



**GERİ DÖNÜŞÜM
AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ
BETONARME ELEMANLARDA ÇEKME ETKİSİ
ALTINDAKİ BAĞ KUVVETİ-KAYMA
İLİŞKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Zabiullah FAKUORİ

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU**

2021

Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ BETONARME
ELEMENLERDE ÇEKME ETKİSİ ALTINDAKİ BAĞ KUVVETİ-KAYMA
İLİŞKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Zabiullah FAKUORİ

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2021

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

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

13 / 08 / 2021

Zabiullah FAKUORİ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ BETONARME ELEMENLERDE ÇEKME ETKİSİ ALTINDAKİ BAĞ KUVVETİ-KAYMA İLİŞKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Zabiullah FAKUORİ

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU

Günümüzde pek çok betonarme yapı kentsel dönüşüm ve yenileme çalışmaları nedeniyle yıkılmaktadır. Deprem etkisi altında yıkılan betonarme yapılar da inşaat yıkıntısı oluşturabilecek bir başka kaynak durumundadır. Bu betonarme yapılardan arda kalan yıkıntı atıklarının geri kazandırılması ve çevresel atık oluşturmaması sürdürülebilir bir inşaat faaliyeti son derece önemlidir. Literatürde yıkıntı atığından elde edilmiş beton agregası kullanılarak yapılan beton ve betonarme imalat konusunda çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, bu atık agregaların taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılması durumunda beton-donatı arasındaki tutunmaya ilişkin bir çalışmaya erişilememiş ve konu bu tez çalışması dâhilinde incelemeye alınmıştır. Tez kapsamında kentsel dönüşüm nedeni ile yıkılan betonarme bir yapıdan alınan atık beton parçaları temin edilmiş ve 25 sınıfı beton eldesi için karışımlar hazırlanmıştır. Normal iri kırma taş agregası ile imal edilen referans numunelere ek olarak %0, %30, %50, %100 oranında geri dönüşüm agregası kullanılarak elde edilen 30 adet aderans numunesi çekme deneyine tabi tutulmuştur. Çalışma neticesinde %100 normal agrega ve %30 geri dönüşüm agregası ile üretilen beton ve aderans numunelerinde benzer mekanik davranış gözlenmiştir.

2021, 106 sayfa

Anahtar Kelimeler: Betonarme, geri dönüşüm agregası, aderans, birim sıyrılma

ABSTRACT

MS. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE BOND-SLIP BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE MEMBERS PRODUCED BY USING RECYCLED AGGREGATE AND SUBJECTED TO AXIAL TENSION

Zabiullah FAKUORİ

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Dilek OKUYUCU

Today, many reinforced concrete structures are being demolished due to urban transformation, renovation works and earthquakes resulting in construction debris. It is extremely important for a sustainable construction activity to recycle the demolition wastes left behind from these reinforced concrete structures and not to create environmental waste. In the literature, there are studies on concrete and reinforced concrete manufacturing using concrete aggregate obtained from demolition waste. However, in the case of using these waste aggregates in load-bearing structural elements, a study on the adhesion between concrete and reinforcement could not be reached and the subject was examined within the scope of this thesis. Within the scope of the thesis, waste concrete pieces taken from a demolished reinforced concrete structure were provided and mixtures were prepared to obtain C25 concrete. In addition to the reference samples produced with normal coarse crushed stone aggregate, total of 30 adherence samples obtained using 0%, 30%, 50%, and 100% recycled aggregates were subjected to tensile testing. Similar mechanical behavior was observed in the concrete and adherence samples produced with 100% normal aggregate and 30% recycled aggregate.

2021, 106 page

Keywords: Reinforced concrete, recycling aggregate, adherence, unit slip

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın boyunca bilgilerini ve ilgilerini benden esirgemeyen, bu süre boyunca gösterdiği sabır ve anlayış için değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU' ya teşekkür ederim

Hem deneysel çalışmalarımda hem teorik bilgilerde bana destek olan Araştırma Görevlisi Burak GEDİK' e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımda bana destek olan inşaat mühendisi meslektaşlarım Memduh Şenol ÇAVDAR, Muhammet ŞAHİN, Burak ŞAHİN ve Dursun Burak ÖZDOĞAN' a teşekkür ederim.

Zabiullah Fakuori
Ağustos 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	9
3.1. Materyal	9
3.1.1. Çimento	9
3.1.2. Karışım Suyu.....	9
3.1.3. Donatı.....	9
3.1.4. Normal Agrega.....	10
3.1.5. Geri Dönüşüm Agrega	10
3.2.Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler	10
3.2.1. Kalıp.....	10
3.2.2. Beton sıcaklık ölçümleri	11
3.2.3. Dijital Termometre.....	11
3.2.4. Termokupl	11
3.2.5. 3000 kN Kapasiteli Beton Basınç Testi Cihazı.....	12
3.2.6. 1000 kN kapasiteli Hidrolik Test Cihazı.....	13
3.2.7. Dinamik Veri Toplama Cihazı	13
3.3. Yöntem.....	14
3.3.1. Geri Dönüşüm Agregaların Elde Edilmesi	14
3.3.2. Elek Analizi.....	15
3.3.3. İri Normal Agrega ve Geri Dönüşüm Agregalarında Su Emme oranı ve Özgül Ağırlık Deneyi.....	15
3.3.4. İnce Normal Agrega ve Geri Dönüşüm Agregalarında Su Emme Oranı ve Özgül Ağırlık Deneyi.....	16
3.3.5. Karışım Hesabı.....	17
3.3.6. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri	22

3.3.7. Deneyler Sonucu Elde Edilen Veriler ile Hazırlanan Hedef Numuneler.....	22
3.3.8. Betonun Kürü	23
3.3.9. Aderans Davranışlarının İncelenmesi için Takip Edilen Yöntem.....	23
3.3.10. Birim Sıyırılma (Slip) Hesabı	24
3.3.11. Aderans Gerilmesi.....	26
3.3.12. Çelik Çekme Gerilmesi	26
3.3.13. Aderans Numunelerin Deney Aşamalarının Takibi	27
3.3.14. Aderans Numunelerin İç Çatlaklarının İncelenmesi	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	28
4.1. Elek Analizi.....	28
4.2. İri Normal Agregası ve İri Geri Dönüşüm Agregalarında Su Emme Oranı ve Özgül Ağırlık Deneyi	29
4.2.1. Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlığı (ρ_{DKY}) ve Su Emme Oranı (Semme).....	30
4.3. İnce Normal Agregası ve Geri Dönüşüm Agregalarında Su Emme Oranı ve Özgül Ağırlık Deneyi	31
4.3.1. Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlığı(ρ_{DKY}) ve Su Emme Oranı (Semme).....	32
4.4. Karışım Hesabı.....	34
4.5. Beton Dayanımının Belirlenmesine Yönelik Ön Çalışmalar	35
4.5.1. C25/30 Dayanımı Elde Etmek İçin Dökülen Standart Silindir Basınç Numuneleri	35
4.6. Hedef Numuneler İle İlgili Sonuçlar.....	41
4.6.1. %100 Normal Agregası İle Üretilen Aderans Numuneleri.....	41
4.6.2. %30 Geri Dönüşüm Agregasıyla Üretilen Aderans Numuneleri.....	51
4.6.3. %50 Geri Dönüşüm Agregasıyla Üretilen Aderans Numuneleri.....	61
4.6.4. %70 Geri Dönüşüm Agregasıyla Üretilen Aderans Numuneleri.....	71
4.6.5. %100 Geri Dönüşüm Agregasıyla Üretilen Aderans Numuneleri.....	80
4.7 Aderans Numunelerin İç Çatlakları	90
4.8. Genel Değerlendirme	92
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	102
KAYNAKLAR	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°C	Santigrat derece
ϵ	Aderans gerilmesi
P	Çekme yükü
L	Beton boyu (kenetleme boyu)
Φ	Donatı çapı
m	Metre
mm	Milimetre
sn	Saniye
R	Donatı yarıçapı
ϵ	Birim şekil değiştirme
π	Pi sayısı
f_{ctk}	Çekme dayanımı

Kısaltmalar

CJC	Cold joint compensation
DSM	Düzeltilmiş Su Miktarı
GDA	Geri dönüşüm agraga
MPA	Mega Paskal
NA	Normal agregası
PC	Potansiyometrik Cetvel
PVC	Poli vinil clorür
S/Ç	Su / Çimento
TC	Thermocouple

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 İmar nedeni ile yıkılan binadan temin edilen geri dönüşüm agregalar.....	10
Şekil 3.2 (1) Dijital Termometre, (2) Termokupl sıcaklık ölçüm cihazı	11
Şekil 3.3 Termokupl ara bağlantı elemanı (8 kanallı)	12
Şekil 3.4 UTEST deney basınç cihazı (3000 kN Kapasiteli).....	12
Şekil 3.5 1000 kN Kapasiteli hidrolik test cihazı	13
Şekil 3.6 (1)1000 kN Kapasiteli hidrolik test cihazı, (2) dinamik veri toplama cihazı ..	14
Şekil 3.7 (1) Beton parçalarının kırılarak kum ve (2) çakıl boyutlarına getirilme aşaması	14
Şekil 3.8 (1) 0.25-4 mm ve (2) 4-16 mm eleklerden geçirilerek geri dönüşüm agregalar haline getirilmiştir.	15
Şekil 3.9 (1) ve (2) İri geri dönüşüm agregaların deney aşaması	16
Şekil 3.10 Suda 24 saat bekletilmiş ince geri dönüşüm agregalar	16
Şekil 3.11 (1) ve (2) İnce GDA'ların koni metodu ile doygun yüzey kuru durumunun kontrolü.....	17
Şekil 3.12 Silindir kalıpların üst görünüşleri	17
Şekil 3.13 Doğal şekillenmiş agregalar kullanılan farklı en büyük agregalar tane büyüklüğü ve farklı çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları	20
Şekil 3.14 Kırmataş agregalar kullanılan farklı en büyük agregalar tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerlerine sahip kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları	21
Şekil 3.15 28 günlük silindir basınç numuneleri	22
Şekil 3.16 Aderans numuneleri ve standart silindir basınç numuneleri.....	22
Şekil 3.17 (1) Aderans numuneleri ve (2) Standart silindir basınç numunelerin kürü ...	23
Şekil 3.18 Deney düzeneği görünümü	24
Şekil 3.19 Sıyırılma (slip) hesabına ilişkin görsel materyal	25
Şekil 3.20 Sıyırılma (Slip) ölçüm düzeneği (Gedik,2020).....	25
Şekil 3.21 (1) Aderans numunelerin deney takip aşaması, (2) deney takip formu.....	27
Şekil 3.22 Aderans numunelerin iç çatlaklarının görünümü	27
Şekil 4.1 Geri dönüşüm agregası ve normal agregalar granülometri eğrileri	29

Şekil 4.2 %100 GDA Basınç numunelerinin 7 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	35
Şekil 4.3 %100 GDA basınç numunelerin 7 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri	36
Şekil 4.4 %100 GDA basınç numunelerin 28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	37
Şekil 4.5 %100 GDA basınç numunelerin 28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	38
Şekil 4.6 %70 GDA basınç numunelerinin 7-28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	39
Şekil 4.7 %50 GDA basınç numunelerin 7 ve 28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	40
Şekil 4.8 %30 GDA basınç numunelerinin 7 ve 28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	41
Şekil 4.9 %100 NA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri.....	42
Şekil 4.10 %100 NA basınç numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	43
Şekil 4.11 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görünümleri.	44
Şekil 4.12 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görünümleri.	45
Şekil 4.13 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görünümleri.	46
Şekil 4.14 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görünümleri.	47
Şekil 4.15 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görünümleri.	48
Şekil 4.16 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görünümleri.	49

Şekil 4.17 %100 NA aderans numunelerin çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri	50
Şekil 4.18 %100 NA aderans numunelerin aderans gerilmesi-birim slip eğrileri	50
Şekil 4.19 %30GDA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri.....	51
Şekil 4.20 %30 GDA basınç numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	52
Şekil 4.21 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	53
Şekil 4.22 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	54
Şekil 4.23 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	55
Şekil 4.24 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	56
Şekil 4.25 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	57
Şekil 4.26 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	58
Şekil 4.27 %30 GDA aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri .	59
Şekil 4.28 %30 GDA Aderans numunesi aderans gerilmesi-birim slip eğrileri.....	60
Şekil 4.29 %50GDA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri.....	61
Şekil 4.30 %50 GDA basınç numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	62
Şekil 4.31 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	63
Şekil 4.32 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	64

Şekil 4.33 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	65
Şekil 4.34 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	66
Şekil 4.35 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	67
Şekil 4.36 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	68
Şekil 4.37 %50 GDA aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri .	69
Şekil 4.38 %50 GDA aderans numunesi aderans gerilmesi-birim slip eğrileri	70
Şekil 4.39 %70 GDA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri.....	71
Şekil 4.40 %70 GDA basınç numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	72
Şekil 4.41 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	73
Şekil 4.42 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	74
Şekil 4.43 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	75
Şekil 4.44 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	76
Şekil 4.45 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görünümleri.	77
Şekil 4.46 %70 GDA aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri	78
Şekil 4.47 %70 GDA aderans numunesi aderans gerilmesi-birim slip eğrileri	79
Şekil 4.48 %100 GDA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri.....	80

Şekil 4.49 %100 GDA basınç numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	81
Şekil 4.50 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.....	82
Şekil 4.51 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.....	83
Şekil 4.52 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.....	84
Şekil 4.53 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.....	85
Şekil 4.54 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.....	86
Şekil 4.55 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.....	87
Şekil 4.56 %100 GDA aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri	88
Şekil 4.57 %100 GDA aderans numunesi aderans gerilmesi-birim slip eğrileri	89
Şekil 4.58 İçten yüzeye doğru oluşan çatlakların görünümü.....	90
Şekil 4.59 Yüzeye çıkmayan çatlaklar.....	90
Şekil 4.60 Yüzeyde oluşan çatlaklar.....	91
Şekil 4.61 Çekme etkisi altında oluşan yatay ve düşey kuvvetler (Celep,2013).	93
Şekil 4.62 Eksenel çekme taşıyan çatlaksız betonarme numunede gerilme dağılımı (Celep, 2013).	93
Şekil 4.63 Numune grupları için beton çekme gerilmesi – birim sıyrılma (slip) dağılımı	99
Şekil 4.64 Numune grupları için beton çekme gerilmesi-birim şekil değiştirme ilişkisi	100
Şekil 4.65 Numune gruplarının sıcaklık ölçümleri özeti	101

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Çimentonun fiziksel özellikleri.....	9
Çizelge 4.1 Normal agrega %50 ince 0,25-4 mm ve %50 iri 4-16 mm.....	28
Çizelge 4.2 Geri dönüşüm agrega %50 İnce 0,25-4 mm ve %50 İri 4-8 mm.....	28
Çizelge 4.3 İri normal agreganın ağırlıkları.....	30
Çizelge 4.4 İri geri dönüşüm agreganın ağırlıkları	30
Çizelge 4.5 İnce normal agreganın ağırlıkları.....	32
Çizelge 4.6 İnce geri dönüşüm agreganın ağırlıkları	32
Çizelge 4.7 Deneyde kullanılan agregaların özgül ağırlığı ve su emme oranı	34
Çizelge 4.8 GDA ile hedeflenen C25 beton sınıfı için 1m ³ malzeme miktarı.....	34
Çizelge 4.9 %100 GDA numunelerin 7 günlük basınç dayanımları.....	35
Çizelge 4.10 %100 GDA numunelerin 7 günlük basınç dayanımları.....	36
Çizelge 4.11 %100 GDA numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.....	37
Çizelge 4.12 %100 GDA numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.....	38
Çizelge 4.13 %70 GDA numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlar	39
Çizelge 4.14 %50 GDA numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları.....	39
Çizelge 4.15 %30 GDA numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları.....	40
Çizelge 4.16 %100 normal agrega ile üretilen numunelerin basınç dayanımları	42
Çizelge 4.17 Aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklardaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme.....	49
Çizelge 4.18 %30 Geri dönüşüm agrega ile üretilen numunelerin basınç dayanımları..	52
Çizelge 4.19 %30 GDA aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklarındaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme.....	59
Çizelge 4.20 %50 Geri dönüşüm agrega ile üretilen numunelerin basınç dayanımları..	62
Çizelge 4.21 %50 GDA aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklarındaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme.....	69
Çizelge 4.22 %70 Geri dönüşüm agrega ile üretilen numunelerin basınç dayanımları..	72
Çizelge 4.23 %70 GDA aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklarındaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme.....	78
Çizelge 4.24 %100 Geri dönüşüm agrega ile üretilen numunelerin basınç dayanımları	81
Çizelge 4.25 Aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklarındaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme.....	88

Çizelge 4.26 Aderans numunelerde meydana gelen çatlakların hesap tablosu	91
Çizelge 4.27 Tüm deney grupları için genel değerlendirme tablosu	94



1. GİRİŞ

Dünyada teknolojinin gelişmesi birçok yeniliği beraberinde getirmiştir. Betonarme imalatın keşfedilmesinden önce doğal taşlara şekil verilerek veya bulunan coğrafyaya göre taşıyıcı sistemleri değişkenlik gösteren birçok yapıya günümüzde rastlanmaktadır. Örneğin tarihi dokuyu bünyesinde günümüzde büyük oranda barındıran Erzurum ilimizde Çifte Minareli Medrese, Lala Mustafa Paşa gibi tarihi yapılar doğal taşların şekil verilerek ve bağlayıcı malzeme olarak kullanılan harç ile imal edilmiş yapılardır. İlk betonarme imalat olarak bilinen 1854 yılında William Boutland Wilkinson'un betonarme döşemeli iki katlı ev inşasından sonra betonarme imalat yaygınlaşmaya başlamış ve günümüzde bu imalatlar devam ettiği görülmektedir Türkiye'de ise 1900 yılında yapımı tamamlanan Mekteb-i Tıbbiye-i Şahane hamamının o güne kadar tespit edilen ilk betonarme uygulaması olabileceği ifade edilmektedir (Atabey 2020).

Betonarme imalatın Türkiye' de yaklaşık 120 yıl öncesine dayandığı bu bilgiler doğrultusunda bilinmektedir. Bu yapıların ekonomik ömürleri, teknolojinin gelişmesiyle beraber artış göstermiş olsa da sürekli devam niteliği taşıyan bu imalatlar gerek doğal afetler sonucu gerek ekonomik ömürlerini doldurmaları sonucu yeni yapıların mevcut konuma yapılması istenmesi bu yapıların yıkılmasıyla büyük kütleli atıklar haline gelmektedir. Bu enkaz sonucunda çok sayıda atık yapı malzemesi meydana gelmektedir. Bu durum çevrenin ve doğal kaynakların korunması üzerinde önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu atık malzemelerin geri dönüşüm agregası olarak kullanılması çevre ve doğal kaynakların korunması sorununa bir çözüm olmakla birlikte aynı zamanda normal agreganın yerine geri dönüşüm agregası kullanılmasının pratik bir alternatifidir. Araştırmacılar atık betonların işlenmesi alanında fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde pek çok çalışma yapmıştır (Hasan, 2018). Bu araştırmalar sonucunda kırma taş agregaların özellikleri geri dönüşüm agregalarının mekanik özelliklerine kıyasla daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca geri dönüşüm agregaların yüksek su emme oranına sahip olmasından dolayı beton üretimi öncesinde geri dönüşüm agregaların yıkanması önerilmektedir. Ulusal ve uluslararası literatürde inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregasının kullanılarak imal edilen beton ve betonarme elemanların mekanik davranışlarını inceleyen çok sayıda çalışmaya erişim sağlanması mümkündür.

Betonarmenin temel şartı olan beton ve donatı arasındaki tam tutunmanın geri dönüşüm agregasının kullanılması durumunda ne ölçüde sağlandığı konusunun yeterince irdelenmediği görülmektedir. Geri dönüşüm agregasıyla üretilen betonarme yapı elemanlarında donatı ile beton arasında oluşan tutunmanın başka bir ifadeyle aderans davranışının belirlenmesi, geri dönüşüm agregasının sağlıklı biçimde kullanılabilirliğinin yorumlanmasında yol gösterici olacağı düşünülerek bu tez konusu çalışmaya değer bulunmuştur.

Çalışma kapsamında kentsel dönüşüm için yıkım kararı alınan ve enkaz haline getirilen betonarme bir yapıdan muhtelif boyutlarda atık beton parçaları temin edilmiştir. Beton parçaları laboratuvar ortamında çekiç yardımı ile 1-4 mm ve 4-16 mm boyutlarına getirilmiştir. Manuel kırma ile standart agregası boyutuna getirilen geri dönüşüm agregalarının ilk olarak bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra kırma taş agregası ile %0, %30, %50 ve %100 oranlarda karıştırılarak TS-208 ve TS 260'a uygun C25 basınç dayanımına sahip karışım tasarımları yapılmıştır. Karışım gruplarının beton basınç dayanımlarının belirlenmesi için alınan numunelere ek olarak çekme etkisi altındaki aderans davranışın incelenmesi için her grupta 5'er adet olmak üzere toplam 30 adet aderans numunesi üretilmiştir. Aderans numunelerinin üretimi sürecinde donatı, beton, kalıp ve ortam sıcaklıkları termokupl sensörler yardımıyla 72 saat süre ile takip edilmiştir. Üretilen aderans numuneleri çekme deneyine tabi tutularak mekanik davranışları incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Daha önceki çalışmalarda, geri dönüşüm agregasıyla üretilen betonarme elemanların aderans gerilmesini belirlemeye yönelik pek çok çalışma yapılmıştır. Geri dönüşüm agregasıyla üretilen betonarme elemanların aderans gerilmesi genellikle pull-out test yöntemi ile belirlenmiştir. Takip eden bölümde bu çalışmalara yönelik literatür örnekleri sunulmuştur.

Ünal (1998), çalışmasında beton dayanımı ve agrega tane boyutunun aderans üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonucunda agrega tane boyutu büyüdükçe ve betonun dayanımı arttıkça aderans dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

Ajdukiewicz and Kliszczewicz (2002), çalışmasında geri dönüşüm agregaların mekanik özelliklerini deneysel olarak araştırmıştır. Geri dönüşüm agreganın %100 kullanılması durumunda betonarme numunesinin aderans gerilmesi normal betonarme numunesine göre %10 düştüğü belirlenmiştir.

Xiao ve Falkner (2005), bu çalışmada geri dönüşüm agregasının %0, %50 ve %100 oranlarda normal agrega yerinde kullanılmış ve iki tür donatı (düz ve nervürlü) kullanılarak 36 numune üretilip pull-out test yöntemiyle aderans dayanımlarını belirlenmiştir. Geri dönüşüm agreganın yüzde oranı arttıkça düz donatılı numunelerin aderans dayanımı azaldığı gözlenmiştir. Fakat geri dönüşüm agreganın yüzde oranı, arttıkça nervürlü donatı ile üretilen numunelerin aderans dayanımı değişmediğini tespit edilmiştir.

Tanyıldızı (2006), çalışmasında maksimum tane çapı 16 mm olan agrega kullanılarak standart küp numuneleri 20°C’de su, naylon ve hava kürü koşullarında sırası ile 3, 7, 14 ve 28 gün sonunda aderans ve basınç deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuca göre suda kür edilen numunelerin aderans ve basınç dayanımları yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi suda kür yapılmış betonların su kaybının minimum olması nedeni ile rötrelere olmasının azalmasıdır. Böylece aderans ve basınç dayanımında artış olduğu gözlenmiştir.

Kılıç (2006), atık betonların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin katkı kullanımı ile iyileştirilmesi, deneysel sonuçlara göre beton atıklarından elde edilen agregaların uygun granülometreye sahip olmadıkları, taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılabilimleri için mutlaka uygun granülometreye verecek biçimde normal agrega ile karıştırılması gerektiği tespit edilmiştir. Bu koşullara rağmen geri dönüşüm agregası, geleneksel betonlara göre daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu belirtilmiştir. Silis dumanı ve uçucu kül kullanımı beton basınç dayanımını artırmıştır. Betonun basınç dayanımını artırmak için yüksek oranda su azaltıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılması önerilmiştir.

Çelik (2007), çalışmasında geri dönüşüm agrega ile üretilen betonların mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin yüksek sıcaklık etkisini araştırmış ve şu sonuçlara varmıştır. Geri dönüşüm agrega miktarı dayanıklılık özelliklerini az, mekanik özelliklerini ise fazla etkilemiştir. Normal agreganın %10 oranda geri dönüşüm agrega ile değiştirilmesi betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini yüksek sıcaklıklardan sonra da muhafaza etmiştir. Mekanik ve dayanıklılık özelliklerini etkileyen ana etken S/Ç oranı olduğu ve kaynak beton kalitesinin önemli bir etkisi bulunduğu ortaya konulmuştur.

Bingöl ve Gül (2009), çalışmasında yüksek sıcaklığın aderans üzerindeki etkisi incelenmiştir. İnceleme sonucunda aderansla belli bir sıcaklığa kadar bozulma olmadığı hata bir miktar aderans dayanımının artırdığı belirlenmiştir. Genellikle 200 oC üzerindeki sıcaklıklarda aderans dayanımı azaldığı belirlenmiştir.

Tüfekçi (2011), çalışmasında geri dönüşüm agregaların beton üretiminde yeniden kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deney sonuçlarına dayanarak doğal agreganın yerinde %100 geri dönüşüm agrega kullanması durumunda hava içeriği %4-%5,5 fazla olur. Beton karışımından önce geri dönüşüm agregaları suya doygün yüzey kuru hala getirilirse daha iyi sonuç elde edilmiştir. Geri dönüşüm agrega ile üretilen betonun özellikleri daha iyi olması için beton agreganın 0-2 mm sindeki inceliği kısmında her zaman doğal kum kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Eğer %100 iri geri dönüşüm agrega kullanılırsa beton basınç dayanımı %5-%24 azalması görülmüştür. Eğer %100 iri ve ince geri dönüşüm agrega kullanılırsa beton basınç dayanımında %15-%40 azalma gözlenmiştir.

Sun and Kim (2012), çalışmasında geri dönüşüm agregası ile 144 numune hazırlanmış ve pul-out testi ile şu sonuçlar elde edilmiştir. Geri dönüşüm agregası değiştirme oranı sabit fakat agregaların maksimum tanı çapı büyüdükçe aderans dayanımının düştüğünü gözlenmiştir.

Durmuş ve Şimşek (2013), çalışmasında normal iri agregası yerine %0, %10, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında iri geri dönüşüm agregası kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre %30 oranına kadar iri geri dönüşüm agregasının, beton üretiminde kullanılması uygun görülmüştür.

Altınışik (2013), çalışmasında prefabrikasyon elemanların atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregaları farklı oranlarda yeni beton üretiminde kullanılmıştır. Geri dönüşüm iri agregası ile üretilen betonların sadece %25'i prefabrik üretiminde kullanılabilir. Diğer karışım oranlarında (%50, %75, %100) geri dönüşüm agregası yol betonu, bordür betonu, dolgu betonu vs. olarak kullanılabilir. Deneylerde %100 geri dönüşüm agregadan üretilen betonların basınç mukavemetleri, yarma çekme dayanımı normal değerinden daha düşük çıkmıştır.

Dilbas (2014), çalışmasında farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen konsol kirişin mekanik davranışı incelenmiştir. Silis dumanının içeriği ile geri dönüşüm agregası kullanımı durumunda, %30 geri dönüşüm agregası ve %5 silis dumanı katkısı uygun görülmüştür. Geri dönüşüm agregası kullanımı ile betonun çekme dayanımını olumlu olarak etkilemiştir fakat %40 ve sonrası geri dönüşüm agregası içeren çekme dayanımı azalmıştır.

Demirel ve Şimşek (2014), çalışmasında yaş ve sınıfı belli beton atıklarından elde edilen iri ve ince agregasının geri dönüşüm agregası olarak %0, %10, %20, %30, %40, %50 oranlarda betonda kullanılarak 28 günlük numunelerden şu sonuçlar elde edilmiştir. Geri dönüşüm agregaların yoğunlukları literatüre uygunluk göstermekte fakat su emmesi sonucu literatüre göre oldukça yüksek değer verilmiştir. Bunun nedeni de agregası tanıklarına yapışan çimento parçaları olduğu gözlemlenmiştir. Atık betonların geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanabileceği görülmüştür.

Huai et al. (2015), makalesinde geri dönüşüm agregası (C40) ve normal agregası ile üretilen numuneler dönme ve çözülme etkisine maruz kalmıştır. Pull-out test yardımıyla aderans dayanımı incelenmiştir. Bu deneyde bir çeşit geri dönüşüm agregası ve normal agregası ile numuneler hazırlanmış ve iki tür donatı yani nervürlü ve düz donatı kullanılmıştır. Düz donatının çapı 12 mm ve nervürlü donatıların çapları 14 mm, 18 mm, 22 mm seçilmiştir. Dönme ve çözülme etkisi arttıkça aderans dayanımı düştüğü gözlenmiştir. Dönme ve çözülme etkisi arttıkça, düz donatı ile üretilen numunelerin aderans dayanımı, nervürlü donatılar ile üretilen numunelerin aderans dayanımından daha düşük gözlenmiştir. Aynı dönme ve çözülme etkisine maruz kalan, düz donatı ile üretilen numunelerin çekme dayanımı ve aderansı, nervürlü donatılar ile üretilen numunelerden daha düşük gözlenmiştir.

Demirel vd (2015), çalışmasında yaşı ve sınıfı belli beton atıklardan elde edilen iri ve ince geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılacağı uygun görülmüştür. İri ve ince geri dönüşüm agregalarının karışımı ile üretilen betonların basınç dayanımları karşılaştırıldığında, iri geri dönüşüm agregası ile üretilen betonların basınç dayanımları daha yüksek olduğu görülmüştür.

Karakurt ve Topçu (2015), çalışmasında beton ve donatı arasındaki aderans dayanımı üzerindeki kür şartlarının etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada beton ve donatı arasındaki aderans dayanımı üzerinde kür şartları deneysel olarak incelenmiştir. Hazırlanan numuneler içerisinde 20 mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Numuneleri 3, 7, 28 günlerde iki farklı kür ortamına tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kür şartları betonarme aderans üzerinde bariz etkisi olduğunu belirlenmiştir.

Moallemi and Shahria (2016), çalışmasında geri dönüşüm agregası ve deforme çelik çubuklardan üretilen numunelerin aderans dayanımı incelemiştir. 144 push-out numune testi yapılmıştır. Geri dönüşüm agregası yüzdeleri (%0, %30, %50) ve donatı çapları (10 mm, 15 mm, 20 mm), donatı gömme uzunluğu ve beton örtü-çubuk çapı oranının aderans dayanımı üzerindeki etkisi de dikkate alınmıştır. Yapısal betonlarda %30 geri dönüşüm agregası kullanıldığında geleneksel betonlara benzer bir aderans dayanımı görülmüştür.

Sefidehkan ve Şimşek (2017), çalışmasında geri dönüşüm agregaları daha önce dökülmüş C20 sınıfı betondan elde edilerek normal agregaya ile belirli oranlarda ilave edilerek betonun bazı mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Betonun 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında geri dönüşüm agregaya oranı artıkça dayanım azalmıştır ve en yüksek dayanımı %100 normal agregaya ile üretilen betondan elde edilmiştir. Donatı aderans sonuçları ise geri dönüşüm agregaya oranı artıkça aderans dayanımı düşmüştür ve %100 geri dönüşüm agregaya ile üretilen betonun ortalama bir aderans dayanımına sahip olduğunu gözlenmiştir.

Jaafar (2017), çalışmasında donatıların çapı ve gömme uzunluğunu aderans üzerindeki etkisini deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda donatı çapı ve gömme uzunluğu artıkça aderansın azaldığı gözlemlenmiştir.

Kadiroğlu vd (2017), çalışmasında %0 ile %25 arasında geri dönüşüm agreganın doğal agregaya ile ikamesinin, üretilen beton üzerindeki bazı özellikleri araştırılmıştır. Genel olarak betonun karışım dizaynlarında önemli bir değişiklik yapılmadan %5 oranında geri dönüşüm agregaya kullanılabileceği belirlenmiştir. Karışım dizaynında %5'ten fazla geri dönüşüm agregaya eklendiğinde kullanım oranına bağlı olarak karışım dizaynında iyileştirme yapılmalıdır. Elde edilen verilerden düşük dozajlı karışımlarda kontrol betonlarında bulunan basınç dayanımı değerini sağlayabilmek için %15 geri dönüşüm agregaya kullanımı durumunda çimento dozajında da yaklaşık %15 artırılması gerekliliği ortaya konulmuştur.

