm'e çıkartıldığında elde edilen maksimum gerilme artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden %23,7 dir.

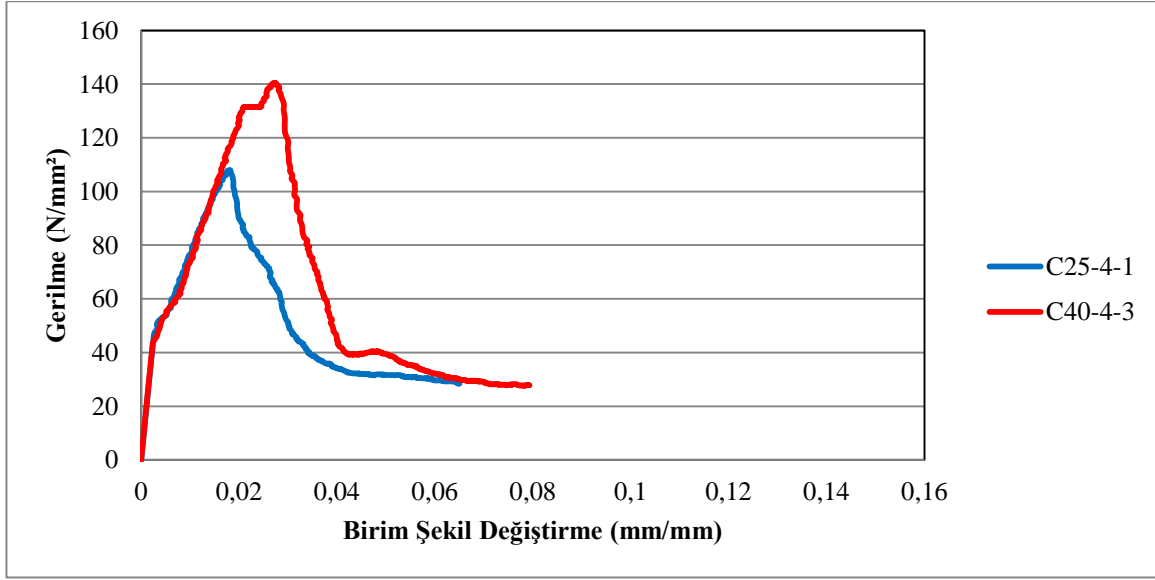
### **Aynı pas-payında beton basınç dayanımının gerilme – birim şekil değiştirme üzerine etkisi: Geleneksel beton**

Tez çalışmasının ikinci aşamasında beton basınç dayanımının aynı pas-payında gerilme değeri üzerine etkisi her bir beton sınıfı için kendi içerisinde tartışılmıştır. Şekil 5.7 ve 5.8'de aynı pas-payına sahip C25 ve C40 beton dayanımları için karşılaştırılması gerilme – birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.



**Şekil 5. 7.** 2 cm pas-payına sahip C25 ve C40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.7'de 2 cm pas-payına sahip C25 numunelerinin ortalama maksimum gerilme değeri 83,16 MPa iken, beton basınç dayanımının aynı pas-payında C40'a çıkartılması ile birlikte ortalama maksimum gerilme değerindeki artış %25,62 olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifade ile aynı pas-paspayında beton basınç dayanımının artırılması ile birlikte nihai gerilme değeri artmıştır.



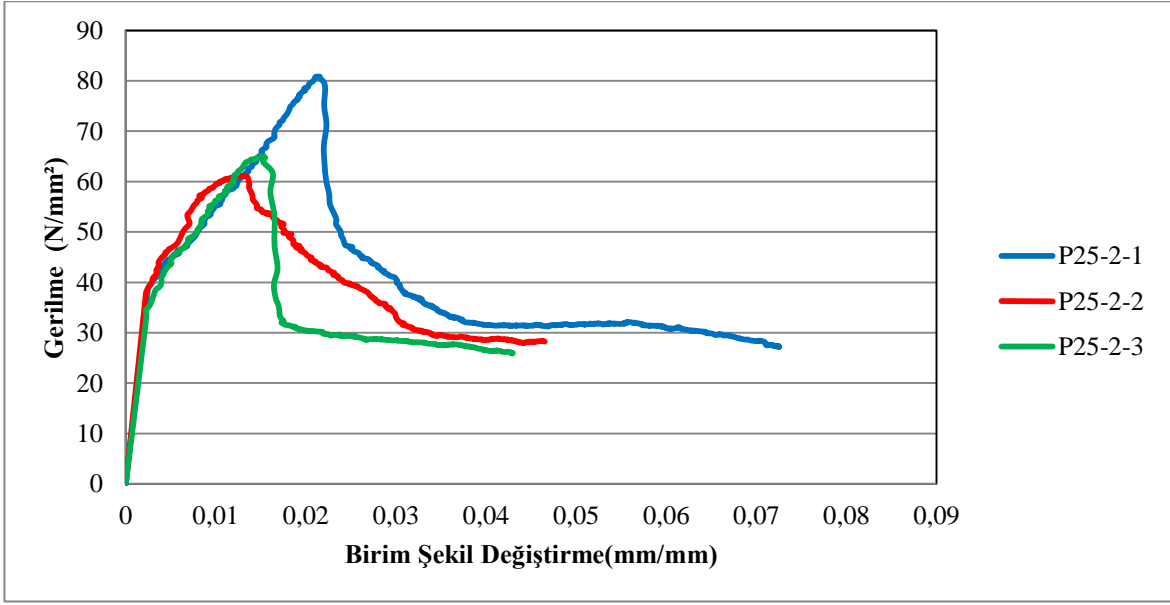
**Şekil 5. 8.** 4 cm pas-payına sahip C25 ve C40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.8’de 4 cm pas-payına sahip C25 numunelerinin ortalama maksimum gerilme değeri 114,04 MPa iken, beton basınç dayanımının aynı pas-payında C40’a çıkartılması ile birlikte ortalama maksimum gerilme değerindeki artış %22,17 olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifade ile aynı pas-payında beton basınç dayanımının artırılması ile birlikte nihai gerilme değeri artmıştır.

### 5.1.2. Perlitli beton

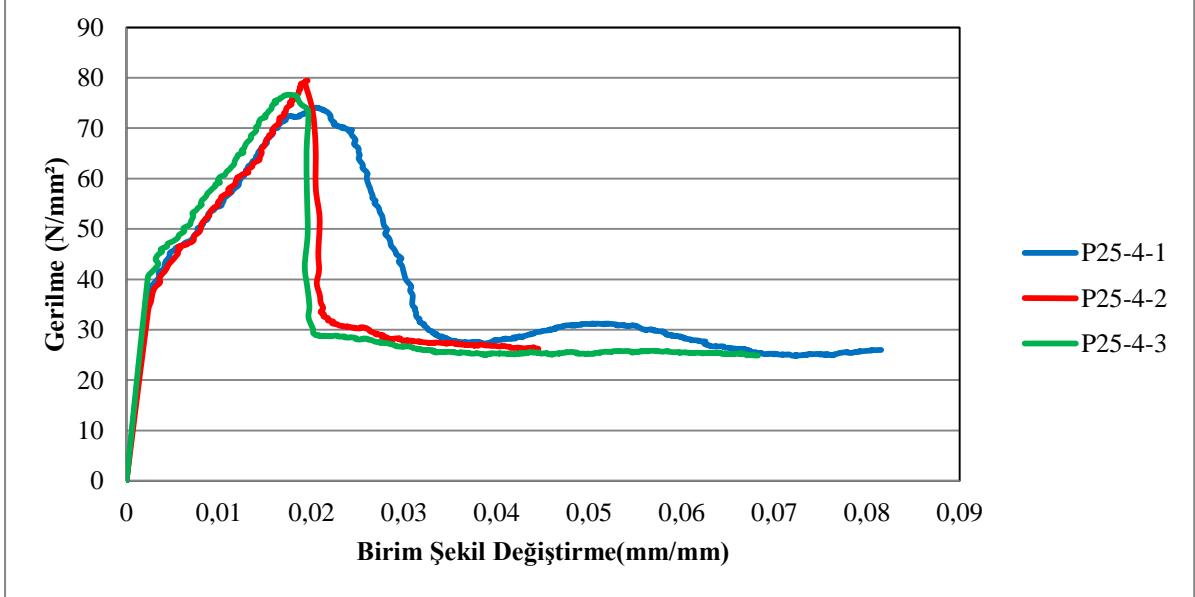
#### Aynı beton basınç dayanımında pas-payın gerilme – birim şekil değişirme üzerine etkisi: Perlitli beton

Şekil 5.9 ve 5.10’de P25-2 cm ve P25-4 cm pas-paylarına ait deney numunelerinin gerilme – birim şekil değişirme grafikleri gösterilmektedir.



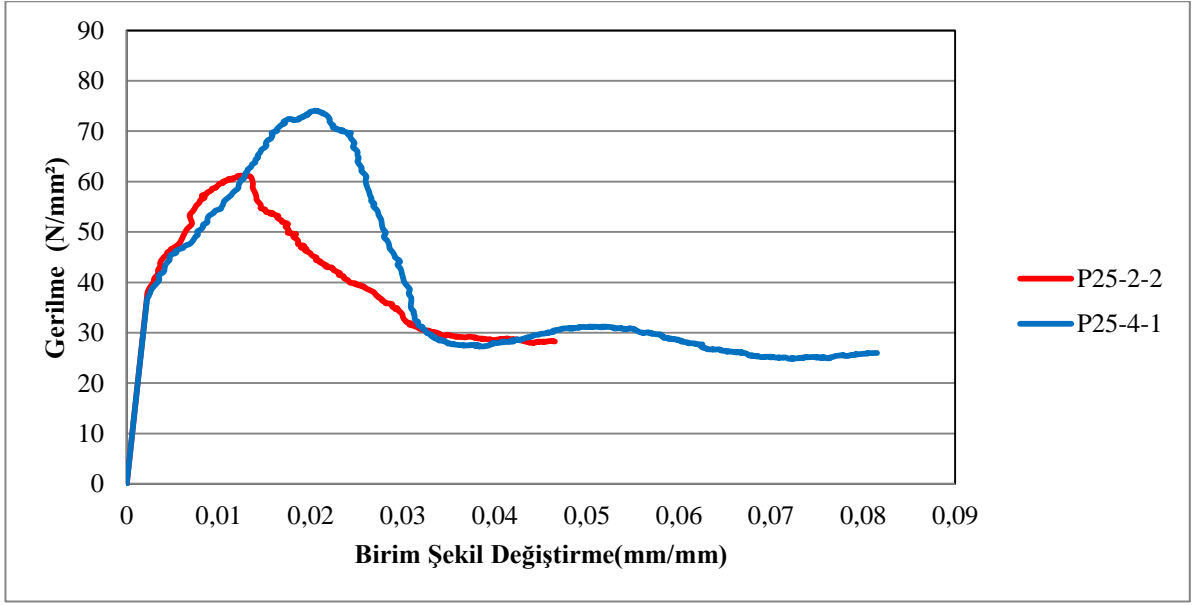
**Şekil 5. 9.** P25 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değıştirme değeri.

Şekil 5.9’da P25 beton sınıfına ait ve 2 cm paspayına sahip P25-2-1, P25-2-2 ve P25-2-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum gerilme değeri sırası ile 80,83; 61,19 ve 65,01 MPa olup ortalama değeri 69,01 MPa’dır.



**Şekil 5. 10.** P25 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değıştirme değeri.

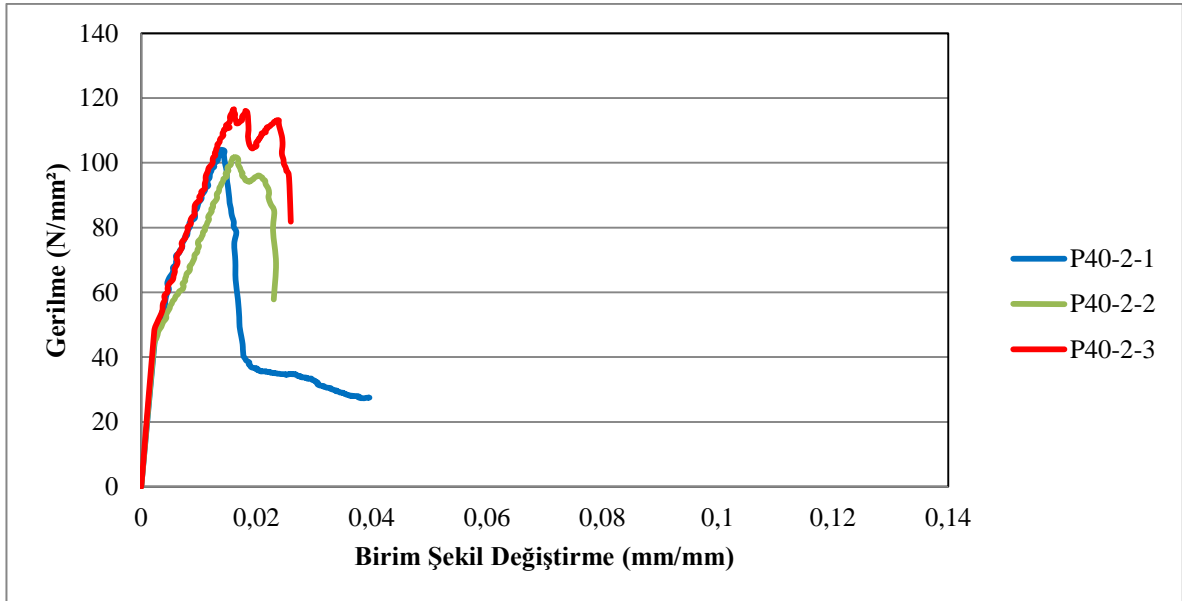
Şekil 5.10’da ise P25 ve 4 cm paspayına sahip P25-4-1, P25-4-2 ve P25-4-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum gerilme değeri sırası ile 74,08; 79,45 ve 76,64 MPa olup ortalamaları 76,72 MPa’dır.