Sarıbaş (2018), çalışmasında düşük dayanımlı atık betondan elde edilen geri dönüşüm agregaya kullanılarak üretilen Pozzolana katkılı ve katkısız betonun donatı ile aderansını araştırmaya yönelik yapılan bu çalışmada beton küplerin içerisinde $\varnothing 18$ mm donatı eklenmiştir. Çekip çıkarma deneyi ASTM C-234 standardına uygun olarak yapılmıştır. Geri dönüşüm agregaya beton üretiminde kullanılması durumunda yeterli aderans dayanımının elde edilebileceği sonucu ortaya konulmuştur.

Arslan ve Arslan (2018), çalışmasında sabit beton sınıfına farklı donatı çapı ve kenetlenme boyunun mafsallı kiriş üzerindeki aderansı incelenmiştir. İnceleme

sonucunda donatı çapı ve kenetlenme boyunun aderans üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Özellikle kenetleme boyunun donatı çapına göre daha fazla etki ettiği görülmüştür.

Hasan ve Osman (2018), çalışmasında farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırmışlardır. Kontrol betonunun bütün yaşlarda en yüksek dayanımı verdiği ve geri dönüşüm agregası ikame edildiğinde basınç dayanımında düşüş gözlemlendiği sonucu ifade edilmiştir.

Alhawat and Ashour (2019), çalışmasında geri dönüşüm iri agregası ile aşınmış ve aşınmamış donatılar ile üretilen numunelerin aderans performansını araştırmıştır. Ana değişken parametreler, geri dönüşüm iri agregası yüzdeleri (%0, %25, %50, %100), donatının çapı (12 mm ve 20 mm), donatıların aşınma seviyesi ve donatıların beton içindeki gömme uzunluğudur. Geri dönüşüm agregası kullanımı ile aşınmamış numuneler için normal betondan elde edilenlere göre aderans dayanımı üzerinde hafif bir etkisi gözlenmiştir. Aderans dayanımı yaklaşık %2'ye kadar korozyon oranı için hafifçe artmıştır ve daha sonra korozyon süresi geleneksel betona benzer şekilde arttıkça önemli ölçüde azalmıştır. Yapısal betonlarda %25 oranda geri dönüşüm agregası kullanımı uygun görülmüştür.

Li et al. (2020), çalışmasında iri geri dönüşüm agregası ve normal agregası ile üretilen küp numuneleri farklı dönme-çözülme etkisine maruz kalan numuneler üzerinde yapılan pull-out testi ile şu sonuçlar elde edilmiştir. Dönme-çözülme etkisi arttıkça geri dönüşüm agregası ile yapılan numunelerin aderans dayanımı kademeli olarak düştüğü görülmüştür. Düşük dönme-çözülme etkisi altında geri dönüşüm agregası ile üretilen numunelerin aderans dayanımı normal agregası ile üretilen numunelere göre daha düşük gözlenmiştir. Ancak dönme-çözülme etkisi arttıkça geri dönüşüm agregası ile üretilen numunelerin aderans dayanımı normal agregası ile üretilen numunelere göre daha yüksek gözlenmiştir.

Orhan ve Melek (2020), çalışmasında muhtelif beton dayanımları için deprem yükü altında beton ve donatı arasındaki aderanstaki dolay yorulma meydana gelip gelmediğini ve beton dayanımının bu yorulmaya etkisinin olup olmadığını deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonucunda deprem yükü gibi tekrarlanan yükler altında beton ve donatı arasına aderanstaki dolay yorulma meydana geldiği ve beton mukavemeti arttıkça yorulmanın azaldığı gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında betonarme aderans numunesi ve silindir beton basınç numunelerinin üretiminde CEM IV/B 32,5 ve R tipi çimento ve normal agregası (NA) olarak 0,25-4 mm ve 4-16 mm tane çapında agregası temin edilmiştir. Tez kapsamında kullanılan geri dönüşüm agregası (GDA) ise inşaatı sırasında C35 sınıfında beton kullanılmış olan ve yargı kararı ile kentsel dönüşüm için yıkımı gerçekleştirilen betonarme yapıdan yıkım sonucu elde edilen beton parçalarından temin edilmiştir.

3.1.1. Çimento

Beton karışımında Erzurum Aşkale Çimento'dan temin edilen CEM IV/B 32,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Üretici firmadan alınan çimentonun fiziksel özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çimentonun fiziksel özellikleri

Genleşme (mm)	≤ %10
Priz baş (dakika)	≥ 75
28 Günlük Dayanım (MPa)	≥ 32,5
Yoğunluk (gr/cm^3)	3,15

3.1.2. Karışım Suyu

Bu çalışmada karışım suyu olarak Erzurum şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.3. Donatı

S420 sınıfı çelikten mamul ve 14 mm çapında nervürlü donatı 70 cm uzunluğunda olacak şekilde kesilerek betonarme numunelerin üretiminde kullanılmıştır.

3.1.4. Normal agrega

Erzurum'un Aşkale ilçesinden Aşkale Çimento'dan ince 0.25-4 mm ve iri 4-19 mm olmak üzere iki farklı tane çapına sahip normal agrega temin edilmiştir.

3.1.5. Geri dönüşüm agrega

Geri dönüşüm agrega (GDA) kentsel dönüşüm amacıyla yıkılan C35 sınıfına sahip yapıdan temin edilmiş ve Şekil 3.1' de agregaların küçük parçalar haline getirilmeden hemen önceki durumu görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 3.1 İmar nedeni ile yıkılan binadan temin edilen geri dönüşüm agregalar

3.2. Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler

Laboratuvarında yapılan deney çalışmalarında kullanılan araç ve gereçler aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

3.2.1. Kalıp

Bu çalışmada kullanılacak aderans numunelerin boyutları standart kalıpların boyutlarından farklı olduğundan, Poli Vinil Clorür (PVC) borusu 10 × 50 cm boyutlarında ve standart silindir basınç numuneler için 10 × 20 cm boyutlarında standart silindir kalıplar kullanılmıştır.

3.2.2. Beton sıcaklık ölçümleri

Deneyde betonların döküm anındaki sıcaklığı *dijital termometre* ve 72 saat kesintisiz sıcaklık kaydı alınması açısından Termokupl kullanılarak ölçülmüştür. Literatür de sıcaklık ölçüm periyodunun genellikle 10 dakika olarak tercih edildiği gözlenmiş olup bu doğrultuda alınan sıcaklık ölçümlerinin bu periyotta alınmasına karar verilmiştir (Huang et al. 2018).



(1)



(2)

Şekil 3.2 (1) Dijital Termometre, (2) Termokupl sıcaklık ölçüm cihazı

3.2.3. Dijital termometre

Bu cihaz akışkan özelliğe sahip malzemelerin sıcaklıklarını ölçmek için kullanılır. Cihazın sıcaklık ölçüm aralığı -5°C ile $+300^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ölçülen sıcaklık değerleri $\pm 1^{\circ}\text{C}$ hata payı içermektedir.

3.2.4. Termokupl

Termokuplın çalışma prensibi temel olarak; uç kısmında bulunan metale bağlanan iki adet kablonun voltaj kaybından meydana gelen farkın üretici firma tarafından kalibrasyon edilmesiyle önerdiği bir çarpan ile doğrusallaştırılması sonucunda elde edilen değer, malzemenin anlık ölçülen sıcaklığını vermektedir. Termokupllar doğrudan veri toplama sistemine bağlanamadığı için sekiz kanallı dönüştürücü aparat temin edilmiştir. Burada ki önemli detay, malzemeye temas eden metal kısım sıcak nokta olarak nitelendirilirken termokuplda voltaj iletimini sağlayan tellerin birbirinden bağımsız uçları

3. MATERYAL ve YÖNTEM

dönüştürücü aparata bağlanır ve soğuk nokta olarak adlandırılır. Bu iki nokta arasındaki sıcaklık farklarını cihaz, gerilme şeklinde algılayıp dijital veri olarak bilgisayara aktarmaktadır.

Veri toplama sistemine bağlanan dönüştürücü aparatın birinci kanalı Cold Joint Compensation (CJC) ve diğer yedi kanal ise ThermoCouple (TC) sırasıyla TC1...TC7 şeklinde devam etmektedir. Cihazın sıcaklık ölçüm aralığı $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+2320\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.



Şekil 3.3 Termokupl ara bağlantı elemanı (8 kanallı)

3.2.5. 3000 kN kapasiteli beton basınç testi cihazı

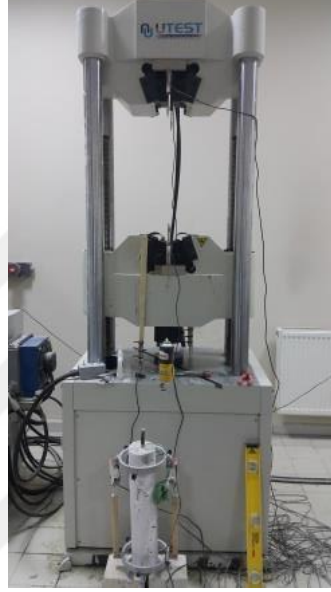
TS EN 12390-3'e uygun 3000 kN kapasiteli UTEST deney basıncı hidrolik akışkanların sıkıştırılması yolu ile çalışan test cihazıdır (Şekil 3.4). Bu cihaz yardımı ile standart silindir basınç numuneleri test edilmiştir.



Şekil 3.4 UTEST deney basıncı cihazı (3000 kN Kapasiteli)

3.2.6. 1000 kN kapasiteli hidrolik test cihazı

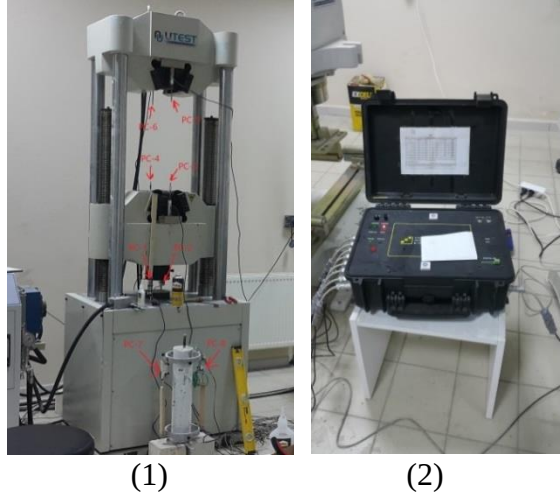
TS 708 (2010)' a uygun hidrolik yağ basıncı ve yağ akışı ile çalışan bir cihazdır. İki kısımdan oluşmaktadır. Cihazın üst kısmı çelik çekme testleri için alt tarafı ise basınç testleri için tasarlanmıştır. Bu cihazın üst kısmı çelik malzemelerinin akma dayanımı ve çekme dayanımını test etmek için tasarlanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 1000 kN Kapasiteli hidrolik test cihazı

3.2.7. Dinamik veri toplama cihazı

Veri toplama, gerçek dünyadaki fiziksel durum ve niceliklerin sensörler aracılığıyla elektronik sinyaller olarak algılanması, örneklenmesi, bu sinyallerin dijital (sayısal) verilere dönüştürülerek ölçülmesi ve bir bilgisayara kaydedilebilmesi işlemlerini tanımlar (Anonim 2020). Çalışma kapsamında universal test cihazının dahili veri toplama sistemi kullanılmamış, tüm yük ve deformasyon ölçümleri için harici veri toplama sistemi tercih edilmiştir. Bunun temel nedeni ise universal test cihazının dahili veri toplama sistemindeki sensör sayısının çekme deneyinde kullanılacak sensör sayısından az olmasıdır. Oluşturulan sisteme ilişkin görsel Şekil 3.6' da sunulmaktadır.



Şekil 3.6 (1)1000 kN Kapasiteli hidrolik test cihazı, (2) dinamik veri toplama cihazı

3.3. Yöntem

Bu bölümde normal ve geri dönüşüm agregaların elek analizi ve bazı fiziksel özelliklerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Betonların döküm anındaki sıcaklıkları ve 72 saat boyunca değişen sıcaklık değerleri Termokupl yardımı ile ölçülmüştür. Sertleşmiş numuneler üzerinde beton basınç dayanımı ve betonarme aderans dayanımı deneyleri yapılmıştır.

3.3.1. Geri dönüşüm agregaların elde edilmesi

Enkaz halinde olan yapıdan alınan atık betonları temizlendikten sonra çekiç yardımıyla kırılarak muhtelif boyutlara getirilmiştir. Standart elekler yardımı ile 0,25-4 mm ve 4-16 mm iki guruba ayrıştırılarak geri dönüşüm agregası olarak kullanılmıştır. Şekil 3.7’ de beton parçalarının muhtelif boyutlarda kırılması görseli ile Şekil 3.8’ de üretilen agregası fotoğrafları sunulmuştur. Agregalara yıkama işlemi uygulanmamıştır.



Şekil 3.7 (1) Beton parçalarının kırılarak kum ve (2) çakıl boyutlarına getirilme aşaması



Şekil 3.8 (1) 0.25-4 mm ve (2) 4-16 mm eleklerden geçirilerek geri dönüşüm agregalar haline getirilmiştir.

3.3.2. Elek analizi

Elek analizleri TS-802 (2016) ve TS-EN-206 (2002)'a göre yapılmıştır. Normal agrega ve geri dönüşüm agregaları 0.25-4 mm ve 4-16 mm aralığında kullanılarak uygun granülometre elde edilmiştir.

3.3.3. İri normal agrega ve geri dönüşüm agregalarında su emme oranı ve özgül ağırlık deneyi

Bu kapsamdaki deneyler TS 707 (1980), TS 3526(1980) ve ASTM C 127 (2015)' e göre yapılmıştır. 8-16 mm eleklerin arasında kalan kırma taş ve geri dönüşüm agrega yığınının çeyreklemesi yöntemi ile her birinden ikişer kilogramlık iki örnek alınmıştır. Bu örnekler bir kabın içine yerleştirilmiştir. Kabın içine örneklerin üzerini kaplayacak şekilde su ilave edilmiştir. 24 saat suda bekletilen örnekler sudan çıkarılarak kuru bir bez yardımı ile doymuş kuru yüzey duruma getirilmiştir. Doymuş kuru yüzey durumundaki örnekler hassas terazi yardımı ile tartılmıştır. Doymuş kuru yüzey durumundaki örnekler tel sepet yardımı ile su dolu kovaya üstünden 5cm su geçecek şekilde daldırılmıştır. Örnekler son olarak $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında 24 saat etüvde bekletilmiştir. Kuruyan örnekler hassas terazi yardımı ile tartılmıştır. Şekil 3.9' da doymuş kuru yüzey agregalar ve Arşimet terazisi görseli sunulmuştur.



(1)



(2)

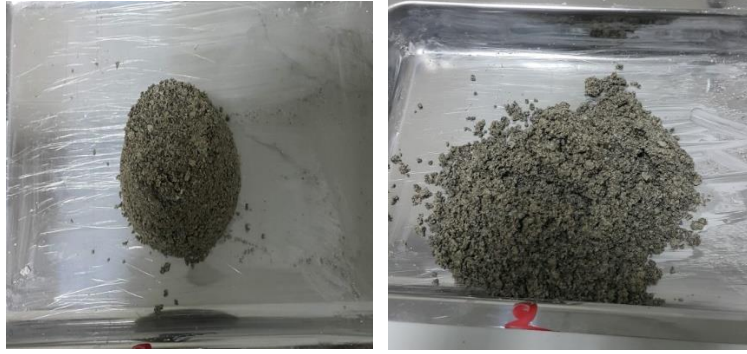
Şekil 3.9 (1) ve (2) İri geri dönüşüm agregaların deney aşaması

3.3.4. İnce normal agregaya ve geri dönüşüm agregalarında su emme oranı ve özgül ağırlık deneyi

Bu deneyler TS 707 (1980) ve TS 3526 (1980)'e göre yapılmıştır. 0.25-4 mm eleklerin arasında kalan kırma taş ve geri dönüşüm agregaya yığınının çeyreklemeye yöntemi ile her birinden 1kg'lık iki örnek alınmıştır. Bu örnekler bir kaba yerleştirilmiştir. Kabın içine örneklerin üzerini kaplayacak şekilde su ilave edilmiştir. 24 saat suda bekletilen örnekler kaptan çıkartılarak sıcak hava yardımı ve koni metodu ile doymun kuru yüzey duruma getirilmiştir. Hacmi sabit iki piknometrenin boş ağırlığı tartıldıktan sonra piknometrelere su eklenip ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra örnekler piknometrelere yerleştirilip ağırlıkları tartılmıştır. Piknometre içerisindeki örneklerin üzerine gelecek şekilde piknometrelere çizilen çizgiler düzeyinde su ilave edilerek örnekler tekrar tartılmıştır. Şekil 3.10' da ince agregaların suda bekletmesi ve Şekil 3.11' de doymun kuru yüzey ince agregaların görselleri sunulmuştur.



Şekil 3.10 Suda 24 saat bekletilmiş ince geri dönüşüm agregalar



(1)

(2)

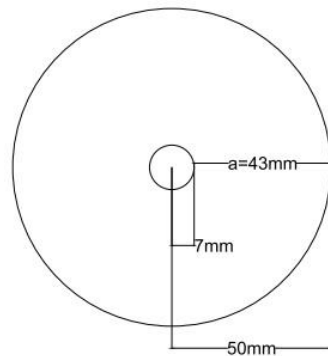
Şekil 3.11 (1) ve (2) İnce GDA'ların koni metodu ile doymun yüzey kuru durumunun kontrolü.

3.3.5. Karışım Hesabı

Bu çalışma TS 802 (2016) ve TS-EN-206 (2002) ve TS 500 (2000)'e göre yapılmıştır. Üretilcek betonun 28 günlük basınç dayanımı $25MPa$ ve maksimum tane boyutlarının 16mm olması hedeflenmiştir.

3.3.5.1. Beton karışımındaki faktörlerin belirlenmesi

Agreganın maksimum tane boyutu (D_{max}) TS-500 (2000)'e göre uygunluğunun kontrolü, üretilcek numunelerin çapı 100mm ve donatın çapı 14 mm kullanılmıştır. Numune içirişine yerleştirilen 14 mm çapındaki donatı Şekil 3.12'de görüldüğü gibi $a=43mm$ olacak şekilde yerleştirilmiş ve minimum pas payı miktarından fazla olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.12 Silindir kalıpların üst görünüşleri

$$D_{max} \leq \frac{1}{5} \text{ kalıp genişliği} \quad (9)$$

$$16\text{mm} < \frac{1}{5} \times 100\text{mm} = 50\text{mm} \quad [\text{sağlanmıştır}]$$

$$D_{max} \leq \text{Paspayı}(a) \quad (10)$$

$$16\text{mm} < 43\text{mm} \quad [\text{sağlanmıştır}]$$

Çökme değerinin belirlenmesi TS-802 (2016)'da verilen çökme değerleri vibrasyon dışında bir sıkıştırma yöntemi kullanılacak ise TS-802'de bulunan Çizelge 3.2' de belirtilen değerden 25mm fazla alınmalıdır (Ay 2020). Çizelge 3.2' de bulunan üçüncü sütun üçüncü satırdaki değer 100mm verilmiştir. Bu durumda çökme değeri 125mm olmalıdır.

Çizelge 3.2 Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme (slump) değerleri

Yapı elemanları	Çökme (mm)	
	En az	En fazla
Betonarme temel duvarları ve ayakları	30	80
Donatısız beton temeller, kesonlar ve alt yapı duvarları	30	80
Kiriş, kolon, betonarme perde, tünel yan ve kemer betonları	50	100
Döşeme betonları	30	80
Tünel taban kaplama betonları	20	50
Baraj kütle betonları	20	50

Betonun ortalama basınç dayanımı kırılma maksimum yükün kesit alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Betonarme yapıların tasarım hesaplarında beton minimum basınç dayanımına göre yapılmakta olup ancak farklı faktörlerin etkisi ile beton basınç dayanımı düşük çıkabilme ihtimali göz önünde bulundurulur. Bunu önlemek amacı ile karakteristik basınç dayanımı (F_{ck}) kullanılır. TS-500 (2000)'de bu değer minimum basınç değerinden %10 daha düşük bir değerdir. Karışım hesabı yaparken beton karakteristik basınç dayanımından daha yüksek bir değer yani beton ortalama basınç dayanımı (F_{cm}) hedeflenmektedir (Ay 2020). TS-802 (2016)'da bulunan ve Çizelge 3.3' te sunulan beton sınıflarına göre karışım hesabında esas alınacak hedef basınç

3. MATERYAL ve YÖNTEM

dayanımları (f_{cm}) ile deney numunelerinin sahip olması gereken ortalama basınç dayanımı C25/30'e karşı gelen hedef basınç dayanımı C31/36'dır.

Çizelge 3.3 Beton sınıflarına göre karışım hesabında esas alınacak hedef basınç dayanımları (f_{cm}) ile deney numunelerin sahip olması gereken ortalama basınç dayanımı.

Beton sınıfı	Karakteristik basınç dayanımı f_{ck} (MPa)		Hedef basınç dayanımı, f_{cm} (ortalama silindir/küp basınç dayanımı) (MPa)		
	Karakteristik silindir (150*300) basınç dayanımı f_{ck} (MPa)	Eşdeğer küp (150*150*150) (mm) basınç dayanımı f_{ck} (MPa)	Standart sapma biliniyorsa	Standart sapma bilinmiyorsa	
				(150*300) (mm) silindir	(150*150*150) (mm) küp
C14/16	14	16	$f_{cm}=f_{ck}+1,4 \sigma$	18	20
C16/20	16	20		20	24
C18/22	18	22		22	26
C20/25	20	25		26	31
C25/30	25	30		31	36

Su/çimento (S/Ç) oranı beton basınç dayanımını doğrudan etkiler. Bu oran büyüdükçe basınç dayanımı düşmektedir. Aynı S/Ç oranına sahip betonların basınç dayanımları farklı çıkabilir. Bu basınç dayanımını düşüren faktörleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

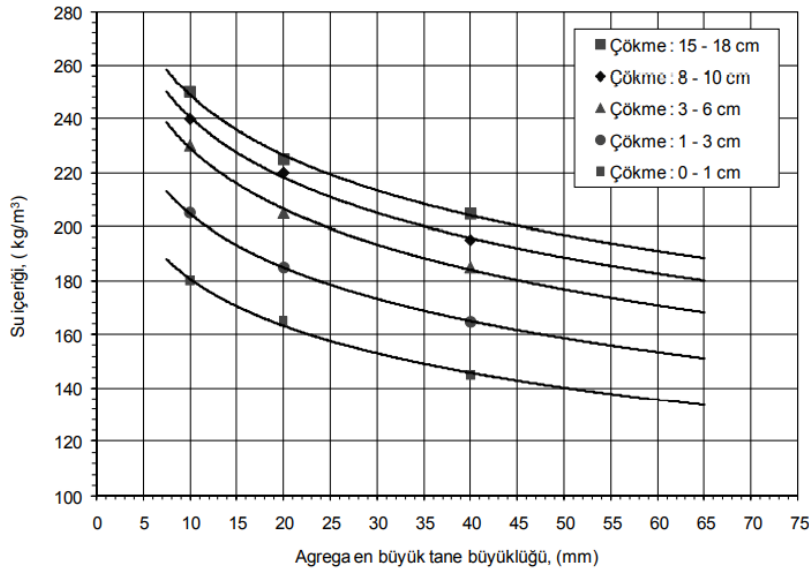
1. Agreganın en büyük tane büyüklüğü
2. Agregada gradasyonu
3. Agreganın yüzey pürüzlülüğü
4. Agreganın tane şekli
5. Çimento tipi, hava miktarı
6. Kimyasal katkıları

S/Ç oranı arttıkça kapılar boşluk miktarı da artacaktır. Betonun geçirimsizliğini, dayanımını ve dayanıklılığını azaltacaktır (Ay 2020). TS-802 (2016)'da bulunan ve Çizelge 3.4'te 28 günlük beton basınç dayanımlarına göre yaklaşık S/Ç oranı interpolasyon uygulandığında %53 hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4 28 Günlük beton basınç dayanımlarına göre yaklaşık S/Ç oranları

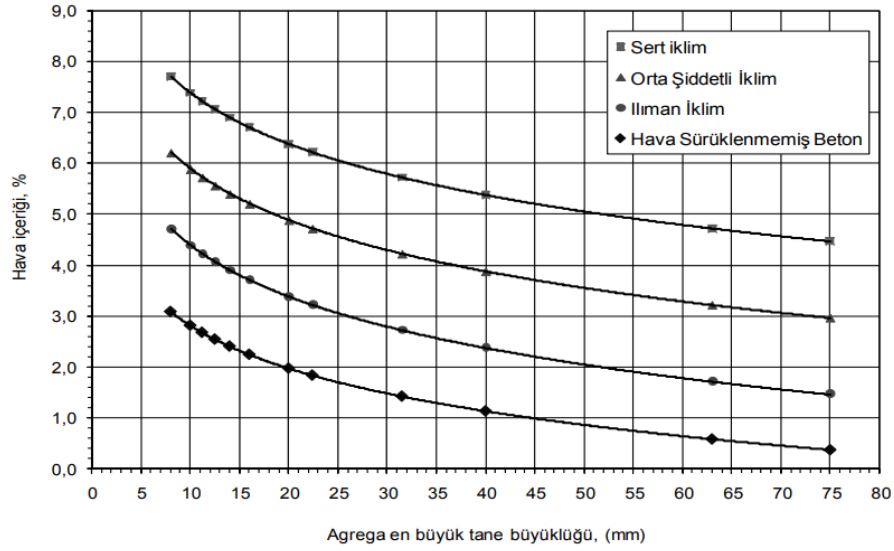
Basınç dayanımı (28 gün) (150*300) mm Silindir (MPa)	Su/çimento oranı	
	Hava sürüklenmiş beton	Hava sürüklenmemiş beton
45	0,37	...
40	0,42	...
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Karışım suyunun az veya fazla olmasının bazı sakıncaları bulunmaktadır. Karışım suyunun yetersiz kalması durumunda malzemelerin ayrışmasını ve işlenebilirliğini azaltır, çimento hidrasyonu için gerekli su karşılanamaz ve donatın betonun arasına yerleştirilememesi gibi sorunlar ortaya çıkar. Eğer karışım suyu fazla olursa çatlaklara yol açar, fazla suyun buharlaşması sonucunda büzülme artar, boşluklu bir beton oluşur ve beton dayanımı düşer (Ay 2020). TS-802 (2016)'da bulunan ve Şekil 3.13' te sunulan diyagramlar üzerinden su miktarı $246 \frac{kg}{m^3}$ hesaplanmıştır.

**Şekil 3.13** Doğal şekillenmiş agrega kullanılan farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları,

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Beton karma ve yerleştirme esnasında istenmeden bir miktar beton içine hava dahil olur ve bu durum betonun içinde boşluklar oluşturur. Bazen de don dayanıklılığını artırmak için hava sürükleyici yardımı ile beton içine bir miktar hava dahil edilmesi gerekir (Ay, 2020). TS-802 (2016)'da bulunan Şekil 3.14' te uygun hava içeriği miktarı $0,022 \frac{kg}{m^3}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.14 Kırmataş agregası kullanılan farklı en büyük agregası tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerlerine sahip kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları.

TS-802 (2016)'ya göre karışımın içindeki agreganın yoğunluğu ve agreganın miktarı aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

Ortalama geri dönüşüm agregası yoğunluğu (ρ_a)

$$\rho_a = \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} + \frac{x_3}{\rho_3}} \quad (11)$$

Toplam geri dönüşüm agregası (M_a)

$$M_a = V_a \times \rho_a \quad (12)$$

3.3.6. Taze ve sertleşmiş beton deneyleri

Taze betonun C25/30 dayanımını ve istenilen kıvamını elde etmek için birkaç defa standart silindir numuneler hazırlanıp basınç dayanımları test edilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 28 günlük silindir basınç numuneleri

3.3.7. Deneyler sonucu elde edilen veriler ile hazırlanan hedef numuneler

Sıcaklık ölçümü ve aderans dayanımını elde edebilmek için $10 \times 50mm$ boyutlara sahip **altışar adet aderans numunesi** hazırlanmıştır. C25/30 dayanımını elde edebilmek için $10 \times 20mm$ boyutunda altışar adet standart silindir basınç numuneleri hazırlanmıştır. Toplam **30 adet aderans** numune ve **30 adet standart silindir basınç numune** hazırlanmıştır.



Şekil 3.16 Aderans numuneleri ve standart silindir basınç numuneler

3.3.8. Betonun kürü

Numunelerin bakımı için şantiye şartlarına benzer bir ortam oluşturulmuş ve numuneler 28 gün nemli bez çuvallarda bekletilmiştir. Bez çuvallarını nemli tutabilmek için haftada bir kere üzerlerine su ilave edilmiştir. Şekil 3.17’ de gösterildiği gibi numuneler nemli bezler yardımı ile kür işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.17 (1) Aderans numuneleri ve (2) Standart silindir basınç numunelerinin kürü

3.3.9. Aderans davranışlarının incelenmesi için takip edilen yöntem

Aderans numuneleri 1000 kN kapasiteli çekme test cihazında deneye tabi tutulmuş ve bu cihaz üzerine numunede meydana gelecek deplasmanların tayini için potansiyometrik cetveller (PC) yerleştirilmiştir. Bununla birlikte deplasman ölçümü ile yük kaydının senkron olması için 1000 kN kapasiteli test cihazından harici bir data kablosu ile 16 kanallı dinamik veri toplama sisteminde kalibrasyonu yapılarak ölçümler kayıt altına alınmıştır. İlk iki sensör (PC-1 ve PC-2) 1000 kN Hidrolik test cihazının çeneleri arasındaki mesafeyi ölçmek için yerleştirilmiştir. Dört sensör ise (PC-3, PC-4, PC-5 ve PC-6) birim slip değerini ölçmek için 1000 kN Hidrolik test cihazına yerleştirilmiştir. Hidrolik test cihazından gelen çekme yükü ve deplasmanı iki kanal olarak dinamik veri toplama cihazına bağlanıp veriler bu cihaz yardımı ile hesaplanmıştır. Beton etki boyunu ölçmek için iki sensör (PC-7 ve PC-8) aderans numunelerine

bağlanmıştır. Bu veriler dinamik veri toplama cihazı vasıtasıyla **saniyede 100 veri** olarak kaydedilmiştir. Aynı zamanda UTEST cihaz yardımı ile çekme yükü ve deplasman verileri de harici olarak kaydedilmiştir. Deneyler deplasman kontrollü yapılmış ve yükleme hızı **2 mm/dakika** olarak sabit tutulmuştur. Deney süresince yüzeyde oluşan çatlaklar takip edilmiş ve işaretlemeleri yapılmıştır. Deney düzeneğine ait görsel Şekil 3.18’ de sunulmuştur.

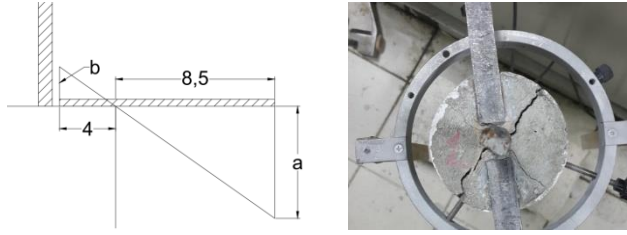


Şekil 3.18 Deney düzeneği görünümü

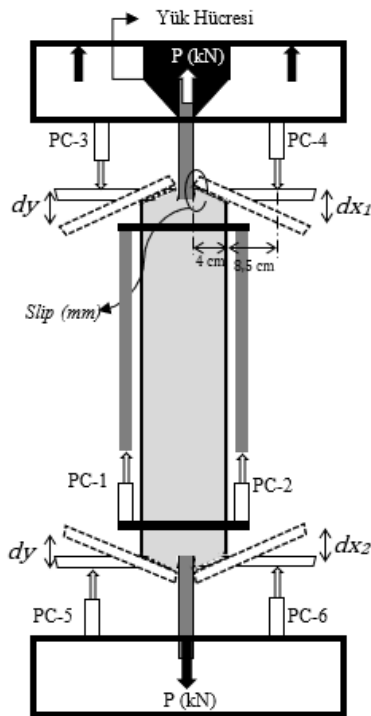
3.3.10. Birim sıyrılma (slip) hesabı

Aderans numunelerinin ortasındaki çelik donatı çekmeye maruz bırakılınca betonun üst kısımlarında kabarma meydana gelecektir. Bu kabarma sıyrılmanın bir ifadesi (slip) olarak kabul edilmektedir. Sıyrılmanın doğrudan ölçümü mümkün olmamış ve bu nedenle dolaylı bir ölçüm üzerinden hesaplanması yoluna gidilmiştir. Numunenin üst yüzeyine karşılıklı olarak iki adet rijit çelik lama yapıştırılmış ve lamanın serbest ucundaki deformasyon ölçülmüştür. Ölçülen bu değer üzerinden, lamanın rijit olması kabulü ile, üçgen benzerliği kurularak donatı yüzeyi çevresindeki betonda oluşan kabarma hesaplanmıştır. Ölçüm düzeneği benzer çalışma olan Gedik (2020) de uygulamış olduğu düzenek aynen kullanılmış ve bu ölçüm sisteminin detay görseli Şekil 3.20’ de verilmiştir.

$$b = \frac{a \times 4}{8,5} \quad (13)$$



Şekil 3.19 Sıyrılma (slip) hesabına ilişkin görsel materyal



Şekil 3.20 Sıyrılma (Slip) ölçüm düzeneği (Gedik 2020)

Deney numunelerinin karşılaştırmalı incelemeleri yapılırken numunenin alt ve üst yüzeyinde oluşan toplam sıyrılmanın kullanılmasının hatalı olacağı açıktır. Zira, her ne kadar numune imalatında azami özen gösterilmiş olsa da numune boylarında birkaç cm hata söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle, toplam sıyrılma numune uzunluğuna bölünerek birim sıyrılma (slip) adı verilen parametre hesaplanmış ve performans değerlendirmelerinde kullanılmıştır.