**Şekil 5. 11.** P25 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması.

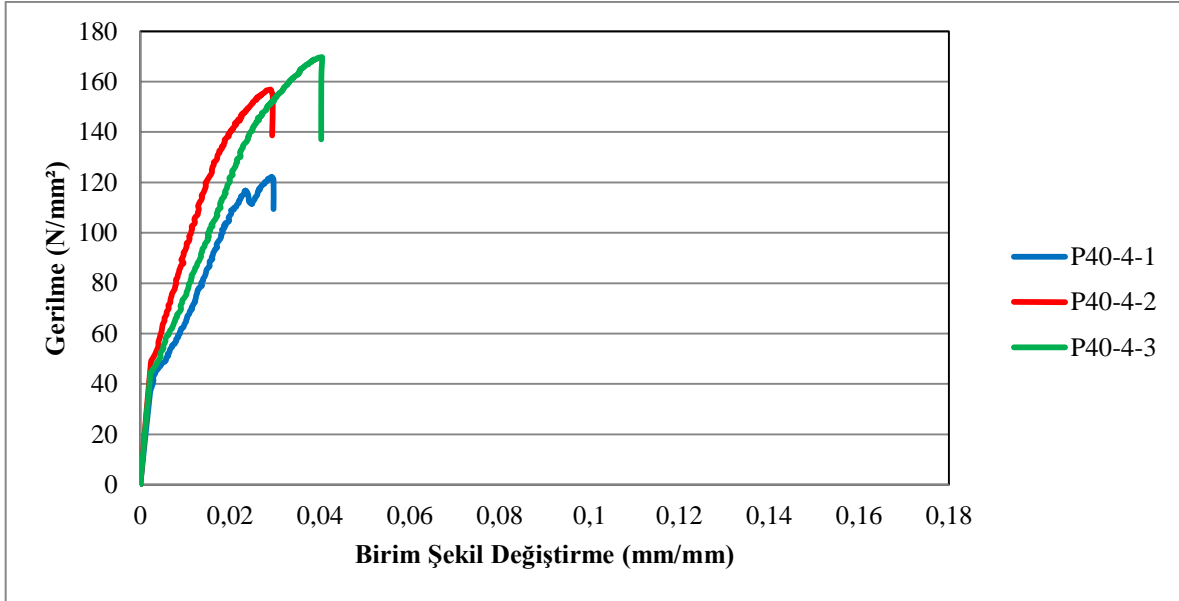
Şekil 5.11’de P25 2 cm ve 4 cm pas-paylarına sahip numuneler karşılaştırılmak üzere aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 5.11’de aynı beton basınç dayanıma sahip P25 numunelerinin pas-payları 2 cm’den 4 cm’e çıkartıldığında elde edilen maksimum gerilme artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden % 10,05 dir.

Şekil 5.12 ve 5.13’de P40-2 cm ve P40-4 cm pas-paylarına ait deney numunelerinin gerilme – birim şekil değiştirme grafikleri gösterilmektedir.



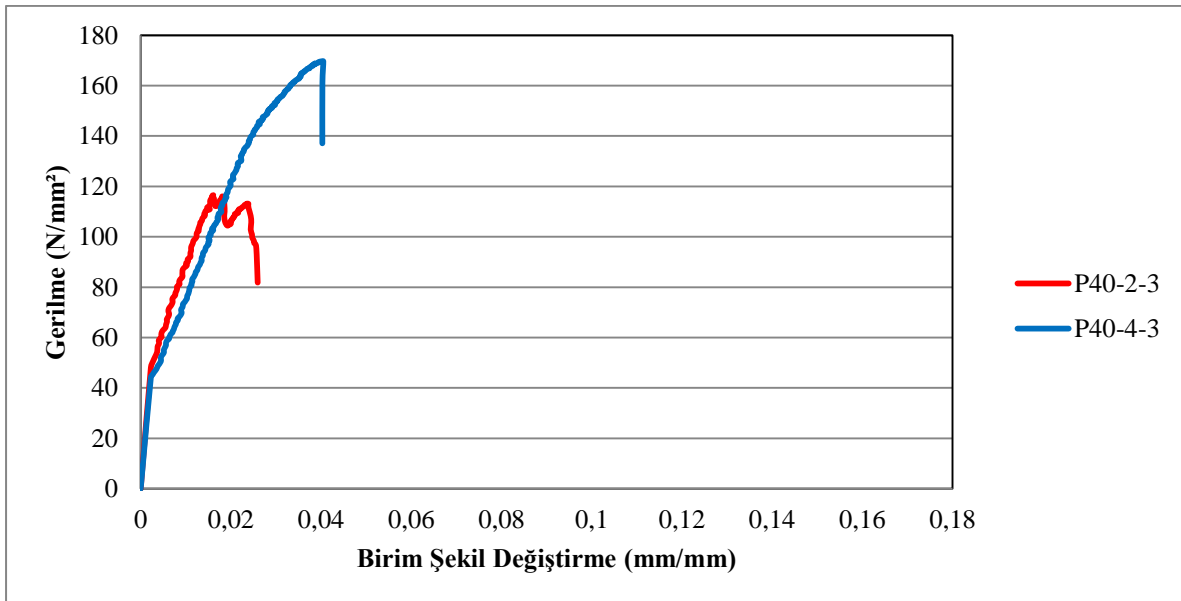
**Şekil 5. 12.** P40 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme değerleri.

Şekil 5.12’de P40 beton sınıfına ait ve 2 cm paspayına sahip P40-2-1, P40-2-2 ve P40-2-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum gerilme değeri sırası ile 104,04; 101,77 ve 116,06 MPa olup ortalama değeri 107,29 MPa’dır.



Şekil 5. 13. P40 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değıştirme değeri.

Şekil 5.13’de ise P40 ve 4 cm paspayına sahip P40-4-1, P40-4-2 ve P40-4-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum gerilme değeri sırası ile 122,24; 156,76 ve 169,67 MPa olup ortalamaları 149,55 MPa’dır.

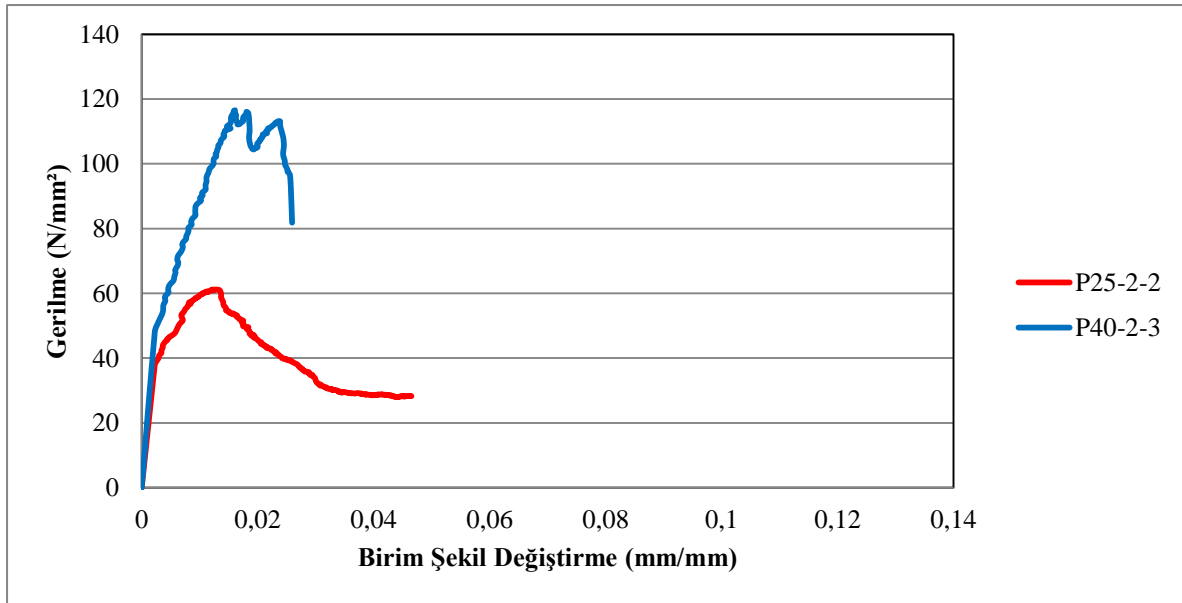


Şekil 5. 14. P40 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin gerilme – birim şekil değıştirme değeri karşılaştırılması.

Şekil 5.14’de P40 2 cm ve 4 cm pas-paylarına sahip numuneler karşılaştırılmak üzere aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 5.14’de aynı beton basınç dayanımına sahip P40 numunelerinin pas-payları 2 cm’den 4 cm’e çıkartıldığında elde edilen maksimum gerilme artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden %28,26 dır.

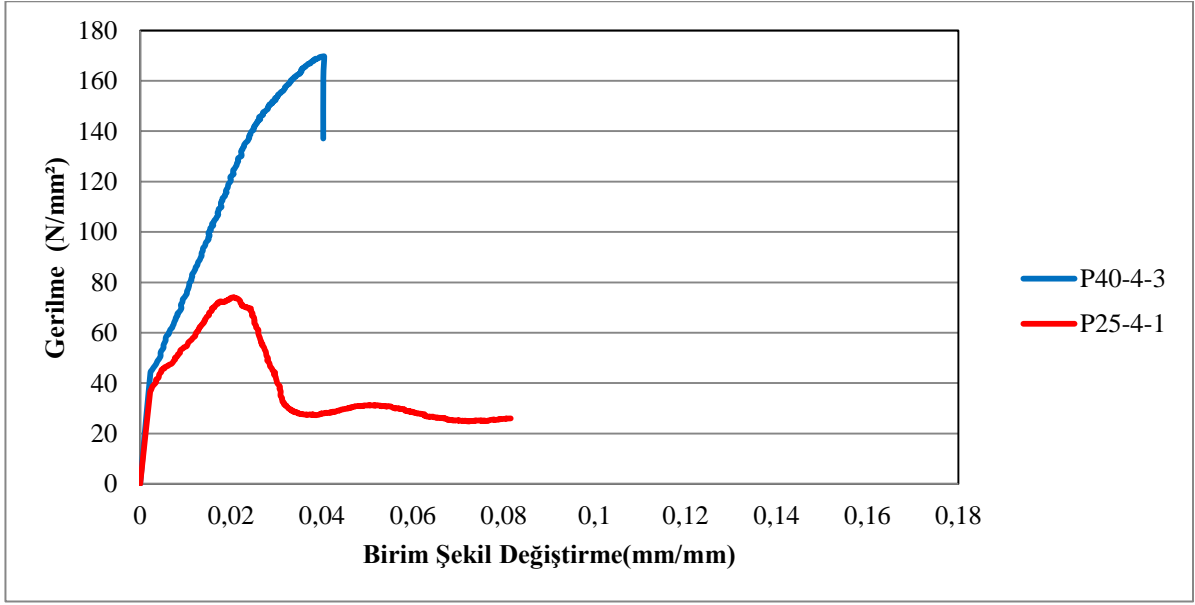
**Aynı pas-payında beton basınç dayanımının gerilme – birim şekil değiştirme üzerine etkisi: Perlitli beton**

Şekil 5.15 ve 5.16’da aynı pas-payına sahip P25 ve P40 beton dayanımları için karşılaştırılması gerilme – birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.



Şekil 5. 15. 2 cm pas-payına sahip P25 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.15’de 2 cm pas-payına sahip P25 numunelerinin ortalama maksimum gerilme değeri 69,01 MPa iken, beton basınç dayanımının aynı pas-payında P40’a çıkartılması ile birlikte ortalama maksimum gerilme değerindeki artış %35,67 olarak hesaplanmıştır.



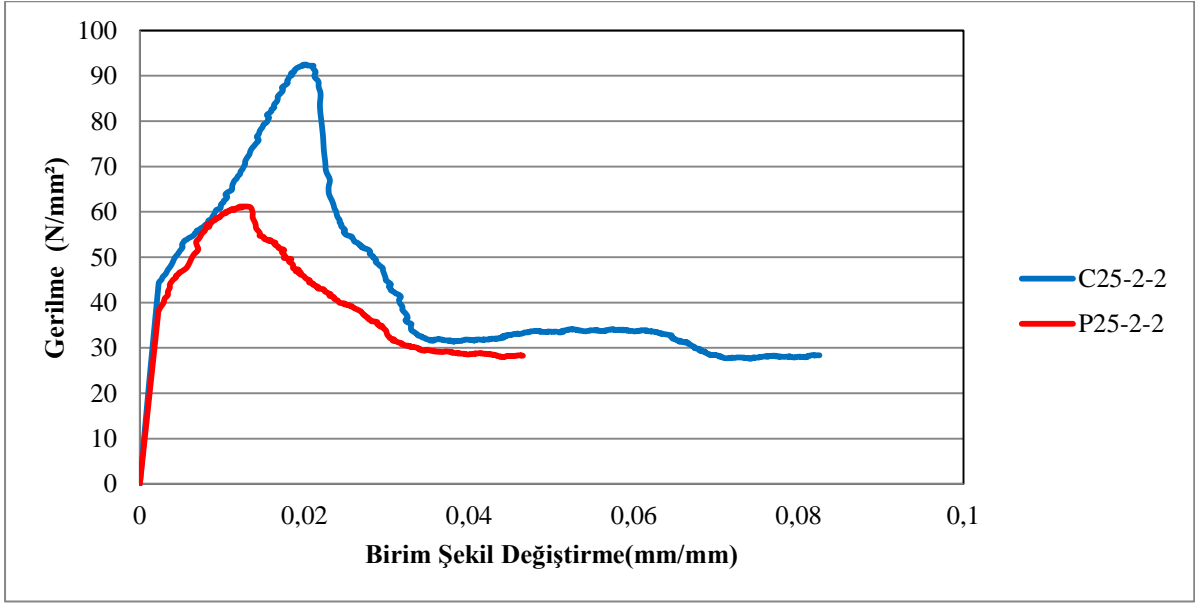
**Şekil 5. 16.** 4 cm pas-payına sahip P25 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.16’da ise 4 cm pas-payına sahip P25 numunelerinin ortalama maksimum gerilme değeri 76,72 MPa iken, beton basınç dayanımının aynı pas-payında P40’a çıkartılması ile birlikte ortalama maksimum gerilme değerindeki artış %48,7 olarak hesaplanmıştır.

### 5.1.3. Perlitli beton ve geleneksel beton

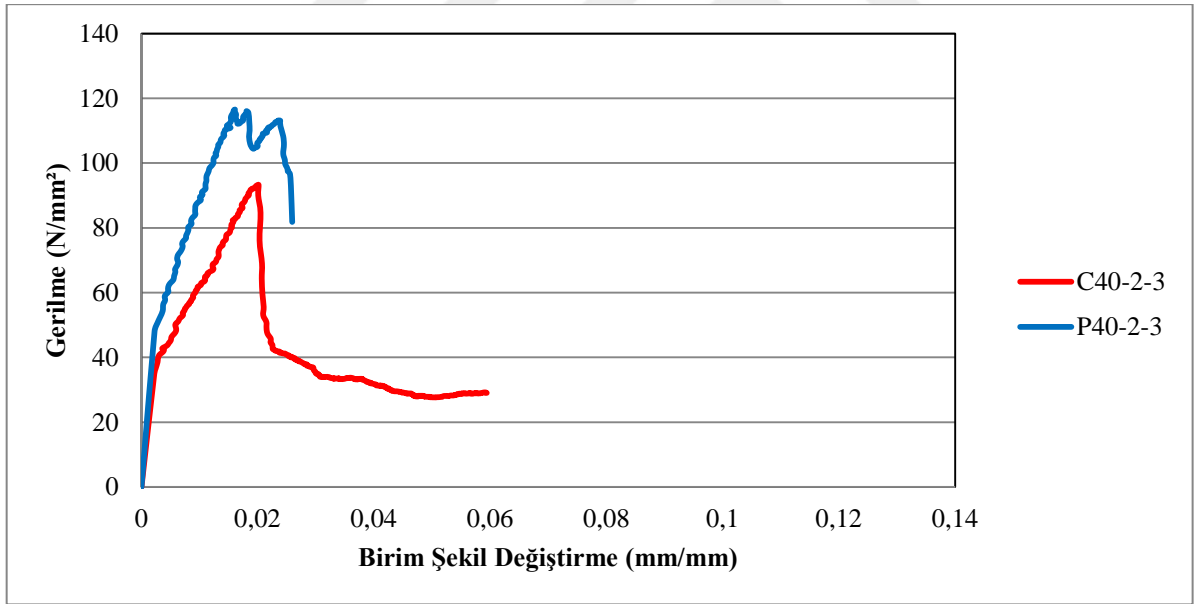
#### **2 cm pas-payında ve özdeş beton basınç dayanımları için geleneksel ve perlitli betonun gerilme – birim şekil değıştirme üzerine etkisi**

Tez çalışmasının üçüncü aşamasında aynı pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için geleneksel ve perlitli betonun gerilme değeri üzerine etkisi incelenmiştir. Şekil 5.17 ve 5.18’de aynı pas-payına sahip C25/P25 ve C40/P40 beton dayanımları için karşılaştırılmalı gerilme – birim şekil değıştirme grafikleri sunulmuştur.



Şekil 5. 17. 2 cm pas-payına sahip C25 ve P25 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.17’de ve aynı pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için C25 geleneksel betonun ortalama gerilme değeri 83,16 MPa iken bu değer P25 için 69,01 MPa dır.

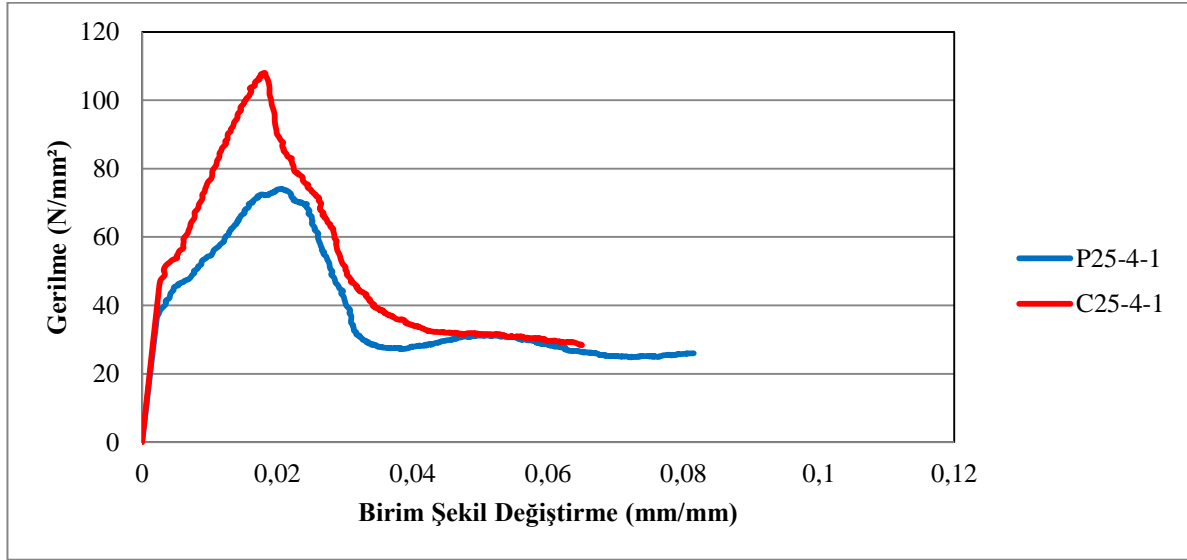


Şekil 5. 18. 2 cm pas-payına sahip C40 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.18’de 2 cm aynı pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için C40 geleneksel betonun ortalama gerilme değeri 111,81 MPa iken bu değer P40 için 107,29 MPa dır.

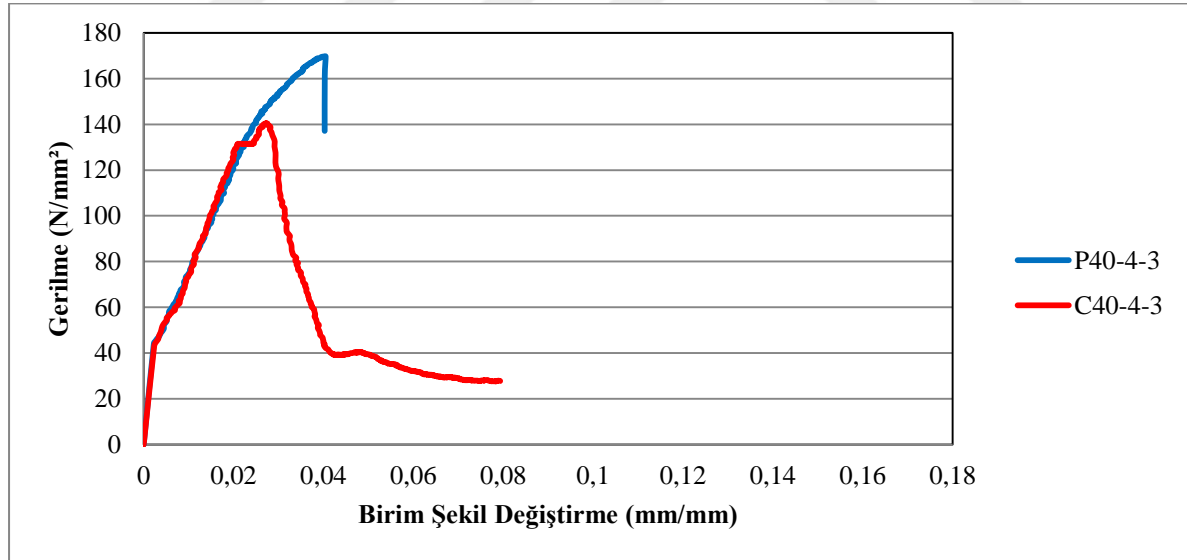
**4 cm pas-payında ve özdeş beton basınç dayanımları için geleneksel ve perlitli betonun gerilme – birim şekil değıştirme üzerine etkisi**

Şekil 5.19 ve 5.20’da aynı pas-payına sahip C25/P25 ve C40/P40 beton dayanımları için karşılaştırılmalı gerilme – birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.



Şekil 5. 19. 4 cm pas-payına sahip C25 ve P25 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.19’da ve 4 cm pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için C25 geleneksel betonun ortalama gerilme değeri 114,04 MPa iken bu değer P25 için 76,72 MPa dır.



Şekil 5. 20. 4 cm pas-payına sahip C40 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması.

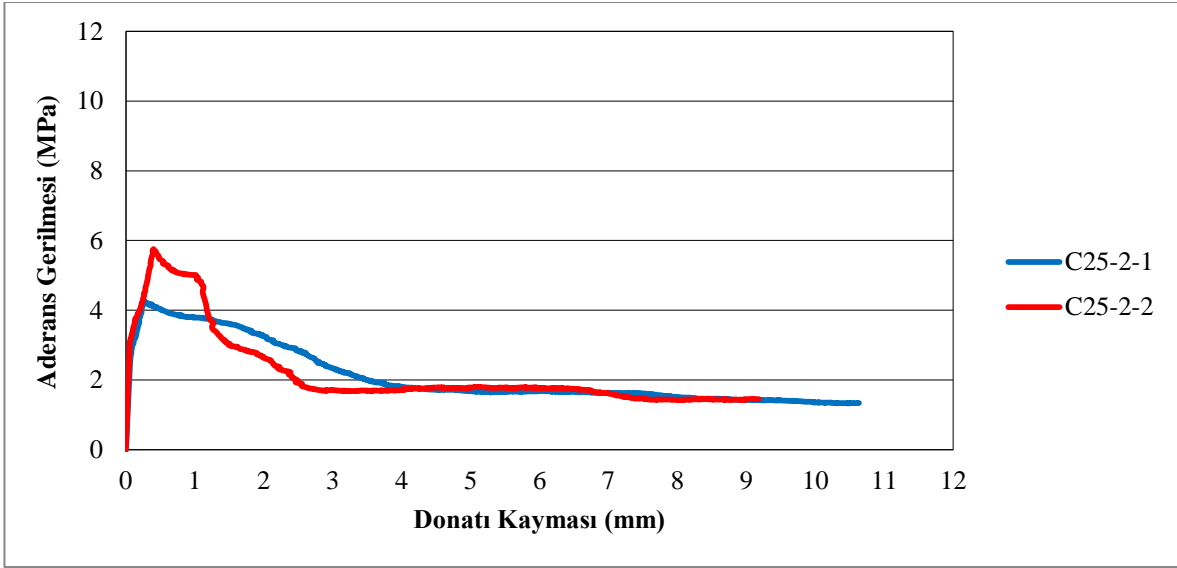
Şekil 5.20’da 4 cm aynı pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için C40 geleneksel betonun ortalama gerilme değeri 146,53 MPa iken bu değer P40 için 149,55 MPa dır.

## 5.2. Çekme-Çıkarma Deneyinde Aderans-Donatı Sıyrılması Sonuçları

### 5.2.1. Geleneksel beton

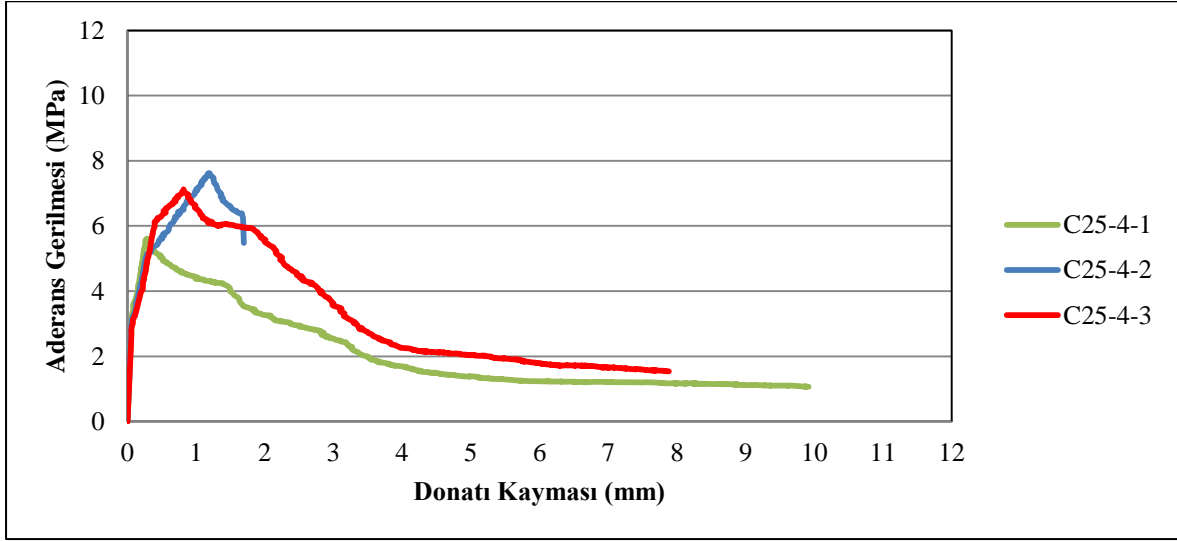
#### Aynı beton basınç dayanımında pas-payının aderans gerilmesi üzerine etkisi: Geleneksel beton

Tez çalışmasının birinci aşamasında, pas payının aderans gerilmesi üzerindeki etkisi her bir beton sınıfı için kendi içerisinde tartışılmıştır. Şekil 5.21 ve 5.22'de, C25 sınıfı beton için 2 cm ve 4 cm pas paylarına ait deney numunelerinin aderans grafikleri gösterilmektedir.



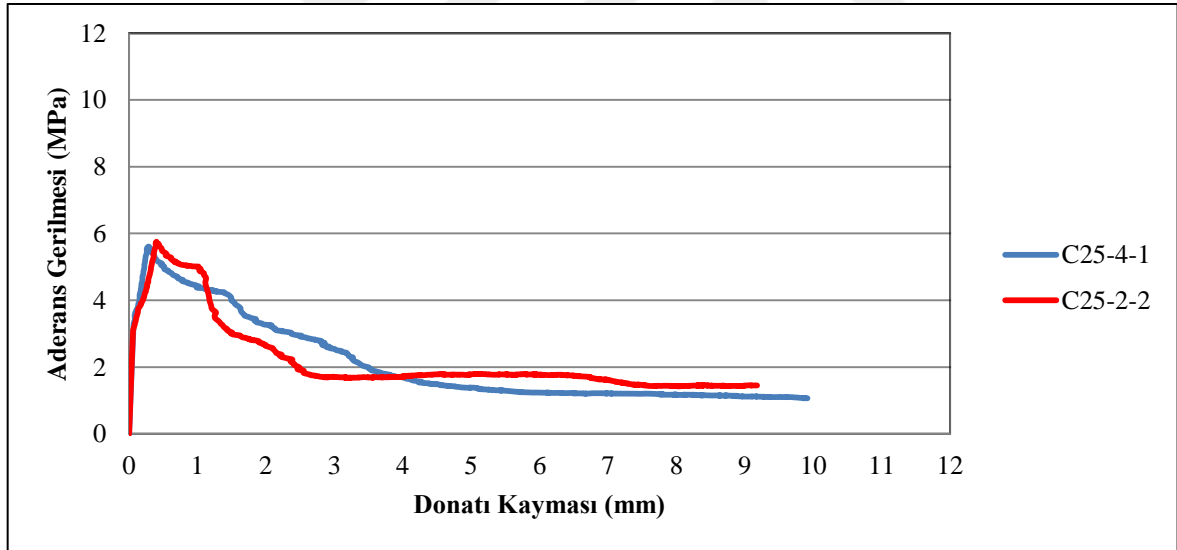
Şekil 5. 21. C25 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerinin aderans-kayma değerleri.

Şekil 5.21'de C25 beton sınıfına ait ve 2 cm pas-payına sahip C25-2-1 ve C25-2-2 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum aderans gerilmesi sırası ile 4,25 ve 5,75 MPa olup ortalama değerleri ise 5 MPa'dır.



Şekil 5. 22. C25 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri.

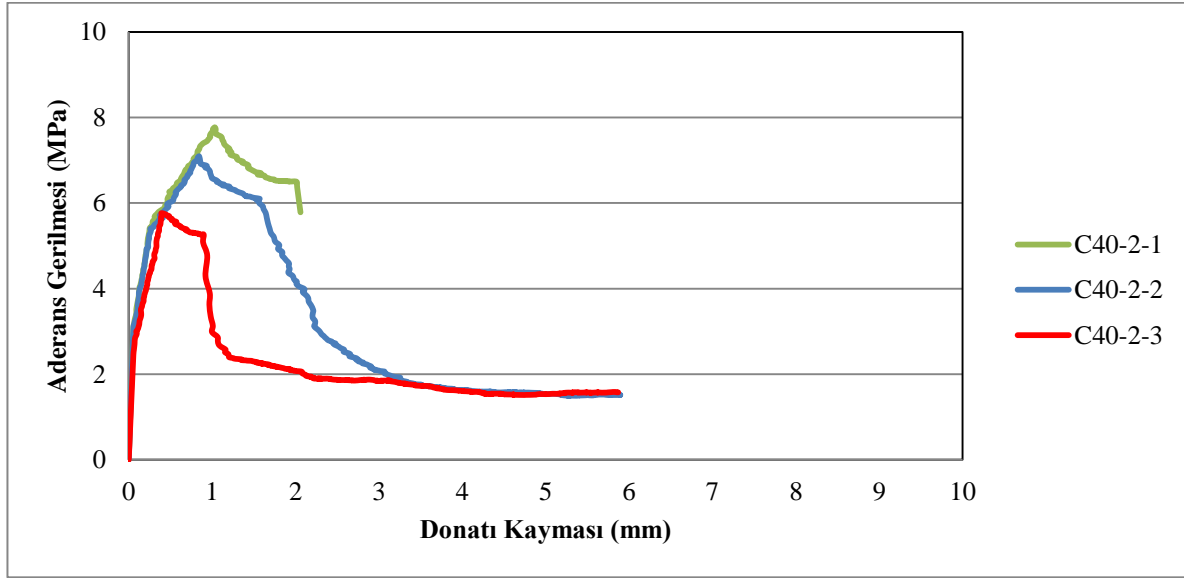
Şekil 5.22’de C25 ve 4 cm pas-payına sahip C25-4-1, C25-4-2 ve C25-4-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum aderans gerilmesi sırası ile 5,61, 7,62 ve 7,12 MPa olup ortalamaları 6,79 MPa’dır.