3.3.11. Aderans gerilmesi

Çelik çubukla beton arasında kenetlenmeyi sağlayan kesme gerilmelerine, aderans denir (Ersoy ve Özcebe 2015). Aderans gerilmeleri aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{P}{\pi \times \Phi \times L} \quad (14)$$

Bu formülde:

τ = Aderans Gerilmesi

P = Çekme Yüğü

L = Beton boyu (kenetleme boyu)

Φ = Donatı Çapı

3.3.12. Çelik Çekme Gerilmesi

Çelik gerilme-şekil değıştirme diyagramındaki tepe noktasına karşılık gelen gerilme değeri olarak bilinmektedir. Bu değeri aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanmıştır.

$$f_{su} = \frac{P}{\pi \times R^2}$$

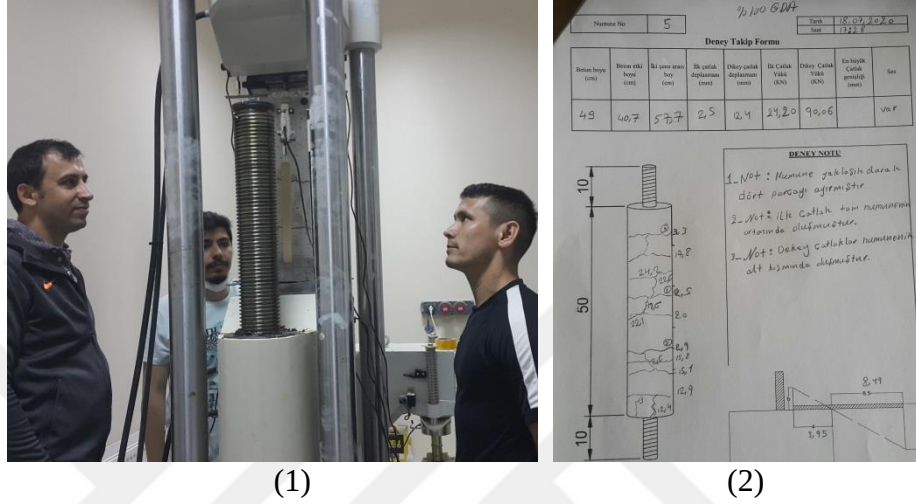
Bu formülde:

P = çekme Yüğü

R = Donatı Yarıçapı

3.3.13. Aderans numunelerin deney aşamalarının takibi

Aderans numunelerin deney aşamalarının takip edilip bu numunelerin deplasmanına karşı oluşan çatlakları hesaplamak için Deney Takip Formu hazırlanıp her numune için bu form doldurulmuştur. İlgili görsel Şekil 3.21’ de sunulmuştur.



Şekil 3.21 (1) Aderans numunelerin deney takip aşaması, (2) deney takip formu

3.3.14. Aderans numunelerin iç çatlaklarının incelenmesi

Aderans numunelerin dayanım testlerinden sonra her gruptan ikişer numune çekici yardımı ile kırılarak iç çatlakları incelenmiştir. Şekil 3.22’ de sunulan çatlak görüntüleri Araştırma ve Bulgular kısmında her grup numunesi için detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 3.22 Aderans numunelerin iç çatlaklarının görünümü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Elek Analizi

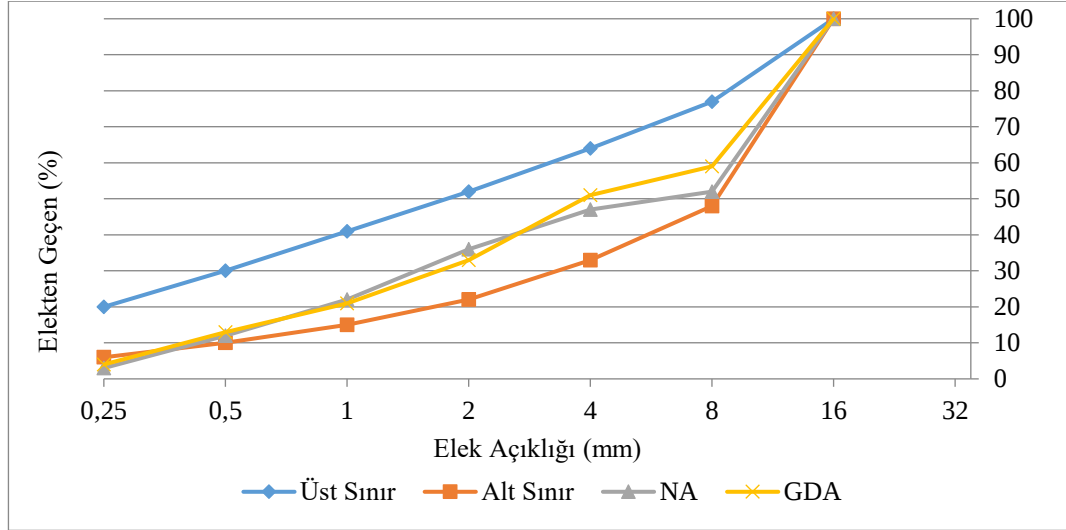
Bu çalışmada iki tür agrega kullanılmıştır. Normal agrega olarak kum (0-4 mm) ve mıcır (4-16 mm), geri dönüşüm agrega olarak ise kentsel dönüşüm için yıkılan eski betonarme yapıların beton kırıklarını çekiç yardımı ile kırılarak kum ve mıcır boyutlarına getirilmiştir. Her iki agreganın maksimum tane çapı 16 mm olarak seçilmiştir. Deneme yanılma yöntemi ile %47 kum ve %53 mıcır kullanılarak uygun granülometri eğrilerini elde edilmiştir. Geri dönüşüm ve normal agregaların elek aralıkları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de ve granülometri eğrileri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Normal agrega %50 ince 0,25-4 mm ve %50 iri 4-16 mm

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Malzeme (gr)	Kümülatif Kalan Malzeme (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
16	0			
8	1.246	1.246	47,92	52,08
4	125	1.371	52,73	47,27
2	291	1.662	63,92	36,08
1	354	2.016	77,54	22,46
0,5	284	2.300	88,46	11,54
0,25	235	2.535	97,50	2,50
Tava	65	2.600	100	0
Toplam	2600			

Çizelge 4.2 Geri dönüşüm agrega %50 İnce 0,25-4 mm ve %50 İri 4-8 mm

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Malzeme (gr)	Kümülatif Kalan Malzeme (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
16	0	0	0	100
8	1059	1059	40,73	59,27
4	214	1273	48,96	51,04
2	471	1744	67,08	32,92
1	317	2061	79,27	20,73
0,5	202	2263	87,04	12,96
0,25	240	2503	96,27	3,73
Tava	97	2600	100	0
Toplam	2600			



Şekil 4.1 Geri dönüşüm agregası ve normal agreganın granülometri eğrileri

Şekil 4'te görüldüğü gibi 0,25-4mm aralığındaki agregaların eğrileri birbirine yakın seyretmiştir. Normal ve geri dönüşüm agregalarının granülometri eğrileri beraber çizdirildiğinde 4-16 mm aralığında geri dönüşüm agreganın normal agregaya göre yüzde geçen miktarında farklılık gözlenmiştir. Geri dönüşüm agreganın iri kısmı, normal agregaya göre yapısında daha fazla ince malzeme bulunmaktadır. Normal agreganın nitelendirilen agregalar büyük kayaların konkasörle kırım işlemi sonucu biçimsel olarak yüzeyleri daha düzgün, deney için hazırlanan geri dönüşüm agregaları ise çekiç yardımı ile kırıldığından yüzeyleri daha düzensiz bir yapıya sahip olduğu belirtilmelidir. Buna ek olarak iri agreganın sınıfında, geri dönüşüm agregası üzerinde bulunan diğer maddelerden dolayı daha fazla ince malzeme barındırdığını söylemek mümkündür.

4.2. İri Normal Agreganın ve İri Geri Dönüşüm Agregalarında Su Emme Oranı ve Özgül Ağırlık Deneyi

Materyal ve Yöntem bölümünde deneyin yapılışı ve izlenilen yoldan bahsedilmiştir. Deney prosedürüne uygun olarak gerçekleştirilen malzeme deneyine ait elde edilen sonuçlar bu başlık altında sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Normal ve geri dönüşüm agregasına ait etüv kurusu, doymun kuru yüzey ve sudaki ağırlığı Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’ te sunulmuştur.

Çizelge 4.3 İri normal agreganın ağırlıkları

Simge	Açıklama	1.Deney	2.Deney
M1	Numunenin Etüvde Kurutulmuş Ağırlığı (gr)	1.974,3	1.976,2
M2	Numunenin Doymun Kuru Yüzey Ağırlığı (gr)	1.986,6	1.983,2
M3	Numunenin sudaki Ağırlığı (gr)	1.217,2	1.242,2

Çizelge 4.4 İri geri dönüşüm agreganın ağırlıkları

Simge	Açıklama	1.Deney	2.Deney
M1	Numunenin Etüvde Kurutulmuş Ağırlığı (gr)	1.962,1	1.959,7
M2	Numunenin Doymun Kuru Yüzey Ağırlığı (gr)	2.081,9	2.076,3
M3	Numunenin Sudaki Ağırlığı (gr)	1.208,6	1.208,1

İri agregalara dair muhtelif işlemler sonucu elde edilen ağırlıklar özgül ağırlık ve su emme oranı için parametrik formüllerle hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara dair detaylar alt başlıklar halinde detaylı olarak sunulmuştur.

4.2.1. Doymun kuru yüzey özgül ağırlığı (ρ_{DKY}) ve su emme oranı (S_{emme})

Doymun kuru yüzey özgül ağırlığının (ρ_{DKY}) belirlenmesi ve su emme oranının (S_{emme}) tayini için hesaplamalarda TS 707 (1980)’den Bağıntı 1 ve Bağıntı 2 kullanılmıştır.

Bu bağıntılar kullanılarak iri normal agregaların doymun yüzey kuru özgül ağırlıkları (ρ_{DYK}) ve su emme oranlarını (S_{emme}) hesaplanmıştır.

$$\rho_{DYK} = \frac{M2}{M2-M3} \quad (1)$$

$$S_{emme} = \frac{M2-M1}{M1} \times 100 \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \rho_{DYK-1} &= \frac{1986,6}{1986,6 - 1217,2} = 2,58 \\ \rho_{DYK-2} &= \frac{1983,2}{1983,2 - 1242,2} = 2,68 \end{aligned} \right\} \rho_{DKY} = 2,63$$

$$\left. \begin{aligned} S_{emme-1} &= \frac{1986,6 - 1974,3}{1974,3} \times 100 = \% 0,62 \\ S_{emme-2} &= \frac{1983,2 - 1967,2}{1967,2} \times 100 = \% 0,81 \end{aligned} \right\} S_{emme} = \% 0,72$$

TS 707 (1980)'den alınan Bağıntı 1 ve Bağıntı 2 kullanılarak *iri geri dönüşüm agregaların* doygun yüzey kuru özgül ağırlıkları (ρ_{DKY}) ve su emme oranlarını (S_{emme}) hesaplanmış ve hesap adımları detaylı olarak sunulmuştur.

$$\left. \begin{aligned} \rho_{DYK-1} &= \frac{2081,9}{2081,9 - 1209,6} = 2,39 \\ \rho_{DYK-2} &= \frac{2076,3}{2076,3 - 1208,1} = 2,39 \end{aligned} \right\} \rho_{DKY} = 2,39$$

$$\left. \begin{aligned} S_{emme-1} &= \frac{2081,9 - 1962,1}{1962,1} \times 100 = \% 6,106 \\ S_{emme-2} &= \frac{2076,3 - 1959,7}{1959,7} \times 100 = \% 5,950 \end{aligned} \right\} S_{emme} = \% 6,03$$

4.3. İnce Normal Agregada ve Geri Dönüşüm Agregalarında Su Emme Oranı ve Özgül Ağırlık Deneyi

İnce agregaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde iri agregaya göre farklı bir yol izlenmektedir. Sudaki ağırlığının belirlenmesinde iri agregada sepet kullanılırken ince agregada malzemenin inceliğinden dolayı piknometre kullanılması uygun görülen yöntemdir. Deneyin yapılmasına dair detaylar Yöntem kısmında açıklayıcı olarak anlatılmış olup bu bölümde elde edilen bulgular sunulmuştur.

Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’ da sırasıyla ince normal agregaya ve ince geri dönüşümlü agregaya ait piknometre ağırlığı, piknometre + su ağırlığı, piknometre + agregaya ağırlığı, piknometre + su + agregaya ağırlığı ve agreganın kuru ağırlığı sunulmuştur.

Çizelge 4.5 İnce normal agreganın ağırlıkları

Simge	Açıklama	1.Deney	2.Deney
A	Piknometre Ağırlığı (gr)	792,70	792,70
B	Piknometre + Su Ağırlığı (gr)	2.001,50	2.001,50
C	Piknometre + Agregaya Ağırlığı (gr)	1.788,90	1.809,20
D	Piknometre + Su + Agregaya Ağırlığı (gr)	2.591,00	2.592,70
E	Agreganın Kuru Ağırlığı (gr)	909,50	907,10

Çizelge 4.6 İnce geri dönüşüm agreganın ağırlıkları

Simge	Açıklama	1.Deney	2.Deney
A	Piknometre Ağırlığı (gr)	794,6	794,6
B	Piknometre + Su Ağırlığı (gr)	1.989	1.989
C	Piknometre + Agregaya Ağırlığı (gr)	1.876,6	1.884,2
D	Piknometre + Su + Agregaya Ağırlığı (gr)	2.582,3	2.567,9
E	Agreganın Kuru Ağırlığı (gr)	931,8	946,9

İnce agregalara dair muhtelif işlemler sonucu elde edilen ağırlıklar özgül ağırlık ve su emme oranı için parametrik formüllerle hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara dair detaylar alt başlıklar halinde detaylı olarak sunulmuştur.

4.3.1. Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlığı(ρ_{DKY}) ve Su Emme Oranı (S_{emme})

Doygun kuru yüzey özgül ağırlığının (ρ_{DKY}) belirlenmesi ve su emme oranının (S_{emme}) tayini için hesaplamalarda TS 707 (1980)’den Bağntı 3 ve Bağntı 4 kullanılmıştır.

Bu bağıntılar kullanılarak *ince normal agregaların* doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları (ρ_{DKY}) ve su emme oranlarını (S_{emme}) hesaplanmıştır.

$$\rho_{DYK} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (3)$$

$$S_{emme} = \frac{(C-A)-E}{E} \times 100 \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \rho_{DYK-1} &= \frac{1788,9 - 792,7}{(2001,5 - 792,7) - (2591 - 1788,9)} = 2,45 \\ \rho_{DYK-2} &= \frac{1809,2 - 792,7}{(2001,5 - 792,7) - (2592,7 - 1809,2)} = 2,39 \end{aligned} \right\} \rho_{DKY} = 2,42$$

$$\left. \begin{aligned} S_{emme-1} &= \frac{(1788,9 - 792,7) - 909,5}{909,5} \times 100 = \%9,53 \\ S_{emme-2} &= \frac{(1809,2 - 792,7) - 907,1}{907,1} \times 100 = \%12 \end{aligned} \right\} S_{emme} = \%10,5$$

TS 707'den alınan *bağıntı 3 ve bağıntı 4* kullanılarak *ince geri dönüşüm agregaların* doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları (ρ_{DKY}) ve su emme oranlarını (S_{emme}) hesaplanmış ve hesap adımları detaylı olarak sunulmuştur.

$$\left. \begin{aligned} \rho_{DYK-1} &= \frac{1876,6 - 794,6}{(1989 - 794,6) - (2582,3 - 1876,6)} = 2,214 \\ \rho_{DYK-2} &= \frac{1884,2 - 794,6}{(1989 - 794,6) - (2567,9 - 1884,2)} = 2,134 \end{aligned} \right\} \rho_{DKY} = 2,174$$

$$\left. \begin{aligned} S_{emme-1} &= \frac{(1876,6 - 794,6) - 931,8}{931,8} \times 100 = \%16,119 \\ S_{emme-2} &= \frac{(1884,2 - 794,6) - 964,9}{964,9} \times 100 = \%12,924 \end{aligned} \right\} S_{emme} = \%14,522$$

Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.7' de *deneyde kullanılan agregaların özgül ağırlığı ve su emme oranı* bir bütün olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.7 Deneyde kullanılan agregaların özgül ağırlığı ve su emme oranı

Elekler	İnce GDA	İri GDA	İnce NA	İri NA
	0-4 mm	4-16 mm	0-4 mm	4-16 mm
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,17	2,39	2,42	2,63
Su Emme Oranı (%)	14,52	6,03	10,5	0,72

İri geri dönüşüm agregaların su emme oranı normal agregaların su emme oranına göre %5,31 fazla hesaplanmıştır. Bu durum İri GDA'ların daha boşluklu ve İri GDA'ların üzerine yapışan çimento harcından kaynaklanmaktadır. İnce geri dönüşüm agregaların su emme oranları normal agregalara göre %4,02 fazla hesaplanmıştır. Bu ince geri dönüşüm agregaların yapısında çimento tozu olduğunu göstermektedir.

4.4. Karışım Hesabı

Basınç dayanımı C25/30 olan geri dönüşüm agregası kullanılarak beton üretebilmek için hedeflenen karışım hesabı ile elde edilen oranlarla dökülen betonların basınç dayanımı daha düşük ve karışım suyu miktarı az çıkmıştır. Bunun sebebi geri dönüşüm agregaların normal agregalara göre hafif ve boşluklu yapıya sahip olmasıdır. Üretilecek betonun kıvamının yani işlenebilirliğinin uygunluğu açısından deneme yanılma yöntemi ile karışımın su miktarı düzeltilerek aşağıdaki karışım oranları elde edilmiştir.

Çizelge 4.8 GDA ile hedeflenen C25 beton sınıfı için 1m³ malzeme miktarı

Karışım Kodu	GDA İkama Oranı (%)	GDA (kg)		NA (kg)		S/Ç Oranı (%)	Çimento (kg/m ³)	DSM (kg/m ³)
		0.25-4 mm	4-8 mm	0.25-4 mm	4-8 mm			
NA	0	0	0	672	672	53	426	217
GDA+NA	30	0	202	672	470	53	426	229
GDA+NA	50	0	336	672	336	53	426	236
GDA+NA	70	0	470	672	202	53	426	244
GDA	100	672	672	0	0	53	426	225
Toplam		672	1.680	2.688	1.680		2.130	1.181

4.5. Beton Dayanımın Belirlenmesine Yönelik Ön Çalışmalar

4.5.1. C25/30 Dayanımı elde etmek için dökülen standart silindir basınç numuneleri

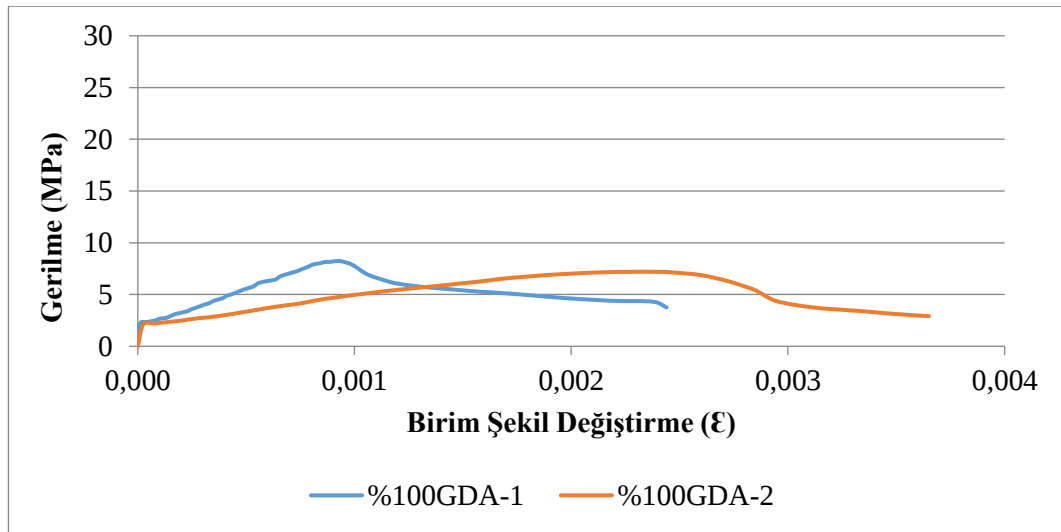
Yapılan ilk deneyde dökülen betonun hacmi 4 dm^3 olup, S/Ç oranı %53, su miktarı 226 kg/m^3 ve hava içeriği %2,20 dir. Geri dönüşüm agrega oranları %45 ince GDA 0,25-4 mm, %25 iri GDA 4-8mm ve %30 iri GDA 8-16mm'dir. Yükleme hızı $0,589 \text{ MPa/sn}$ alınmıştır. Numunelere ait 7 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.9' da sunulmuş ve Şekil 4.2' de numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.

Basınç ve aderans numunelerinin çekme dayanımları için harici deney yapılmamış olup TS500(2000)' de Bağntı 5' te sunulan formülasyon kullanılmıştır.

$$f_{ctk} = 0,35 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (5)$$

Çizelge 4.9 %100 GDA numunelerin 7 günlük basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
%100GDA-1	7,14	0,94
%100GDA-2	8,22	1,00
Ortalama	7,68	0,97



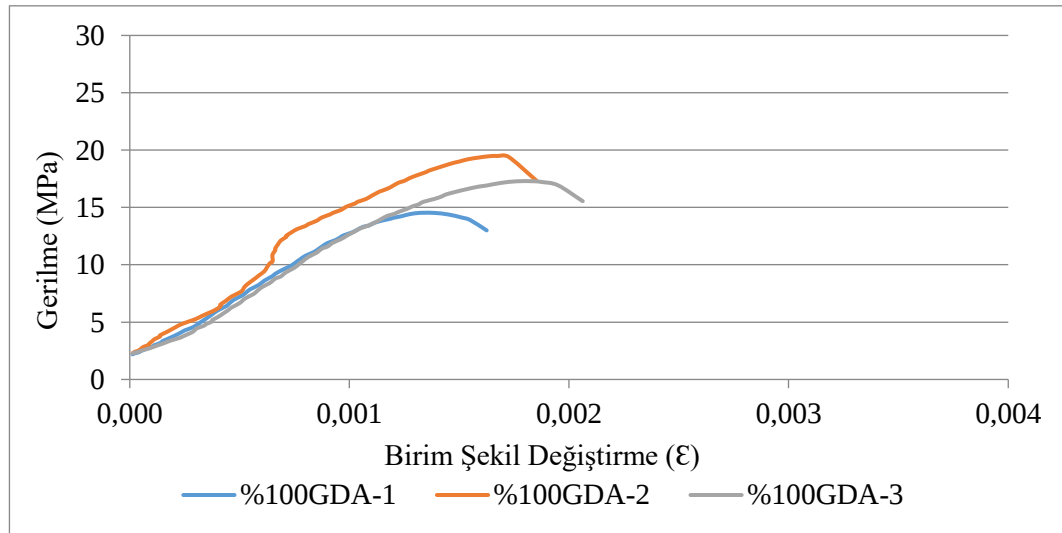
Şekil 4.2 %100 GDA Basınç numunelerinin 7 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

İlk denemede hedef basınç dayanımı C25 fakat dökülen numunelerin dayanımı 7,68MPa çıkmıştır. Bunu sebebi TS 802 (2016)'da önerilen çimento CEM I 42,5, kullanılan çimento CEM IV 31,5 aynı zamanda geri dönüşüm agreganın basınç dayanımını azda olsa olumsuz etkilemektedir.

Yapılan ikinci deneyde dökülen betonun hacmi 5 dm^3 olup, S/Ç oranı %50, su miktarı 226 kg/m^3 ve hava içeriği %2,20 dir. Geri dönüşüm agregası oranları %45 ince GDA 0,25-4mm, %25 iri GDA 4-8mm ve %30 iri GDA 8-16mm'dır. Yükleme hızı $0,589 \text{ MPa/sn}$ alınmıştır. İkinci grup umunelere ait 7 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.10' da sunulmuş ve Şekil 4.3' te numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.

Çizelge 4.10 %100 GDA numunelerin 7 günlük basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	F_{ctk}
%100GDA-1	14,10	1,31
%100GDA-2	19,49	1,55
%100GDA-3	17,31	1,46
Ortalama	16,97	1,44



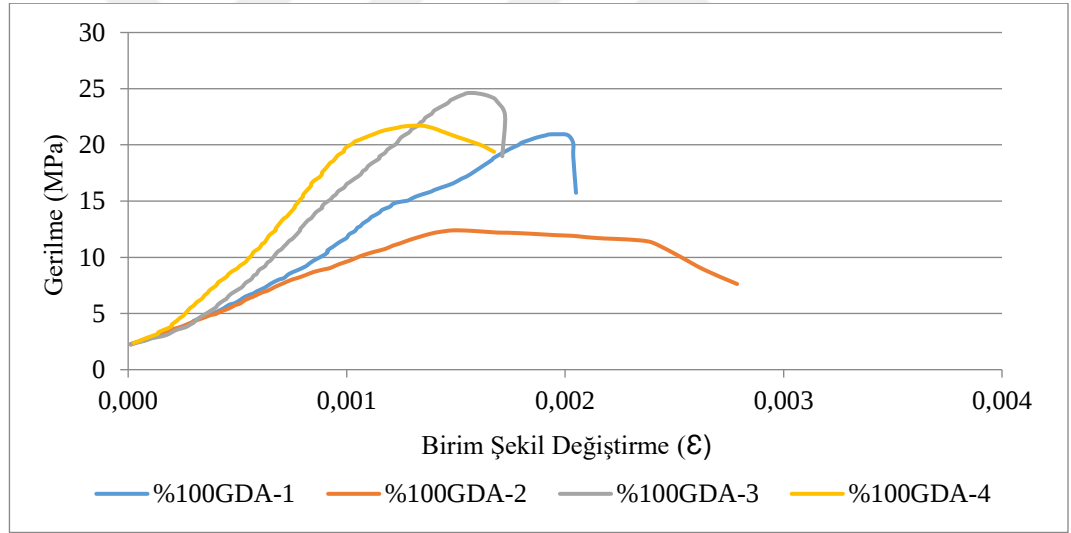
Şekil 4.3 %100 GDA basınç numunelerin 7 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

İkinci denemede çimento dozu etkisini araştırmak için, çimento dozunu artırıp C25 hedeflene betonların dayanımları 16,97MPa çıkmıştır.

Yapılan üçüncü deneyde dökülen betonun hacmi 7 dm^3 olup, S/Ç oranı %53, su miktarı 226 kg/m^3 ve hava içeriği %2,20 dir. Geri dönüşüm agregası oranları %50 ince GDA 0,25-4mm ve %50 iri GDA 4-16mm'dır. Yükleme hızı $0,589 \text{ MPa/sn}$ alınmıştır. Bu gruptaki numunelere ait 28 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.11' de sunulmuş ve Şekil 4.4' te numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.

Çizelge 4.11 %100 GDA numunelerin 28 günlük basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı MPa	F_{ctk}
%100GDA-1	20,98	1,60
%100GDA-2	12,40	1,23
%100GDA-3	24,63	1,74
%100GDA-4	21,72	1,63
Ortalama	19,93	1,55



Şekil 4.4 %100 GDA basınç numunelerinin 28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

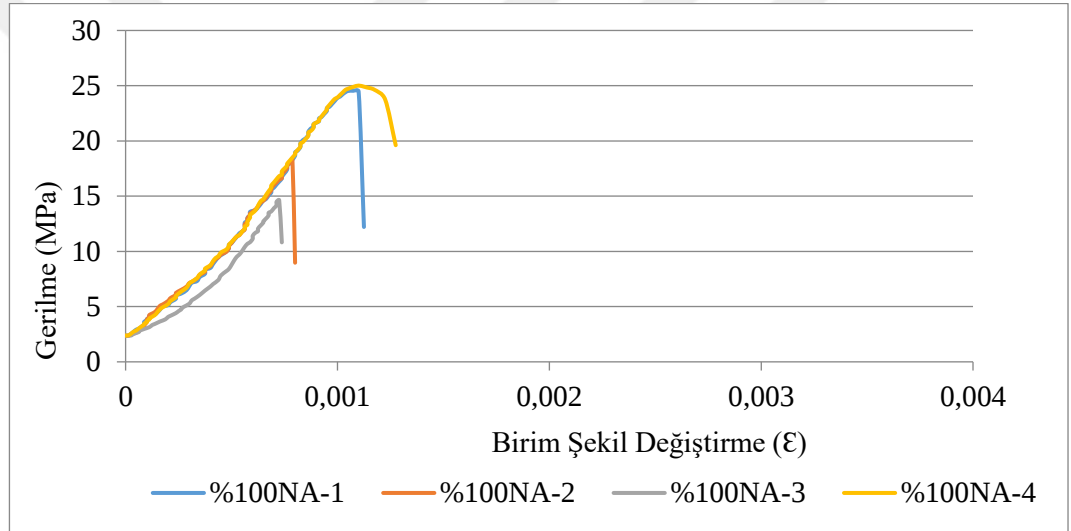
Üçüncü deneme de agregaların gardasyonu ile yanı sıra geri dönüşüm agregasının iri miktarını artırıp beton basınç dayanımını az bir miktar artırmaktadır.

Yapılan dördüncü deneyde dökülen betonun hacmi 7 dm^3 olup, Su/Ç oranı %53, su miktarı 226 kg/m^3 ve hava içeriği %2,20. Normal agregası oranları %50 ince NA 0,25-4mm ve %50 iri NA 4-16mm. Yükleme hızı $0,589 \text{ MPa/sn}$ alınmıştır. Bu gruptaki

numunelere ait 28 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.12’ de sunulmuş ve Şekil 4.5’ te numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.

Çizelge 4.12 %100 GDA numunelerin 28 günlük basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı MPa	F _{ctk}
%100NA-1	24,54	1,73
%100NA-2	18,34	1,50
%100NA-3	14,73	1,34
%100NA-4	25,02	1,75
Ortalama	20,66	1,58



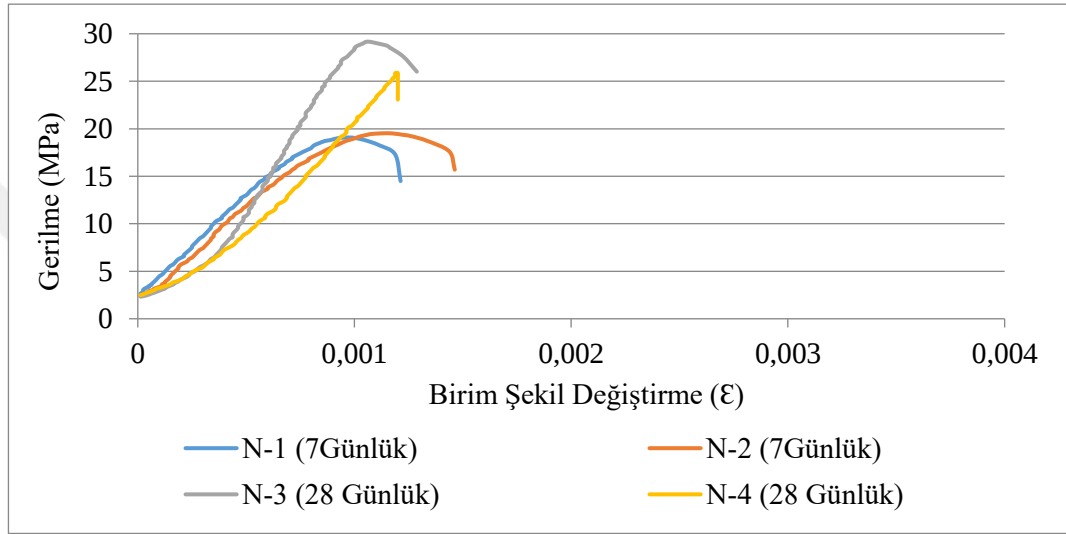
Şekil 4.5 %100 GDA basınç numunelerin 28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

Dördüncü denemede %100 normal agregra kullanılarak üçüncü denemeye benzer gradasyon ve S/Ç oranı kullanılarak yaklaşık aynı dayanımı elde edilmiştir. Fakat Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’in kırılma şekillerini kıyaslayınca geri dönüşüm agregra ile dökülen betonlar normal agregra ile dökülen betonlar daha sünek kırılmıştır.