Şekil 5. 23. C25 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerlerinin karşılaştırılması.

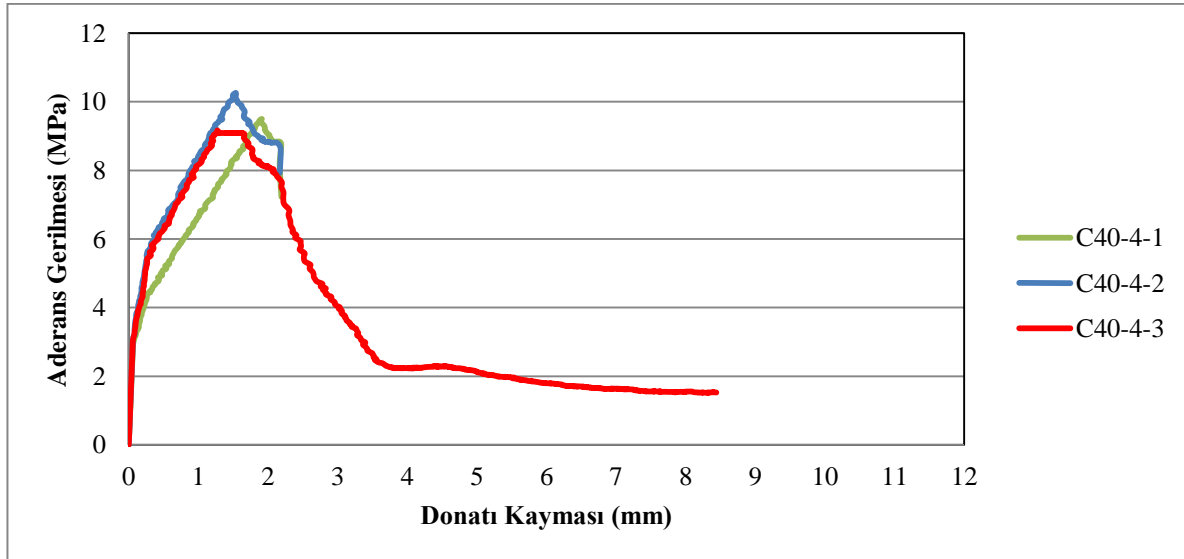
Şekil 5.23’de C25 2 cm ve 4 cm pas-paylarına sahip numuneler karşılaştırılmak üzere aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 5.23’de aynı beton basınç dayanıma sahip C25 numunelerinin pas-payları 2 cm’den 4 cm’e çıkartıldığında elde edilen maksimum aderans artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden %26,36 dır.

Beklenen bu durum C40 2 cm ve C40 4 cm pas-paylarına ait deney numuneleri içinde benzer davranış göstermiştir.



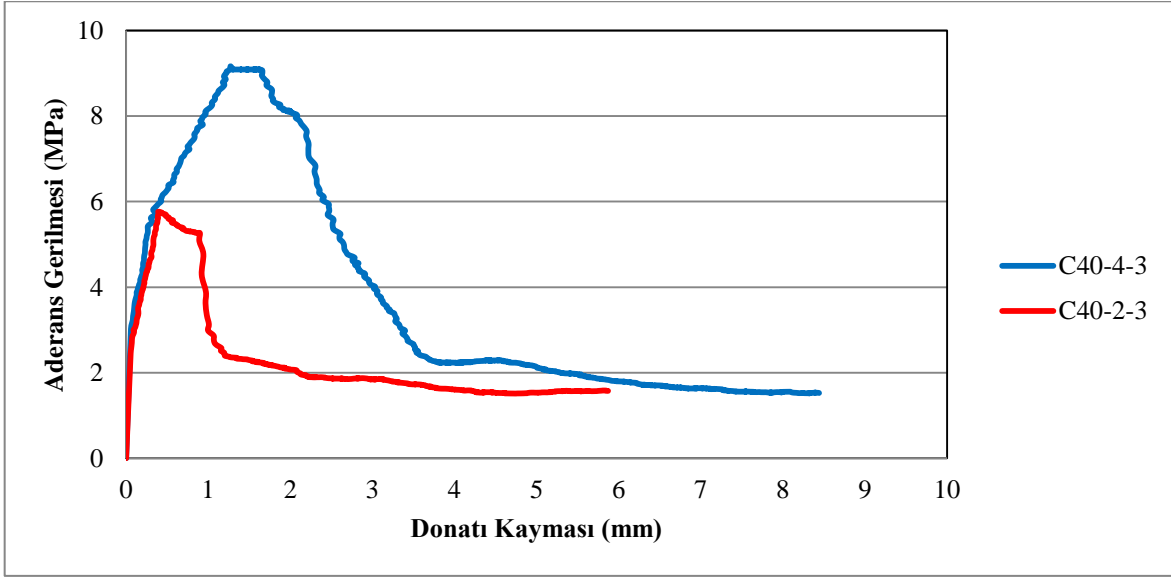
Şekil 5. 24. C40 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerinin aderans-kayma değerleri.

Şekil 5.24'de C40 beton sınıfına ait ve 2 cm pas-payına sahip C40-2-1, C40-2-2 ve C40-2-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum aderans gerilmesi sırası ile 7,77; 7,09 ve 5,77 MPa olup ortalama değeri 6,88 MPa'dır.



Şekil 5. 25. C40 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerinin aderans-kayma değerleri.

Şekil 5.25'de ise C40 ve 4 cm paspayına sahip C40-4-1, C40-4-2 ve C40-4-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum aderans gerilmesi sırası ile 9,50; 10,26 ve 9,16 MPa olup ortalamaları 9,64 MPa'dır.



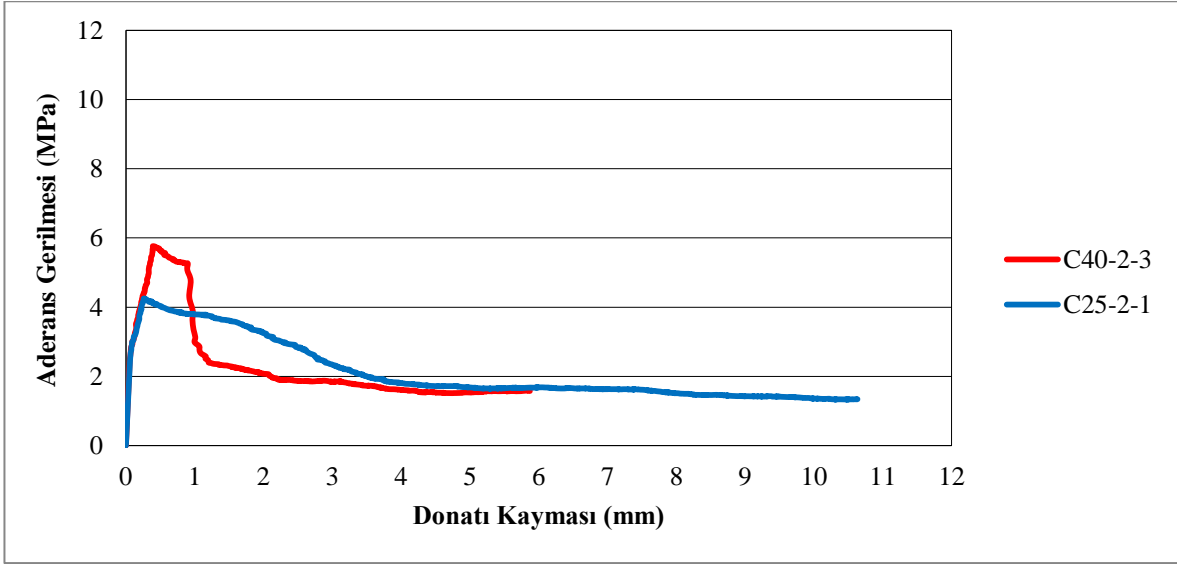
**Şekil 5. 26.** C40 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.26’da C40 ve 2 cm ve 4 cm pas-paylarına sahip numuneler karşılaştırılmak üzere aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 5.26’da aynı beton basınç dayanıma sahip C40 numunelerinin pas-payları 2 cm’den 4 cm’e çıkartıldığında elde edilen maksimum aderans artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden %28,63 dür.

Böylelikle aynı beton basınç dayanıma sahip C40 numunelerinin pas-payları 2 cm’den 4 cm’e çıkartıldığında elde edilen maksimum aderans artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden %28,63 dir.

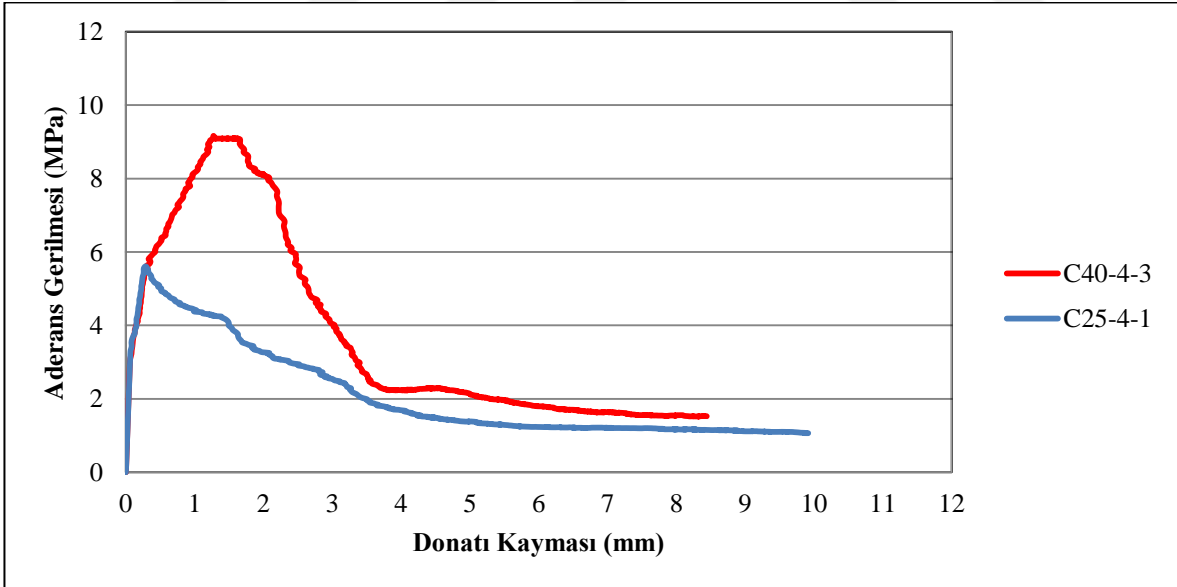
### **Aynı pas-payında beton basınç dayanımının aderans gerilmesi üzerine etkisi: Geleneksel beton**

Tez çalışmasının ikinci aşamasında beton basınç dayanımının aynı pas-payında aderans gerilmesi üzerine etkisi her bir beton sınıfı için kendi içerisinde tartışılmıştır. Şekil 5.27 ve 5.28’de aynı pas-payına sahip C25 ve C40 beton dayanımları için karşılaştırılması aderans-kayma grafikleri sunulmuştur.



**Şekil 5. 27.** 2 cm pas-payına sahip C25 ve C40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.27’de 2 cm pas-payına sahip C25 numunelerinin ortalama maksimum aderans gerilmesi 5 MPa iken, beton basınç dayanımının aynı pas-payında C40’a çıkartılması ile birlikte ortalama maksimum aderans gerilmesindeki artış %27,33 olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifade ile aynı pas-paspayında beton basınç dayanımının artırılması ile birlikte nihai aderans gerilmesi artmıştır.



**Şekil 5. 28.** 4 cm pas-payına sahip C25 ve C40 numunelerinin karşılaştırılması.

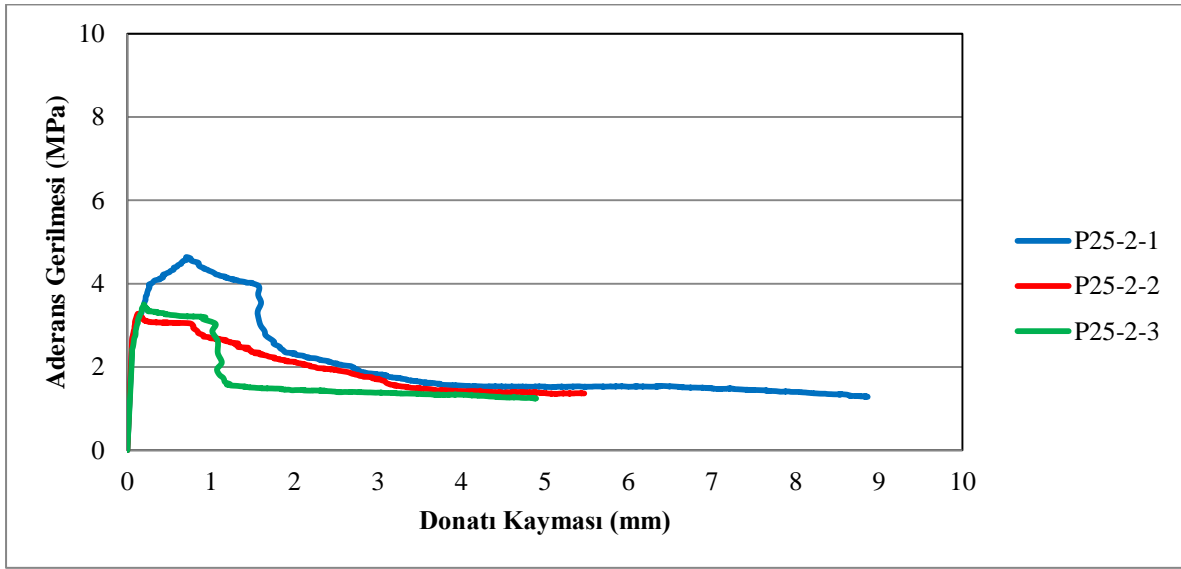
Şekil 5.28’de 4 cm pas-payına sahip C25 numunelerinin ortalama maksimum aderans gerilmesi 6,79 MPa iken, beton basınç dayanımının aynı pas-payında C40’a çıkartılması ile birlikte ortalama maksimum aderans gerilmesindeki artış %29,56 olarak hesaplanmıştır.

Diğer bir ifade ile aynı pas-payında beton basınç dayanımının artırılması ile birlikte nihai aderans gerilmesi artmıştır.

### 5.2.2. Perlitli beton

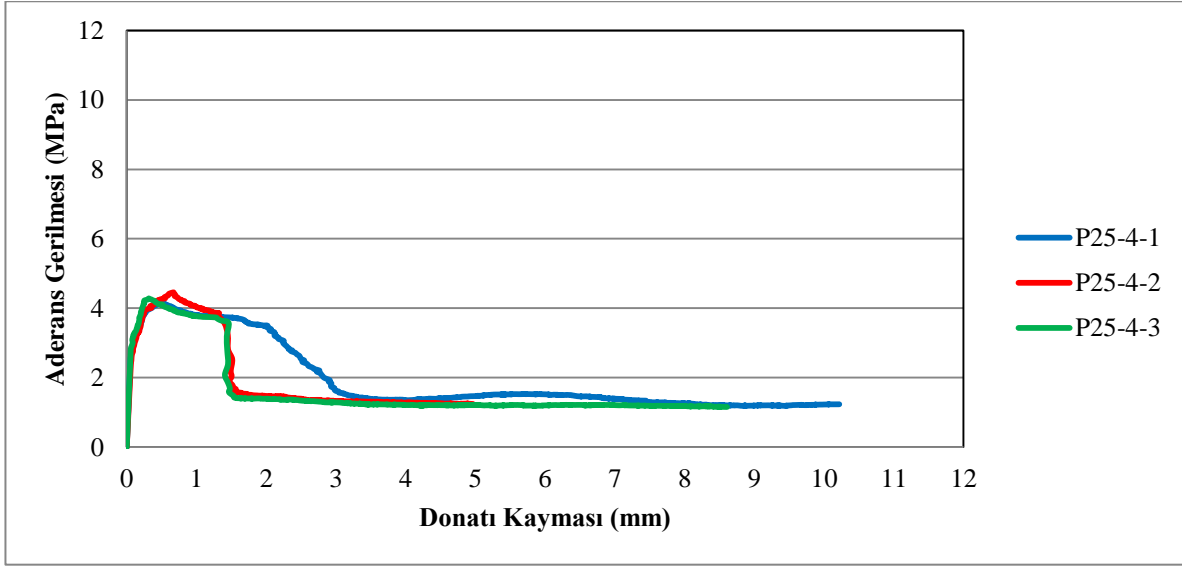
#### Aynı beton basınç dayanımında pas-payın aderans gerilmesi üzerine etkisi: Perlitli beton

Şekil 5.29 ve 5.30'da P25-2 cm ve P25-4 cm pas-paylarına ait deney numunelerinin aderans grafikleri gösterilmektedir.



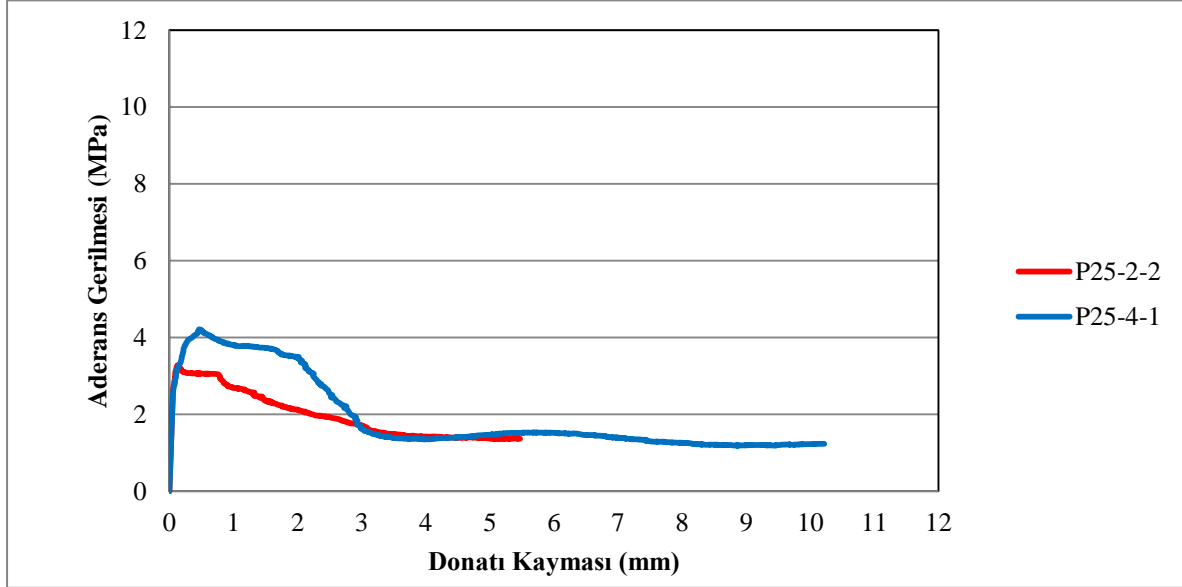
Şekil 5. 29. P25 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerinin aderans-kayma değerleri.

Şekil 5.29'da P25 beton sınıfına ait ve 2 cm paspayına sahip P25-2-1, P25-2-2 ve P25-2-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum aderans gerilmesi sırası ile 4,63; 3,28 ve 3,50 MPa olup ortalama değerleri 3,81 MPa'dır.



Şekil 5. 30. P25 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerleri.

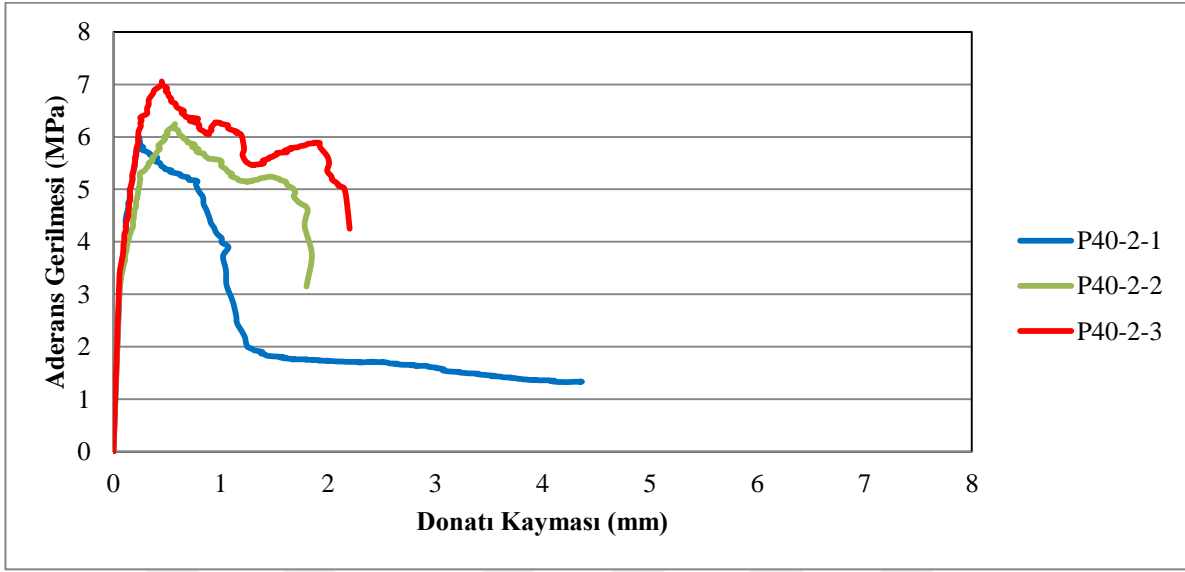
Şekil 5.30’da ise P25 ve 4 cm paspayına sahip P25-4-1, P25-4-2 ve P25-4-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum aderans gerilmesi sırası ile 4,21; 4,46 ve 4,28 MPa olup ortalamaları 4,32 MPa’dır.



Şekil 5. 31. P25 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerin aderans-kayma değerlerinin karşılaştırılması.

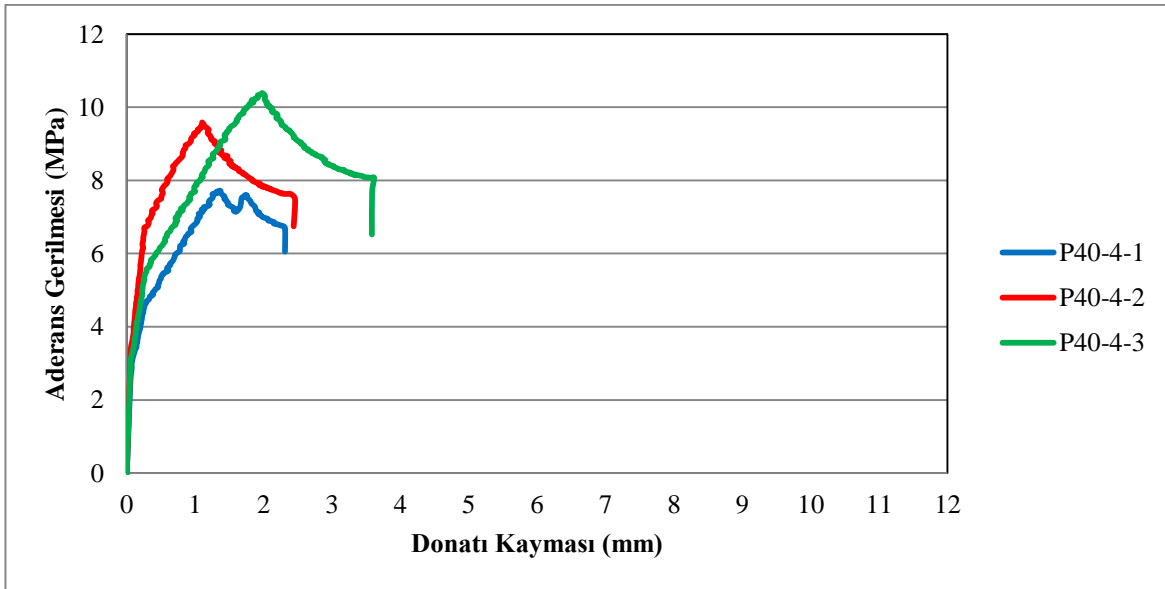
Şekil 5.31’de P25 2 cm ve 4 cm pas-paylarına sahip numuneler karşılaştırılmak üzere aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 5.31’de aynı beton basınç dayanımına sahip P25 numunelerinin pas-payları 2 cm’den 4 cm’e çıkartıldığında elde edilen maksimum aderans artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden % 11,8 dir.

Şekil 5.32 ve 5.33’de P40-2 cm ve P40-4 cm pas-paylarına ait deney numunelerinin aderans grafikleri gösterilmektedir.



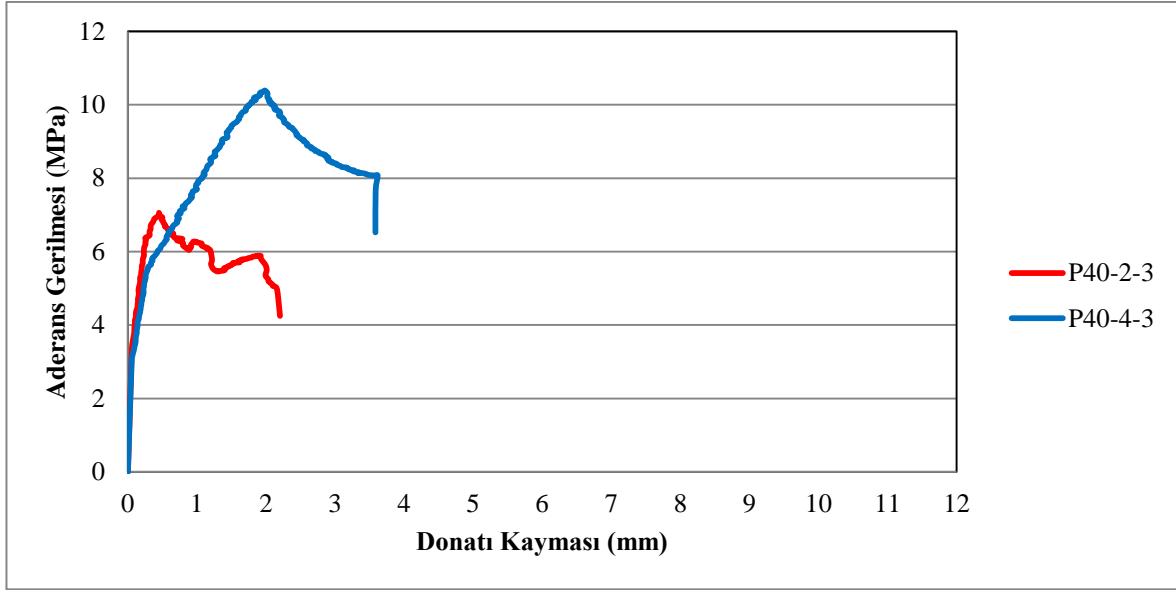
Şekil 5. 32. P40 ve 2 cm pas-payına sahip deney numunelerinin aderans-kayma değerleri.

Şekil 5.32’de P40 beton sınıfına ait ve 2 cm paspayına sahip P40-2-1, P40-2-2 ve P40-2-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum aderans gerilmesi sırası ile 6; 6,25 ve 7,06 MPa olup ortalama değerleri 6,63 MPa’dır.



Şekil 5. 33. P40 ve 4 cm pas-payına sahip deney numunelerinin aderans-kayma değerleri.

Şekil 5.33’de ise P40 ve 4 cm paspayına sahip P40-4-1, P40-4-2 ve P40-4-3 numaralı deney numuneleri için elde edilen maksimum aderans gerilmesi sırası ile 7,72; 9,59.ve 10,39 MPa olup ortalamaları 9,23 MPa’dır.

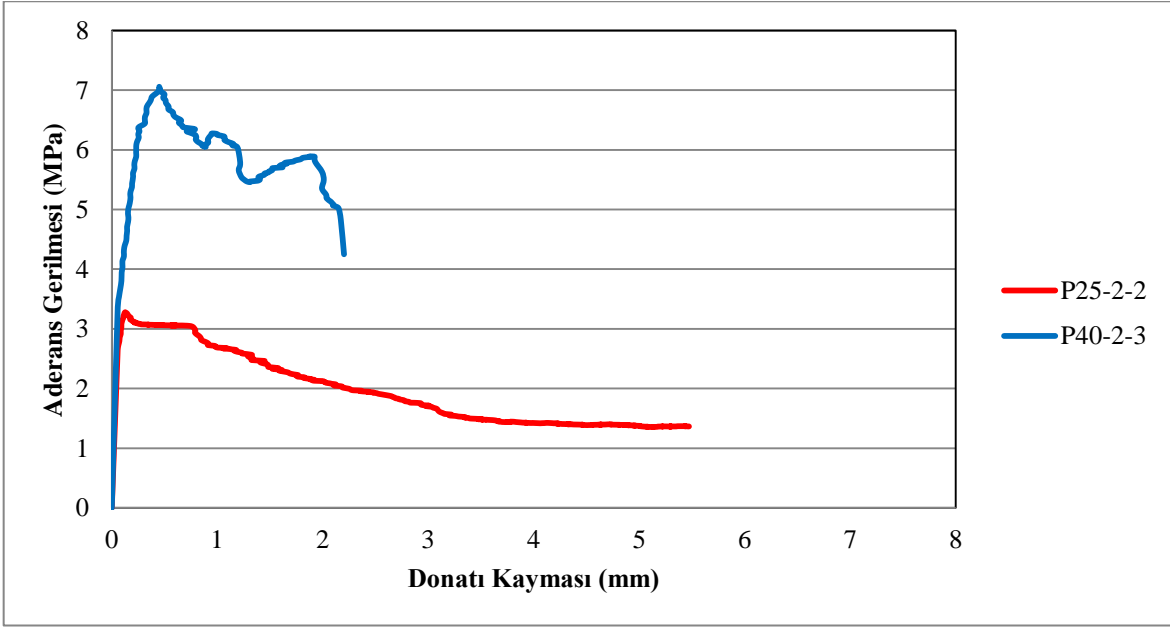


**Şekil 5. 34.** P40 2 ve 4 cm pas-paylarına sahip deney numunelerinin aderans-kayma değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.34’de P40 2 cm ve 4 cm pas-paylarına sahip numuneler karşılaştırılmak üzere aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 5.34’de aynı beton basınç dayanımına sahip P40 numunelerinin pas-payları 2 cm’den 4 cm’e çıkartıldığında elde edilen maksimum aderans artış değeri elde edilen ortalamalar üzerinden %27 dir.