Yapılan beşinci deneyde dökülen betonun hacmi 7 dm^3 olup, Su/Ç oranı %53, su miktarı 226 kg/m^3 ve hava içeriği %2.20. %70 geri dönüşüm agregra ve %30 normal agregra kullanılmıştır. Yükleme hızı $0,589 \text{ MPa/sn}$ alınmıştır. Bu gruptaki numunelere ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.13’ de sunulmuş ve Şekil 4.6’ da numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.

Çizelge 4.13 %70 GDA numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

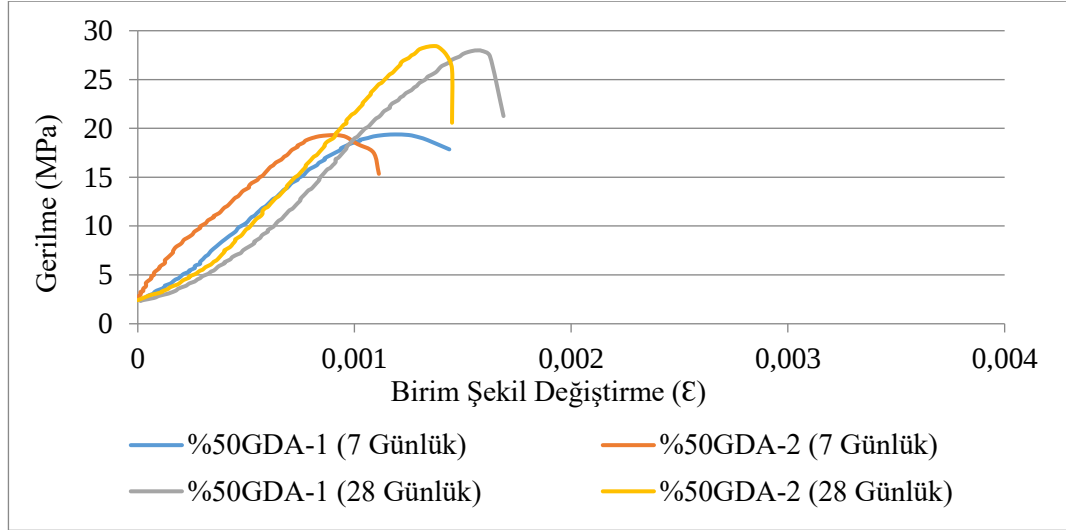
Numune Kodu	Basınç Dayanımı MPa	F_{ctk}
%70GDA-1 (7 Günlük)	19,08	1,53
%70GDA-2 (7 Günlük)	19,53	1,55
%70GDA-3 (28 Günlük)	29,28	1,89
%70GDA-4 (28 Günlük)	28,86	1,88

**Şekil 4.6** %70 GDA basınç numunelerinin 7-28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

Yapılan altıncı deneyde dökülen betonun hacmi 7 dm^3 olup, S/Ç oranı %53, su miktarı 226 kg/m^3 ve hava içeriği %2,20 dir. %50 geri dönüşüm agrega ve %50 normal agrega kullanılmıştır. Yükleme hızı $0,589 \text{ MPa/sn}$ alınmıştır. Bu gruptaki numunelere ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.14’ te sunulmuş ve Şekil 4.7’ de numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.

Çizelge 4.14 %50 GDA numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı MPa	F_{ctk}
%50 GDA_1 (7 Günlük)	19,38	1,54
%50 GDA_2 (7 Günlük)	19,32	1,54
%50 GDA_3 (28 Günlük)	27,98	1,85
%50 GDA_4 (28 Günlük)	28,43	1,87

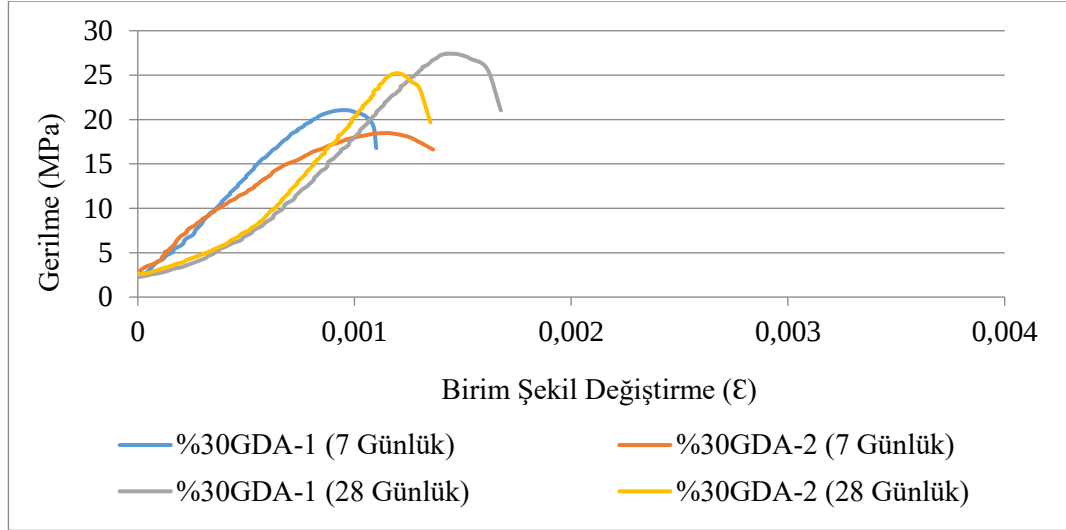


Şekil 4.7 %50 GDA basınç numunelerinin 7 ve 28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

Yapılan yedinci deneyde dökülen betonun hacmi 7 dm^3 olup, Su/Ç oranı %53, su miktarı 226 kg/m^3 ve hava içeriği %2,20 dir. %30 geri dönüşüm agregası ve %70 normal agregası kullanılmıştır. Yükleme hızı $0,589 \text{ MPa/sn}$ alınmıştır. Bu gruptaki numunelere ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.15’ te sunulmuş ve Şekil 4.7’ de numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.

Çizelge 4.15 %30 GDA numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı MPa	F_{ctk}
%30GDA-1 (7 Günlük)	21,05	1,61
%30GDA-2 (7 Günlük)	18,47	1,50
%30GDA-1 (28 Günlük)	27,43	1,83
%30GDA-2 (28 Günlük)	25,22	1,76



Şekil 4.8 %30 GDA basınç numunelerinin 7 ve 28 günlük gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

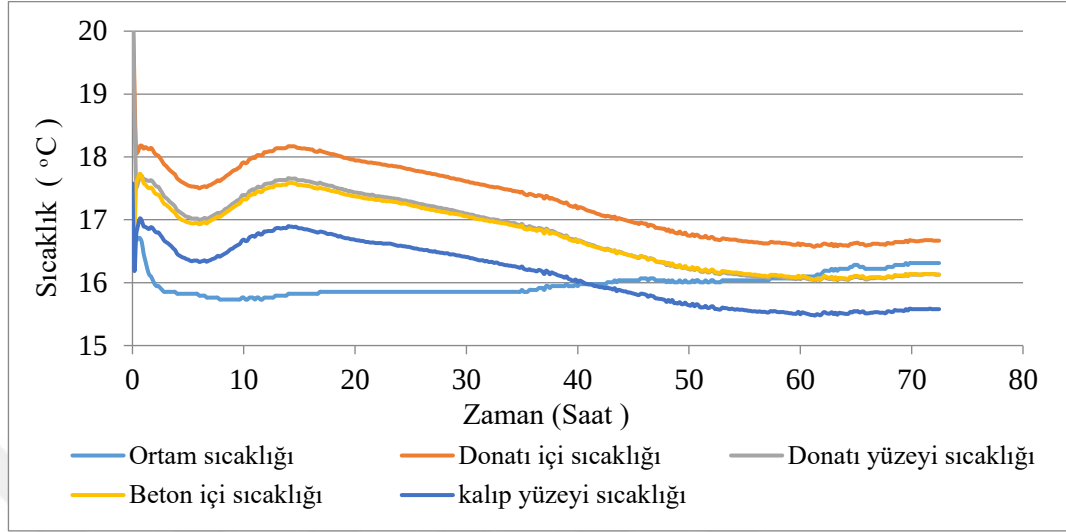
4.6. Hedef Numuneler ile İlgili Sonuçlar

Yapılan bu deneylerin her birinde dökülen betonun hacmi 40 dm^3 olup, sırası ile %0, %30, %50, %70 ve %100 geri dönüşüm agregası kullanılarak toplam beş grup beton dökülmüştür. Her grupta 6 Standart silindir basınç numunesi ve 6 aderans numunesi hazırlanmıştır. Her grup beton için döküm anındaki sıcaklığı ve 72 saatlik sıcaklıkları ölçülmüştür.

4.6.1. %100 Normal agregası ile üretilen aderans numuneleri

%100NA ile üretilen aderans numunelerin 72 saat sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.9'da sunulmuştur. Döküm başlangıcında taze betonun mikser içindeki sıcaklığı yaklaşık $18,3^\circ\text{C}$ ölçülmüş ve taze beton kalıba yerleştirme esnasında sıcaklığı $17,55^\circ\text{C}$ 'ye düşmüştür. Fakat dökümden yaklaşık 2 saat sonra ortam sıcaklığın düşüşü ile tüm noktadaki sıcaklıklar orantılı olarak düşmektedir. Şekil 4.9 incelendiğinde dökümden 5 saat sonra çimento ve su reaksiyona girerek hidrasyon ısısı sebebi ile sıcaklıklar tüm noktalarda orantılı olarak artmaktadır. Bu duruma bakıldığında ortam sıcaklığı hem beton hem de donatı sıcaklığını etkilemektedir bundan dolayı ortam sıcaklığı beton ve donatı arasındaki aderansı etkilemektedir. 72 saat sıcaklık ölçümü boyunca tüm noktalarda

sıcaklık 15°C' ye düşmemektedir. 50 saat sonra tüm noktaların sıcaklıkları sabit devam etmektedir.

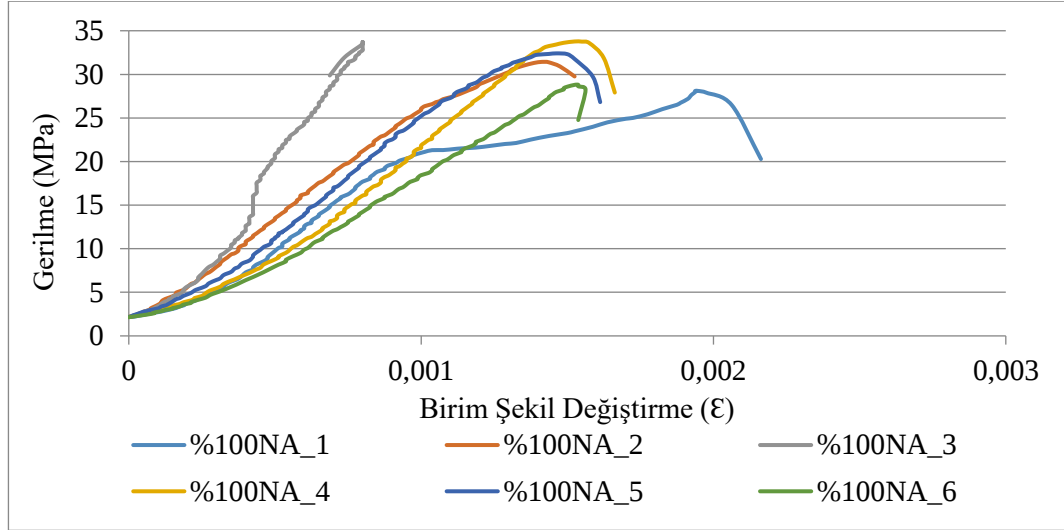


Şekil 4.9 %100 NA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri

Yapılan birinci grup deneyin basınç dayanımını belirlemek amacı ile 6 standart silindir numunesi alınmıştır. Tek eksenli basınç deneylerde yükleme hız 0.589 MPa/sn olacak şekilde basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Silindir numunelerin basınç ve çekme dayanımları Çizelge 4.16' da gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri aşağıda verilmiştir.

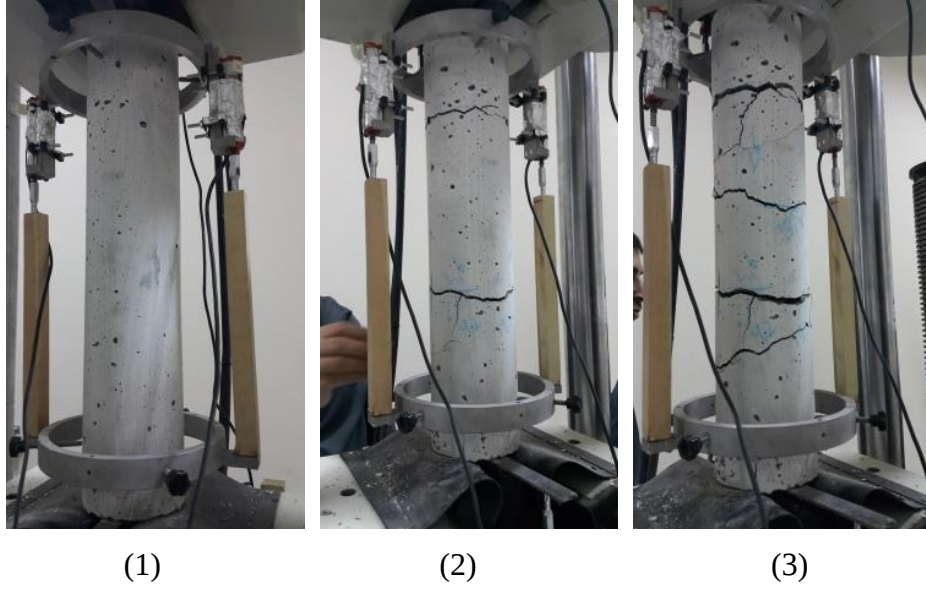
Çizelge 4.16 %100 normal agrega ile üretilen numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
%100NA_1	28,10	1,86
%100NA_2	31,44	1,96
%100NA_3	33,71	2,03
%100NA_4	33,77	2,03
%100NA_5	32,41	1,99
%100NA_6	28,80	1,88
Ortalama	31,37	1,96



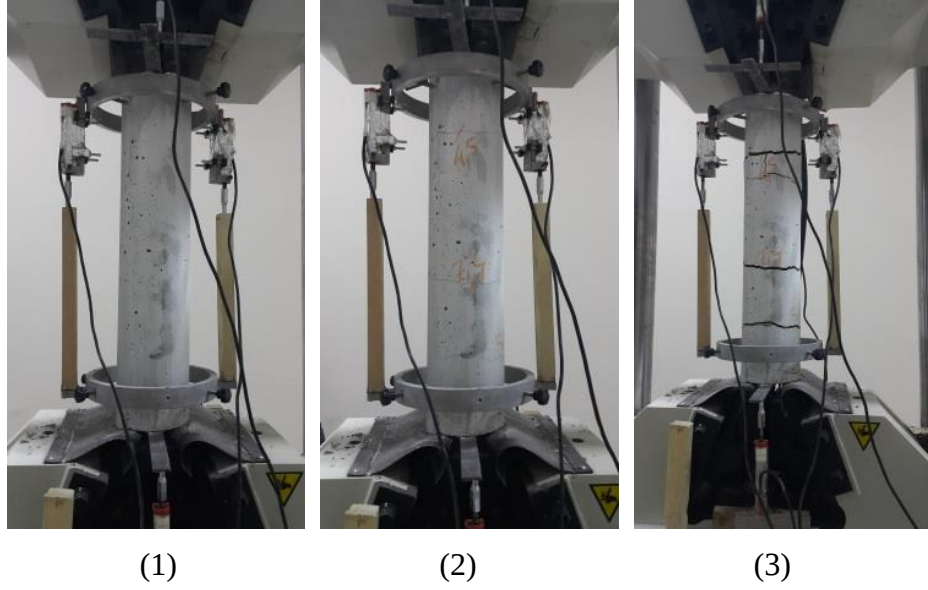
Şekil 4.10 %100 NA basınç numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

%100 NA-1 aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49 cm ve donatı boyu 52,7 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 179$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak yatay beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 4 yatay çatlak ile betonu 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 10 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 545$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 532 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



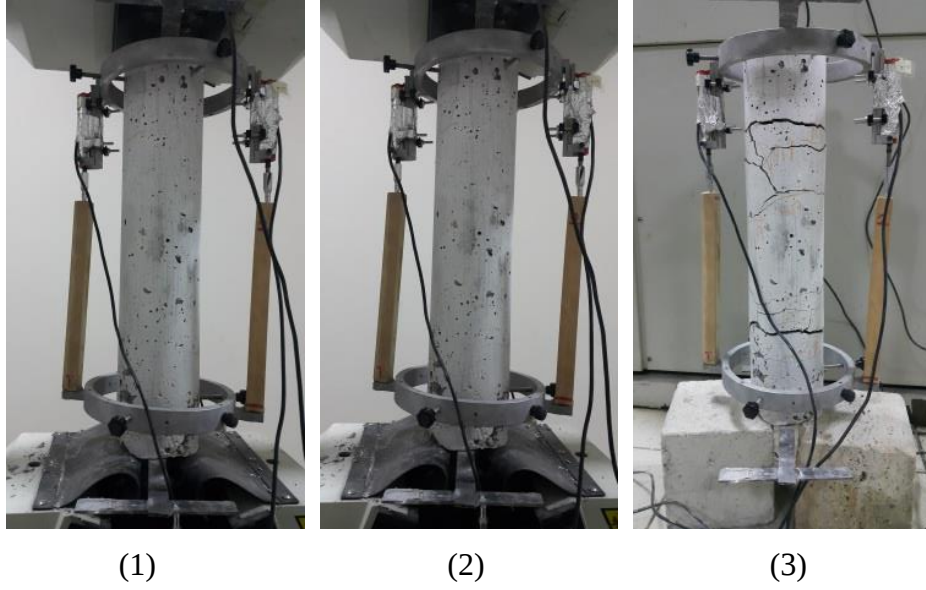
Şekil 4.11 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görüntüleri.

%100NA-2 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,5 cm ve donatı boyu 54 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 87$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak yatay beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 4 yatay çatlak ile betonu 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 10 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 539$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 498 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



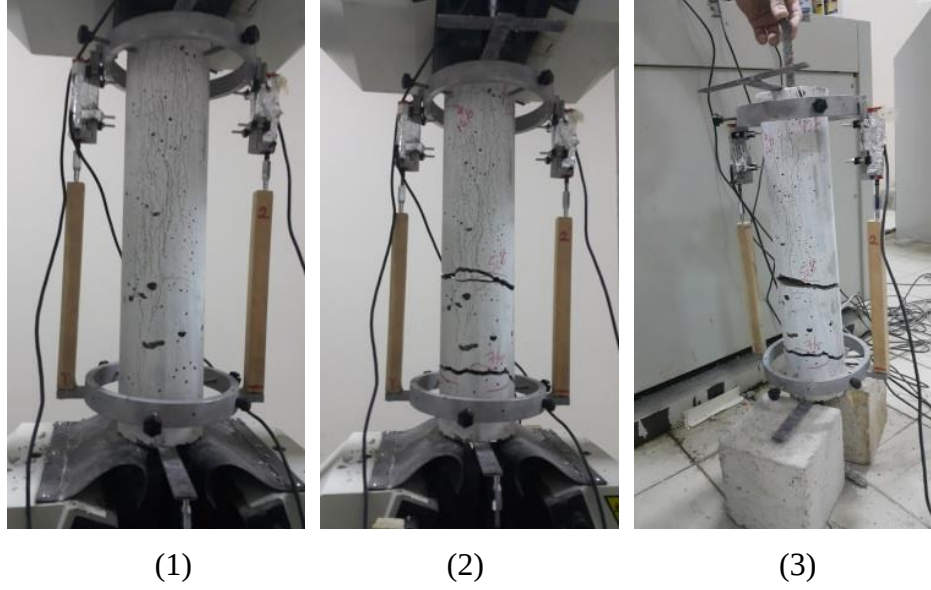
Şekil 4.12 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görüntüleri.

%100NA-3 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,5 cm ve donatı boyu 53,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 171$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak yatay beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 531$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 524 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



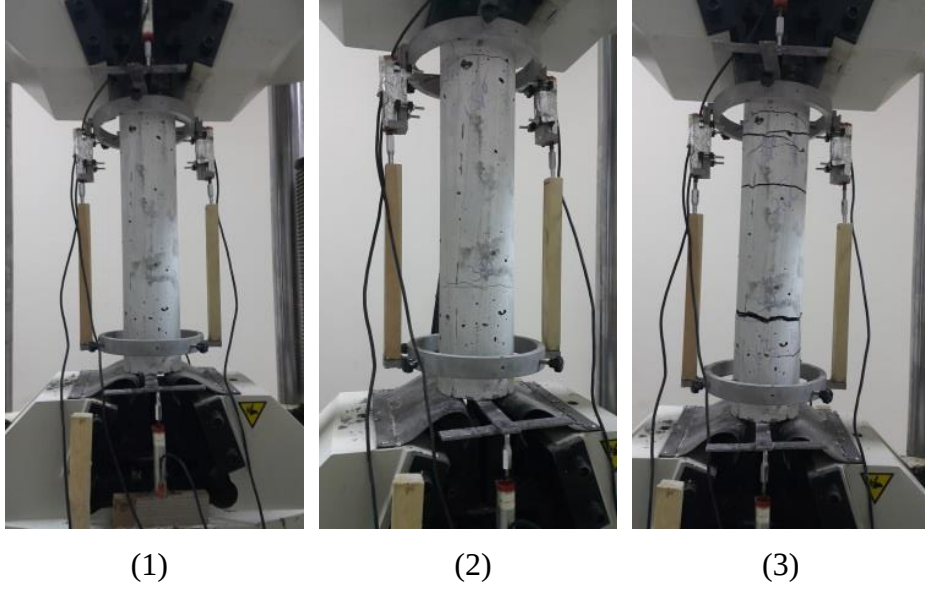
Şekil 4.13 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görüntüleri.

%100NA-4 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 48,5 cm ve donatı boyu 53 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 177$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şekilde betonun yaklaşık orta kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 2 yatay çatlak ile betonu 3 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 16 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 545$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 509 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.14' de gösterilmiştir.



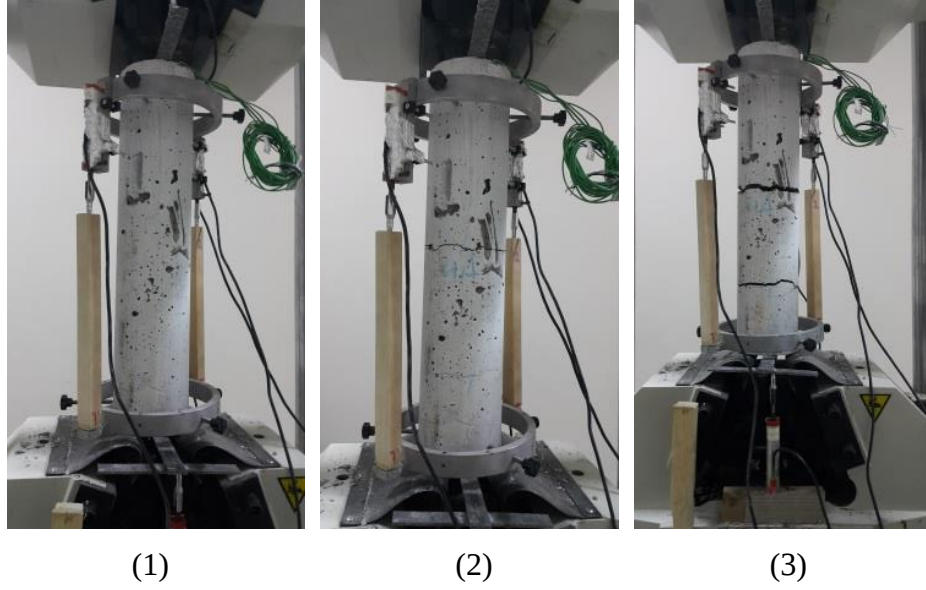
Şekil 4.14 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görüntüleri.

%100NA-5 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49 cm ve donatı boyu 53,9 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 172$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şekilde betonun orta kısmının biraz aşağıda oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 526$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 520 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.15' de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görüntüleri.

%100NA-6 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49 cm ve donatı boyu 540 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 131$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şekilde betonun tam orta kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 2 yatay çatlak ile betonu 3 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 16 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 550$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 509 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.16' da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 (1) %100NA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100NA numunenin aderans deneyi sırası, (3) %100NA numunenin aderans deneyi son aşaması görünüşleri.

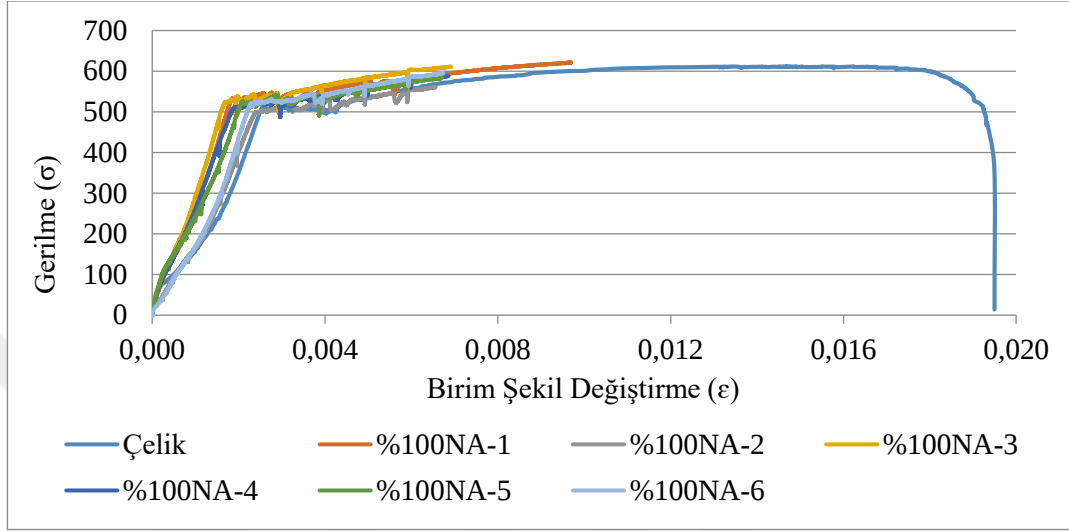
Aderans deneyleri ile ilgili deney sonuçları toplu olarak Çizelge 4.17’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; %100NA’lı aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlağın hangi çelik gerilmesi seviyesinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Çizelge 4.17 Aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklardaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme.

Numune	Deplasman mm	Çelik Gerilmesi MPa	Çelik Birim Şekil Değiştirme	Beton Birim Şekil Değiştirme	Aderans Gerilmesi MPa	Toplam Birim Slip
NA-1	3,9	197,14	0,00099	0,000184	1,41	0,000011
NA-2	2,5	78,42	0,00035	0,000001	0,55	0,000003
NA-3	3,0	170,55	0,00085	0,000040	1,21	0,000050
NA-4	3,4	176,63	0,00088	0,000001	1,27	0,000077
NA-5	3,4	171,90	0,00086	0,000143	1,23	0,000006
NA-6	4,1	130,98	0,00065	0,000026	0,94	0,000094

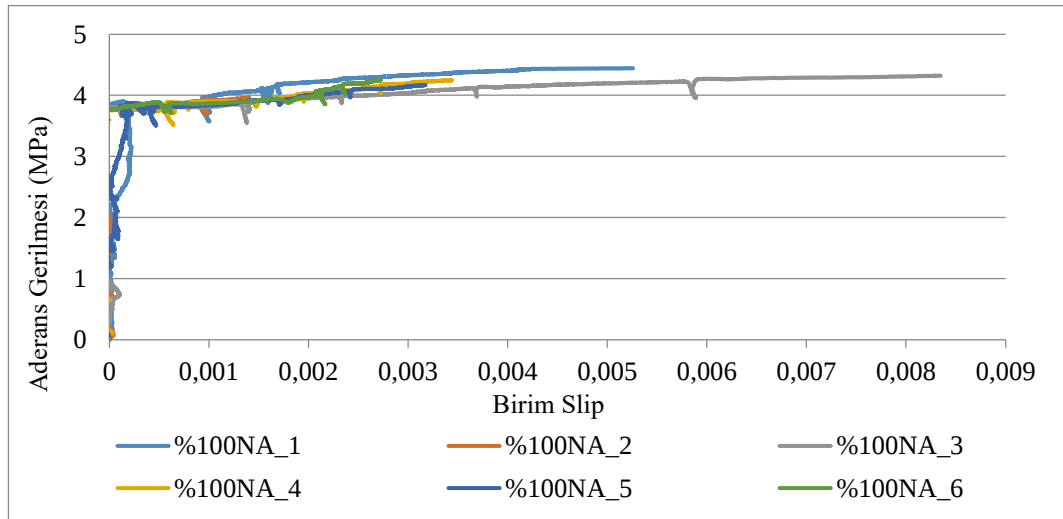
%100NA’lı aderans numunesi Şekil 4.17’ da görüldüğü gibi çelik donatısına yakın eğimli olmadığı, çeliğe göre aynı akma gerilmesinde daha az şekil değiştirmeye uğradığı gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre %100NA’lı aderans numunesi 3,9 mm şekil değiştirmede ilk çatlağın oluşumu; beton ve donatı arasında ki aderansın iyi

olduğunu ve gerçek çelik gerilmesine göre aynı gerilmede daha az şekil değiştirmeye uğradığı gözlemlenmiştir. Numunelerin iç yapısı incelenerek donatı çevresinde oluşan ama yüzeye çıkmayan kılcal çatlak sayısının belirlenmesi davranışın daha teknik olarak incelenmesine olanak sağlayacağı düşünüldüğü için bu çalışma da ayrıca gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.17 %100 NA aderans numunelerin çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

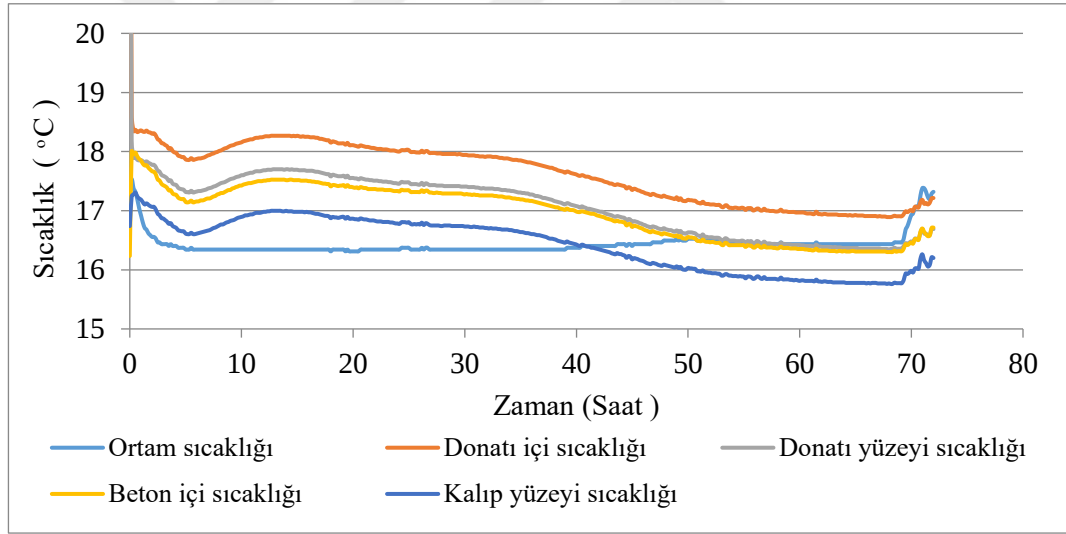
%100NA'lı numunenin aderans gerilmesi-birim slip diyagramı Şekil 4.18' de sunulmuştur. Tüm aderans numunelerin beton boyu 50 cm olarak imal edilmiştir. Fakat beton boylarında deney esnasında ± 1 cm farklılıklar tespit edilmiştir. Bu sebepten aderans numunelerin uçlerinde oluşan toplam slipin ölçülen beton boyuna orantı yaparak değerlendirme yapılmıştır. Böylece diyagram gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır.