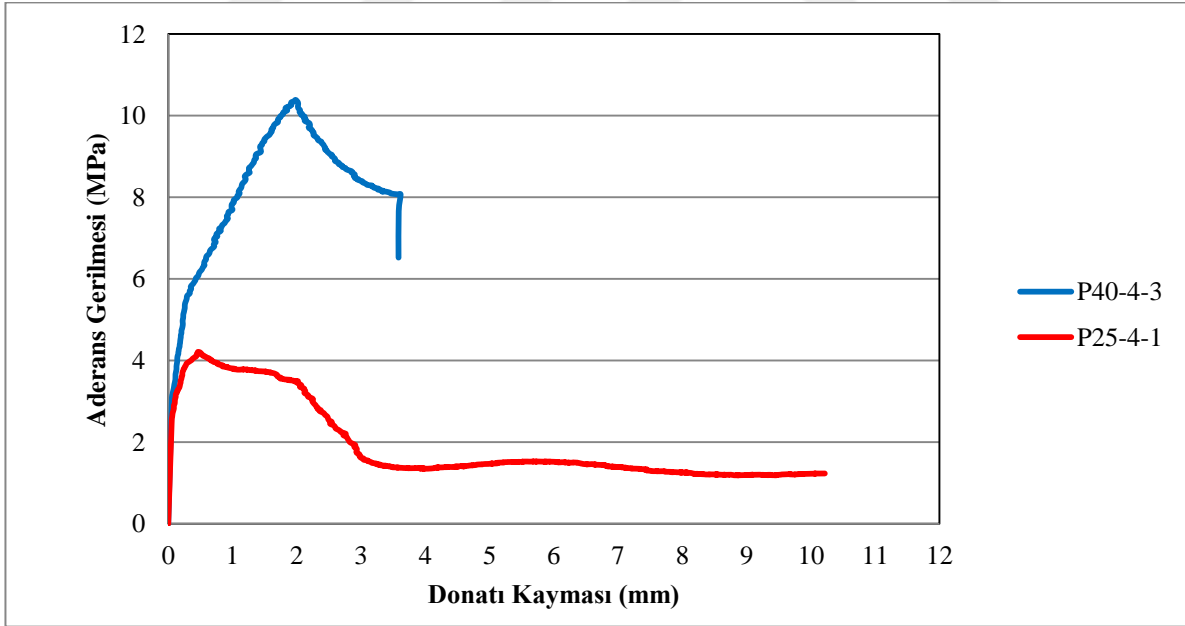
### **Aynı pas-payında beton basınç dayanımının aderans gerilmesi üzerine etkisi: Perlitli beton**

Şekil 5.35 ve 5.36’da aynı pas-payına sahip P25 ve P40 beton dayanımları için karşılaştırılması aderans-kayma grafikleri sunulmuştur.



Şekil 5. 35. 2 cm pas-payına sahip P25 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.35’de 2 cm pas-payına sahip P25 numunelerinin ortalama maksimum aderans gerilmesi 3,81 MPa iken, beton basınç dayanımının aynı pas-payında P40’a çıkartılması ile birlikte ortalama maksimum aderans gerilmesindeki artış %42,53 olarak hesaplanmıştır.



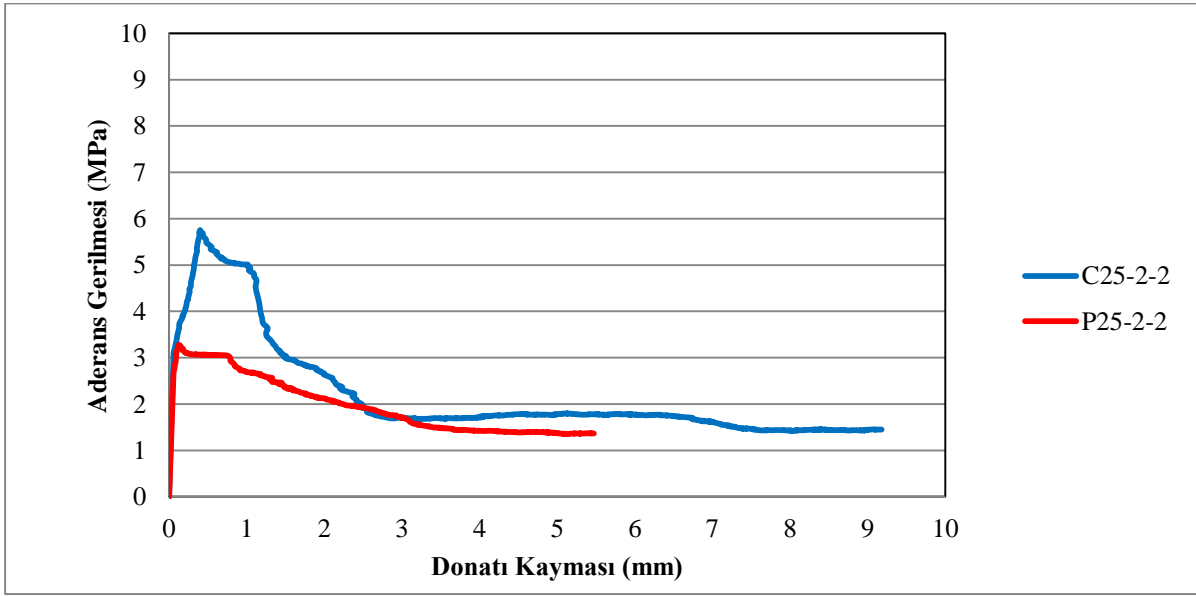
Şekil 5. 36. 4 cm pas-payına sahip P25 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.36’da ise 4 cm pas-payına sahip P25 numunelerinin ortalama maksimum aderans gerilmesi 4,32 MPa iken, beton basınç dayanımının aynı pas-payında P40’a çıkartılması ile birlikte ortalama maksimum aderans gerilmesindeki artış %53,20 olarak hesaplanmıştır.

### 5.2.3. Geleneksel beton ve perlitli beton

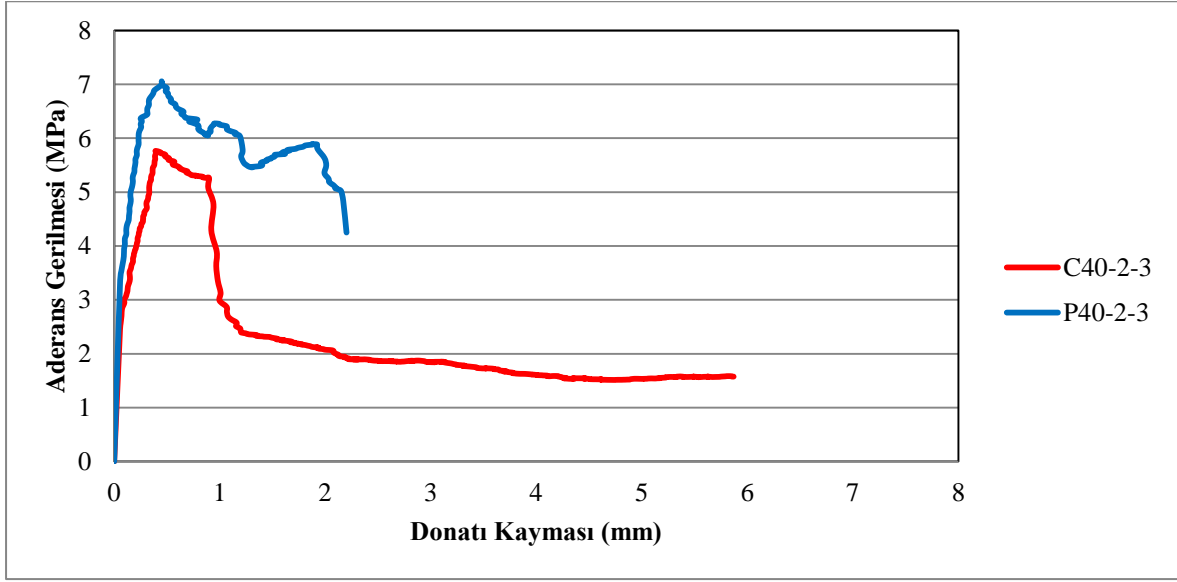
#### 2 cm pas-payında ve özdeş beton basınç dayanımları için geleneksel ve perlitli betonun aderans gerilmesi üzerine etkisi

Tez çalışmasının üçüncü aşamasında aynı pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için geleneksel ve perlitli betonun aderans gerilmesi üzerine etkisi incelenmiştir. Şekil 5.37 ve 5.38’de aynı pas-payına sahip C25/P25 ve C40/P40 beton dayanımları için karşılaştırılmalı aderans-sıyrılma grafikleri sunulmuştur.



Şekil 5. 37. 2 cm pas-payına sahip C25 ve P25 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.37’de ve aynı pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için C25 geleneksel betonun ortalama aderans gerilmesi 5 MPa iken bu değer P25 için 3,81 MPa dır.

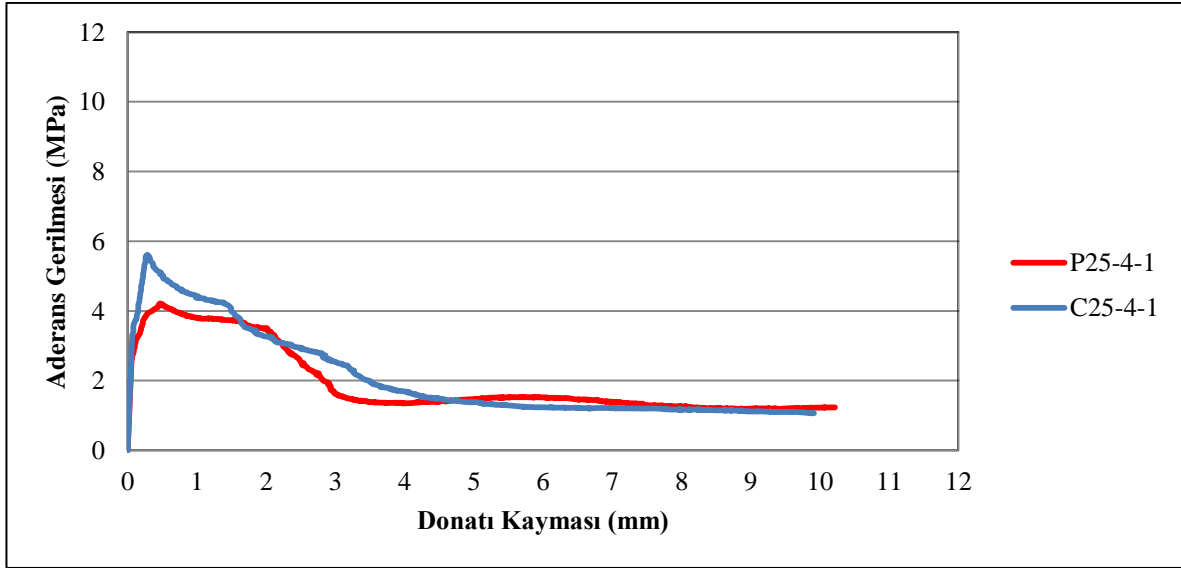


Şekil 5. 38. 2 cm pas-payına sahip C40 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.38’de ve 2 cm aynı pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için C40 geleneksel betonun ortalama aderans gerilmesi 6,88 MPa iken bu değer P40 için 6,63 MPa dır.

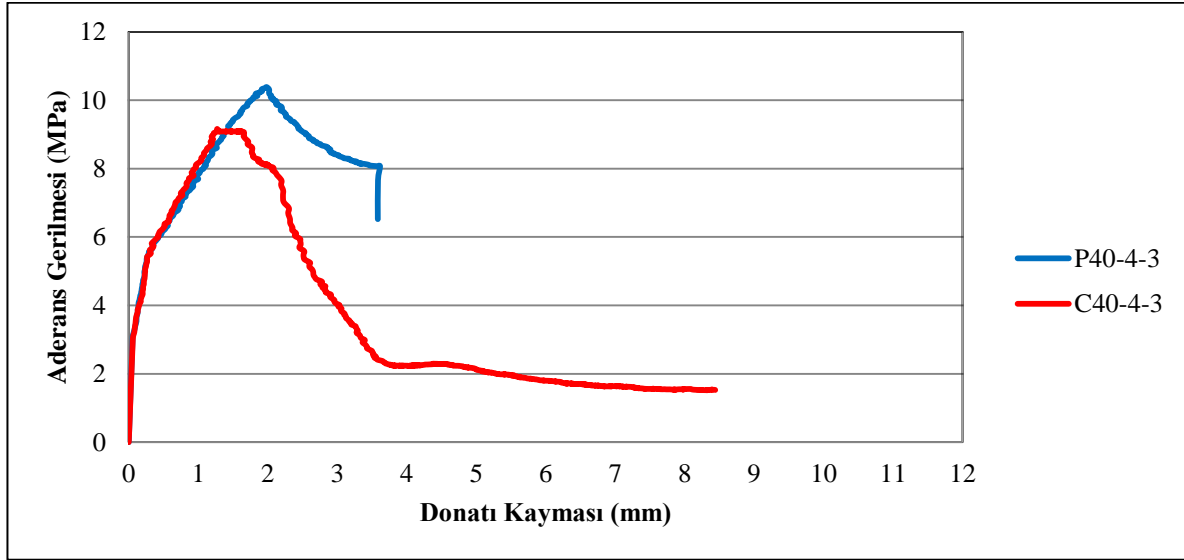
#### **4 cm pas-payında ve özdeş beton basınç dayanımları için geleneksel ve perlitli betonun aderans gerilmesi üzerine etkisi**

Şekil 5.39 ve 5.40’da aynı pas-payına sahip C25/P25 ve C40/P40 beton dayanımları için karşılaştırılmalı aderans-sıyırılma grafikleri sunulmuştur.



Şekil 5. 39. 4 cm pas-payına sahip C25 ve P25 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.39’da ve 4 cm pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için geleneksel betonun C25 ortalama aderans gerilmesi 6,79 MPa iken bu değer P25 için 4,32 MPa dır.