Şekil 4.18 %100 NA aderans numunelerin aderans gerilmesi-birim slip eğrileri

4.6.2. %30 Geri dönüşüm agregasıyla üretilen aderans numuneleri

%30GDA ile üretilen aderans numunelerin 72 saat sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.19'da sunulmuştur. Döküm başlangıcında taze betonun mikser içindeki sıcaklığı yaklaşık 18 °C, taze beton kalıba yerleştirme esnasında sıcaklığı 17,2 °C'ye düşmüştür. Fakat dökümden yaklaşık 9 saat sonra ortam sıcaklığın düşüşü ile tüm noktalardaki sıcaklıklar orantılı olarak düşmektedir. Şekil 4.19 incelendiğinde dökümden 10 saat sonra çimento ve su reaksiyona girerek hidrasyon ısısı sebebi ile sıcaklıklar tüm noktalarda orantılı olarak artmaktadır. Bu duruma bakıldığında ortam sıcaklığı hem beton hem de donatı sıcaklığını etkilemektedir bundan dolayı ortam sıcaklığı beton ve donatı arasındaki aderansı etkilemektedir. 72 saat sıcaklık ölçümü boyunca tüm noktalarda sıcaklık 15°C'ye düşmemektedir. 10 saat sonrasında tüm noktaların sıcaklıkları sabit devam etmektedir.

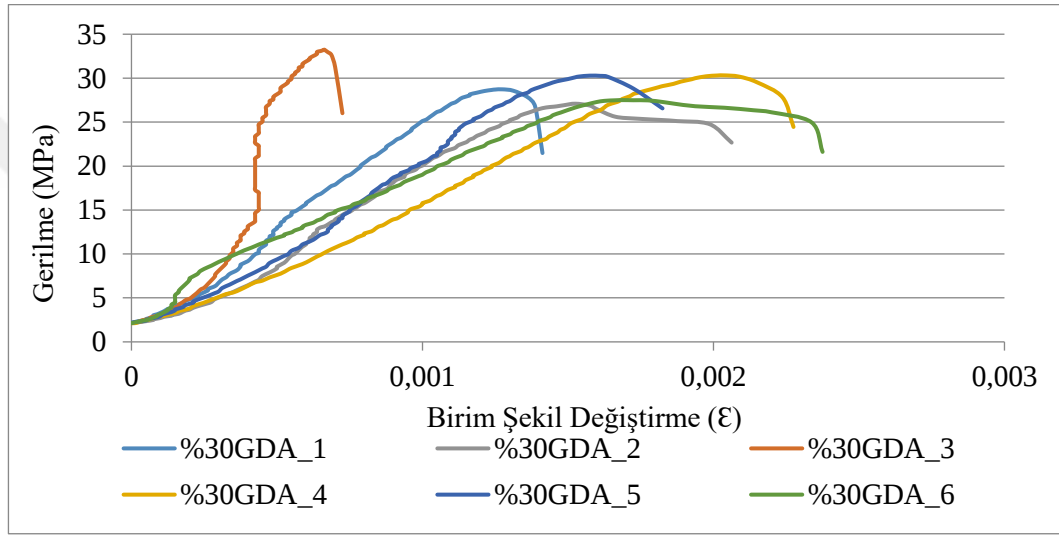


Şekil 4.19 %30GDA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri

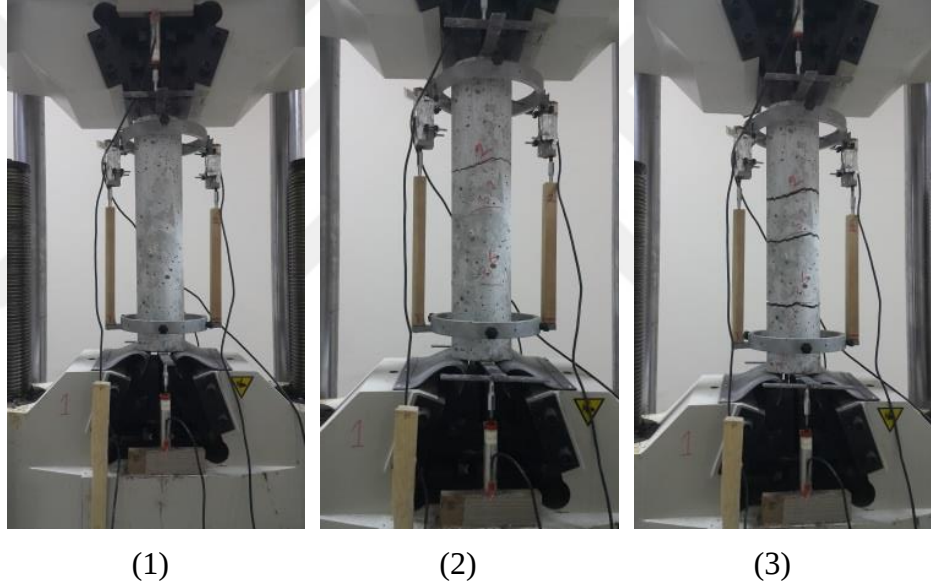
Yapılan birinci grup deneyin basınç dayanımını belirlemek amacı ile 6 standart silindir numunesi alınmıştır. Tek eksenli basınç deneylerde yükleme hız 0.589 MPa/sn olacak şekilde basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Silindir numunelerin basınç ve çekme dayanımları Çizelge 4.18'de gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.18 %30 Geri dönüşüm agregası ile üretilen numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
%30GDA_1	28,73	1,88
%30GDA_2	33,25	2,02
%30GDA_3	27,10	1,82
%30GDA_4	30,32	1,93
%30GDA_5	30,29	1,93
%30GDA_6	27,51	1,84
Ortalama	29,53	1,9

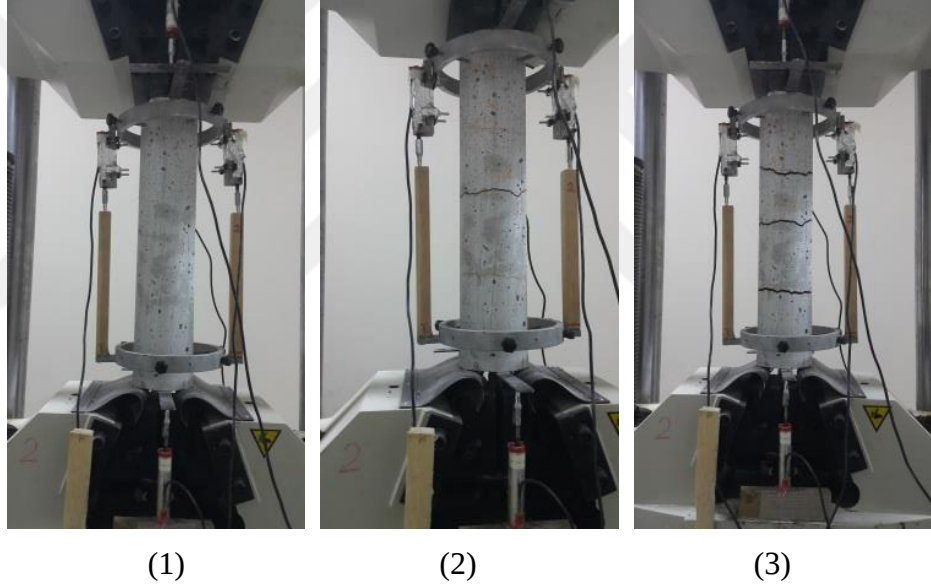
**Şekil 4.20** %30 GDA basınç numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

%30GDA-1 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,7 cm ve donatı boyu 54,1 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 156$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 531$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 515 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



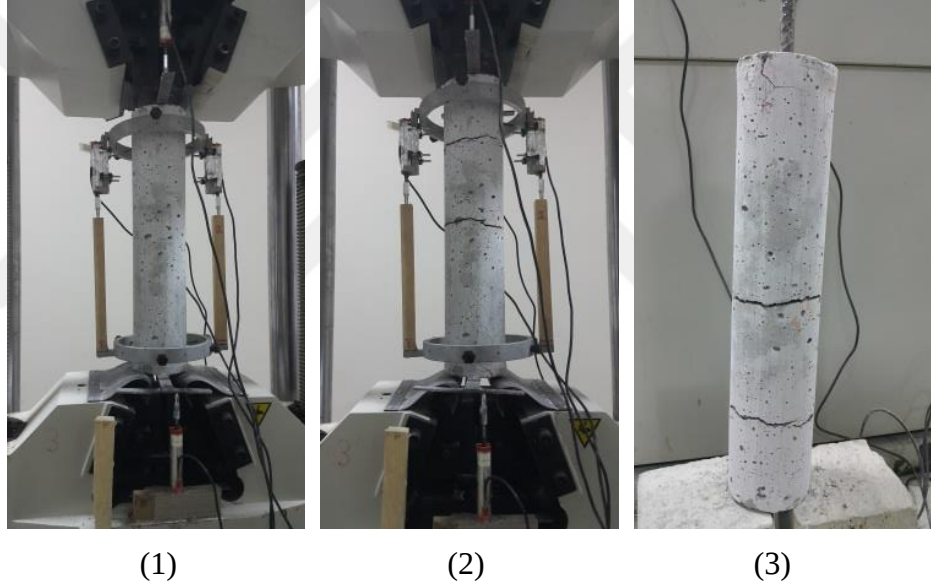
Şekil 4.21 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%30GDA-2 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,5 cm ve donatı boyu 54,6 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 171$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun tam ortasında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 534$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 523 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil-4.22'de gösterilmiştir.



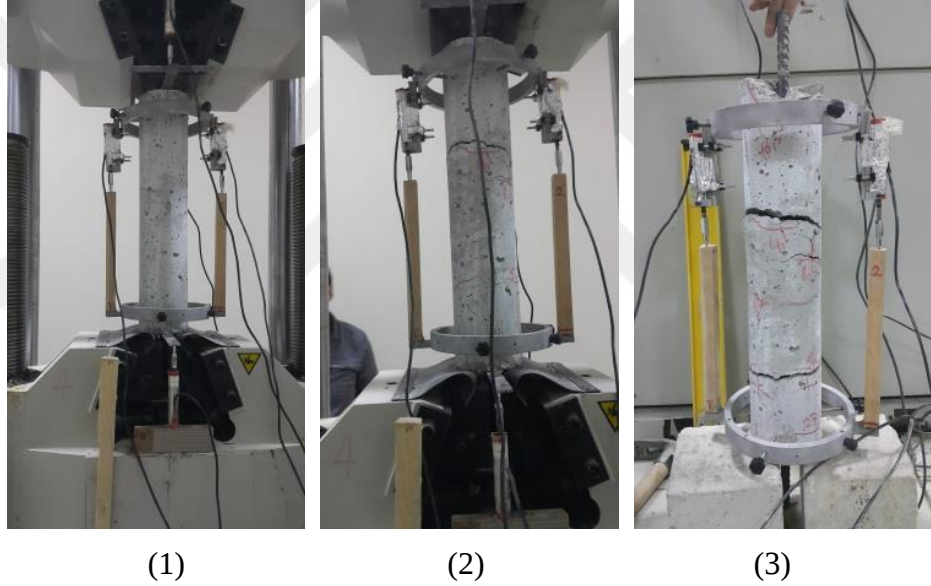
Şekil 4.22 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%30GDA-3 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,4 cm ve donatı boyu 55 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 168$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun tam ortasında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 2 yatay çatlak ile betonu 3 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 16 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 527$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 526 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.23'de gösterilmiştir.



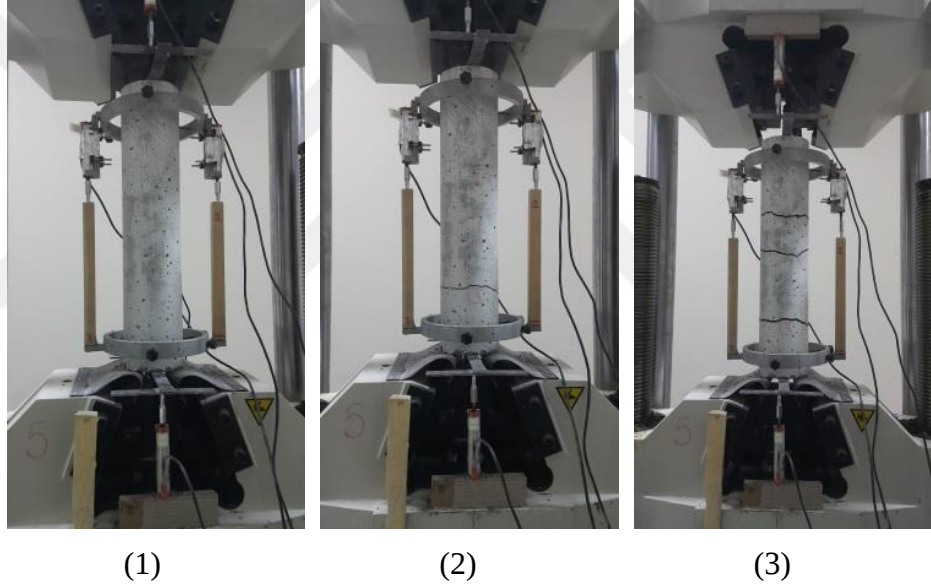
Şekil 4.23 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%30GDA-4 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,5 cm ve donatı boyu 53,1 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 128$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 2 yatay çatlak ile betonu 3 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 16 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 497$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 493 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



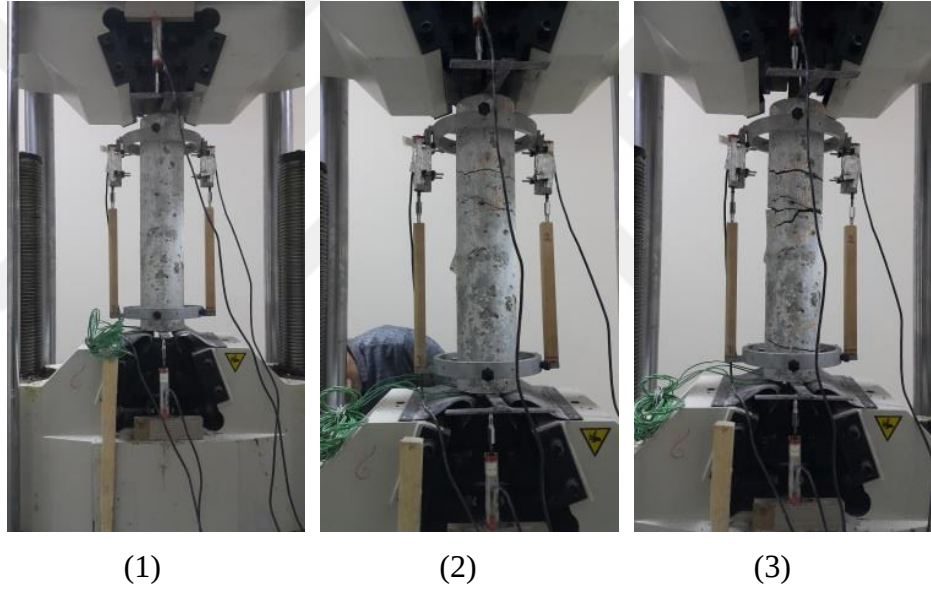
Şekil 4.24 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%30GDA-5 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,8 cm ve donatı boyu 54,6 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 110$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun alt kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 534$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 484 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%30GDA-6 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,9 cm ve donatı boyu 54,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 81$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun yaklaşık orta kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 495$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 495 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.26'de gösterilmiştir.



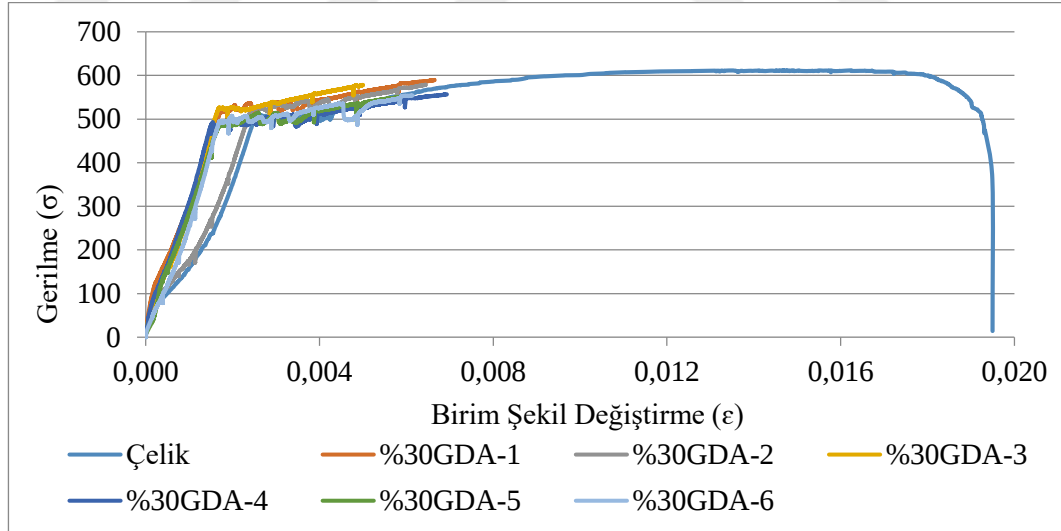
Şekil 4.26 (1) %30GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %30GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %30GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

Aderans deneyleri ile ilgili deney sonuçları Çizelge 4.19'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; %30GDA'lı aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlağın hangi çelik gerilmesi seviyesinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Çizelge 4.19 %30 GDA aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklarındaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme

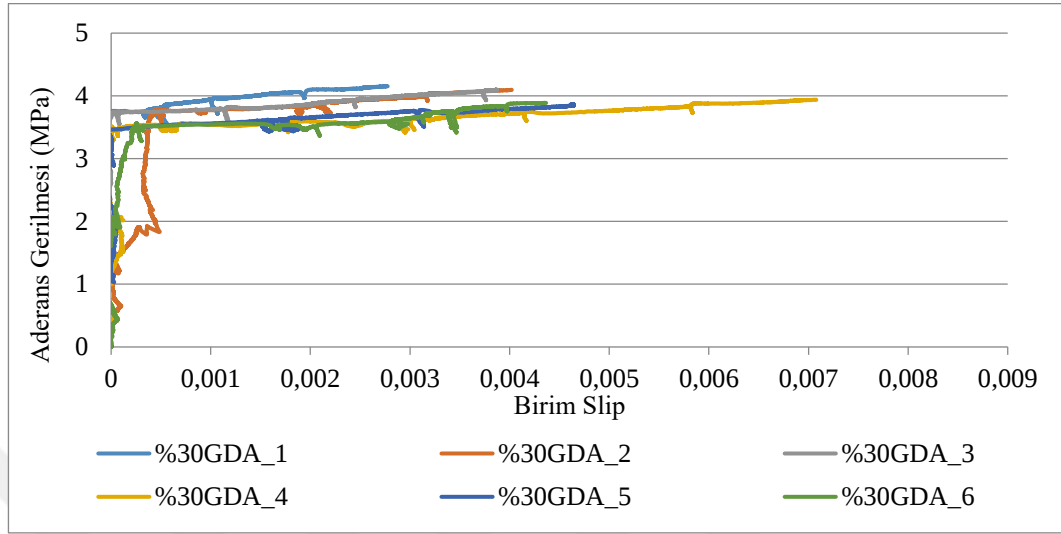
Numune	Deplasman (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değiştirme	Beton Birim Şekil Değiştirme	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
%30GDA_1	2,0	156,25	0,00078	0,000001	1,10	0,000169
%30GDA_2	5,2	171,15	0,00086	0,000124	1,21	0,000020
%30GDA_3	3,1	168,25	0,00084	0,000005	1,19	0,000109
%30GDA_4	1,8	127,50	0,00064	0,000164	0,90	0,000032
%30GDA_5	1,8	109,57	0,00055	0,000119	0,77	0,000038
%30GDA_6	1,7	80,61	0,00040	0,000001	0,57	0,000028

%30GDA'lı aderans numunesi Şekil 4.27' da görüldüğü gibi çelik donatısına yakın eğimli olmadığı, çeliğe göre aynı akma gerilmesinde daha az şekil değiştirmeye uğradığı gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre %30GDA'lı aderans numunesi 2,5 mm şekil değiştirmede ilk çatlağın oluşumu; beton ve donatı arasında ki aderansın iyi olduğunu ve gerçek çelik gerilmesine yakın davranış göstermediği gözlemlenmiştir.

**Şekil 4.27** %30 GDA aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

%30GDA'lı numunenin aderans gerilmesi-birim slip diyagramı Şekil 4.28' de sunulmuştur. Tüm aderans numunelerin beton boyu 50 cm olarak imal edilmiştir. Fakat beton boylarında deney esnasında ± 1 cm farklılıklar tespit edilmiştir. Bu sebepten aderans

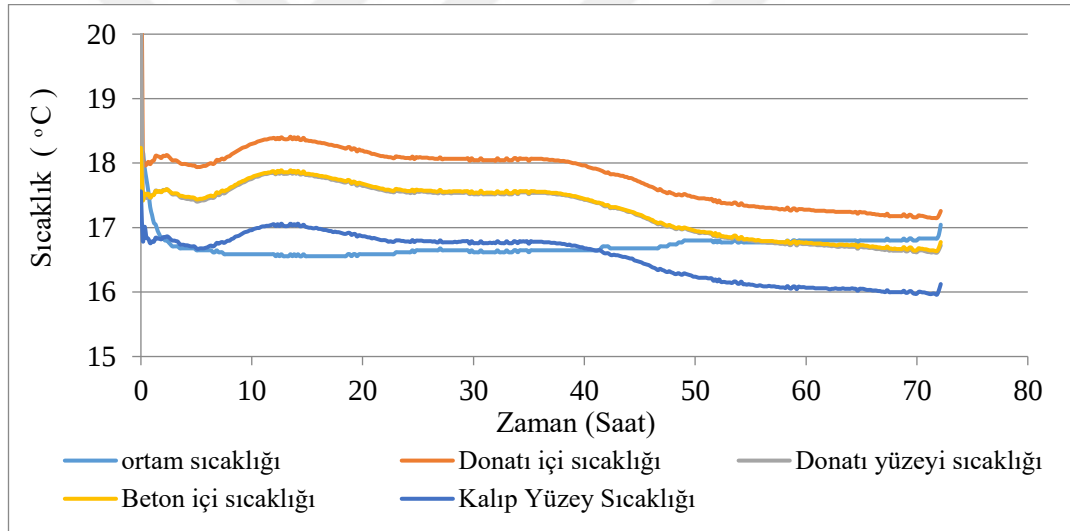
numunelerin uçlerinde oluşan toplam slipin ölçülen beton boyuna orantı yaparak değerlendirme yapılmıştır. Böylece diyagram gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır.



Şekil 4.28 %30 GDA Aderans numunesi aderans gerilmesi-birim slip eğrileri

4.6.3. %50 Geri dönüşüm agregasıyla üretilen aderans numuneleri

%50GDA ile üretilen aderans numunelerin 72 saat sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 26'da sunulmuştur. Döküm başlangıcında taze betonun mikser içindeki sıcaklığı yaklaşık 18,24 °C, taze beton kalıba yerleştirme esnasında sıcaklığı düşmüştür. Fakat dökümden yaklaşık 2 saat sonra ortam sıcaklığın düşüşü ile tüm noktalardaki sıcaklıklar orantılı olarak düşmektedir. Şekil 26 incelendiğinde dökümden 10 saat sonra çimento ve su reaksiyona girerek hidrasyon ısısı sebebi ile sıcaklıklar tüm noktalarda orantılı olarak artmaktadır. Bu duruma bakıldığında ortam sıcaklığı hem beton hem de donatı sıcaklığını etkilemektedir bundan dolayı ortam sıcaklığı beton ve donatı arasındaki aderansı etkilemektedir. 72 saat sıcaklık ölçümü boyunca tüm noktalarda sıcaklık 15°C'ye düşmemektedir. 20 saat sonrasında tüm noktaların sıcaklıkları sabit devam etmektedir.

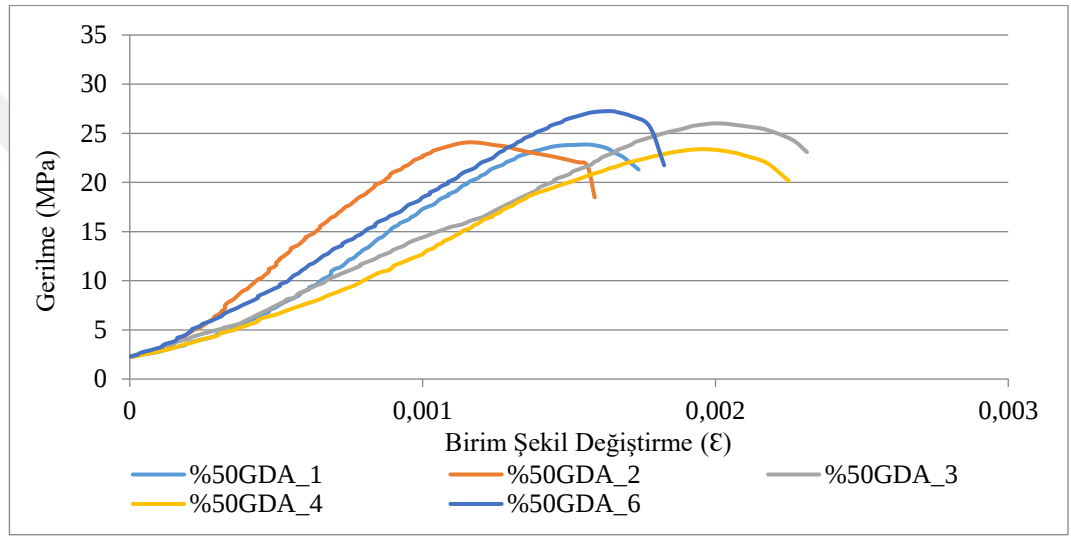


Şekil 4.29 %50GDA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri

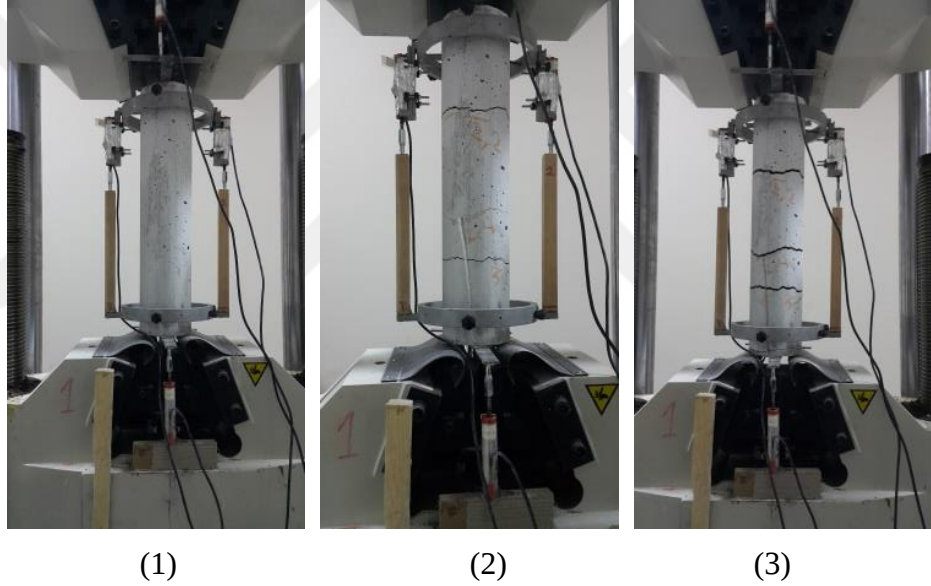
Yapılan birinci grup deneyin basınç dayanımını belirlemek amacı ile 6 standart silindir numunesi alınmıştır. Tek eksenli basınç deneylerde yükleme hız 0.589 MPa/sn olacak şekilde basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Silindir numunelerin basınç ve çekme dayanımları Çizelge 4.20'de gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.20 %50 Geri dönüşüm agregası ile üretilen numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
%50GDA_1	23,84	1,71
%50GDA_2	23,83	1,71
%50GDA_3	25,97	1,78
%50GDA_4	23,38	1,69
%50GDA_5	Hatalı Numune	Hatalı Numune
%50GDA_6	27,25	1,83
Ortalama	24,85	1,64

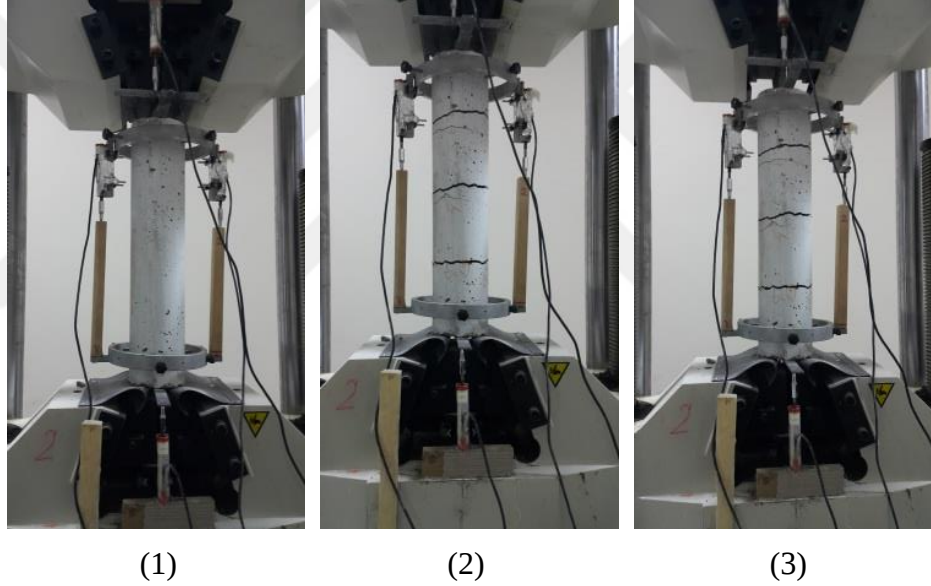
**Şekil 4.30** %50 GDA basınç numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

%50GDA-1 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,4 cm ve donatı boyu 54,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 150$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun yaklaşık üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 535$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 532 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



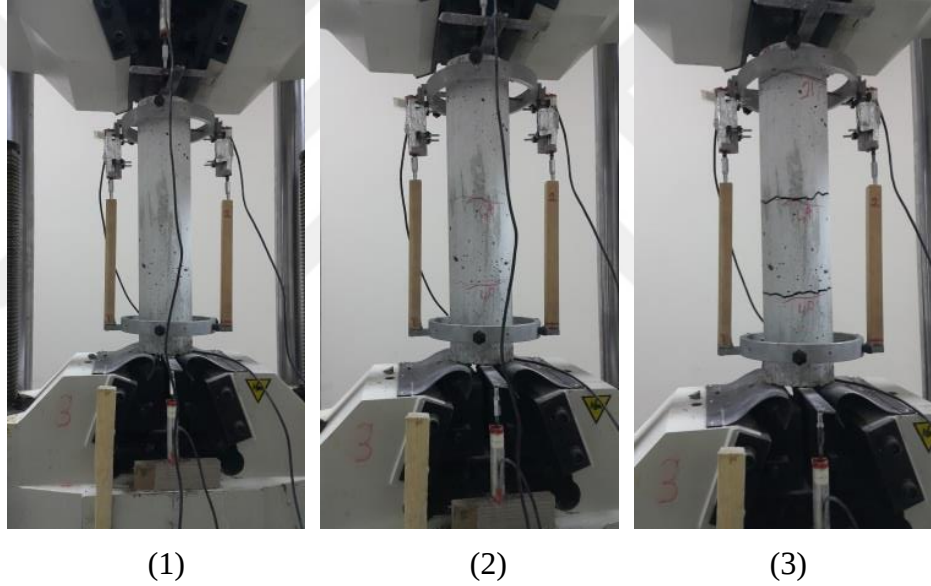
Şekil 4.31 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%50GDA-2 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49 cm ve donatı boyu 45,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 117$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 555$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 529 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



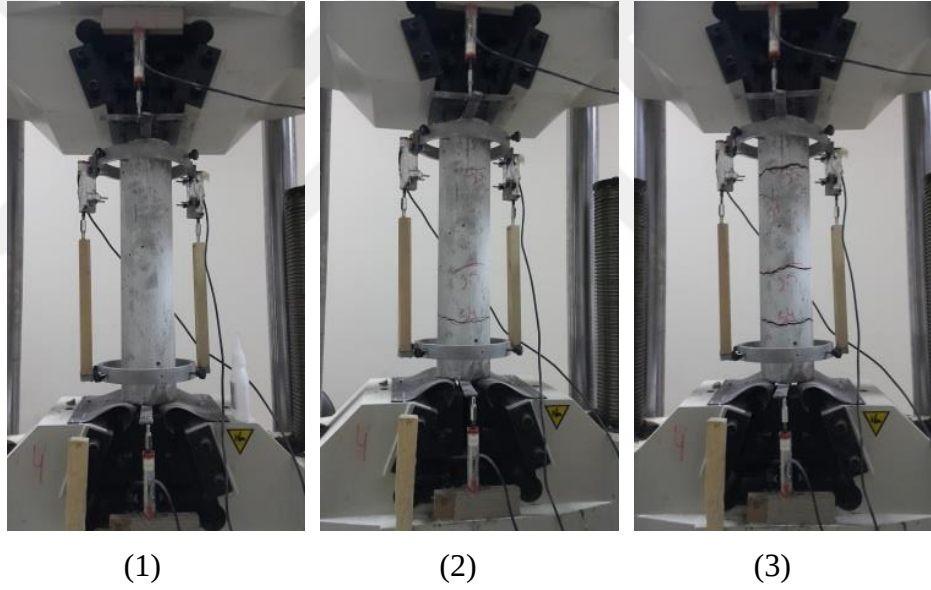
Şekil 4.32 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%50GDA-3 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,2 cm ve donatı boyu 54,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 131$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun alt kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 537$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 519 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



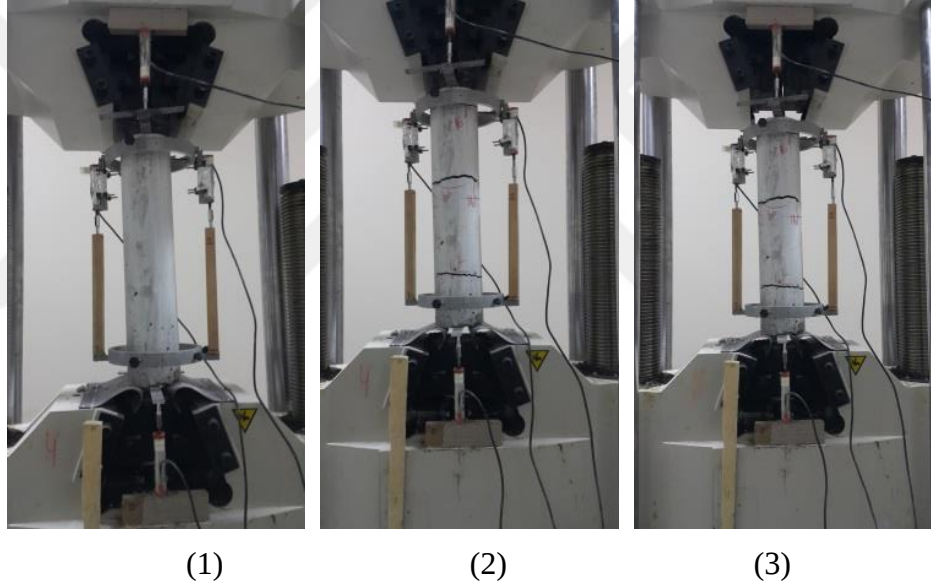
Şekil 4.33 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%50GDA-4 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 50,2 cm ve donatı boyu 54,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 181$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun yaklaşık orta kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 531$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar yatay ile 45° açı yapacak şekilde oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 518 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.34'de gösterilmiştir.