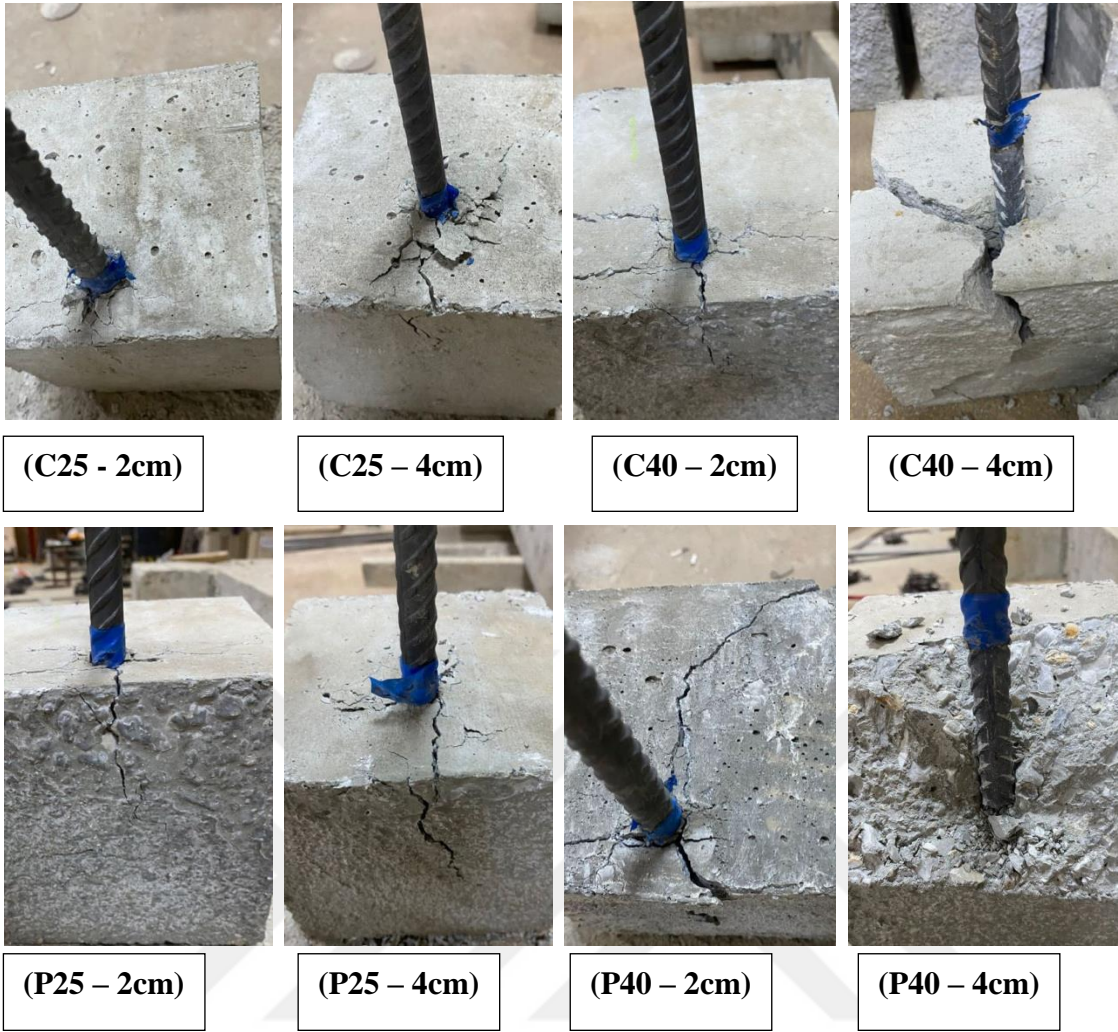


Şekil 5. 40. 4 cm pas-payına sahip C40 ve P40 numunelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.40’da ve 4 cm aynı pas-payı ve özdeş beton basınç dayanımları için C40 geleneksel betonun ortalama aderans gerilmesi 9,64 MPa iken bu değer P40 için 9,23 MPa dır.

### 5.3. Numunelerin Hasar Seviyeleri

Geleneksel beton ve doğal perlit ile üretilen beton numunelerinin hasar seviyeleri, çekme-çıkarma testi sırasında, artırılan aksel basınç yükünün etkili bir şekilde düşmesine ile gerçekleşen göçme moduna göre gözlemlenmiştir. Çekme-çıkarma testi sonunda numunelere ait hasar seviyeleri Şekil 5.41’ de özetlenmiştir.



**Şekil 5. 41.** Numunelerin gözlemlenen hasar seviyeleri.

Şekil 5.41’de çekme-çıkarma testi sonucunda, geleneksel beton ve doğal perlit ile üretilen betonların beton basınç dayanımı ve pas payı parametrelerinin artırılması ile hasarın daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum numunelerin etkili aderans dayanımına bağlı olarak, enerji yutma kapasitesi veya tokluk özelliklerine atfedilebilir.

## 6. SONUÇLAR

Betonarme yapı elemanlarında, doğal perlit agregasının geleneksel agreganın yerine kullanılmasının, çekme-çıkarma testi uygulanarak, mekanik performans parametreleri bakımından etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, deneysel bulgular ve gözlemler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Beton basınç dayanımı ve pas payı parametrelerinin artırılması, her iki geleneksel beton ve doğal perlit ile üretilen betonların maksimum dayanımını, akma dayanımını ve birim şekil değiştirme miktarını artırmaktadır.

2. Beton basınç dayanımı ve pas payı parametrelerinin artırılması, her iki geleneksel beton ve doğal perlit ile üretilen betonların aderans dayanımının etkili olarak artırmaktadır. Donatı kayması açısından ise beton basınç dayanımının artırılması, hem geleneksel beton ve hem de doğal perlit ile üretilen betonların donatı kayma miktarını azaltmıştır. Buna karşılık donatı pas payının artırılması geleneksel betonlarda donatı sıyrılması miktarını artırırken, doğal perlit ile üretilen betonların donatı sıyrılması miktarını azaltmıştır.

3. Beton basınç dayanımı ve pas payı parametrelerinin artırılması, geleneksel beton numunelerinin enerji yutma kapasitesi veya tokluğu açısından sırasıyla belirsiz ve etkili olmuştur. Buna karşılık doğal perlit ile üretilen beton numunelerin enerji yutma kapasitesi veya tokluğu, beton basınç dayanımının artırılması ile çarpıcı bir şekilde etkili olurken, donatı pas payının artırılması bu özelliğin azalmasına neden olmuştur.

4. Özet olarak beton basınç dayanımının 25 MPa'dan 40 MPa'ya çıkarılması ile aderans dayanımında meydana gelen artış pas payı tabakasının 2 cm'den 4'cm değerine çıkarılması ile elde edilen artıştan daha yüksektir. Bu durum hem geleneksel taş agregası ile üretilen hem de doğal perlit agregası ile üretilen numunelerde özdeş şekilde gözlenmiştir.

5. Etkili olan aderans dayanımı sayesinde, doğal perlit ile üretilen betonların, mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi ile geleneksel betonların yerini alabileceği sonucu ileri araştırmalara ışık tutabilecektir.

## KAYNAKLAR

- ACI 213R-03, “Guide for Structural Lightweight-aggregate Concrete” *American Concrete Institute*, USA.
- ACI 408R-03 (2003) “Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension” (ACI 408R-03). Reported by ACI Committee 408, **American Concrete Institute**, MI,USA.
- Aitcin, P.C. (1998) “High-Performance Concrete”, *E and FN SPON*, London and Newyork, 1-650.
- Aka, İ., Keskinel, F. ve Arda T. S., (1996) “Betonarmeye Giriş” 9. Baskı, İstanbul, Türkiye, **Birsen Yayınevi**.
- Al-Duaij, Jamal A., El-Laithy, K. E., ve Payappilly, R. J. (1997) “A value engineering approach to determine quality lightweight concrete aggregates” *Cost Engineering*, 39(5), 21.
- AlKhatib, A. Maslehuddin, M. and Al-Dulaijan, S.U. (2020) “Development of high performance concrete using industrial waste materials and nano-silica” *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (3), 6696-6711.
- Alqahtani, F.K. ve Zafar, I. (2021) “Plastic-based sustainable synthetic aggregate in Green Lightweight concrete – A review” *Construction and Building Materials*, 292, 123321.
- Al-Shannag M. J., ve Charif, A. (2017) “Bond behavior of steel bars embedded in concretes made with natural lightweight aggregates” *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 29(4), 365–372.
- Al-Sodani, K.A.A. Al-Zahrani, M.M., Maslehuddin, M., Al-Amoudi, O.S.B., Al-Dulaijan ve S.U. (2021) “Chloride diffusion models for Type I and fly ash cement concrete exposed to field and laboratory conditions” *Marine Structures*, 76, 102900.
- Arel, H. Ş. (2012) “Değişik Parametrelerin Beton İle Çelik Donatı Aderansına Etkisi” Doktora Tezi, **Ege Üniversitesi**.
- Arioğlu, E., Arıoğlu, N., & Yılmaz, A. O. (2006) “Beton agregaları: çözümlü problemler-bilgi föyleri” **Evrin yayınevi**.
- 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**, Trabzon.
- Arslan, T. (2017) “Beton Dayanımı ve Kenetlenme Boyunun Beton-Donatı Aderansına Etkisinin Mafsallı Kiriş Deneyi İle İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Düzce Üniversitesi**.
- Ashrafi H., Bazlive M., Oskouei A. V., (2017) “Enhancement of bond characteristics of ribbed-surface GFRP bars with concrete by using carbon fiber mat anchorage” *Construction and Building Materials*, pp. 507-519.

- Aslam, M., Shafiq, P. ve Jumaat, M.Z. (2016) “Oil-palm by-products as lightweight aggregate in concrete mixture: a review” *Journal of Cleaner Production*, 126, 56-73.
- Assaggaf, R.A., Ali, M.R., Al-Dulaijan, S.U. ve Maslehuddin, M. (2021) “Properties of concrete with untreated and treated crumb rubber – A review” *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 1753-1798.
- ASTM C234-91a (1991) “Standard Test Method for Comparing Concretes on the Basis of the Bond Developed with Reinforcing Steel”.
- Atlı, S., Yağcımer H., Turan A. I., Çelik, A., Kumbasaroğlu, A., ve Bulut, H. A. (2023) “Doğal Perlit ile Üretilmiş Betonarme Kolonların Tersinir Yük Etkisi Altında Yapısal Davranışlarının İncelenmesi Investigation of the Structural Behavior of Reinforced Concrete Columns Produced With Natural Perlite under Cyclic Loading Test” *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzincan.
- Azevedo, A.R.G. Alexandre, J., Zanelato, E.B. ve Marvila, M.T. (2017) “Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar” *Construction and Building Materials*, 148, 359-368.
- Azevedo, A.R.G., Cecchin, D., Carmo, D.F., Silva, F.C., Campos, C.M.O., Shtrucka, T.G., Marvila, M.T. ve Monteiro, S.N. (2020) “Analysis of the compactness and properties of the hardened state of mortars with recycling of construction and demolition waste (CDW)” *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (3), 5942-5952.
- Azizi, S. (2007) “Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı” **Doctoral dissertation**, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Balam, N.H., Mostofinejad, D. ve Eftekhari, M. (2017) “Use of carbonate precipitating bacteria to reduce water absorption of aggregates” *Construction and Building Materials*, 141, 565-577.
- Bayram, M. (1994) “Betonarmede Aderans ve Kenetlenme, Bitirme Projesi” **D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi**, İzmir.
- Benli A. (2007) “Kendiliğinden sıkışan betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi,” Doktora tezi, *İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi*, Elazığ, Türkiye.
- Berra, M. ve Ferrara, G., (1990) “Normal Weight and Total Lightweight High Strength Concretes”, *ACI SP*, 121: 215-238.
- Beycioglu, A., ve Aruntaş, Y. (2014). “Bazalt lifli donatının yüksek dayanımlı betondaki aderans performansı” *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 1, 83-96.
- Bingöl A. F. ve Gül R. (2004) “Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures” *Indian J. of Eng. and Materials Sciences*, 1168-1172.

- Bingöl, A., ve Gül, R. (2009) “Donatı-beton aderansı, yüksek sıcaklıkların beton dayanımına ve aderansa etkileri konusunda bir derleme” **Tübav Bilim Dergisi**, 2(2), 211-230.
- Borosnyói A. (2015) “Influence of service temperature and strain rate on the bond performance of CFRP reinforcement in concrete,” *Composite Structures*, vol. 127, pp. 18-27.
- Cairns, J. And Jones, K., (1996) “An evaluation of the bond-splitting action of ribbed bars” **ACI Materials Journal**, p. 10–19.
- Castillo, E.R., Almesfer, N., Saggi, O. ve Ingham, J.M. (2020) “Light-weight concrete with artificial aggregate manufactured from plastic waste” *Construction and Building Materials*, 265, 120199.
- Celep Z. ve Kumbasar N. (2005) “Betonarme Yapılar” **Beta Basım Yayın Dağıtım**, İstanbul, Turkey.
- Chao S. H., Naaman, A. E., ve Parra-Montesinos, G. J. (2009) “Bond behavior of reinforcing bars in tensile strain-hardening fiber-reinforced cement composites” **ACI Structural Journal**, 106(6), 897–906.
- Dahil, H., (2001) “Yüksek Performanslı Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton-Donatı Aderansı ile Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi **Karadeniz Teknik Üniversitesi**, Trabzon, Türkiye, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Davraz, M., Kuru, M., Akdağ, A.E., Kılınçarslan, Ş., Delikanlı, Y.E. ve Çabuk, M. (2020) “Investigating the use of raw perlite to produce monolithic thermal insulation material” *Construction and Building Materials*, 263, 120674.
- Demirboğa, R., Gül, R. ve Örüng, İ. (2001) “Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes” *Cement and Concrete Research*, 31, 1627-1632.
- Demirboğa, R. ve Gül, R. (2003) “The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete” *Cement and Concrete Research*, 33, 723-727.
- Deng, M., Pan, J., ve Sun, H. (2019) “Bond behavior of deformed bar embedded in Engineered Cementitious Composites under cyclic loading” *Construction and Building Materials*, 197, 164-174.
- Dolatabad, Y.A., Kamgar, R. ve Tazangi, M.A.J. (2020) “Effects of perlite, leca, and scoria as lightweight aggregates on properties of fresh and hard self-compacting concretes” *Journal of Advanced Concrete Technology*, 18, 633-647.
- Durmuş, A., Dahil, H. ve Arslan, M. E., (2006) “Yüksek Başarılı Beton-Donatı Aderansının İncelenmesine Katkı, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering” İstanbul, **Book of Abstracts**, Vol I, 468.
- Ekinci, E., Kazancoglu, Y. ve Mangla, S.K. (2020) “Using system dynamics to assess the environmental management of cement industry in streaming data context” *Science of The Total Environment*, 715, 136948.