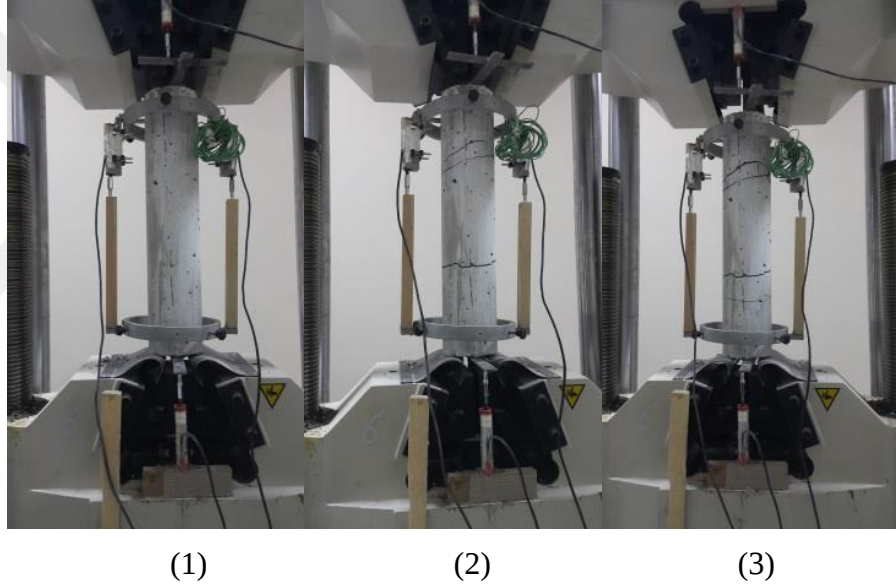
Şekil 4.34 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%50GDA-5 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,5 cm ve donatı boyu 53,6 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 152$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun tam ortasında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 553$ MPa'a geldiğinde aderans numunesinin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 524 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.35'de gösterilmiştir.



Şekil 4.35 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%50GDA_6 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 50,5 cm ve donatı boyu 55,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 106$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 4 yatay çatlak ile betonu 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 10 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 539$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 522 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



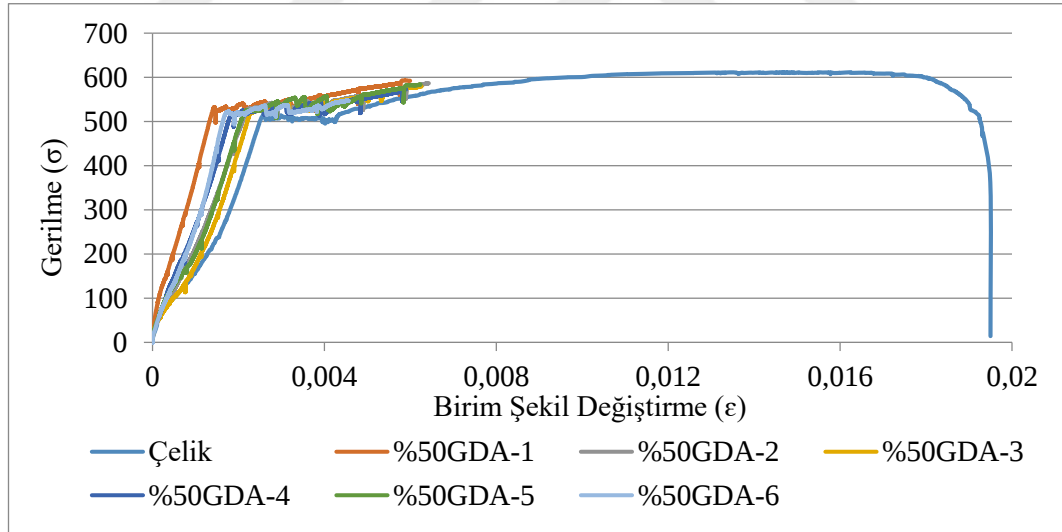
Şekil 4.36 (1) %50GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %50GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %50GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

Aderans deneyleri ile ilgili deney sonuçları Çizelge 4.21'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; %50GDA'lı aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlağın hangi çelik gerilmesi seviyesinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Çizelge 4.21 %50 GDA aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklarındaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme.

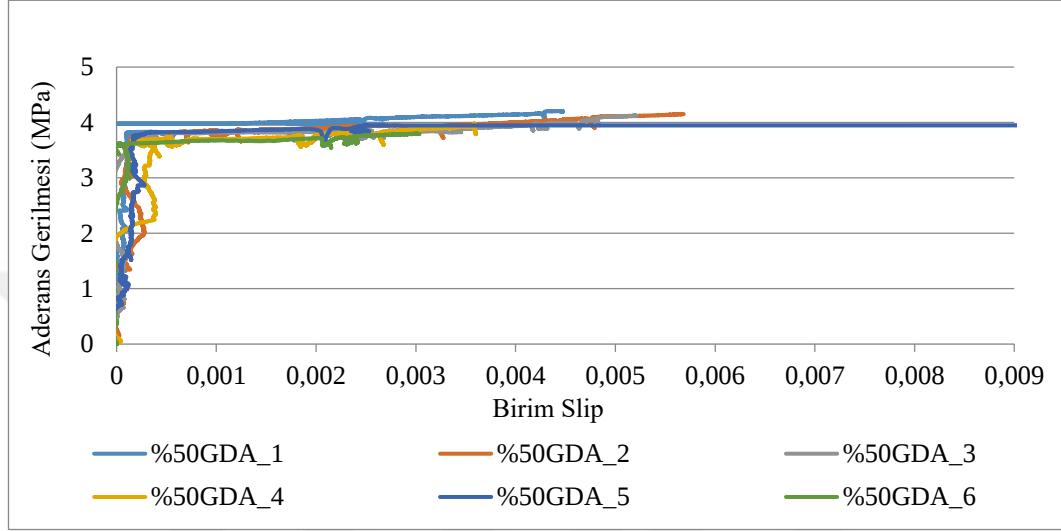
Numune	Deplasman (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değiştirme	Beton Birim Şekil Değiştirme	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
%50GDA_1	2,2	177,84	0,0009	0,000252	1,27	0,000013
%50GDA_2	2,7	117,73	0,00059	0,000031	0,83	0,000029
%50GDA_3	4,0	131,40	0,00066	0,000043	0,93	0,000036
%50GDA_4	3,5	181,31	0,00091	0,000035	1,26	0,000131
%50GDA_5	3,6	152,46	0,00076	0,000016	1,09	0,000064
%50GDA_6	2,0	106,16	0,00053	0,000026	0,74	0,000090

%50GDA'lı aderans numunesi Şekil 4.37' de görüldüğü gibi çelik donatısına yakın eğimli olmadığı, çeliğe göre aynı akma gerilmesinde daha az şekil değiştirmeye uğradığı gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre %50GDA'lı aderans numunesi 2,5 mm şekil değiştirmede ilk çatlağın oluşumu; beton ve donatı arasında ki aderansın iyi olduğunu ve gerçek çelik gerilmesine yakın davranış göstermediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.37 %50 GDA aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

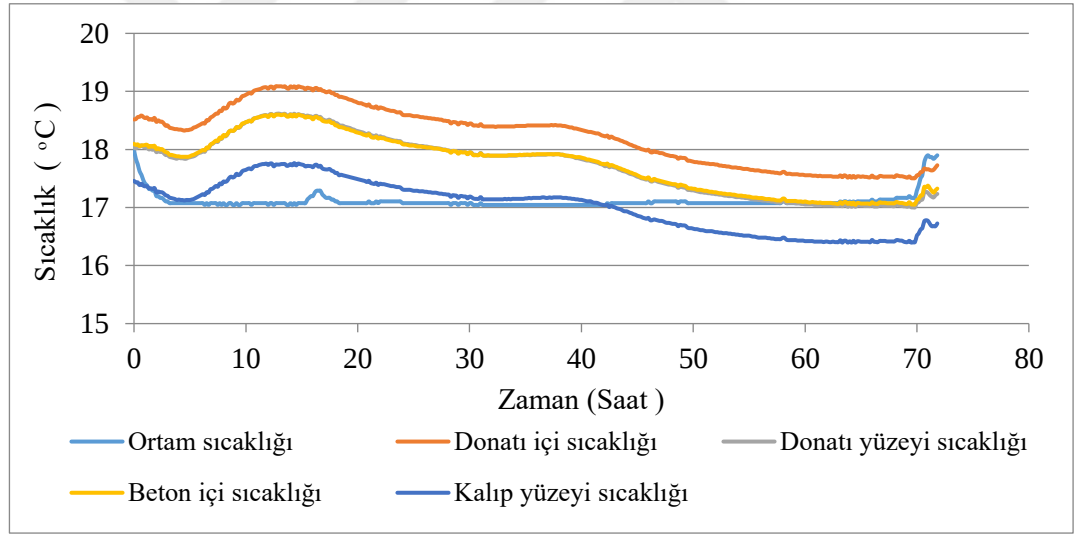
%50GDA'lı numunenin aderans gerilmesi-birim slip diyagramı Şekil 4.38' de sunulmuştur. Tüm aderans numunelerin beton boyu 50 cm olarak imal edilmiştir. Fakat beton boylarında deney esnasında ± 1 cm farklılıklar tespit edilmiştir. Bu sebepten aderans numunelerin uçlerinde oluşan toplam slipin ölçülen beton boyuna orantı yaparak değerlendirme yapılmıştır. Böylece diyagram gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır.



Şekil 4.38 %50 GDA aderans numunesi aderans gerilmesi-birim slip eğrileri

4.6.4. %70 Geri dönüşüm agregasıyla üretilen aderans numuneleri

%70GDA ile üretilen aderans numunelerin 72 saat sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.40'da sunulmuştur. Döküm başlangıcında taze betonun mikser içindeki sıcaklığı yaklaşık 18 °C, ölçülmüş ve taze beton kalıba yerleştirme esnasında sıcaklığı 17,88 °C'ye düşmüştür. Fakat dökümden yaklaşık 2 saat sonra ortam sıcaklığının düşüşü ile tüm noktadaki sıcaklıklar orantılı olarak düşmektedir. Şekil 4.39 incelendiğinde dökümden 10 saat sonra çimento ve su reaksiyona girerek hidrasyon ısısı sebebi ile sıcaklıklar tüm noktalarda orantılı olarak artmaktadır. Bu duruma bakıldığında ortam sıcaklığı hem beton hem de donatı sıcaklığını etkilemektedir bundan dolayı ortam sıcaklığı beton ve donatı arasındaki aderansı etkilemektedir. 72 saat sıcaklık ölçümü boyunca tüm noktalarda sıcaklık 15°C'ye düşmemektedir. 20 saat sonrasında tüm noktaların sıcaklıkları sabit devam etmektedir.

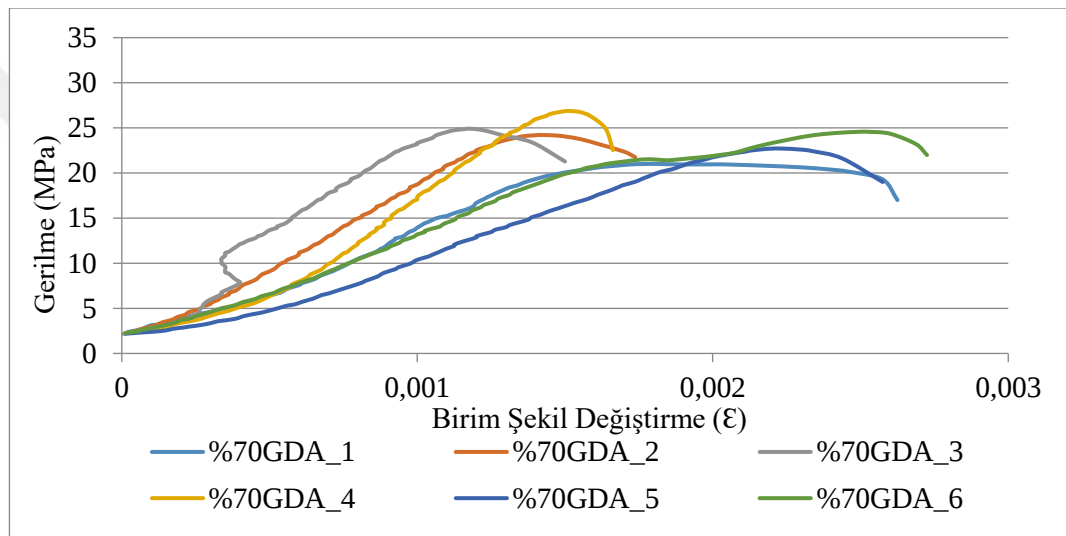


Şekil 4.39 %70 GDA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri

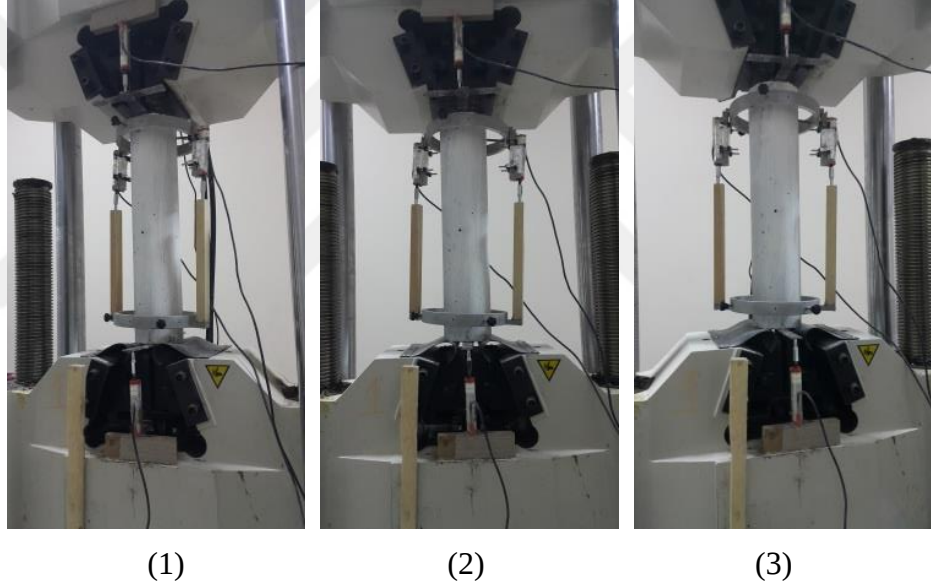
Yapılan birinci grup deneyin basınç dayanımını belirlemek amacı ile 6 standart silindir numunesi alınmıştır. Tek eksenli basınç deneylerde yükleme hız 0,589 MPa/sn olacak şekilde basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Silindir numunelerin basınç ve çekme dayanımları Çizelge 4.22'de gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.22 %70 Geri dönüşüm agregası ile üretilen numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
%70GDA_1	21,01	1,60
%70GDA_2	24,21	1,72
%70GDA_3	24,91	1,75
%70GDA_4	28,87	1,88
%70GDA_5	22,71	1,67
%70GDA_6	24,56	1,73
Ortalama	24,36	1,73

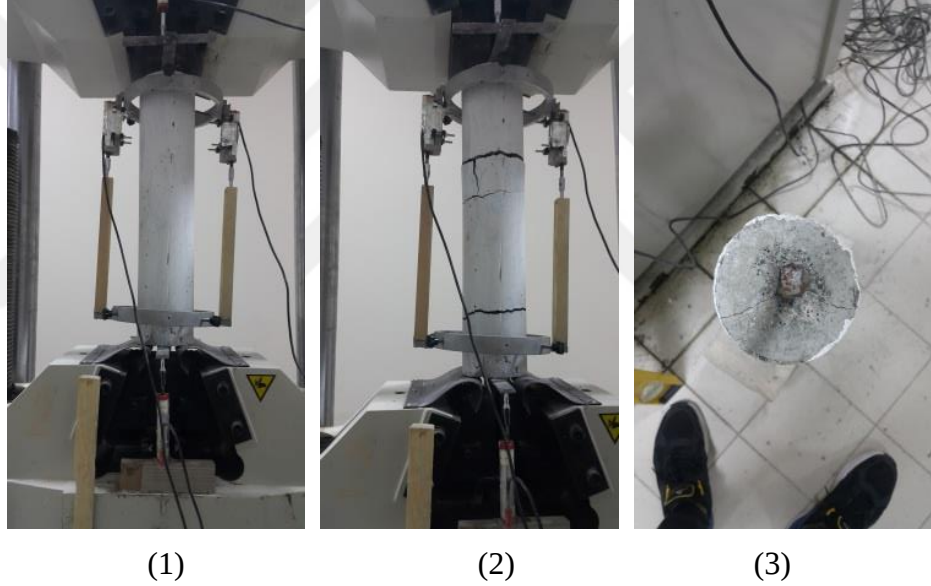
**Şekil 4.40** %70 GDA basınç numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

%70GDA-1 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,1 cm ve donatı boyu 53,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 173$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 536$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 544 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.41'de gösterilmiştir.



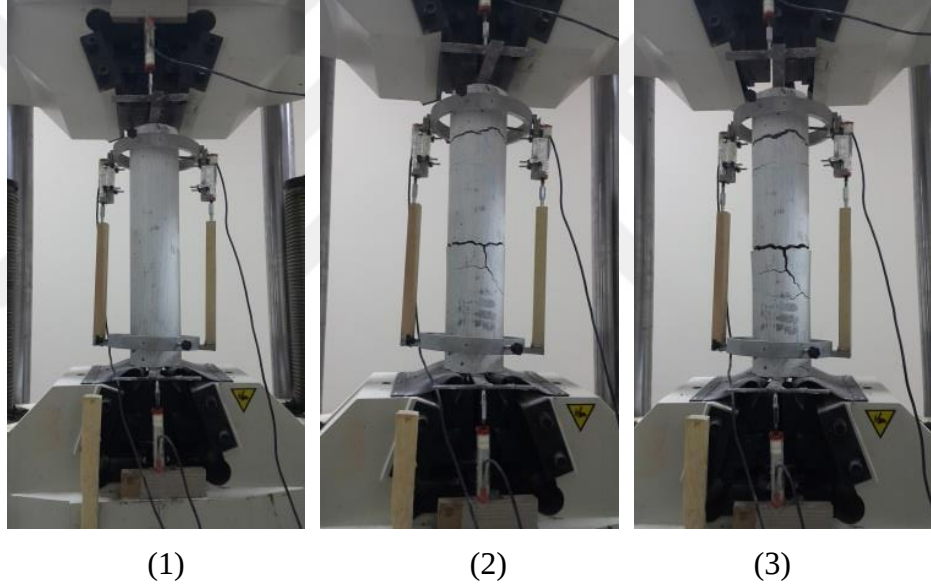
Şekil 4.41 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%70GDA-2 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 48,9 cm ve donatı boyu 53,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 224$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 565$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 531 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.42'de gösterilmiştir.



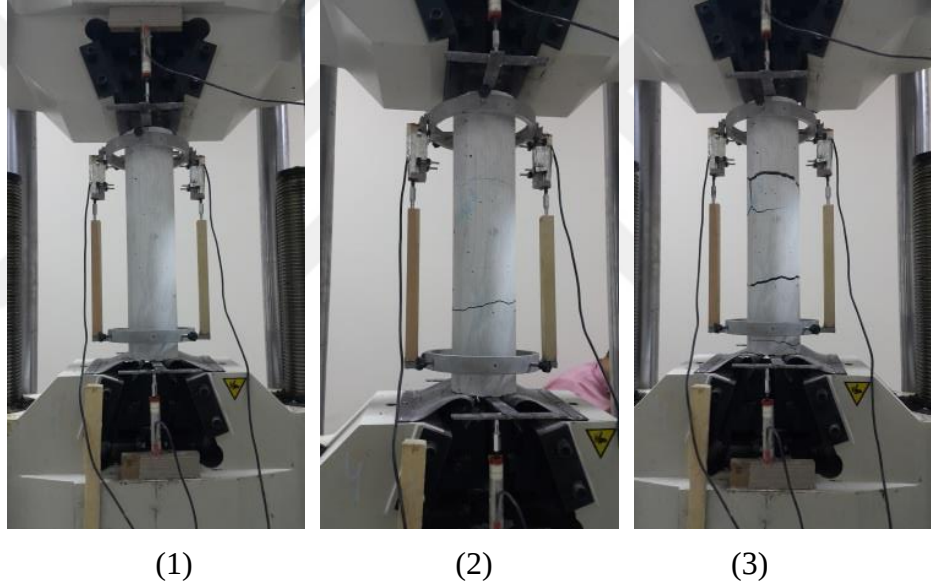
Şekil 4.42 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%70GDA-3 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 48,7 cm ve donatı boyu 54,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 159$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun ortasında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 512$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar yatay ile 45° oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 495 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.43'te gösterilmiştir.



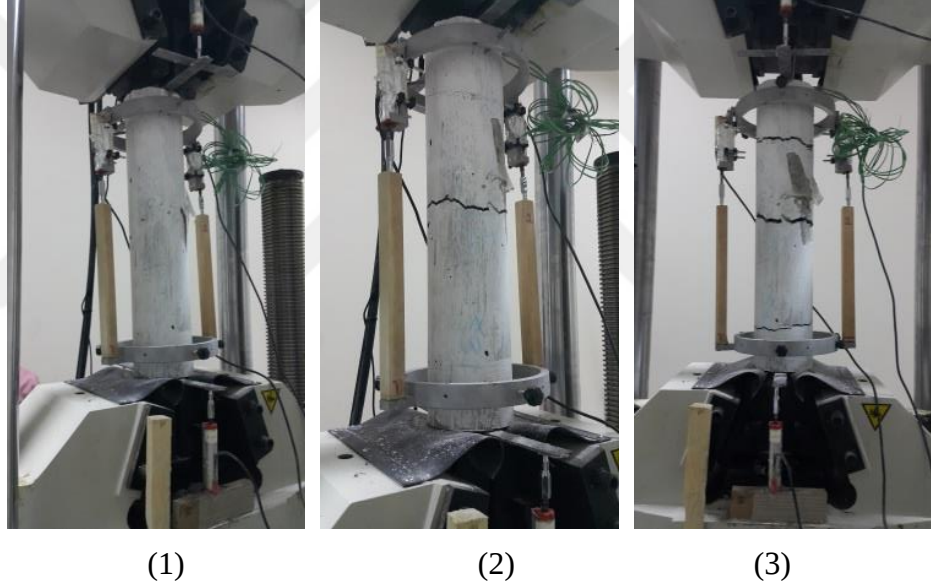
Şekil 4.43 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%70GDA-4 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,1 cm ve donatı boyu 53,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 134$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun ortasında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 523$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 509 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.44'te gösterilmiştir.



Şekil 4.44 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%70GDA-5 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 50 cm ve donatı boyu 53,6 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 123$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun tam ortasında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 12 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 532$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 511 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.45'te gösterilmiştir.



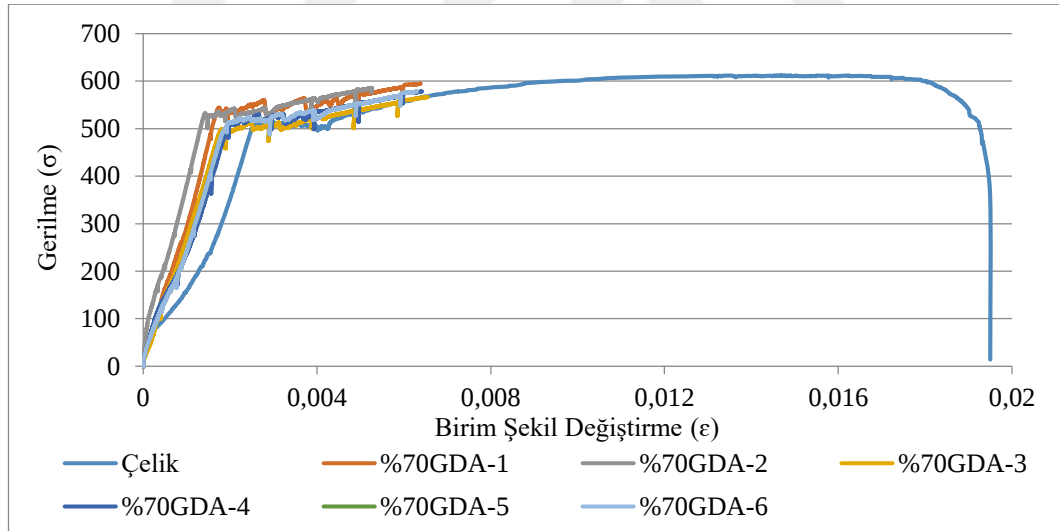
Şekil 4.45 (1) %70GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %70GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %70GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

Aderans deneyleri ile ilgili deney sonuçları Çizelge 4.23'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; %70GDA'lı aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlağın hangi çelik gerilmesi seviyesinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

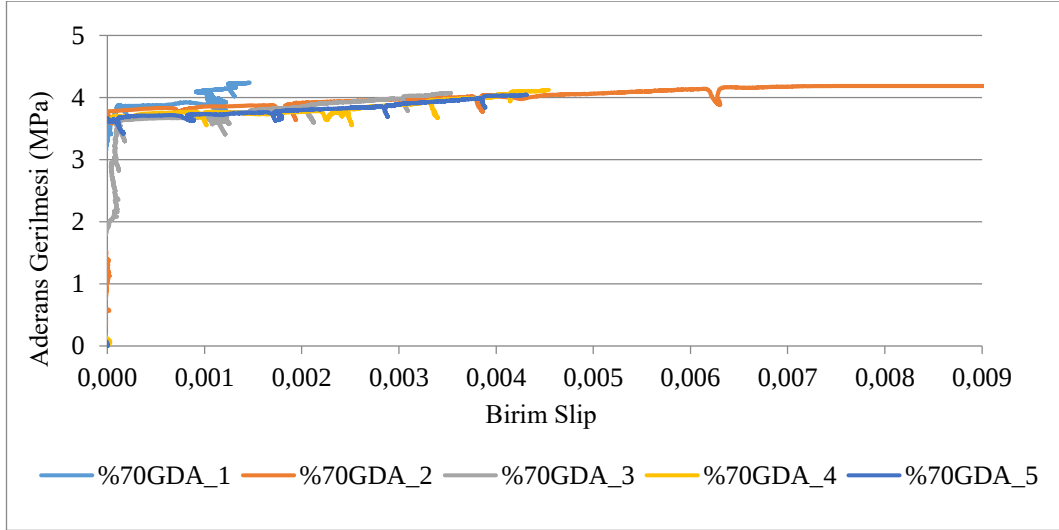
Çizelge 4.23 %70 GDA aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklarındaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme.

Numune	Deplasman (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değiştirme	Beton Birim Şekil Değiştirme	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
%70GDA_1	2,9	173,43	0,00087	0,00008	1,24	0,000157
%70GDA_2	2,9	223,66	0,00112	0,00040	1,60	0,000089
%70GDA_3	3,0	159,05	0,00079	0,00008	1,14	0,000119
%70GDA_4	2,3	134,24	0,00067	0,00004	0,96	0,000692
%70GDA_5	2,4	123,37	0,00061	0,00005	0,86	0,000154

%70GDA'lı aderans numunesi Şekil 4.46'da görüldüğü gibi çelik donatısına yakın eğimli olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre %70GDA'lı aderans numunesi 2,2 mm şekil değiştirmede ilk çatlak oluşumu; beton ve donatı arasında ki aderansın iyi olduğunu ve gerçek çelik gerilmesine yakın davranış göstermediği gözlemlenmiştir. Numunelerin iç yapısını incelendiğinde daha detaylı inceleme yapılabilir.

**Şekil 4.46** %70 GDA aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

%70GDA'lı numunenin aderans gerilmesi-birim slip diyagramı Şekil 4.47'de sunulmuştur. Tüm aderans numunelerin beton boyu 50 cm olarak imal edilmiştir. Fakat beton boylarında deney esnasında ± 1 cm farklılıklar tespit edilmiştir. Bu sebepten aderans numunelerin uçlarında oluşan toplam slipin ölçülen beton boyuna orantı yaparak değerlendirme yapılmıştır. Böylece diyagram gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır.

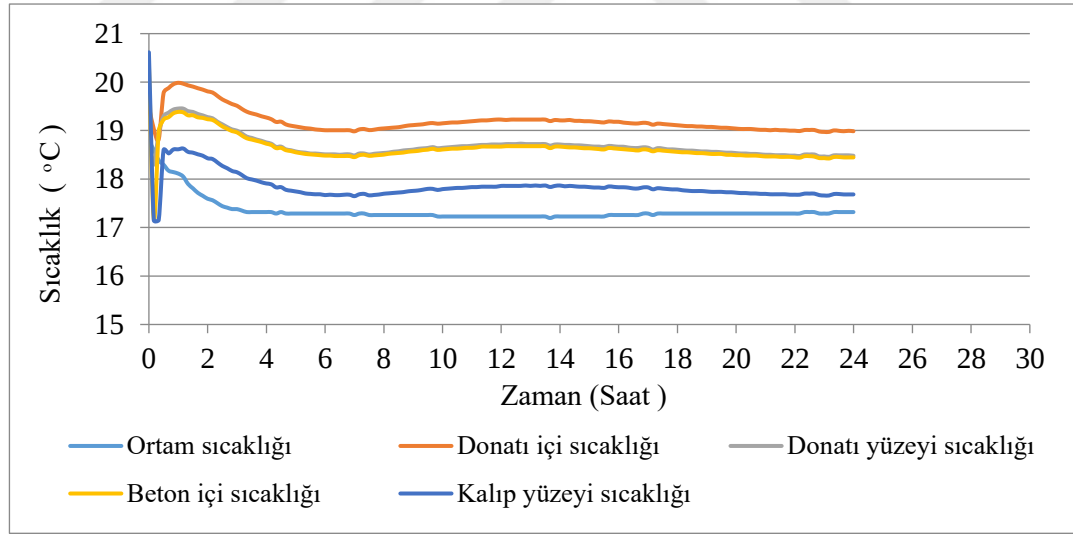


Şekil 4.47 %70 GDA aderans numunesi aderans gerilmesi-birim slip eğrileri

4.6.5. %100 Geri dönüşüm agregasıyla üretilen aderans numuneleri

%100GDA ile üretilen aderans numunelerin 72 saat sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.48’de sunulmuştur. Döküm başlangıcında taze betonun mikser içindeki sıcaklığı yaklaşık 20,36 °C, taze beton kalıba yerleştirme esnasında sıcaklığı düşmüştür. Fakat dökümden yaklaşık 0,7 saat sonra ortam sıcaklığın düşüşü ile tüm noktalardaki sıcaklıklar orantılı olarak düşmektedir. Şekil 4.48 incelendiğinde dökümden 1 saat sonra çimento ve su reaksiyona girerek hidrasyon ısısı sebebi ile sıcaklıklar tüm noktalarda orantılı olarak artmaktadır. Bu duruma bakıldığında ortam sıcaklığı hem beton hem de donatı sıcaklığını etkilemektedir bundan dolayı ortam sıcaklığı beton ve donatı arasındaki aderansı etkilemektedir. 72 saat sıcaklık ölçümü boyunca tüm noktalarda sıcaklık 15°C’ye düşmemektedir. 8 saat sonrasında tüm noktaların sıcaklıkları sabit devam etmektedir.

Not: %100GDA’lı numunelerin dökümden 24 saat sonrasına kadar sıcaklığı ölçülmüştür. Teknik hatadan dolayı 24 saat sonrası sıcaklıklar ölçülememiştir.

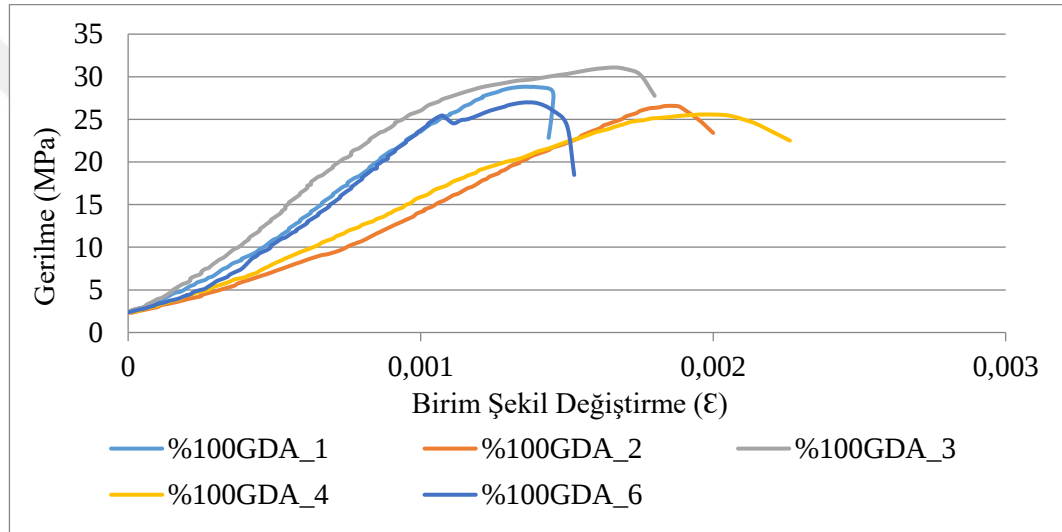


Şekil 4.48 %100 GDA ile üretilen çekme numunelerin sıcaklık-zaman eğrileri

Yapılan birinci grup deneyin basınç dayanımını belirlemek amacı ile 6 standart silindir numunesi alınmıştır. Tek eksenli basınç deneylerde yükleme hız 0,589 MPa/sn olacak şekilde basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Silindir numunelerin basınç ve çekme dayanımları Çizelge 4.24’ de gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri aşağıda verilmiştir.

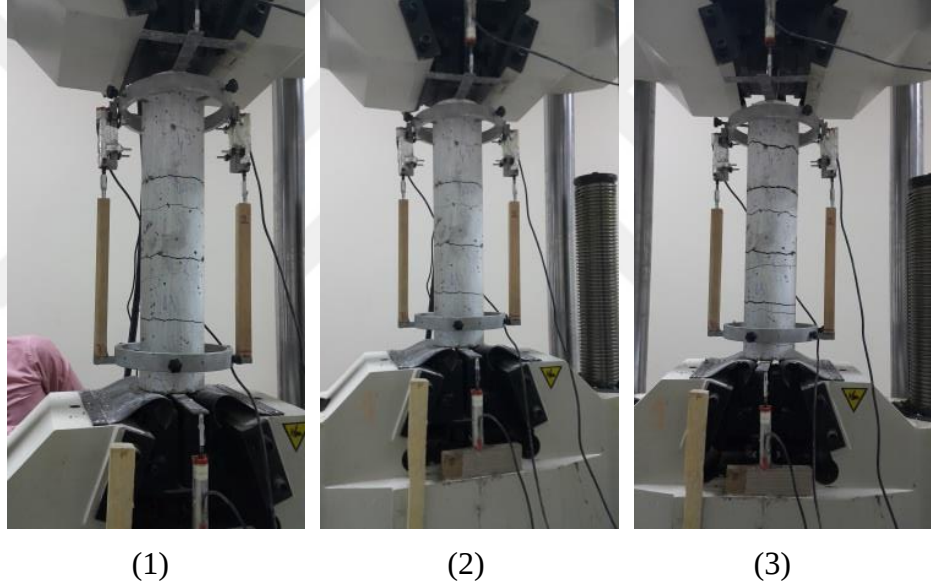
Çizelge 4.24 %100 Geri dönüşüm agrega ile üretilen numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
%100GDA_1	28,83	1,88
%100GDA_2	26,57	1,80
%100GDA_3	31,09	1,95
%100GDA_4	25,56	1,77
%100GDA_5	Kalıp Hatası	Kalıp Hatası
%100GDA_6	26,97	1,82
Ortalama	27,81	1,84



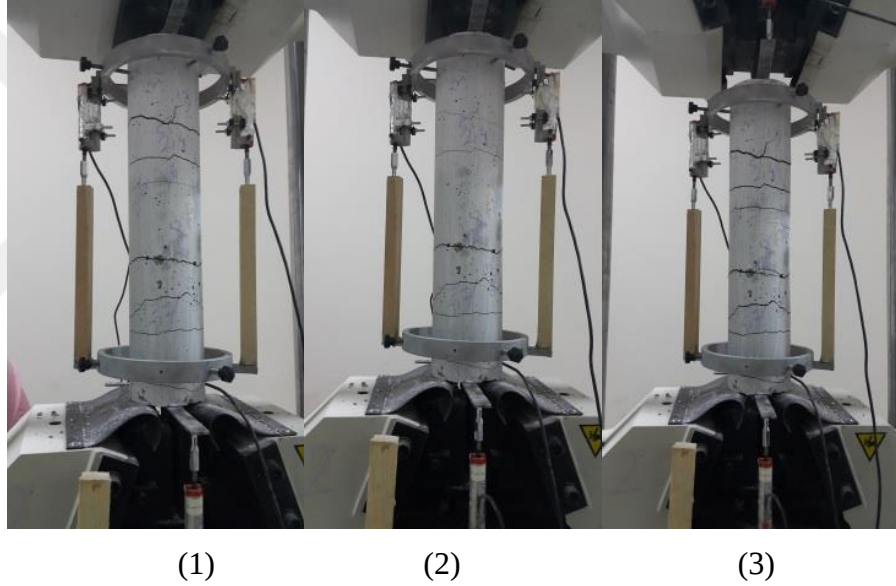
Şekil 4.49 %100 GDA basınç numunelerin gerilme-birim şekil değişirme eğrileri

%100GDA-1 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,5 cm ve donatı boyu 53,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 114$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun alt kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 7 yatay çatlak ile betonu 8 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 6 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 546$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 534 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.50'de gösterilmiştir.



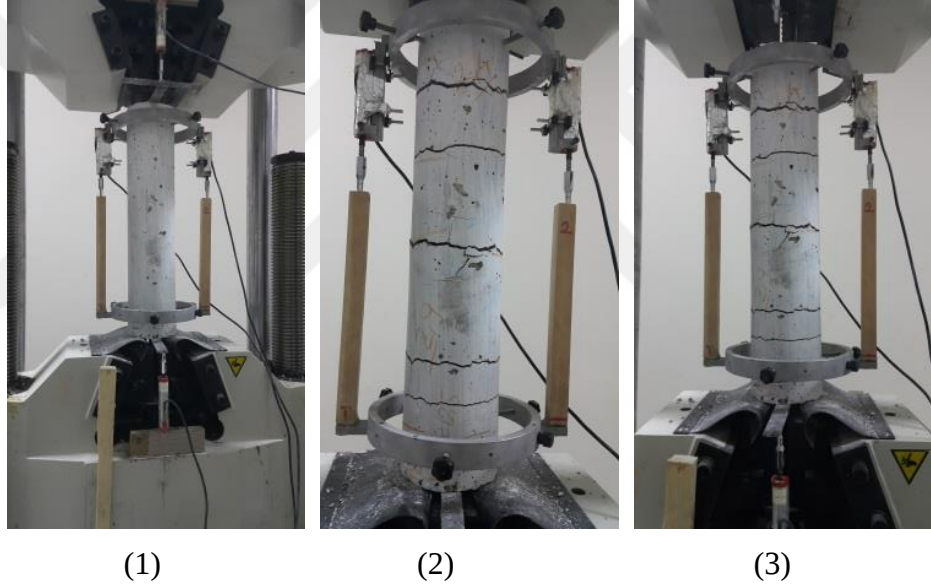
Şekil 4.50 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%100GDA-2 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,4 cm ve donatı boyu 54,4 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 183$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 7 yatay çatlak ile betonu 8 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 6 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 557$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin üst kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 556 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.51'de gösterilmiştir.



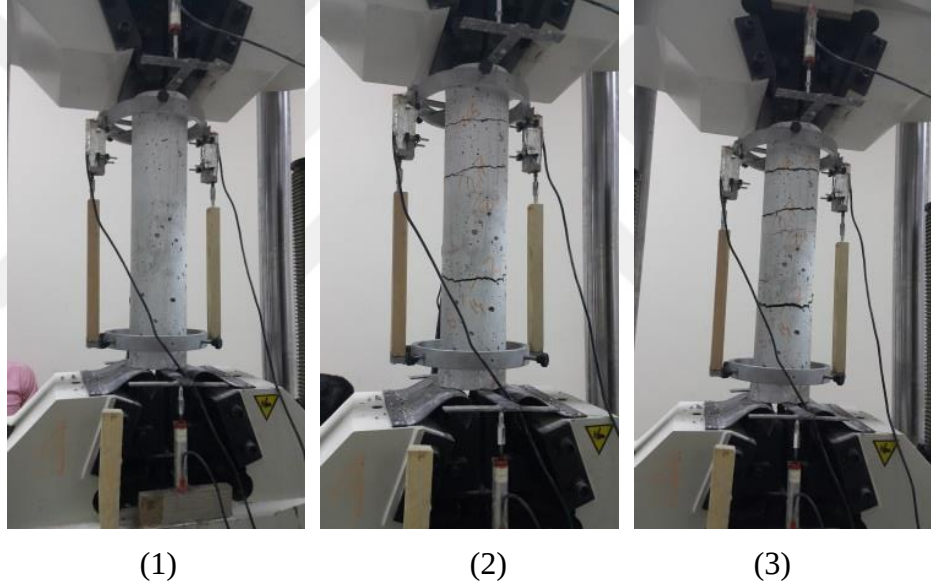
Şekil 4.51 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%100GDA-3 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,5 cm ve donatı boyu 53,7 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 146$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun üst kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 6 yatay çatlak ile betonu 7 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 7 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 585$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 568 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri şekil 4.52'de gösterilmiştir.



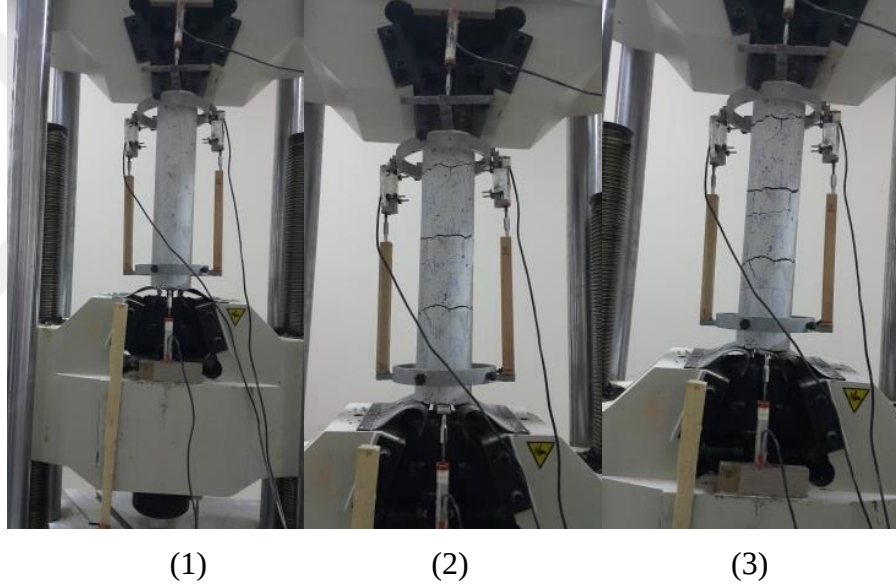
Şekil 4.52 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%100GDA-4 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,5 cm ve donatı boyu 54,1 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 176$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun alt kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 4 yatay çatlak ile betonu 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 10 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 525$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 552 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.53'te gösterilmiştir.



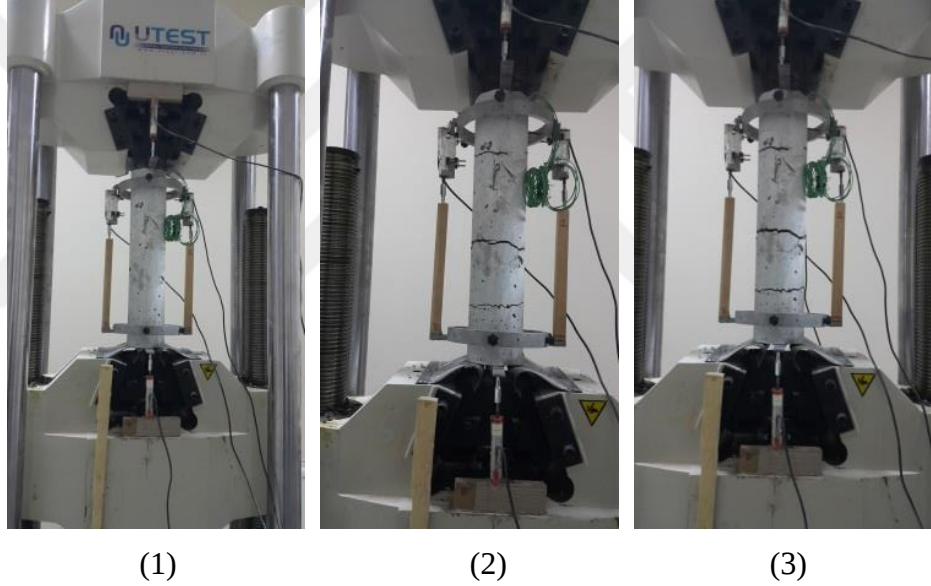
Şekil 4.53 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%100GDA-5 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49 cm ve donatı boyu 57,7 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 183$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun tam ortasında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 5 yatay çatlak ile betonu 6 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 8 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 585$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 567 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.54'te gösterilmiştir.



Şekil 4.54 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

%100GDA-6 Aderans numunesinin deney başlangıcındaki beton boyu 49,5 cm ve donatı boyu 53,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesinde oluşan ilk çatlak çelik çekme gerilmesi $\sigma = 110$ MPa hesaplanmıştır. Bu çatlak beton gövdesinin etrafında dönecek şeklinde betonun alt kısmında oluşmuştur. Çekme yüklemesi artan bir şekilde devam ederken bu yatay çatlakların sayısı artmıştır. Beton gövdesinde oluşan yatay çatlaklar yaklaşık olarak eşit aralıklarla toplam 3 yatay çatlak ile betonu 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği yaklaşık olarak 8 cm ölçülmüştür. Çekme yüklemesinin ileriki aşamalarında $\sigma = 516$ MPa'a geldiğinde aderans numunenin alt kısımlarında dikey çatlaklar oluşmuştur. Böylece yükleme durdurulup deney tamamlanmıştır. Bu numunenin çelik akma gerilmesi 504 MPa olarak hesaplanmıştır. Numuneye ait deney aşamasının görüntüleri Şekil 4.55'te gösterilmiştir.



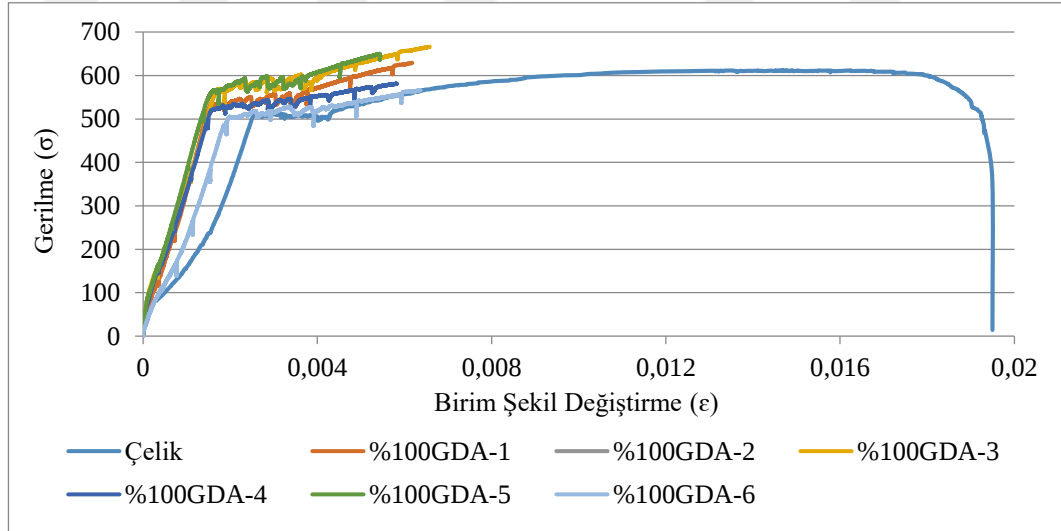
Şekil 4.55 (1) %100GDA numunenin aderans deneyi başlangıcı, (2) %100GDA numunenin aderans deney sırası, (3) %100GDA numunenin aderans deney son aşaması görüntüleri.

Aderans deneyleri ile ilgili deney sonuçları Çizelge 4,25'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; %100GDA'lı aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlağın hangi çelik gerilmesi seviyesinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

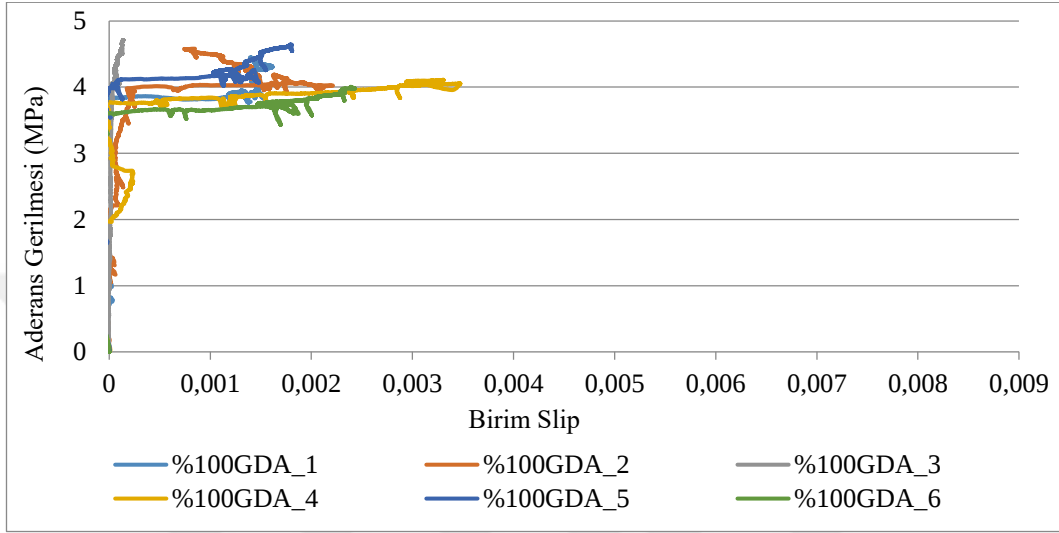
Çizelge 4.25 Aderans numunelerde meydana gelen ilk çatlaklarındaki gerilmeler, birim slip ve birim şekil değiştirme

Numune	Deplasman (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değiştirme	Beton Birim Şekil Değiştirme	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
%100GDA_1	1,6	114,43	0,00057	0,000211	0,81	0,000015
%100GDA_2	2,4	182,79	0,00091	0,000154	1,30	0,000015
%100GDA_3	1,5	145,85	0,00072	0,000068	1,03	0,000004
%100GDA_4	2,5	175,96	0,00088	0,000261	1,24	0,000204
%100GDA_5	2,5	183,30	0,00092	0,000183	1,31	0,000075
%100GDA_6	2,2	109,65	0,00055	0,000002	0,78	0,000218

%100GDA'lı aderans numunesi Şekil 4.56' da görüldüğü gibi çelik donatısına yakın eğimli olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre %100GDA'lı aderans numunesi 2,2 mm şekil değiştirmede ilk çatlak oluşumu; beton ve donatı arasında ki aderansın iyi olduğunu ve gerçek çelik gerilmesine yakın davranış göstermediği gözlemlenmiştir.

**Şekil 4.56** %100 GDA aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

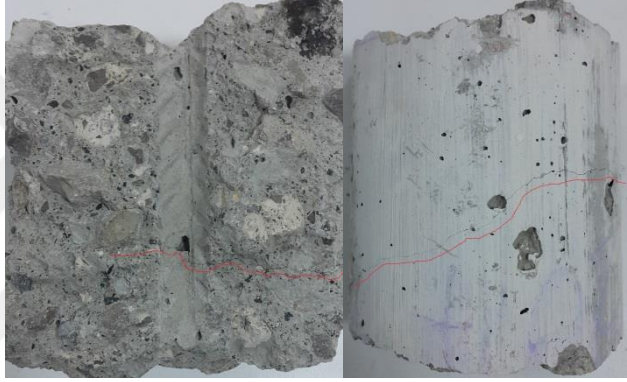
%100GDA'lı numunenin aderans gerilmesi-birim slip diyagramı Şekil 4.57' de sunulmuştur. Tüm aderans numunelerin beton boyu 50 cm olarak imal edilmiştir. Fakat beton boylarında deney esnasında ± 1 cm farklılıklar tespit edilmiştir. Bu sebepten aderans numunelerin uçlerinde oluşan toplam slipin ölçülen beton boyuna orantı yaparak değerlendirme yapılmıştır. Böylece diyagram gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır.



Şekil 4.57 %100 GDA aderans numunesi aderans gerilmesi-birim slip eğrileri

4.7 Aderans Numunelerin İç Çatlakları

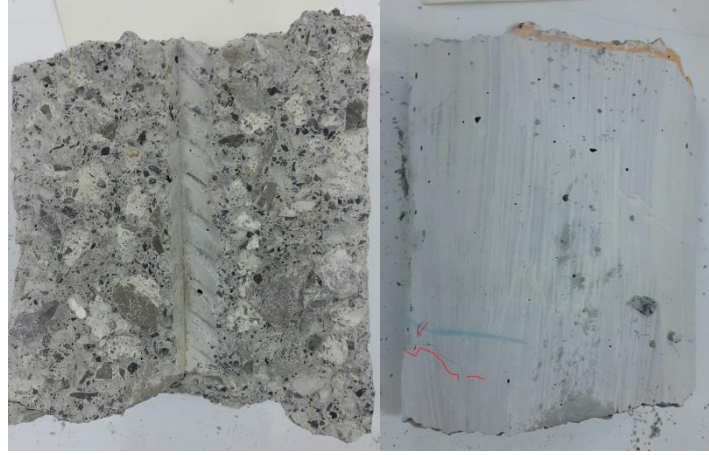
Aderans numunelerin çatlaklarının incelenmesi için her gruptan ikişer numune seçilmiştir. Bu numuneler ilk çatlağın en küçük ve en büyük deplasmanına karşı oluşan numunelerdir. Numuneler çekiç yardımı ile kırılarak yüzeye çıkmayan çatlakları, yüzeyde oluşan çatlakları ve içten dışa doğru çıkan çatlakları hesaplanmıştır. Şekil 4.58’de görüleceği gibi çatlak betonun içi kısmından, yani donatı ile beton arasındaki yüzeyde oluşmuş ve yükleme artan bir şekilde devam ederken bu çatlak numunenin dış kısmına doğru ilerlemiştir. Bu da numunenin iyi *aderans* performansına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.58 İçten yüzeye doğru oluşan çatlakların görünümü



Şekil 4.59 Yüzeye çıkmayan çatlaklar



Şekil 4.60 Yüzeyde oluşan çatlaklar

Çizelge 4.26’ da görüldüğü gibi %100NA ile üretilen numunelerde beton ile donatının temas ettiği yüzeyden dış yüzeye çıkan çatlakların sayısı fazla olduğundan en iyi performansı göstermiştir. Buna yakın %50GDA ile üretilen Çizelge 4.26’da görüldüğü gibi numunelerin içten yüzeye çıkan çatlak sayısı fazla olduğundan iyi performansa sahiptir. %100GDA ile üretilen numunelerin içten yüzeye doğru çıkan çatlaklarının sayısı ve yüzeye çıkmayan çatlak sayısı fazla olduğundan kötü performans gösterilmiştir.

Çizelge 4.26 Aderans numunelerde meydana gelen çatlakların hesap tablosu

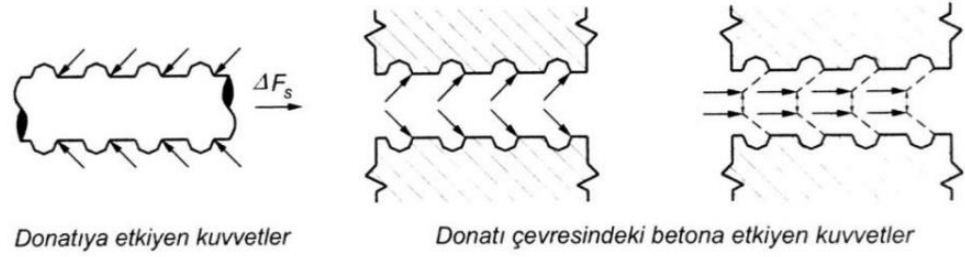
Numune	Yüzeye Çıkmayan Çatlaklar	Yüzeyde Oluşan Çatlaklar	İçten Yüzeye Çıkan Çatlaklar	Yüzeye Çıkmayan Kılcal Çatlak Sayısı Derecelendirilmesi
%100NA_1	6	3	6	1
%100NA_2	1	3	6	
%30GDA_1	5	1	3	2
%30GDA_2	7	1	5	
%50GDA_1	3	3	9	1
%50GDA_2	4	0	6	
%70GDA_1	4	1	6	1
%70GDA_2	3	1	6	
%100GDA_1	7	2	9	3
%100GDA_2	8	1	8	

4.8. Genel Değerlendirme

Çalışma kapsamında geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonarme aderans numunelerinin mekanik davranışları incelenmiştir. Araştırmada takip edilen deneysel yöntemle benzer çalışmaların literatürde çok kısıtlı olduğunu ifade etmek mümkündür. Numunelerin performanslarını karşılaştırmak amacı ile kullanılan parametrelerin bir kısmını literatürde kıyaslayacak referansların olmadığı belirtilmelidir. Bu bölümde deneysel veriler, genel bir değerlendirme şeklinde sunulmaktadır.

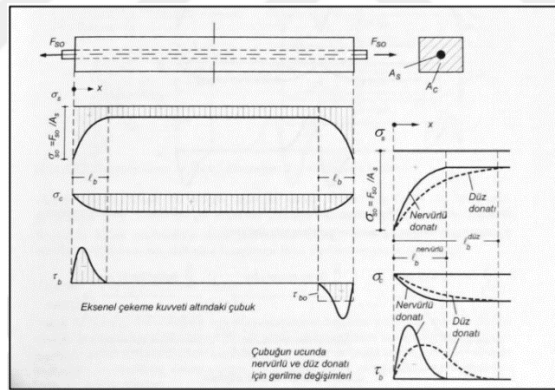
Deneysel verilerin bir kısmı otopsi yöntemi yani her gruptan ikişer numune alınarak beton ve donatı ara yüzeyini incelemek için çekiç yardımı ile kırılmıştır. Goto (1971), çalışmasında aderans numuneleri beton ve donatı ara yüzeyini kırmızı boya enjekte edip daha sonra numuneleri açmıştır, böylece kılcal çatlakları daha net inceleyebilmiştir. Buna benzer Mirza ve Houde (1979)'un çalışmasında da önce boya enjekte edip daha sonra kılcal çatlak incelemesi yapılmıştır.

Aderans numunelerinin deneyden sonra yapılan açma incelemesinde donatı çevresindeki beton üzerinde gözlenen kılcal çatlaklar, çekme altındaki betonarme elemanların aderans dayanımı yorumlanmasında son derecede önemlidir. Bu kılcal çatlakların beton ve donatı ara yüzeyinde oluşma yoğunluğu ile yapılan sıralama, deneysel veriler ile elde edilen birim slip parametresine göre yapılan sıralamasının aynı olduğu gözlenmiştir. Aderans numunelerin kırılma mekanizması incelendiğinde, donatı çekmeye maruz iken beton ve donatı ara yüzeyinde oluşan kuvvet Celep (2013) yapılan çalışmasında Şekil 4.61'de sunulmuştur. Betonarme numunelerin içerisindeki nervürlü donatıları çekme kuvveti etki ettiğinde donatıların nervür açısına göre etrafındaki betona kuvvet uygulayıp betonda yatay ve düşey çatlaklara sebep olacaktır. Bu tez kapsamında imal edilen aderans numunelerin önce yüzeyinde çekme yönüne dik yani yatay çatlaklar meydana gelip bu çatlaklar stabil genişliğe ulaştığında dikey çatlaklar aderans numunelerin üst kısımlarında oluşmaktadır. Bu durum beton ve donatı ara yüzeyinde donatı nervür açısına göre betonda oluşan yatay ve dikey kuvvetlerin göstergesi olarak kabul etmek mümkündür



Şekil 4.61 Çekme etkisi altında oluşan yatay ve düşey kuvvetler (Celep,2013).

Çatlama mekanizmasını incelemeye yönelik eksenel çekmeye maruz kalan aderans numunelerinde meydana gelen iç gerilmeler Şekil 4.62’de sunulmuştur. Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar aderans numunelerin yapısını bakıldığında yapısal davranışı Şekil 4.62’de verilen dağılıma benzer bir dağılıma sahip olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalar bu gerilme dağılımı doğrultusu yorumlanmıştır. Şekil 4.62’de görülen “ σ_c ” beton çekme gerilmesi, “ σ_s ” donatı çekme gerilmesi, “ τ_b ” aderans gerilmesi değişimidir (Celep 2013).



Şekil 4.62 Eksenel çekme taşıyan çatlaksız betonarme numunede gerilme dağılımı (Celep 2013).