- Ersoy U. (2000) “Betonarme - Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı 2. Baskı” İstanbul, Türkiye: Evrim Basın Yayın Dağıtım.
- Ersoy, U. (1985) “Betonarme Temel İlkeler Taşıma Gücü Hesabı Cilt I” **Evrım Yayınevi**.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G., (2001) “Betonarme: temel ilkeler” **TS-500-200 ve Türk deprem yönetmeliğine (1998)** göre hesap. Evrim yayınevi, No:2, 816s. İstanbul.
- Faust, T. ve Gert König, E.H. (1997) “Stres-Strain Curves of High Strength Lightweight Concrete”, *LACER*, 2: 103-109.
- Feng, Q., Wei, P., Zhao, K., ve Xu, R. (2022) “Experimental investigation of stirrup confinement effects on bond-slip responses for corner and middle bars” *Construction and Building Materials*, 314, 125629.
- Fodil, D. ve Mohamed, M. (2018) “Compressive strength and corrosion evaluation of concretes containing pozzolana and perlite immersed in aggressive environments” *Construction and Building Materials*, 179, 25-34.
- Gökçe, H. S. ve Can, Ö. “Pomza Agregasının Farklı Zamanlardaki Su Emmelerinin Hafif Betonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 12(4): 293-298 (2009).
- Hamad, R. J., Johari, M. M., ve Haddad, R. H. (2017) “Mechanical properties and bond characteristics of different fiber reinforced polymer rebars at elevated temperatures” *Construction and building materials*, 142, 521-535.
- Ibrahim, M., Ahmad, A., Barry, M.S., Alhems, L.M. ve Suhoothi, A.C.M. (2020) “Durability of structural lightweight concrete containing expanded perlite aggregate” *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 14 (50), 1-15.
- Ichinose T., Kanayama Y., Inoue Y., Bolander J.E. (2004) “Size effect on bond strength of deformed bars” *Construction and Building Materials*, 18, 549–558, 48.
- Ighalo, J.O. ve Adeniyi, A.G. (2020) “A perspective on environmental sustainability in the cement industry” *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2, 161-164.
- Jin, L., Lan, Y., Zhang, R., ve Du, X. (2019) “Impact performances of RC beams at/after elevated temperature: A meso-scale study” *Engineering Failure Analysis*, 105, 196-214.
- Junaid, M.F., Rehman, Z., Kuruc, M., Medved', I., Bačinskas, D., Čurpek, J., Čekon, M., Ijaz, N. ve Ansari, W.S. (2022) “Lightweight concrete from a perspective of sustainable reuse of waste byproducts” *Construction and Building Materials*, 319, 126061.
- Kaya, E. S. (2019) “Ham perlit ve genişletilmiş perlitin puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği” **Master's thesis**, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kasai, M., Kobayashi, Y., Togo, M. ve Nakahira, A. (2019) “Synthesis of zeolite-surface-modified perlite and their heavy metal adsorption capability” *Materials Today: Proceedings*, 16 (Part 1), 232-238.

- Khan, M.U., Nasir, M., Al-Amoudi, O.S.B. ve Maslehuddin, M. (2021) “Influence of in-situ casting temperature and curing regime on the properties of blended cement concretes under hot climatic conditions” *Construction and Building Materials*, 272, 121865.
- Koruç Ş., (2018) “Agregalar” *Agrega Üreticileri Birliği Dergisi* (Aralık 2017-Ocak-Şubat 2018) Sayı: 9
- Kotwica, L., Pichór, W., Kapeluszna, E. ve Różycka, A. (2017) “Utilization of waste expanded perlite as new effective supplementary cementitious material” *Journal of Cleaner Production*, 140 (Part 3), 1344-1352.
- Leong, G.W., Mo, K.H., Loh, Z.P. ve Ibrahim, Z. (2020) “Mechanical properties and drying shrinkage of lightweight cementitious composite incorporating perlite microspheres and polypropylene fibers” *Construction and Building Materials*, 246, 118410.
- Li, C., Thomas, M.D.A. ve Ideker, J.H. (2018) “A mechanistic study on mitigation of alkali-silica reaction by fine lightweight aggregates” *Cement and Concrete Research*, 104, 13-24.
- Li, L., Liu, W., You, Q., Chen, M. ve Zeng, Q. (2020) “Waste ceramic powder as a pozzolanic supplementary filler of cement for developing sustainable building materials” *Journal of Cleaner Production*, 259, 120853.
- Li, Y., Li, S., Qiao, J., ve Pan, J. (2023) “Experimental research on bond behaviour between high-strength steel bars and ultra-high-performance fibre-reinforced concrete” *In Structures (Vol. 50, pp. 859-869)*. Elsevier.
- Lin, H., Zhao, Y., Ozbolt, J., Feng, P., Jiang, C., ve Eligehausen, R. (2019) “Analytical model for the bond stress-slip relationship of deformed bars in normal strength concrete” *Construction and Building Materials*, 198, 570-586.
- Liu, C., Qiu, Z., Wu, Q., Yan, L., Han, Y., Miao, J., ve Ba, P. (2024) “Study on bond-slip between reinforcing bar and concrete during transient pull-out test under fire” *In Structures (Vol. 61, p. 105992)* Elsevier.
- Liu, T., Bai, H., Cui, S., Wang, Z., Ma, Q., Li, Q., ve Zhao, J. (2022) “Experimental study on the bonding behavior of post-embedded steel bar and brick masonry” *In Structures (Vol. 44, pp. 1036-1045)*. Elsevier.
- Lopez, M., Kahn, L.F. ve Kurtis, K.E. (2004) “Creep and shrinkage of high-performance lightweight concrete” *ACI Materials Journal*, 101 (5), 391-399.
- Malhotra, V.M. (1990) “Properties of High Strength Lightweight Concrete Incorporating Fly Ash and Silica Fume”, *ACI SP*, 121: 645-666.
- Marvila, M.T., Alexandre, J., Azevedo, A.R.G. ve Zanelato, E.B. (2019) “Evaluation of the use of marble waste in hydrated lime cement mortar based” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 1250-1261.
- Marvila, M.T., Azevedo, A.R.G., Cecchin, D., Costa, J.M., Xavier, G.C., Carmo, D.F. ve Monteiro, S.N. (2020) “Durability of coating mortars containing açai fibers” *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00406.

- Maxim, L.D., Niebo, R. ve McConnell, E.E. (2014) “Perlite toxicology and epidemiology-a review” *Inhalation Toxicology*, 26 (5), 259-270.
- Mo, K.H., Ling, T., Tan, T.H., Leong, G.W., Yuen, C.W. ve Shah, S.N. (2021) “Alkali-silica reactivity of lightweight aggregate: A brief overview” *Construction and Building Materials*, 270, 121444.
- Neville, A.M. (1994) “Properties of Concrete”, *Jhon Wiley and Sons Inc., Fourth edition*, New York, 1-800.
- Nikolaou, J., ve Papadimitriou, G. D. (2004) “Microstructures and mechanical properties after heating of reinforcing 500 MPa class weldable steels produced by various processes (Tempcore, microalloyed with vanadium and work-hardened)” *Construction and Building Materials*, 18(4), 243-254.
- Novokshchenov, V. ve Whitcomb, W. (1990) “How to Obtain High Strength Concrete Using Low Density Aggregate”, *ACI SP*, 121: 683-700.
- Numan, H.A., Yaseen, M.H. ve Al-Juboori, H.A.M.S. (2019) “Comparison mechanical properties of two types of light weight aggregate concrete” *Civil Engineering Journal*, 5 (5), 1105-1118.
- Oliveira, P.S., Antunes, M.L.P., Cruz, N.C., Rangel, E.C., Azevedo, A.R.G. ve Durrant, S.F. (2020) “Use of waste collected from wind turbine blade production as an eco-friendly ingredient in mortars for civil construction” *Journal of Cleaner Production*, 274, 122948.
- Ostrowski, K., Stefaniuk, D., Sadowski, L., Krzywiński, K., Gicala, M. ve Róžańska, M. (2020) “Potential use of granite waste sourced from rock processing for the application as coarse aggregate in high-performance self-compacting concrete” *Construction and Building Materials*, 238, 117794.
- Pachta, V., Papadopoulos, F. ve Stefanidou, M. (2019) “Development and testing of grouts based on perlite by-products and lime” *Construction and Building Materials*, 207, 338-344.
- Paillere, A.M, Buil, M. ve Serana, J.J. (1998) “Effect of Fiber Addition on the Autogenous Shrinkage of Silica Fume Concrete”, *ACI Materials Journal*, 86(2): 139-144.
- Palomar, I. ve Barluenga, G. (2018) “A multiscale model for pervious lime-cement mortar with perlite and cellulose fibers” *Construction and Building Materials*, 160, 136-144.
- Papa, E., Medri, V., Murri, A.N., Laghi, L., Aloysio, G.D., Bandini, S. ve Landi, E. (2018) “Characterization of alkali bonded expanded perlite” *Construction and Building Materials*, 191, 1139-1147.
- Rashad, A.M. (2016) “A synopsis about perlite as building material-A best practice guide for Civil Engineer” *Construction and Building Materials*, 121, 338-353.
- Różycka, A. ve Pichór, W. (2016) “Effect of perlite waste addition on the properties of autoclaved aerated concrete” *Construction and Building Materials*, 120, 65-71.

- Sayadi, A., Neitzert, T.R. ve Clifton, G.C. (2018) “Influence of poly-lactic acid on the properties of perlite concrete” *Construction and Building Materials*, 189, 660-675.
- Sezen, H., ve Moehle, J. P. (2003) “Bond-slip behavior of reinforced concrete members” In Proceedings of fib symposium on concrete structures in seismic regions.
- Sezen, H., ve Setzler, E. J. (2008) “Reinforcement slip in reinforced concrete columns” *ACI Structural Journal*, 105(3), 280.
- Shafigh, P., Jumaat, Z. ve Mahmud, H. (2010) “Mix design and mechanical properties of oil palm shell lightweight aggregate concrete: A review” *International Journal of the Physical Sciences*, 5 (14), 2127-2134.
- Sharma, A., Bošnjak, J., ve Bessert, S. (2019) “Experimental investigations on residual bond performance in concrete subjected to elevated temperature” *Engineering Structures*, 187, 384-395.
- Sikora, P., Rucinska, T., Stephan, D., Chung, S. ve Elrahman, M.A. (2020) “Evaluating the effects of nanosilica on the material properties of lightweight and ultra-lightweight concrete using image-based approaches” *Construction and Building Materials*, 264, 120241.
- Sümer, G. (2009) “Betonarme Elemanlarda Donatı Düzenleme İlkeleri” Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
- Strnadel, B., Ma, M., He, X., Tan, H., Wang, Y., Su, Y., Zheng, T. ve Zhao, R. (2021) “A comparative study on concrete slurry waste: performance optimization from the wet-milling process” *Materials and Structures*, 54, 1-15.
- Sun, D., Wang, L. ve Li, C. (2013) “Preparation and thermal properties of paraffin/expanded perlite composite as form-stable phase change material” *Materials Letters*, 108, 247-249.
- Taşdemir, M. A. (1982) “Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları” Doktora Tezi, **İTÜ İnşaat Fakültesi**, İstanbul.
- Ting, T.Z.H., Rahman, M.E., Lau, H.H. ve Ting, M.Z.Y. (2019) “Recent development and perspective of lightweight aggregates based self-compacting concrete” *Construction and Building Materials*, 201, 763-777.
- Türk, K., (2002) “Bileşik Eğilmeye Maruz Betonarme Elemanlarda Donatı Aderansının Beton Özelliklerine Bağlı Olarak İncelenmesi Fırat Üniversitesi” **Fen Bil. Ens. İnşaat Müh. A.B.D.**, Doktora Tezi, Elazığ, 96s.
- TS500 (2000) “Betonarme Yapıların Tasarım Ve Yapım Kuralları” **Türk Standartları Enstitüsü**. Ankara, Türkiye.
- TS802 (2016) “Beton karışımlarının tasarımı” **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, Türkiye (Türk Kanunları).

- Wang, L., Liu, P., Jing, Q., Liu, Y., Wang, W., Zhang, Y. ve Li, Z. (2018) “Strength properties and thermal conductivity of concrete with the addition of expanded perlite filled with aerogel” *Construction and Building Materials*, 188, 747-757.
- Wasserman, R. ve Bentur, A. (1996) “Interfacial interactions in lightweight aggregate concretes and their influence on the concrete strength” *Cement and Concrete Composites*, 18(1), 67-76.
- Yalciner H., Eren O., ve Sensoy S. (2012) “An experimental study on the bond strength between reinforcement bars and concrete as a function of concrete cover, strength and corrosion level” *Cement and Concrete Research*, 42(5), 643–655.
- Yalciner, H., ve Kumbasaroglu, A. (2022) “Experimental Study to Predict Bond-Slip Behavior of Corroded Reinforced Concrete Columns” *ACI Structural Journal*, 119(5).
- Yalçın, B.O., (2019) “Soğuk Ortamda Üretilen Betonarme Elemanların Donatı Aderansının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gümüşhane.
- Yerlici, V., ve Özturan, T. (2002) “Yüksek dayanımlı beton elemanlarda aderans dayanımı” *Teknik Dergi*, 13(61).
- Yu, Q.L., Spiesz, P. ve Brouwers, H.J.H. (2015) “Ultra-lightweight concrete: Conceptual design and performance evaluation” *Cement and Concrete Composites*, 61, 18-28.
- Zhai, W., Ding, J., An, X. ve Wang, Z. (2020) “An optimization model of sand and gravel mining quantity considering healthy ecosystem in Yangtze River, China” *Journal of Cleaner Production*, 242, 118385.
- Zhang, M.H ve Gjorj, O.E. (1991) “Mechanical Properties of High Strength Lightweight Concrete”, *ACI Materials Journal*, 88(3): 240-247.
- Zhang, Y., Bicici, E., Sezen, H., ve Zheng, S. (2020) “Reinforcement slip model considering corrosion effects” *Construction and Building Materials*, 235, 117348.
- Zulcão, R., Calmon, J.L., Rebello, T.A. ve Vieira, D.R. (2020) “Life cycle assessment of the ornamental stone processing waste use in cement-based building materials” *Construction and Building Materials*, 257, 119523.

## **Elektronik Kaynaklar:**

- Aet Grup, “Paspayı Elemanı'nın Görevleri Nelerdir?” <https://www.aetgrup.com/paspayi-elemanı-nedir-paspayı-ne-icin-kullanilir>  
Son erişim tarihi: 22.08.2020.
- Çaputçu A. “Beton Basınç Dayanımı Nedir, Nasıl Ölçülür?” <https://cimsa.com.tr/formulhane/hazir-beton/beton-basinc-dayanımı-nedir-nasil-olculur/>  
Son erişim tarihi: 19.03.2024.

- Güneş G. “Paspayı Nedir ?” <https://betonpaspayi.com.tr/paspayi-nedir>  
Son erişim tarihi: 24.03.2018.
- İnşaat Hesabı, “Donatı Nedir?” <https://insaathesabi.com/sozluk/kelime/donati-nedir/>  
Son erişim tarihi: 28.06.2021.
- Sansak M.F., 2019 “Çekip – Çıkarma Deneyi”, <https://volkanatabey.com.tr/cekip-cikarma-deneyi/>  
Son erişim tarihi: 08.04.2019.
- Şişman H. “Bindirme boyu ile kenetlenme boyu arasındaki fark nedir ?”  
<https://sorucevap.bisantiye.com/?qa=1662/bindirme-boyu-ile-kenetlenme-boyu-arasindaki-fark-nedir#>:  
Son erişim tarihi: 26.12.2024.