Celep (2013), bu çalışmadan alınan Şekil 4.62’de betonarme elemanların donatısı üzerinden eksenel çekmeye maruz kalan bir betonarme elemanın çatlak oluşmadan öncesi gerilme dağılımına benzer gerilme dağılımları, eksenel gerilmeye maruz kalan aderans numunelerin ilk çatlaktan sonra beton bütünlüğünü koruduğu bölgelerde yeniden oluşmaktadır. Bundan dolayı deney esnasında deneyleri takip ederek ilk çatlakları karşı gelen gerilme değerleri değerlendirme aşamasında dikkate alınmıştır.

İmal edilen beş grup aderans numunesine ait deneylerin özet sonuçları Çizelge 4.27’de sunulmuştur. Çizelgede inceleme her parametre kendi aralarında ve ilgili literatürle ile ilişkilendirme yaparak açıklamaya çalışmıştır. Kullanılan çizelge ve çizelge içerisinde kullanılan parametreler Gedik (2020) çalışmasından alınmış ve bu çizelge, tez kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar doğrultusunda güncellenmiştir.

Çizelge 4.27 Tüm deney grupları için genel değerlendirme tablosu

Parametreler		%100 NA	%30 GDA	%50 GDA	%70 GDA	%100 GDA
Basınç Dayanımı (MPa)		31,37	29,53	24,85	24,36	27,84
Beton Çekme Dayanımı (MPa)		1,96	1,90	1,74	1,73	1,84
Beton Elastik Modülü (MPa) (TS500, 2000)		32203	31661	30201	30041	31148
Salt Çelik Akma Dayanımı (MPa)		511	511	511	511	511
Salt Çelik Akma Birim Şekil Değiştirme		0,00297	0,00297	0,00297	0,00297	0,00297
Yüzeyde Görülen İlk Çatlak Oluşumu Anındaki	Betondaki Ortalama Çekme Birim Şekil Değiştirme	0,000066	0,000069	0,000208	0,000108	0,000105
	Çelikteki Ortalama Gerilme (MPa)	156	136	144	163	152
	Çelikteki Ortalama Birim Şekil Değiştirme	0,00076	0,00067	0,00073	0,00067	0,00075
	Ortalama Aderans Gerilmesi (MPa)	1,11	0,96	1,02	1,16	1,08
	Birim Slip	0,00004	0,00007	0,00007	0,00002	0,00009
	(Mirza ve Houde, 1979)Denklemleri Slip	0,00008	0,00007	0,00008	0,00009	0,00008

Beton eksenel basınç ve çekme dayanımı;

Çizelge 4.26’da en yüksek basınç dayanımı %100NA ile dökülen beton ile elde edilmiştir. Basınç dayanım sonuçları neticesinde yüksekte düşüğe doğru %100NA, %30GDA, %100GDA, %70GDA ve %50 GDA olarak sıralanmıştır. Basınç dayanımı açısından geri dönüşüm agregaların taşıyıcı yapı elemanlarda en uygun oran %30GDA kullanılması uygun görülmüştür. %30’tan fazla kullanılması durumunda beton basınç dayanımını düşürmemektedir. Bunun sebebi geri dönüşüm agreganın yapısındaki daha önce hidratasyona uğramış çimento tozu ve su emiliminin fazla olmasından dolayı S/Ç oranını yükseltip beton basınç dayanımını düşürmektedir.

Çekme etkisi altındaki betonarme elemanların aderans davranışlarının yorumlanması açısından önemli parametrelerden biri de beton çekme dayanımıdır. Beton çekme dayanımının önemini Celep (2013), Goto (1971), Mirza and Haude (1979) ve Thomson et al. (2002) çalışmalarında belirtmişlerdir. TS500 (2000)' de belirtilen beton çekme dayanımının belirlenmesi formülü *bağıntı 4.5* kullanılarak numunelerin çekme dayanımları belirlenmiş ve Çizelge 4.26' da sunulmuştur. Çekme dayanımının belirlenmesi için harici deney yapılmamış olup formül gereği basınç dayanımının kara kökü ile orantılı olduğu göz önünde bulundurularak elde edilen basınç dayanımı sıralaması ile aynı sıralama burada da geçerlidir.

Salt çelik akma dayanımı ve birim şekil değiştirmesi;

Aderans numunelerde kullanılan çeliklerin hepsini aynı bağdan ve sabit uzunlukta (60 cm) kesilmiştir. Bu donatıların dayanımını belirlemek için 10 adet örnek donatıy eksene çekme testine tabi tutulmuştur. Bu donatılar arasında ortalamaı temsilen bir donatının gerilme şekil değıştirme davranışi aderans numuneleri ile kıyaslanabilmesi açısından seçilmiştir. Bu donatının akma dayanımı 511 MPa ve birim şekil değıştirmesi 0,00297 olarak hesaplanmıştır.

İnşaat işlerinde kullanılması açısından uygun bulunan donatı çeliklerinin mekanik özelliklerini standardize eden TS708 (2010) yönetmeliğı bu bağlamda yasal mevzuattır. Standartta 420 N/mm² akma dayanımına sahip nervürlü donatı çeşidi üç kısımda sınıflandırılmıştır. Burada TS708 (2010) standardında 420 MPa dayanıma sahip çelik sınıfı B 420B ve B420C olarak iki farklı sınıfı bulunmaktadır. Bunlar çekme dayanımının akma dayanımına oranın belirli değerlerde değışimine göre belirlenmektedir.

Tez çalışmasında kullanılan 14 mm çapında nervürlü donatı üzerinde yapılan deneyler soncunda TS500 (2000) standardına göre S420, TS708 (2010) standardına göre ise B 420C grubunda sınıflandırılabilceğı sonucuna varılmıştır.

Betonarme aderans numunesi çelik akma dayanımı (MPa);

Aderans numuneleri çekmeye maruz kaldığında bu çekme kuvveti altında betonda çatlamlar meydana gelmektedir. Celep (2013) ve Thomson et al. (2002) çalışmalarında belirttiği gibi bu çatlamlar sırasında aderans gerilme dağılımı yeniden oluşmaktadır. Bu husus dikkate alındığında aslında parçalanan her kısımda gerilmeler yeniden dağılmaktadır. Dolayısıyla çizelge 4.26’da da belirtildiği gibi ilk çatlak oluştuğunda *Betondaki Ortalama Çelik Birim Şekil Değiştirme, Çelikteki Ortalama Gerilme (MPa), Çelikteki Ortalama Birim Şekil Değiştirme, Ortalama Aderans Gerilmesi (MPa), Birim Slip* değerlerinin hesaplanması ve bunlara ait detaylar aşağıda sunulmuştur. Buradaki temel amaç yüzeye ulaşan ilk çatlak esnasında belirtilen başlıklar ile gruplar arasında performans değerlendirmesi yapabilmektir.

İlk Çatlak oluştuğunda;

- *Betondaki Ortalama Çekme Birim Şekil Değiştirmesi*

Aderans numunelerinin beton basınç dayanımlarının farklı olmasından dolayı beton çatlama birim şekil değiştirme değerleri her grup için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Gopinath et al. 2009). Ersoy ve Özcebe (2015) ve benzeri kaynaklarda çekme etkisi altındaki beton için çatlama birim şekil değiştirmesi ortalama değeri 0,0001 olarak belirtilmiştir.

Çekme deneyine tabi tutulan aderans numunelerinin ilk çatlağa karşılık gelen birim şekil değiştirmelerin ortalamaları hesaplanmış ve Çizelge 4.26’ da sunulmuştur.

- *Çelikteki Ortalama Gerilme (MPa) ve Birim Şekil Değiştirme*

Çekme etkisi altındaki aderans numunesinde, beton yüzeyinde tespit edilen ilk çatlağa karşılık gelen gerilme olarak ifade etmek mümkündür. Değerler dikkate alındığında %30GDA numunesinin 136 MPa değerinde yüzeyde ilk çatlak belirmiştir. Bu sınıflandırma dikkate alındığında aderansın bu grupta yüksek olduğunun söylenmesi mümkündür. Buradaki temel dayanak, donatı ile beton arasındaki bağ kuvvetinin iyi olması durumunda düşük gerilmelerde yüzeyde çatlak belirmesidir. Şayet bağ kuvvetinin

iyi olmadığı durumda aderans numunesi içerisinde kılcal çatlakların oluşup betonun içerisinde donatının sıyrılarak uzaması aderansın zayıf olduğunun göstergesidir. Bu yaklaşım doğrultusunda %70 GDA numunesi 163 MPa ile aderans numuneleri arasında en zayıf bağ kuvvetine sahip grup olarak yorumlanması mümkündür.

İlk çatlakların tamamı çelik malzeme akma dayanımına ulaşmadan elastik bölgede iken meydana gelmiştir. Aderans numunesi için hesaplanan birim şekil değiştirme değerleri %70NA grubunda en az (0,000067), %100NA da ise en fazla (0,000076) değere ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durumun izahı çelikteki ortalama gerilme ile aynı olduğu belirtilebilir.

- *Ortalama Aderans Gerilmesi*

Ortalama aderans gerilmesi, Gedik (2020) çalışmasında ki aynı yol izlenmiş ve çelik çubuğa uygulanan çekme kuvvetinin, donatının betona temas ettiği toplam yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Her numune grubunda, beton yüzeyinde gözlenen ilk çatlak anındaki aderans gerilmesi değerleri hesaplanarak Çizelge 4.26’da sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre %70 GDA 1,16 MPa ile en yüksek değeri alırken 0,96 MPa değeri ile %30GDA grubu en düşük aderans gerilmesi değerini almıştır. Çatlak detayları incelendiğinde aderans gerilmesi doğrultusunda performans sıralaması yapılmasının sağlıklı olmadığı düşünülmektedir. Çünkü, detaylı incelemelerde yüzeye çıkmayan çatlaklar tespit edilmiş ve tutunmanın daha önceden kaybolmuş olabileceği öngörülmüştür. Bu doğrultuda performans değerlendirmesi için birim slip (sıyrılma) değerinin temel parametre olarak kabul edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

- *Birim Slip (Sıyrılma)*

Gedik (2020) çalışmasında bu başlık altında “Birim slip (sıyrılma) olarak belirtilen değer, incelenen numunede ölçülen toplam beton sıyrılma miktarının beton boyuna bölünmesi ile bulunan birimsiz bir parametredir. Hesaplamanın bu şekilde yapılmasındaki temel gerekçe, her ne kadar özen gösterilerek toplam 50 cm boyunda beton ile numune imalatı yapılmaya çalışılmışsa da numuneler arasında işçilik hatalarından kaynaklanan ve yer yer 2-3 cm değerlerine ulaşan beton boy farkının

oluşmuş olmasıdır. İlaveten, literatürde yer alan oldukça kısıtlı sayıdaki çalışma sonucu ile kıyaslama yapılabilmesi için bu şekilde birimsiz bir parametre kullanılması tercih edilmiştir.” İfadesine yer vermiştir. Bu çalışma ile aynı numuneler imal edildiği için bahsi geçen durum mevcut çalışma içinde geçerli olduğu belirtilmelidir. Beton yüzeyinde ilk çatlak oluştuğu andaki birim sıyrılma değeri Beton yüzeyinde ilk çatlak oluştuğu andaki birim sıyrılma değeri %70GDA grubu numuneler için 0,00002 en az, %100GDA grubu numuneler için ise 0,00007 değeriyle en fazla birim slip değerine sahiptir. Birim slip sıralaması en azdan en çoğa doğru sıralanacak olursa sırasıyla %70GDA, %100NA, %50 GDA, %30GDA ve %70GDA dır. Birim slip (sıyrılma) değerinin az olması beton ile çelik donatı arasındaki tutunmanın güçlü olduğunu gösteren bir davranış olarak değerlendirilmektedir.

Literatür araştırmasında benzer deneysel çalışmalar neticesinde mm mertebesinde Mirza and Houde (1979) çalışmasında bağıntı 4.6 da sunulan formülle slip hesaplaması gerçekleştirmiştir.

$$\Delta s = 0,0003684 \times k_1 \times f_s^{k_2} \times (A_c/A_s)^{k_3} \quad (4.6)$$

Bağıntı 4.6’ da Δs ortalama bağ kayması (mm), f_s donatıdaki anlık gerilme (MPa), A_s donatı çeliği alanı ve A_c donatıyı çevreleyen efektif beton alanıdır. Çelik gerilmesinin kayma üzerindeki etkisi k_2 katsayısına bağlı olarak doğrusala yakın olmakla beraber basitleştirmek için $k_2 = 1,0$ alınmıştır. Mirza ve Houde (1979), tarafından $k_3 = 0,33$ belirlenmiş ve $k_1 = 0,2 \text{ mm/MPa}$ değeri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır (Kazaz, 2012).

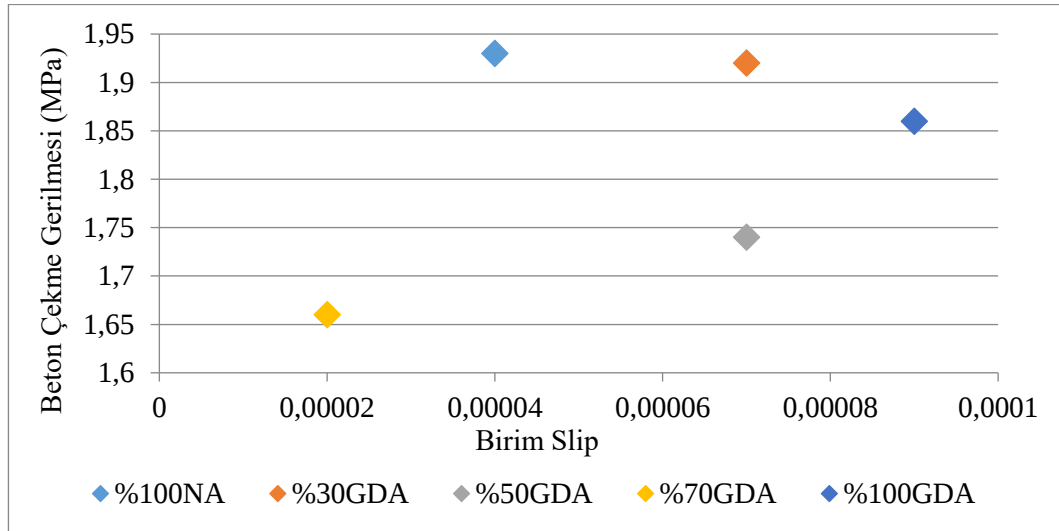
Elde edilen sonuçların kıyaslanması açısından sunulan denklemde, tez çalışmasında elde edilen değerler yerleştirildiğinde bulunan sonuçların kıyaslanabilir olması açısından mm mertebesinde hesaplanan sıyrılma değerinin toplam beton boyuna bölerek birim slipe dönüştürülmesi halinde kıyaslamanın mümkün olduğu belirtilmelidir.

Bağıntı 4.6 kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde en yakın birim slip değerine %30GDA grubunun ulaştığı görülse de diğer gruplarda çok fark olduğu tespit

edilmiştir. Bu değerlerin kıyaslama için kullanılabilirliğinin olumsuz olduğu görüşüne varılmıştır.

Ancak Gedik (2020) çalışmasında YAZ dökümü olarak nitelendirdiği gruba ait birim slip değeri ile %100NA grubu karşılaştırıldığında birim slip değerinin aynı denebilecek ölçüde çok yakın olduğu gözlenmiştir. Gedik (2020) çalışmasında çeşitli beton modelleri üzerinde slip ve çatlama birim şekil değiştirmeleri hesaplamasında bulunmuş ve hesapladığı değerler ile mevcut deney numunelerinde elde ettiği değerlerin kıyaslama açısından uygun olmadığını belirtmiştir. Burada ki temel sebep, beton içerisindeki kılcal çatlakların yoğunluğu ve bunların yüzeye ulaşmaması olarak belirtmek mümkündür.

Aderans numunelerinin performans değerlendirme ve karşılaştırmaları için beton çekme gerilmesinin önemi daha önceden bahsedilmiştir. Bu parametre dikkate alınarak beton çekme gerilmesi-birim slip grafiği Şekil 4.63’ te sunulmuştur. Her grubu temsil edecek şekilde çekme gerilmeleri ortalamaları ve bu değerlere karşılık gelen birim sliplerin ortalamaları alınarak grafikleştirilmiştir.

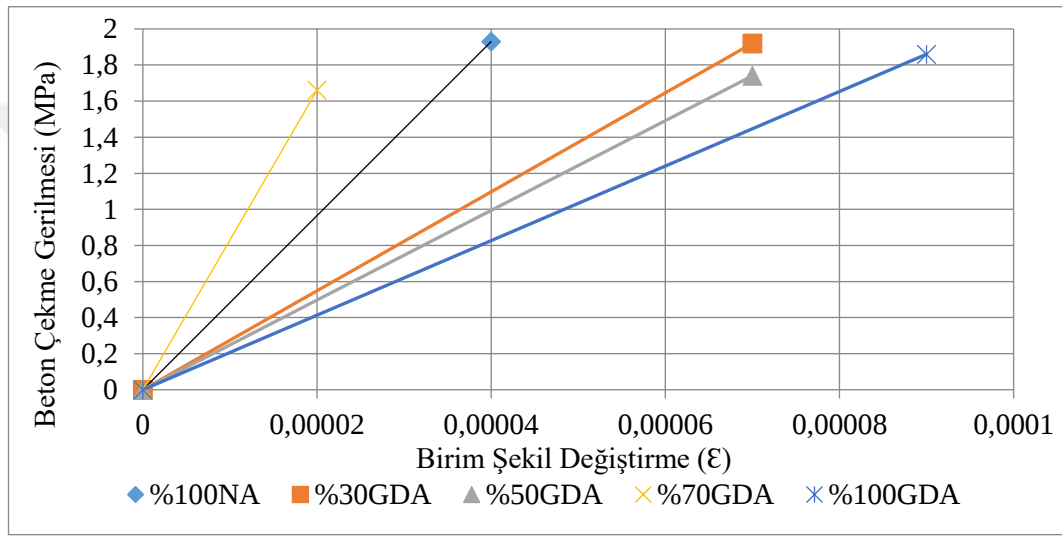


Şekil 4.63 Numune grupları için beton çekme gerilmesi – birim sıyrılma (slip) dağılımı

Aderans davranışının referans olarak kabul edildiği %100 NA grubu dikkate alınarak en az birim sıyrılma %70GDA da hesaplanırken, en fazla %100GDA da birim sıyrılma gözlenmiştir. Ancak %100NA ve %30GDA neredeyse aynı davranışı göstererek

aynı çekme gerilmesi altında yaklaşık 1,75 katlık bir farkla birim silip değerinde olduğu gözlenmiştir.

Çekme etkisi altındaki betonarme elemanların performans değerlendirmesinde beton çekme gerilmesi – slip grafiği incelenmiş olup yatay ekseninde birim şekil değiştirmeye yer verilerek değerlendirmeye bu şekilde devam edilmiştir. Elde edilen bulgular Şekil 4.64’ te sunulmuş olup benzer sıralamaya burada da eriştiğimizi söylemek mümkündür.

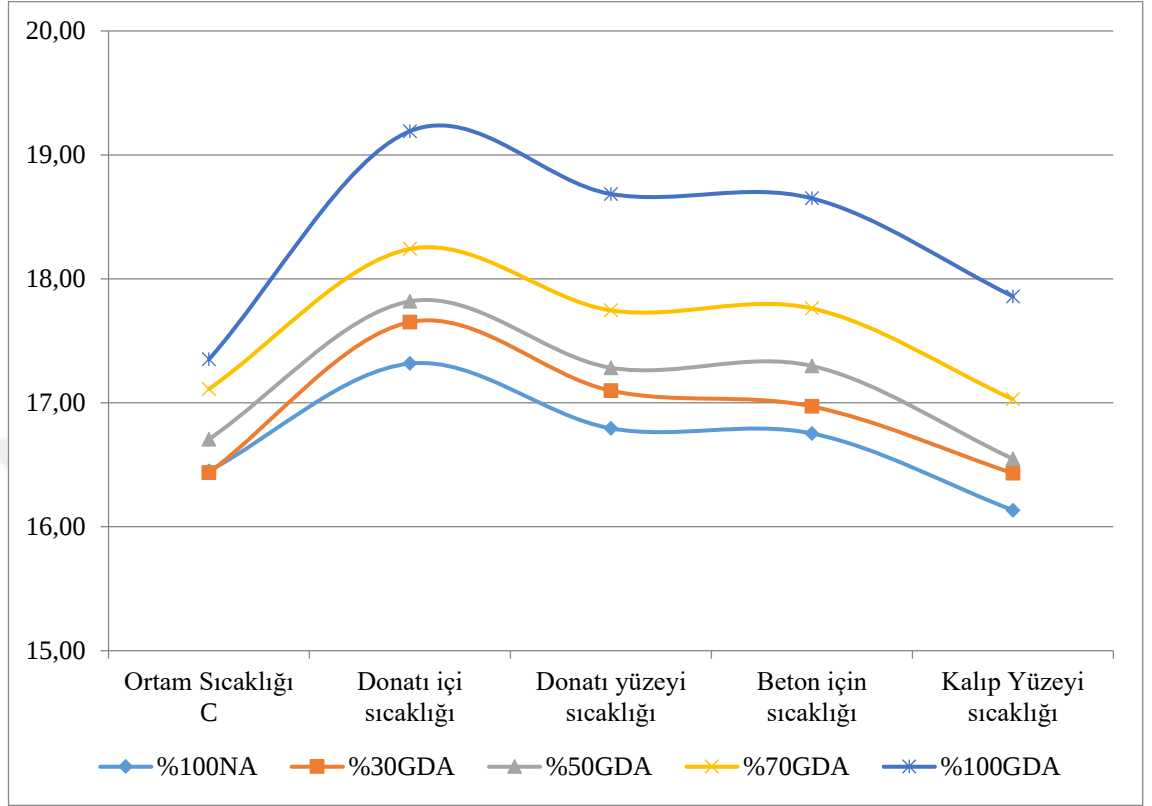


Şekil 4.64 Numune grupları için beton çekme gerilmesi-birim şekil değiştirme ilişkisi

Çekme gerilmelerine karşılık gelen şekil değiştirmeler grafik üzerinde sonulmuş ve her grup için iki noktalı doğrusal grafikler elde edilmiştir. Buradaki temel amaç benzer çalışmalarda betondaki çekme gerilmesine dikkat çekilmesidir. Tez kapsamında bu parametre dikkate alınarak performans değerlendirmesinde kullanılmasını yoluna gidilmiştir. Bu değerler beton çekme gerilmesi-birim slip değerlerine benzer davranış göstererek en az şekil değiştirme ile %70GDA dır. Bu grubu takiben %100NA, %30 GDA, %50GDA ve %100GDA olarak performansı iyiden kötüye doğru göreceli olarak sıralanmıştır.

Betonarme elemanlar için hidrasyon süresi ve hidrasyon ısı artışı da aderans yorumlamasında önemli parametre olarak kullanılmaktadır. Numune içerisine termokupl

yerleştirilerek elde edilen kayıtlar neticesinde oluşturulan grafikler bütün halinde Şekil 4.65’ te sunulmuştur.



Şekil 4.65 Numune gruplarının sıcaklık ölçümleri özeti

Şekil 4.65’ te sunulan grafikler detaylı olarak incelendiğinde geri dönüşüm agregasının oranı en yüksekten düşüğe doğru gittikçe maksimumum hidrasyon ısısının azaldığı görülmektedir. En az ısının ise %100NA ya ait olduğu görülmektedir. Elde edilen bu bulgular neticesinde, geri dönüşüm agregasında henüz hidrate olmamış çimento tanelerinin olmuş olması ve yeni karışımla beraber önceden hidrate olmamış çimento taneleri de hidrasyona dahil olduğu için hidrasyon ısısında farklılık oluşturduğu gözlenmiştir. Bu davranış, geri dönüşüm oranı azaldıkça hidrasyon ısısının da azalmasıyla desteklenmektedir. Grafikte görüldüğü üzere %100GDA’ nın hidrasyon sıcaklığı maksimum 18,65°C’ ye ulaşırken %30GDA’ nın maksimum 16,75°C ye ulaştığı gözlenmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilmiş betonarme elemanlarda çekme etkisi altındaki bağ kuvveti-kayma ilişkisinin deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve ortaya konulan öneriler aşağıdaki sunulmuştur.

- Çalışma kapsamında ilk olarak geri dönüşüm agregalarından elde edilen betonların istenilen dayanıma ulaşması hususunda başarılı sonuç alınmıştır. Elde edilen bu sonuç doğrultusunda geri dönüşüm agregası kullanılarak TBDY 2018' de belirtilen betonarme yapılarda minimum beton sınıfı C25/30 olarak belirtilmiş ve deney sonuçlarında bu dayanımlar elde edilmiştir.
- Bu çalışmada imkanların sınırlı olması nedeniyle deneylerde tek tip çimento tipi (CEM IV/B/32,5R) kullanılmıştır. Tek tip çimento kullanılmasından dolayı çimento tipi ve dozajı basınç dayanımının belirlenmesinde önemli yer tuttuğu bilinmektedir. Bu yüzden, bu çalışmanın farklı tip ve dozajdaki çimentolarla deneysel olarak çalışılması önerilmektedir.
- Çalışma kapsamında elde edilen betonlarda herhangi bir katkı kullanılmamış olup, çeşitli beton katkıları kullanılarak davranışın incelenip davranışın yorumlanması önerilmektedir.
- Literatür olarak Gedik (2020) çalışması incelendiğinde deney düzeneği olarak aynı düzenek tercih edilmiş ve ölçüm yöntemi olarak da aynı yol izlenmiştir. Gedik (2020) çalışmasında kış koşullarında dökülen betonarme elemanların incelemesi üzerinde yoğunlaşırken referans olarak YAZ grubu dökümü gerçekleştirmiştir. Bu YAZ grubuna ait birim slip değeri %100NA grubu ile karşılaştırıldığında aralarında 0,000001 fark olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda farklı ölçüm yöntemlerine ait denklemler kullanmış olup Mirza and Houde (1979) un çalışmasında yer verdiği denklem bu çalışmada da kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında literatürde yer alan bağıntı ve modellerin incelenen deneysel davranışı başarılı bir şekilde yansıtmadığı görülmüştür.

Temel kıyaslamada ki önemli unsurlardan birisi yüzeye erişmeyen kılcal çatlak dağılımlarının hesaba katılması gerekliliği düşünülmektedir.

- Çalışma kapsamında geri dönüşüm agregasının kullanılmasında referans olarak %100GDA grubu esas alınmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen bulgularda %100GDA davranışı en olumsuz sonuçları vermiştir. Fakat genel olarak geri kalan grupların %100NA'ya yakın davranış gösterdiğini söylemek mümkündür.

- Araştırma bulguları bütün olarak incelendiğinde, çekme etkisi altındaki aderans davranışı bakımından, geri dönüşüm agregası %30 kullanılarak, betonarme yapılarda taşıyıcı elemanlarda beton üretiminde kullanılabilirliğinin mümkün olduğu söylenebilir.

- Geri dönüşüm agregası kullanılması durumunda beton sıcaklığının hidratasyon sırasında geri dönüşüm agregasıyla doğru orantılı olarak seyrettiği gözlenmiştir. %100GDA kullanılması durumunda ortalama beton sıcaklığı, %30GDA'ya göre daha fazla olduğu gözleniş ve en az ise %100NA grubuna ait olduğu belirtilmelidir. Geri dönüşüm agregası üzerinde bulunan serbest haldeki hidrate olmamış çimento taneleri yeni karışım ile hidratasyona girmesi sonucu hidratasyon ısısındaki artışa neden olduğu düşünülmektedir.

- Aderans numunelerin 72 saat sıcaklık ölçümlarını bakıldığında %100 GDA ile dökülen numunelerin NA ile dökülen numuneleri göre hidratasyon ısısı daha fazla gözlenmiştir. Bunun sebebi geri dönüşüm agregaların yapısındaki hidrati olmamış çimentoların olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı geri dönüşüm agregaları kütle beton dökülen yerlerde kullanılması önerilmemektedir.

- Çalışmada kullanılan geri dönüşüm agregası yıkanmamıştır. Yıkamanın ek maliyet üreten ve çevresel önlemler gerektiren bir uygulama olduğu bilinmektedir. Ancak, bu çalışma kapsamında yapılamayan geri dönüşüm agregasının yıkanmasının maliyet ve çevresel etki analizlerinin önemli olduğu düşünülmekte ve önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2003. Web Sitesi: <http://www.erasurum.edu.tr>, Erişim Tarihi: 15.08.2013.
- Anonymous, 2020. Web Sitesi: <https://tdg.com.tr>, Erişim tarihi: 05.06.2021.
- Anonymous, 2003. Web Sitesi: <http://www.novo.dk>, Erişim Tarihi: 15.08.2013.
- Arslan, M. E. ve Arslan, T. 2018. Kenetlenme boyu ve donatı çapının beton-donatı aderansına etkisinin mafsallı kiriş deneyiyle incelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2), 1-11.
- ASTM C127 – 15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, USA.
- Bozcuk, S. 1986. Bitki Fizyolojisi. Hatipoęlu yayınevi, 89, Ankara.
- Bingöl, A. F. ve Gl, R. 2009. Donatı-Beton aderansı, yüksek sıcaklıkların beton dayanımına ve aderansa etkileri konusunda bir derleme. TUBAV Bilim Dergisi, 2(2), 211-230.
- Celep, Z. 2013. Betonarme Yapılar. Beta Dağıtım, 865, İstanbul.
- Castillo, E., Marty, A., Condoret, J. S. ve Combes, D. 1996. Enzymatic catalysis in nonconventional media using high polar molecules as substrates, In: Annals of the New York Academy of Science. Dordick, J. S. ve Russell, A.J. (eds), The NewYork Academy of Science, 206-211, New York.
- Erte, E., Güvenç, A., Kunter, B., Keskin N. ve Mehmetoğlu . 2007. Effect of Ultrasound as Abiotic Elicitor on the Production of Trans-Resveratrol in Vitis vinifera L., European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6), 16-20 September, Book of Abstracts, Vol 2, 987-988, Copenhagen, Denmark.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G. 2015. Betonarme I. Evrim yayınevi, 816, Türkiye.
- Gedik, B. 2020. Soęukta dökülen betonarme elemanlarda çekme etkisi altındaki bağ kuvveti–kayma ilişkisinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, 219, Erzurum.
- Habulin, M. ve Knez, Z. 2001. Activity and stability of lipases from different sources in supercritical carbon dioxide and near- critical propane. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 76(2), 1260-1266.
- Hasan, P. S. ve Osman, ř. 2018. Farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırılması. Araştırma Makalesi, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Hallauer, A. R. 2001. Specialty corns. Marcel and Dekker, 469, London.

- Jaafar, E. K., 2017. Experimental Study on Anchorage Bond in High Strength Reinforced Concrete Beams. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 8, 63-71.
- Karakurt, C., Kaya, T. ve Topçu, İ. B. 2015. Betonarmede Beton ve Donatı Arasındaki Aderans Dayanımına Kür Şartlarının Etkisi. 2nd International Sustainable Buildings Symposium 92-97. Gazi Üniversitesi. Ankara.
- Mavi, K. 2009. Kabakgil türlerinde tohum gücü testlerinin kullanımı ve stres koşullarında çıkış ile ilişkileri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, 190, Ankara.
- Mirza, Z., Güvenç, A., Yıldız, N. ve Mehmetoğlu, Ü. 2008. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddelerin Farklı Adsorbanlarla Giderimi, 8. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK-8), 26-29 Ağustos, İnönü Üniversitesi, Bildiri Özetleri Kitabı, ÇDT-59, 277, Malatya.
- Mirza, S. M. ve Houde, J. 1979. Study of Bond Stress - Slip Relationship in Reinforced Concrete. *ACI Journal*, 76(1), 19-46.
- Orhan, D., Özcan, K. ve Melek, A. 2020. Betonarme donatısının aderans yorulmasına beton mukavemetinin etkisi. Araştırma Makalesi, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği.
- Stern, W. R. 2005. Yazılı görüşme. Batı Avustralya Üniversitesi, Tarım Enstitüsü Agronomi Bölümü, Nedland, Avustralya.
- Tanyıldızı, H. ve Yazıcıoğlu, S. 2006. Betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanımına kür koşullarının etkisi üzerine deneysel bir çalışma. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ.
- TBDY. 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- TS 500. 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 708. 2010. Beton Çelik Çubukları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802. 2016. Beton Karışımı Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206-1. 2002. Beton, Özellik, Performans, İmalat, Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 707. 1980. Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3526. 1980. Beton Agregalarında Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ünal, Y. 1998. Aderansın Betonun Agrega Tane Çapı ve Dayanımına Bağlı Olarak Değişimi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ.

Zorlu, N. 2013. Tekstil atık sularından boya gideriminde bileşik ileri oksidasyon yöntemlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi (basılmamış). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 108, Ankara.

